

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ
СНИЛ «ГИС-ЛАБОРАТОРИЯ»



ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ

**Материалы
международного научно-практического семинара
студентов и молодых ученых**

Минск, 20 ноября 2024 г.

Научное электронное издание

Минск, БГУ, 2025

ISBN 978-985-881-723-7

© БГУ, 2025

УДК 91:004(06)+55:004(06)
ББК 26с51я431

Редакционная коллегия:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. Н. Червань* (гл. ред.);
кандидат географических наук, доцент *А. С. Семенюк*;
кандидат географических наук, доцент *А. А. Карпиченко*;
кандидат географических наук, доцент *Н. В. Ковальчик*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *И. А. Ефимова*;
А. А. Сазонов; *А. Л. Киндеев*; *Д. А. Кислицын*; *С. С. Михайлов*

Рецензенты:

кандидат географических наук, доцент *А. П. Безрученок*;
кандидат географических наук, доцент *А. Е. Яротов*

ГИС-технологии в науках о Земле [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 20 нояб. 2024 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: *А. Н. Червань* (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2025. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-985-811-723-7.

Приведены научные работы, представленные на конкурс ГИС-проектов студентов и аспирантов учреждений высшего образования Республики Беларусь в рамках празднования международного Дня ГИС-2024 на факультете географии и геоинформатики Белорусского государственного университета.

Минимальные системные требования:

PC, Pentium 4 или выше; RAM 1 Гб; Windows XP/7/10/11;
Adobe Acrobat.

Оригинал-макет подготовлен в программе Microsoft Word

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *А. С. Семенюк*

Подписано к использованию 17.01.2025. Объем 12,8 МБ

Белорусский государственный университет.
Управление редакционно-издательской работы.
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.
Телефон: (017) 259-70-70.
e-mail: urir@bsu.by
<http://elib.bsu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ I. ГИС В НАУЧНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	10
<i>Андреев Ф. М., Сутырина Е. Н.</i> Разработка программного обеспечения для автоматизации расчета площадей водных объектов по данным спектральных индексов на основе инструментов и библиотек Python	10
<i>Бертова В. П., Журавлева О. А., Анциферова О. А.</i> Опыт применения ГИС-технологий для решения почвенно-агрохимических задач в Калининградской области	22
<i>Богданов А. О., Кричевцов М. И., Черенко А. С.</i> Автоматизированное составление специальных карт в СПО ПИК «ГИС-ВН-2М».....	30
<i>Богданов А. О., Руденков О. В., Черенко А. С., Кричевцов М. И.</i> Оценка возможностей применения воздушного лазерного сканирования в целях Вооруженных Сил Республики Беларусь.....	36
<i>Воробей М. В., Савко А. Ф., Киндеев А. Л.</i> Геостатистический анализ внутрипольной неоднородности почвенной кислотности на поле ОАО «Кошелево-Агро» для проведения работ по внесению мелиорантов	44
<i>Гуляй М. Е., Киндеев А. Л.</i> Спектральный анализ рельефа Республики Беларусь и его геоинформационная интерпретация	50
<i>Гумерова Д. И., Гершензон В. Е., Жернаков В. И.</i> Разработка методологии оперативного прогнозирования погоды на основании спутниковых данных L-диапазона	56
<i>Гуринович Е. А.</i> Цифровизация мемориальных комплексов Беларуси.....	59
<i>Дубовик Е. А.</i> Мультимасштабная карта достопримечательностей города Слуцка.....	63
<i>Дюкарев Д. Е., Дмитриева В. А.</i> Прогнозирование и моделирование зон затопления расчетной обеспеченности городского округа город Елец.....	67
<i>Е Чж., Ласточкина С. И.</i> Установление границы земельного участка спутниковой системой Trimble R8 в режиме RTK с закреплением поворотных точек на местности	

и обработкой результатов полевых измерений по Trimble Business Center	73
<i>Земцова Е. А., Токарчук С. М.</i> ГИС-картографирование историко-культурных ценностей Могилева средствами шаблонов облачной платформы картографирования ArcGIS Online	80
<i>Иванов Н. Е.</i> Использование нейросетевой модели в системе гидрологического прогнозирования	87
<i>Ильясов Р. М., Печкин С. А.</i> Воздушное лазерное сканирование как метод создания цифровой модели зданий	92
<i>Касянюк М. В., Токарчук С. М.</i> Графико-статистический ГИС-анализ инфраструктуры общественного транспорта Бреста	100
<i>Касянюк М. В., Токарчук С. М.</i> Создание тематических картографических веб-приложений в рамках лабораторных работ по курсу «ГИС-технологии» (на примере картографирования инфраструктуры общественного транспорта Бреста).....	109
<i>Киндеев А. Л., Воронай Н. Н., Голубец Д. И.</i> Трехмерное моделирование распространения вечной мерзлоты в Тункинской котловине	116
<i>Кислицын Д. А.</i> Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования Земли для картографирования сельскохозяйственных земель	124
<i>Кисляков Е. А., Соколов А. С.</i> Пространственный анализ велоинфраструктуры Гомеля с применением открытого программного обеспечения	131
<i>Коваленко А. В., Шекунова Ю. А., Пейхвассер В. Н.</i> Составление карт населения Беларуси с применением компьютерных технологий	137
<i>Коробейников А. В., Кузякина М. В., Пелина А. Н.</i> Анализ демографических показателей на территории Черноморского побережья Краснодарского края	142
<i>Кулаков А. П.</i> Инженерно-геокриологическое профилирование участка 288 км автодороги «Амур»	149
<i>Купреенко А. А., Малкина К. С., Полюхович А. Н.</i> ГИС-картографирование музеев учреждений образования Республики Беларусь	155

<i>Лазаренко С. А.</i> Обработка снимков, полученных с беспилотных летательных аппаратов, в программе Agisoft Metashape Professional	158
<i>Лось Н. Е.</i> Макет web-атласа «Изучение Земли из космоса».....	164
<i>Лутохина Е. Ю., Семенюк А. С.</i> Анализ изменения структуры землепользования районов Беларуси в ГИС.....	171
<i>Мурашко П. Н., Тесленок С. А.</i> Опыт использования геоинформационных систем в геологоразведочных работах.....	178
<i>Новикова Т. А., Нигамеева А. Ю., Кириенко Д. В., Тесленок С. А.</i> Опыт применения данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий в районах нефтегазодобычи Обь-Иртышского бассейна.....	185
<i>Романкевич А. П., Савостиков Р. Д.</i> Обследование центров нивелирной сети г. Минска как объектов отечественного геодезического наследия.....	192
<i>Сочивко В. Л., Кафтанчикова А. Б.</i> Анализ затопляемости пойменных территорий реки Западная Двина	197
<i>Третьяк Г. А., Семенюк А. С.</i> Геоинформационный анализ обеспеченности населения общественным транспортом на примере г. Бреста.....	207
<i>Триушенко И. Г.</i> Использование материалов радиолокационной съемки в географических исследованиях	215
<i>Фандюхин И. С., Сидорина И. Е.</i> Применение способов картографического изображения действительности в этнографических исследованиях на примере Республики Карелия	223
<i>Филимонова Ю. С., Давыдова С. Г.</i> Понятие и формы территориального планирования	231
<i>Фролов Д. М.</i> Построение ГИС-карты для указания местоположения скважин проекта «Гренландский ледяной щит» (GISP).....	235
<i>Ханкевич П. Д., Кафтанчикова А. Б.</i> Создание web-атласа «Изучение Земли из космоса»	240
<i>Хрипунова З. И., Токарчук С. М.</i> Инвентаризация и ГИС-картографирование уличных площадок сети кафе (на примере центральной части города Бреста)	248

<i>Шкабара А. В., Кафтанчикова А. Б.</i> Анализ последствий зарегулированности стока реки Западная Двина на русловые процессы по материалам ДЗЗ.....	255
<i>Шкут Д. В., Астрашаб И. А., Иваши́нэва А. С.</i> Использование нейронных сетей для решения задачи трансформирования систем координат	262
<i>Щур В. О., Романкевич А. П.</i> Глобальные навигационные спутниковые системы	268
<i>Юревич Я. А.</i> Возможности и перспективы применения виртуальной и дополненной реальности в картографии	273
<i>Якушев А. А., Киндеев А. Л.</i> Трёхмерное геостатистическое моделирование запасов глин на примере карьера «Гайдуковка».....	279
<i>Morshed O.</i> The impact of war-induced population migration on land use changes in the governorate of Sweida, Syria	284
<i>Zhao B.</i> A study of soil organic matter content change in Minsk region based on gradient boosted tree classifiers	289
РАЗДЕЛ II. ГИС В УПРАВЛЕНИИ ООПТ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.....	295
<i>Артемова А. А., Ильина Е. К., Лебедев А. В.</i> ГИС в оценке состояния лесов	295
<i>Баскакова А. Г.</i> Картографирование экологических рисков водопользования на примере загрязнения реки Дон в Воронежской области	301
<i>Бенько А. А., Киндеев А. Л., Червань А. Н., Сазонов А. А.</i> ГИС-моделирование морфометрических характеристик для оценки изменений в структуре почвенного покрова за 40-летний период на примере опытного участка	305
<i>Борботько Е. В., Сазонов А. А.</i> Оценка электропроводимости городских почв (на примере студенческой деревни, г. Минск).....	310
<i>Головня Е. К., Кафтанчикова А. Б.</i> Интерактивная карта ООПТ Республики Беларусь: концепция и дизайн	315
<i>Грищенко М. Ю.</i> 10 лет студенческих географических экспедиций в Курильском заповеднике (остров Кунашир)	320

<i>Груммо Д. Г., Rogовский Н. М.</i> Прогнозное картографирование растительности на примере национального парка «Беловежская пуща».....	326
<i>Гусев Е. И.</i> Оценка уровня озеленения Василеостровского района Санкт-Петербурга с использованием данных дистанционного зондирования Земли и географических информационных систем.....	333
<i>Гутько Ф. С., Киндеев А. Л.</i> ГИС-анализ изменения пространственной структуры кислотности почв в результате антропогенного воздействия на примере ключевых участков.....	339
<i>Гутько Ф. С., Цырибко В. Б., Серая Т. М.</i> Оценка противодефляционной устойчивости почв пахотных земель Республики Беларусь.....	345
<i>Давидович Ю. С., Фруль Е. С., Яцухно В. М., Синач В. А.</i> Геоинформационные методы оценки фрагментации ландшафтов Беларуси.....	350
<i>Игнатчук А. А., Нестерович А. В., Токарчук О. В.</i> Инвентаризация элементов экологического каркаса Бреста с использованием мобильных ГИС.....	356
<i>Лис К. Я., Кислицын Д. А.</i> Прикладные аспекты использования спектральных индексов для картографирования лесных вырубок	363
<i>Литвиненко В. В., Агеев И. Ю., Кручинин Г. В., Павлов С. К.</i> Применение модуля «CWSI» QGIS для расчета индекса водного стресса растений на примере участка Спасского района Рязанской области.....	368
<i>Мацель Ю. А., Киндеев А. Л.</i> Трехмерное моделирование почв с помощью эмпирического байесовского кригинга	376
<i>Могилёва Е. Е., Парахина Е. А.</i> Использование геоинформационных систем для мониторинга охраняемых природных территорий: кейс о. Кильпола в «Ладожских шхерах»	381
<i>Пухальская А. М., Лутохина Е. Ю.</i> Применение методики влияния антропогенной нагрузки на водоохранные зоны на примере территории Браславского района.....	385
<i>Рауш А. А., Амосов Е. Д.</i> Применение метода главных компонент для анализа ДЗЗ на примере ООПТ	390

<i>Репецкая А. И., Табуницкий В. А., Никифорова А. А.</i> Трансформация растительного покрова и динамика вегетационного индекса NDVI и EVI в пределах водосбора Капсельской бухты (Крымский полуостров)	398
<i>Роговский Н. М.</i> Моделирование пожарной ситуации на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника с применением спутниковых метеоданных	404
<i>Самсонов С. Д.</i> Использование ГИС в деятельности Сочинского национального парка	409
<i>Сипач В. А., Семенов О. А., Курзенков Е. С., Курзенков М. С., Богущий М. Ю., Фруль Е. С., Новиков А. А., Каплинский В. М.</i> Многоуровневая система выявления изменений состояния экосистем особо охраняемых природных территорий с использованием данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий.....	413
<i>Слостина И. П., Иванова Е. Ю.</i> Оценка состояния приземного слоя атмосферы левобережья г. Воронеж на основе лабораторной диагностики содержания хлорофилла и накопления фенольных соединений в тканях листьев тополя итальянского (<i>Populus italica</i>) и интерполяция данных при помощи ГИС	416
<i>Украинский П. А.</i> Вегетационный индекс EVI дубрав Верхнего Поосколья в 2000–2022 гг. и влияние на него деятельности Лебединского ГОКа	421
<i>Цзян Ч., Червань А. Н.</i> Исследование влияния горных работ на окружающую среду в Солигорском горнопромышленном районе.....	428
<i>Шестаков Н. А.</i> Анализ информативности вариантов синтеза мультиспектральных спутниковых изображений Sentinel-2 при дешифрировании природных и антропогенных объектов в среде ГИС	436
<i>Шлендер Т. В., Бируков М. В., Ярош Е. А.</i> Оценка загрязнения воздуха города Минска с использованием данных ДЗЗ, аэрозольного индекса и ГИС-технологий	446
<i>Шлендер Т. В., Ярош Е. А., Бируков М. В.</i> Районирование атмосферного загрязнения г. Минска по локальным климатическим зонам.....	452

<i>Dissenov R. Zh.</i> Using GIS to analyze and plan the integration of green areas into urbanized areas.....	459

РАЗДЕЛ III. ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ.....464

<i>Балахонов Т. С., Клебанович Н. В.</i> ГИС-анализ распространения инвазивных видов (борщевика Сосновского и золотарника канадского) на территории Витебской области и её отдельных районов.....	464

<i>Вавилова Д. М.</i> Оценка зарастания водоемов национального парка «Нарочанский» с использованием данных ДЗЗ и ГИС-технологий.....	465

<i>Гуляй М. Е., Кузьмицкий Е. Ю.</i> ГИС-моделирование и анализ морфометрических показателей рельефа территории национального парка «Нарочанский»	467

<i>Ларионов А. М.</i> Моделирование химического загрязнения окружающей среды и ее анализ влияния на здоровье человека с применением ГИС в границах г. Минска	469

<i>Пухальская А. М.</i> ГИС-анализ факторов очистки стоковых вод в водоохранных зонах и прибрежных полосах на территории национального парка «Нарочанский» Республики Беларусь.....	470

<i>Рауш А. А., Сазонов А. А.</i> ГИС-картографирование загрязнения воздуха на примере Студенческой деревни и прилегающей территории	472

РАЗДЕЛ I

ГИС В НАУЧНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТА ПЛОЩАДЕЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ НА ОСНОВЕ ИНСТРУМЕНТОВ И БИБЛИОТЕК PYTHON

Ф. М. Андреев, Е. Н. Сутырина

*Иркутский государственный университет, ул. К. Маркса, 1,
664003, г. Иркутск, Россия fmandreev@yandex.ru*

В данной статье представлена разработка программного обеспечения для автоматизации процесса расчета площадей водных объектов на основе данных спектральных индексов. Используя язык программирования Python и его обширные библиотеки, разработано решение, позволяющее эффективно обрабатывать спутниковые изображения и извлекать необходимую информацию о водных поверхностях. В работе рассматриваются методы применения спектрального индекса *WRI (Water Ratio Index)* для обнаружения и классификации водных объектов и объектов суши. Описана архитектура созданного программного обеспечения, его основные модули и алгоритмы. Проведены экспериментальные исследования с использованием реальных данных дистанционного зондирования Земли на примере устьевой области дельты Верхней Ангары (В. Ангары) и о. Ярки, результаты которых подтвердили эффективность и практическую значимость разработанного инструмента.

Ключевые слова: спектральные индексы; Python; автоматизация расчета индексов; статистический анализ; разработка программного обеспечения; Верхняя Ангара; остров Ярки.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR AUTOMATING THE CALCULATION OF THE AREAS OF WATER BODIES BASED ON SPECTRAL INDEX DATA BASED ON PYTHON TOOLS AND LIBRARIES

F. M. Andreev, Y. N. Sutyryna

*Irkutsk State University, K. Marx str., 1,
664003, Irkutsk, Russia fmandreev@yandex.ru*

This article presents the development of software for automating the process of calculating the areas of water bodies based on spectral index data. Using the Python programming language and its extensive libraries, a solution has been developed that makes it possible to efficiently process satellite images and extract the necessary information about water surfaces. The paper discusses the methods of using the spectral index *WRI (Water Ratio Index)* for the detection and classification of water bodies and land objects. The architecture of the created software, its main modules and algorithms are described. Experimental studies

have been carried out using real data from remote sensing of the Earth on the example of the estuary area of the Upper Angara Delta and island of Yarki, the results of which confirmed the effectiveness and practical significance of the developed tool.

Keywords: spectral indexes; Python; automation of index calculation; statistical analysis; software development; Upper Angara River; island of Yarki.

Развитие технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и растущая доступность высокоточных спутниковых снимков открывают новые возможности для автоматизации процессов обнаружения и анализа водных объектов. Применение спектральных индексов (на примере данной работы – *WRI*) позволяет эффективно выделять водные поверхности на спутниковых изображениях, основываясь на уникальных характеристиках отражательной способности воды в различных спектральных диапазонах.

Индекс *WRI* основан на соотношении спектральных каналов, чувствительных к отражению воды и растительности, что делает его особенно эффективным при разделении водных и наземных объектов на снимках. При этом *WRI* демонстрирует высокую устойчивость к влиянию атмосферных условий и может применяться для обработки данных из различных источников спутниковой информации. Язык программирования Python, с его простым синтаксисом и обширной экосистемой библиотек для научных вычислений и обработки геопространственных данных, стал одним из ведущих инструментов в области геоинформационных технологий и анализа данных ДЗЗ. Библиотеки, такие как *Matplotlib*, *Pandas*, *Geopandas*, *Rasterio*, *NumPy* и *OpenCV*, предоставляют мощные средства для обработки, анализа и визуализации спутниковых снимков, что делает Python оптимальным выбором для разработки специализированного программного обеспечения в данной сфере [1-4].

Объектом исследования в данной работе является устьевая область реки Верхняя Ангара, а именно остров Ярки. Остров Ярки представляет особый интерес в контексте изучения динамики водных поверхностей из-за своего расположения и геоморфологических особенностей. На примере острова Ярки был разработан и протестирован программный скрипт, позволяющий автоматизировать процесс расчёта спектрального индекса *WRI* и определения площадей водных объектов.

Целью данной работы является создание программного обеспечения на основе инструментов и библиотек Python для автоматизации расчёта площадей водных объектов по данным спектрального индекса *WRI*. Разработанный скрипт способен автоматически перебирать заданные директории с данными спутниковых снимков, выполнять вычисление индекса *WRI* и проводить расчёт площадей водных поверхностей, что значительно упрощает и ускоряет процесс анализа.

В рамках исследования были решены следующие задачи:

1. Изучение особенностей применения спектрального индекса *WRI* для выделения водных поверхностей на спутниковых снимках.

2. Разработка алгоритма автоматизированного расчёта индекса *WRI* и определение площадей водных объектов.

3. Реализация программного скрипта на языке Python с использованием соответствующих библиотек.

4. Тестирование разработанного скрипта на данных острова Ярки и оценка его эффективности и точности.

Ожидается, что результаты данной работы будут способствовать улучшению методов мониторинга водных ресурсов и предоставят эффективный инструмент для специалистов в области гидрологии, экологии, геоинформатики и смежных дисциплин. Автоматизация процесса расчёта площадей водных объектов с использованием индекса *WRI* позволит оперативно получать актуальные данные, необходимые для принятия обоснованных решений в сфере управления водными ресурсами и экологического планирования.

Алгоритм работы. Начальный алгоритм (рис. 1) расчета выглядит следующим образом: Чтение входного раstra *WRI* – Обрезка по маске – Векторизация растрового слоя по типу «вода» – Векторизация растрового слоя по типу «суша» – Выделение объектов, классифицированных как «вода» – Выделение объектов, классифицированных как «суша» – Сохранение выделенных объектов в отдельные слои – Исправление геометрий – Расчет площадных параметров с помощью калькулятора полей.

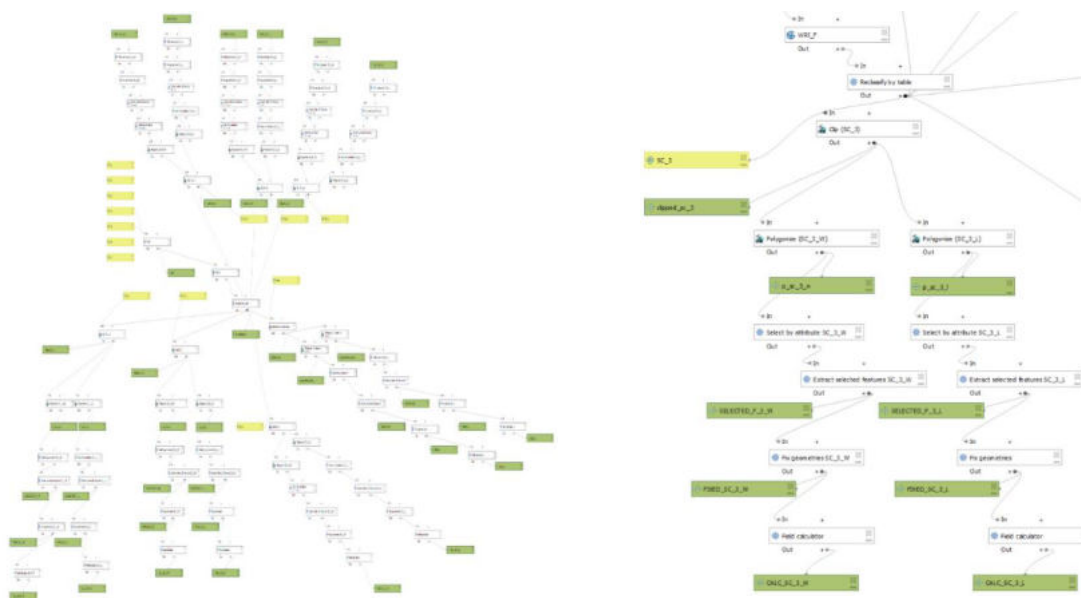


Рис. 1. Алгоритм геомодели (слева – полный алгоритм для расчета по каждой из масок, справа – алгоритм для отдельной области)

Описание работы скрипта. Словарь настройки каналов отдельных источников данных. Для решения задачи идентификации источника исходных данных (типа спутника) был составлен словарь с критериями идентификации источника снимка (рис. 2). Исходными данными выступают спутниковые снимки *Landsat 5, 7, 8, 9* (USGS Earthexplorer).

```
satellite_band_mappings = {
    'Landsat_5': {
        'Green': 2,
        'Red': 3,
        'NIR': 4,
        'SWIR': 5 # SWIR1
    },
    'Landsat_7': {
        'Green': 2,
        'Red': 3,
        'NIR': 4,
        'SWIR': 5 # SWIR1
    },
    'Landsat_8': {
        'Green': 3,
        'Red': 4,
        'NIR': 5,
        'SWIR': 6 # SWIR1
    },
    'Landsat_9': {
        'Green': 3,
        'Red': 4,
        'NIR': 5,
        'SWIR': 6 # SWIR1
    }
}

def detect_satellite(folder_path):
    """
    Функция для определения типа
    спутника на основе имен файлов в
    папке.
    Возвращает ключ из
    satellite_band_mappings или None.
    """
    tif_files =
    glob.glob(os.path.join(folder_path,
        '*.tif')) +
    glob.glob(os.path.join(folder_path,
        '*.TIF'))
    for file in tif_files:
        filename =
        os.path.basename(file)
        if 'LT05' in filename or
        'LE05' in filename:
            return 'Landsat_5'
        elif 'LE07' in filename or
        'LT07' in filename:
            return 'Landsat_7'
        elif 'LC08' in filename or
        'LO08' in filename:
            return 'Landsat_8'
        elif 'LC09' in filename or
        'LO09' in filename:
            return 'Landsat_9'
        return None # Спутник не
        определен
```

Рис. 2. Фрагмент кода – словарь с настройками каналов для каждого спутника (слева) и идентификации источника данных (справа)

Функция *detect_satellite* принимает путь к папке и осуществляет поиск всех файлов с расширениями «.tif» и «.TIF» внутри нее. Затем она извлекает имена этих файлов и анализирует их на наличие специфических подстрок, которые указывают на тип спутника серии Landsat. Если в имени файла присутствуют подстроки «LT05» или «LE05», функция идентифицирует спутник как «Landsat_5» и возвращает соответствующую строку. При обнаружении подстрок «LE07» или «LT07» она возвращает «Landsat_7». Если в имени файла содержатся подстроки «LC08» или «LO08», функция определяет спутник как «Landsat_8». Аналогично, при

наличии подстроки «LC09» или «LO09», возвращается «Landsat_9». Если ни одна из этих подстрок не обнаружена в именах файлов, функция возвращает значение «None», что означает, что тип спутника не был определен. Таким образом, эта функция помогает автоматически определить тип спутника на основе структуры имен файлов в заданной директории.

В представленном коде создается словарь под названием *satellite_band_mappings*, который служит для хранения соответствия между названиями спектральных каналов и их порядковыми номерами для разных спутников серии *Landsat*. Этот словарь структурирован таким образом, что для каждого ключа, обозначающего конкретный спутник (например, «Landsat5», «Landsat7», «Landsat8», «Landsat9»), хранится вложенный словарь с парами «название канала» и «номер канала». Для спутников *Landsat 5* и *Landsat 7* каналы «Green», «Red», «NIR» и «SWIR» соответствуют номерам 2, 3, 4 и 5 соответственно, где «SWIR» обозначает канал в коротковолновом инфракрасном диапазоне (*SWIR1*). Для спутников более нового поколения, *Landsat 8* и *Landsat 9*, те же каналы имеют немного иные порядковые номера: «Green» – 3, «Red» – 4, «NIR» – 5, «SWIR» – 6. Такая разница обусловлена изменениями в конфигурации датчиков на разных спутниках серии *Landsat*, где структура и нумерация спектральных каналов могут отличаться. Этот словарь обеспечивает программное соответствие и позволяет автоматически подбирать правильные номера каналов для обработки данных с разных спутников, что особенно полезно при разработке универсальных алгоритмов для анализа спутниковых изображений.

Далее необходимо выполнить загрузку маски, в контуре которой, в дальнейшем, будут выполняться определение границ объекта и расчет площади (рис. 3).

```
# Загрузка маски
print(mask_file)
mask_gdf = gpd.read_file(mask_file)
mask_geometry = [mapping(mask_gdf.unary_union)]
```

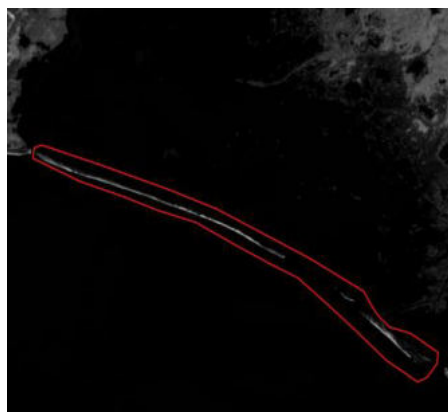


Рис. 3. Фрагмент кода – загрузка расчетной маски (слева) и положение маски на спутниковом снимке (справа)

В данном фрагменте кода выполняется загрузка и обработка геопространственной маски из файла: сначала с помощью команды `print(mask_file)` выводится путь или название файла маски, что позволяет проверить корректность указанного пути; затем функция `gpd.read_file(mask_file)` из библиотеки *GeoPandas* считывает файл маски и сохраняет его содержимое в переменную `mask_gdf` как *geo-DataFrame*, содержащий геометрические данные маски; после этого с помощью `mask_gdf.unary_union` происходит объединение всех отдельных геометрий из маски в одну единую геометрию, что актуально в случаях, когда маска состоит из нескольких полигонов или объектов; затем объединённая геометрия преобразуется в формат словаря с геометрическими координатами посредством функции `mapping()`, и результат помещается в список `mask_geometry`, позволяя использовать эту геометрию в дальнейших геопространственных операциях или анализе.

Обход всех подпапок в корневой папке. Далее будет запущен программный код, который выполнит полный обход всех подпапок, расположенных внутри корневой директории. Этот процесс позволит последовательно просмотреть и обработать содержимое каждой отдельной папки, обеспечивая тщательный анализ всей файловой структуры в корневом каталоге. Далее скрипт осуществляет перебор всех подпапок в указанной корневой директории и для каждой обнаруженной папки выполняет следующие шаги: выводит сообщение о начале обработки текущей папки, затем с помощью функции `detect_satellite` пытается определить, данные какого спутника содержатся в данной папке (рис. 4).

```
# Обход всех подпапок в корневой папке
for folder_name in os.listdir(root_folder):
    folder_path = os.path.join(root_folder, folder_name)
    if os.path.isdir(folder_path):
        print(f"Обработка папки: {folder_name}")

        # Определяем спутник
        satellite = detect_satellite(folder_path)
        if satellite is None:
            print(f" Не удалось определить спутник для папки {folder_name}. Пропуск.")
            continue
        else:
            print(f" Определен спутник: {satellite}")

        # Получаем дату из имени папки или файла (требуется адаптация под ваши данные)
        date = folder_name # Предполагается, что имя папки содержит дату

        # Получаем соответствие номеров каналов для текущего спутника
        band_mapping = satellite_band_mappings[satellite]
        bands_data = {}
        meta = None # Инициализируем meta
```

Рис. 4. Фрагмент кода – обход всех поддиректорий в основной

Данная функция является одной из основных в программе. если определить спутник не удаётся, скрипт информирует об этом и пропускает текущую папку, переходя к следующей в цикле; если спутник успешно определён, выводится соответствующее сообщение; далее из имени папки извлекается дата, предполагая, что название папки содержит нужную информацию о дате снимков; после этого скрипт получает соответствие номеров спектральных каналов для определённого спутника из словаря *satellite_band_mappings*; затем инициализируется пустой словарь *bands_data* для хранения данных по каналам и переменная *meta*, изначально равная *None*, предназначенная для хранения метаданных снимков.

Поиск файлов с данными каналов. Следующим этапом запускается программный код, предназначенный для поиска файлов, содержащих данные о каналах. Этот процесс включает в себя рекурсивный обход всех каталогов и подкаталогов в заданной директории, с целью обнаружения и идентификации всех файлов, относящихся к данным каналам. Код последовательно проверяет каждый файл на соответствие определённым критериям (рис. 5).

```

for band_name, band_num in band_mapping.items():
    # Создаем шаблоны поиска файлов с
    # учетом различных форматов именования
    band_patterns = [
        f*_B{band_num}.TIF', # Например,
        *_B3.TIF
        f*_B0{band_num}.TIF', # Например,
        *_B03.TIF
        f*_B{band_num}.tif,
        f*_B0{band_num}.tif,
        f*_SR_B{band_num}.TIF', # Например,
        *_SR_B3.TIF
        f*_SR_B0{band_num}.TIF',
        f*_SR_B{band_num}.tif,
        f*_SR_B0{band_num}.tif
    ]

    band_files = []
    for pattern in band_patterns:
        search_pattern = os.path.join(folder_path,
        pattern)

    band_files.extend(glob.glob(search_pattern))

    if band_files:
        band_file = band_files[0] # Выбираем первый
        найденный файл
        print(f' Найден файл для канала {band_name}
        (Band {band_num}):
        {os.path.basename(band_file)}")
        # Открываем файл и считываем данные канала
        with rasterio.open(band_file) as src:
            bands_data[band_name] =
            src.read(1).astype('float32')
            if meta is None:
                meta = src.meta.copy() # Сохраняем
                метаданные для будущего использования
            else:
                print(f' Файл для канала {band_name} (Band
                {band_num}) не найден.")
                f*_B{band_num}.tif,
                f*_B0{band_num}.tif,
                f*_SR_B{band_num}.TIF', # Например,
                *_SR_B3.TIF
                f*_SR_B0{band_num}.TIF',
                f*_SR_B{band_num}.tif,
                f*_SR_B0{band_num}.tif
            ]

        band_files = []
        for pattern in band_patterns:
            search_pattern = os.path.join(folder_path,
            pattern)

        band_files.extend(glob.glob(search_pattern))

```

Рис. 5. Фрагмент кода – поиск файлов в поддиректориях по заданным критериям

В данном фрагменте скрипта осуществляется поиск файлов с данными спектральных каналов. Для каждого канала из словаря *band_mapping* извлекаются его имя и номер. Затем создаётся список шаблонов *band_patterns*, учитывающий различные варианты именования файлов каналов – с разными регистрами расширений (*.TIF* и *.tif*), с наличием или отсутствием ведущего нуля в номере канала (например, *_B3.TIF* и *_B03.TIF*), а также с префиксом *_SR_*, который может обозначать обработанные данные отражательной способности поверхности. Инициализируется пустой список *band_files* для хранения найденных файлов. Далее скрипт перебирает каждый шаблон из *band_patterns*, соединяет его с путём к текущей папке *folder_path* и с помощью функции *glob.glob* выполняет поиск файлов, соответствующих данному шаблону. Найденные файлы добавляются в список *band_files*, собирая таким образом все возможные файлы данных для текущего спектрального канала для последующей обработки. В данном скрипте происходит последовательная обработка спектральных каналов спутниковых изображений: для каждого канала формируется список возможных шаблонов имён файлов, учитывающих различные варианты написания (например, с префиксом «*SR*», с ведущим нулём в номере канала, разные регистры расширения «*.TIF*» или «*.tif*»), после чего в заданной папке осуществляется поиск файлов, соответствующих этим шаблонам, с помощью функции *glob.glob*; если найден хотя бы один файл, то выбирается первый из них, выводится сообщение о его успешном обнаружении и начинается процесс его чтения с использованием библиотеки *rasterio* – файл открывается, данные канала считываются и приводятся к типу *float32* для дальнейшей обработки, а метаданные сохраняются при необходимости; если же файлы не были найдены, скрипт информирует об отсутствии файла для данного канала; таким образом, скрипт обеспечивает гибкий и надёжный способ сбора данных по каждому спектральному каналу, учитывая возможные вариации в именах файлов и гарантируя, что все необходимые данные будут корректно считаны и готовы для последующего анализа.

Проверка наличия всех необходимых каналов и расчет WRI. Далее скрипт выполняет проверку наличия всех необходимых спектральных каналов и расчёт индекса удержания воды (*WRI*) следующим образом: сначала он загружает спутниковое изображение с помощью библиотеки *rasterio* и извлекает метаданные растра, чтобы определить доступные каналы; затем формирует список необходимых каналов для расчёта *WRI*, который включает *B3* (зелёный), *B8* (ближний инфракрасный, *NIR*), *B11* (коротковолновый инфракрасный 1, *SWIR1*) и *B12* (коротковолновый инфракрасный 2, *SWIR2*); после этого код последовательно проверяет наличие каждого из этих каналов в данных растра, проходя по списку и сверяя с

доступными каналами, и если какой-либо канал отсутствует, выводит сообщение об ошибке и прекращает выполнение, так как без полного набора данных расчёт невозможен; при наличии всех необходимых каналов, код читает данные каждого канала и преобразует их в тип *float32* для точности вычислений; затем он рассчитывает числитель и знаменатель для формулы *WRI*, суммируя соответствующие массивы пикселей зелёного и *NIR* каналов для числителя, и *SWIR1* и *SWIR2* каналов для знаменателя, при этом обрабатывает возможные случаи деления на ноль, заменяя нулевые значения знаменателя на *NaN*, чтобы избежать ошибок; далее он выполняет поэлементное деление числителя на знаменатель, получая массив значений *WRI* для каждого пикселя изображения; после расчёта код может обработать аномальные значения, такие как бесконечности или *NaN*, и сохраняет полученный индекс *WRI* в новый растровый файл, используя исходный профиль данных для сохранения геопривязки и пространственных характеристик изображения (рис. 6).

```
# Проверяем, что все необходимые каналы были загружены
if all(band in bands_data for band in band_mapping):
    print(" Все необходимые каналы найдены. Выполняется расчет WRI.")

# Извлекаем необходимые каналы
green = bands_data['Green']
red = bands_data['Red']
nir = bands_data['NIR']
swir = bands_data['SWIR']

# Рассчитываем WRI
numerator = green + red
denominator = nir + swir
# Для избежания деления на ноль
denominator = np.where(denominator == 0, np.nan, denominator)
wri = numerator / denominator
```

Рис. 6. Фрагмент кода – проверка наличия данных для расчета и расчет WRI

Данный код выполняет конвертацию реклассифицированного растра *WRI* в векторный слой для получения контура острова. Он извлекает геометрии из растра, где значение пикселей равно единице (области с высоким индексом удержания воды), и создает на их основе полигоны. Затем формируется *GeoDataFrame* с этими геометриями, затем все полигоны объединяются в один общий контур острова с помощью операции *unary_union*. Площадь острова вычисляется как разница между общей площадью области (31.929 м²) и суммарной площадью выявленных водных объектов. Полученный контур острова сохраняется в виде векторного слоя в формате *Shapefile*. Далее информация о дате, спутнике и вычислен-

ной площади острова добавляется в *Excel*-таблицу и словарь для последующего построения графиков. В конце программа сохраняет обновленную *Excel*-таблицу по указанному пути (табл.).

Пример расчетного Excel-файла

Date	Area
11.06.1995	3,013
...	...
21.09.2023	1,780
29.09.2023	1,611
23.10.2023	1,572

На следующем этапе скрипт выполняет обрезку растра до расчетной области (рис. 7).

```
print(" Применение маски к WRI слою.")
with rasterio.open(wri_output_filepath) as src:
    wri_masked, out_transform = mask.mask(src, mask_geometry,
crop=True)
    out_meta = src.meta.copy()
    # Обновляем метаданные
    out_meta.update({"driver": "GTiff",
                    "height": wri_masked.shape[1],
                    "width": wri_masked.shape[2],
                    "transform": out_transform})

    wri_masked = wri_masked[0] # Извлекаем единственный массив

    # Реклассификация WRI по порогу
    threshold = 1.0 # Задайте подходящее значение порога

    wri_reclassified = np.where(wri_masked > threshold, 1,
0).astype('uint8')

    # Сохранение WRI реклассифицированного изображения
    output_folder = os.path.join(folder_path, 'output')
    if not os.path.exists(output_folder):
        os.makedirs(output_folder)
    wri_reclassified_filepath = os.path.join(output_folder,
f"{folder_name}_WRI_reclassified.tif")

    out_meta.update(dtype=rasterio.uint8, count=1)
    with rasterio.open(wri_reclassified_filepath, 'w', **out_meta) as
dst:
        dst.write(wri_reclassified, 1)
    print(f" Реклассифицированное WRI изображение сохранено по пути:
{wri_reclassified_filepath}")
```

Рис. 7. Фрагмент кода – Применение маски к WRI слою

Данный фрагмент кода выполняет применение географической маски к слою *WRI*, реклассификацию пикселей по заданному порогу и сохранение результирующего изображения. Сначала код открывает исходный растр *WRI*, применяет к нему маску на основе заданной геометрии *mask_geometry*,

обрезаая растр по границам маски и обновляя метаданные (размеры, трансформации, драйвер). Затем извлекается единственный слой из массива данных *wri_masked*. После этого происходит реклассификация значений растра: пикселям с значениями выше порога (в данном случае 1.0) присваивается значение 1, остальным – 0, что создает бинарное изображение (рис. 8).

```
# Конвертация растра в вектор и получение контура острова
print("  Конвертация растра в вектор для получения контура
острова.")
    shapes_generator = shapes(wri_reclassified,
transform=out_meta['transform'])
    geoms = [shape(geom) for geom, value in shapes_generator if
value == 1]

    if geoms:
        # Создаем GeoDataFrame
        gdf = gpd.GeoDataFrame({'geometry': geoms},
crs=mask_gdf.crs)
        # Объединяем полигоны в один (если необходимо)
        gdf = gpd.GeoDataFrame(gpd.GeoSeries(gdf.unary_union),
columns=['geometry'])
        # Расчет площади острова
        gdf['area'] = gdf['geometry'].area / 1e6 # Площадь в
квадратных километрах
        island_area = 31.929 - gdf['area'].sum()
        print(f"  Площадь острова: {island_area:.2f} кв.км")

        # Сохранение векторного слоя острова
        island_shp_filepath = os.path.join(output_folder,
f"{folder_name}_island.shp")
        gdf.to_file(island_shp_filepath)
        print(f"  Векторный слой острова сохранен по пути:
{island_shp_filepath}")

        # Добавление данных в Excel таблицу
        df_areas = df_areas.append({'Date': date, 'Satellite':
satellite, 'Area': island_area}, ignore_index=True)

        # Добавление данных в словарь для графика
        areas_dict[date] = island_area
    else:
        print("  Остров не обнаружен на изображении.")
else:
    print("  Не все необходимые каналы были найдены в данной
папке для расчета WRI.")
```

Рис. 8. Фрагмент кода – конвертация растрового слоя в вектор и сохранение полигонального слоя объекта

Код проверяет наличие выходной папки *output*, при отсутствии создаёт её, и сохраняет реклассифицированное изображение в формате *GeoTIFF* по заданному пути, обновляя метаданные и указывая тип данных как *uint8*. В конце выводится сообщение с путем сохраненного файла.

Данный код выполняет конвертацию реклассифицированного растра *WRI* в векторный слой для получения контура острова. Он извлекает геометрии из растра, где значение пикселей равно единице (области с высоким индексом удержания воды), и создает на их основе полигоны. Затем формируется *GeoDataFrame* с этими геометриями, затем все полигоны объединяются в один общий контур острова с помощью операции *unary_union*.

Результаты и выводы. На данном этапе разработки реализованы решения по автоматизации функции расчета для неограниченного количества данных, их идентификации и обработки.

В результате работы над проектом разработан рабочий код скрипта, который станет основой для создания будущей полноценной программы для выполнения расчетов геометрических параметров исследуемых водных объектов и суши. В рамках дальнейшей работы планируется разработка полноценного GUI-интерфейса, реализация возможности создания векторной маски непосредственно в самом ПО, подгрузка дополнительных статистических параметров (расходов, уровней воды) в табличной форме для выполнения аналитики и визуализации.

Библиографические ссылки

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 25.10.2024).
2. Python [Electronic resource]. URL: <https://www.python.org/> (date of access: 01.11.2024).
3. Project Jupyter [Electronic resource]. URL: <https://jupyter.org/> (date of access: 01.11.2024).
4. USGS Earthexplorer [Electronic resource]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (date of access: 01.11.2024).

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПОЧВЕННО-АГРОХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В. П. Бертова, О. А. Журавлева, О. А. Анциферова

*ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Советский проспект, 1, 236022, г. Калининград, Россия, olga.antsiferova@klgtu.ru*

В статье приведены итоги первого этапа использования ГИС-технологий и систем машинного обучения для составления цифровых почвенных карт с комплексом прикладных моделей на основе ЦМР и прогнозирования изменения агрохимических свойств почв. Выявлены преимущества и недостатки использованных исходных данных, программ и моделей.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа; цифровая почвенная карта; модели машинного обучения; агрохимические свойства почв.

THE EXPERIENCE OF USING GIS TECHNOLOGIES TO SOLVE SOIL AND AGROCHEMICAL PROBLEMS IN KALININGRAD REGION

V. P. Bertova, O. A. Zhuravleva, O. A. Antsyferova

*Kaliningrad State Technical University, Sovetsky Prospekt, 1,
236022, Kaliningrad, Russia, olga.antsiferova@klgtu.ru*

The article presents the results of the first stage of using GIS technologies and machine learning systems to compile digital soil maps with a set of applied models based on DEM and forecasting changes in agrochemical properties of soils. The advantages and disadvantages of the used source data, programs and models are revealed.

Keywords: digital relief model; digital soil map; machine learning models; agrochemical properties of soils.

Согласно почвенно-географическому районированию Калининградская область относится к Прибалтийской почвенной провинции, которая отличается от других провинций Нечерноземья наиболее гумидным климатом и сложным рельефом (зона последнего Валдайского оледенения). Вместе с этим территория области обладает высоким биоклиматическим потенциалом для развития сельскохозяйственного производства, в современных условиях тренда к потеплению климата и за последние 10 лет

устойчиво является лидером по урожайности зерновых культур среди регионов Северо-Запада. Поэтому для области актуально внедрение современных ГИС-технологий в приложении к информационному обеспечению адаптивно-ландшафтных систем земледелия и решению агроэкологических проблем. Главными направлениями работ являются наиболее востребованные практикой технологии современного картографирования и прогнозирования свойств почв. Проводится поиск и апробация ГИС-технологий для решения основных задач:

1. Оценка и повышение точности технологии цифрового почвенного картографирования, и применение её для выявления площадей почв, подверженных переувлажнению и эрозии на уровне отдельных сельскохозяйственных предприятий и конкретных полей.

2. Разработка схемы прогнозирования агрохимических показателей на основе машинного обучения в условиях сложного рельефа холмисто-моренных агроландшафтов.

В настоящее время получены первые результаты, позволяющие в дальнейшем совершенствовать и развивать методологию исследований.

Объектами исследований являются отдельные сельскохозяйственные предприятия Зеленоградского, Полесского и Озерского муниципальных округов Калининградской области и тестовые поля в пределах этих предприятий. Такой подход позволяет провести апробацию и выявить достоинства и недостатки применяемых ГИС-технологий и методологии исследований как на уровне целого предприятия, так и на уровне конкретного поля, что особенно важно при современных высоких агротехнологиях с элементами точного земледелия.

Создание почвенных электронных карт проведено на основе оцифровки архивных топографических карт ВИСХАГИ (в связи с временным ограничением на съемку БПЛА) и крупномасштабных почвенных карт (1:10000) Калининградского филиала СевЗапгипрозема. Для составления цифровой модели рельефа и прогнозных почвенных карт использованы программы Easy Trace, ArcGIS, QGIS, SAGA, RStudio.

Для прогнозирования динамики агрохимических свойств почв использован архив данных агрохимических обследований за последние 30 лет для тестовых сельскохозяйственных предприятий и полей. Обработка выполнена с применением программы QGIS, модели машинного обучения Tabular Regression (алгоритм Random Forest) на базе фреймворка CoreML. Модели создавались и тренировались с помощью программы Create ML. Проведена попытка моделирования гравитационного перераспределения остаточных количеств удобрений с помощью программы Rhinoceros 7 с

системой Grasshopper с аддоном для физического моделирования Kangaroo 2.

Основным преимуществом цифрового почвенного картографирования является возможность проведения геопространственного анализа почв с последующей группировкой их в агроэкологические группы земель. Это позволяет повысить эффективность агротехнологических операций и управления посевами, что особенно важно в условиях сложной и контрастной структуры почвенного покрова. Цифровая модель рельефа (ЦМР) является исходной для получения пространственного распределения топографического индекса влажности (рис. 1).

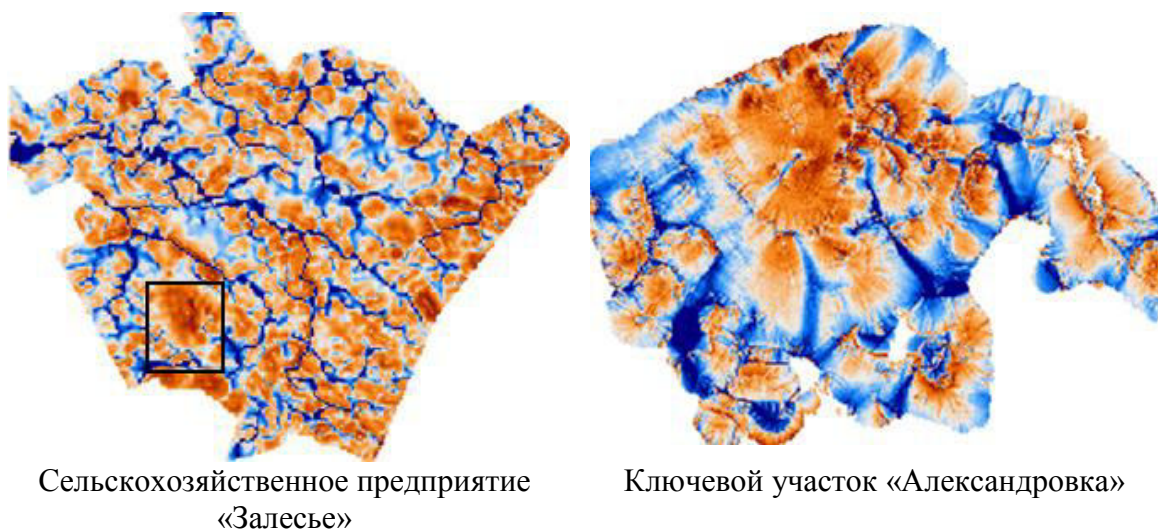


Рис. 1. Топографический индекс влажности для территории всего сельскохозяйственного предприятия и тестового поля

Анализ разномасштабных карт позволяет сделать прогноз площадей сельскохозяйственных угодий, подверженных переувлажнению, провести исследования по оценке потерь урожая от гидрологических факторов. В настоящее время проводится углубленное изучение возможностей программы SAGA для адаптации полученных моделей к фактическому состоянию для использования при построении моделей распределения и накопления стока на фоне наличия осушительных систем.

ЦМР дает возможность детализировать почвенную карту на основе модели, полученной при помощи линейного дискриминантного анализа с вероятностным расположением почв (рис. 2). Основной упор делается на ведущий фактор дифференциации почв в условиях гумидного климата области – степень гидроморфизма.

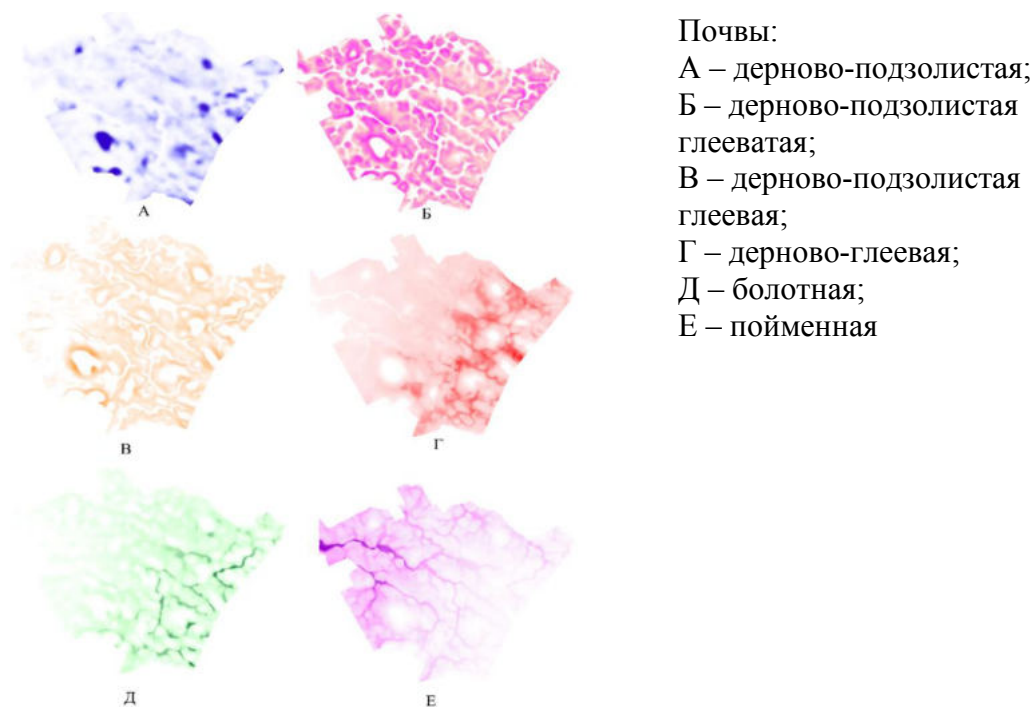


Рис. 2. Цифровые модели вероятностного распространения почв на территории сельскохозяйственного предприятия «Залесье»

В ходе работ выявлен ряд проблем, решение которых в перспективе повысит эффективность применения ГИС-технологий:

- использование в качестве исходной основы карт ВИСХАГИ, составленных в XX в., понижает точность ЦМР, потому что не учитываются антропогенные изменения микрорельефа за прошедший период (возникновение ям, насыпей, западин карьерного типа с линейными границами, прочих искусственных сооружений, влияющих на распределение стока). Выходом является создание актуального ортофотоплана высокого разрешения на основе съемки БПЛА;

- наличие нескольких вариантов архивных почвенных карт, содержащих разнородную информацию классификационного уровня об одних и тех же почвенных контурах с вариацией почвенных границ. Решение проблемы связано с проведением актуального почвенного обследования;

- высокая пестрота почвообразующих пород (химический и гранулометрический состав) приводит к неточностям в итоговой цифровой почвенной карте на данном этапе. Решением проблемы является выработка методологии картографирования вертикальной и пространственной неоднородности пород (например, с помощью геофизических методов сканирования).

- группа неточностей технического плана при работе с ГИС-программами.

Однако, несмотря на указанные неточности, уже на данном этапе апробации продукты ГИС-технологий для целей почвенного картографирования могут успешно применяться для решения ряда прикладных задач.

Другой важной проблемой сельскохозяйственного производства является динамика агрохимических свойств почв. Большое количество факторов, влияющих на агрохимические показатели почвы, обуславливает сложность корректной экстраполяции данных. Для решения этой проблемы предложен вариант с использованием технологий машинного обучения с подложкой ЦМР (рис. 3). По итогам тестирования выбрана модель (Tabular Regression) как наиболее эффективная.

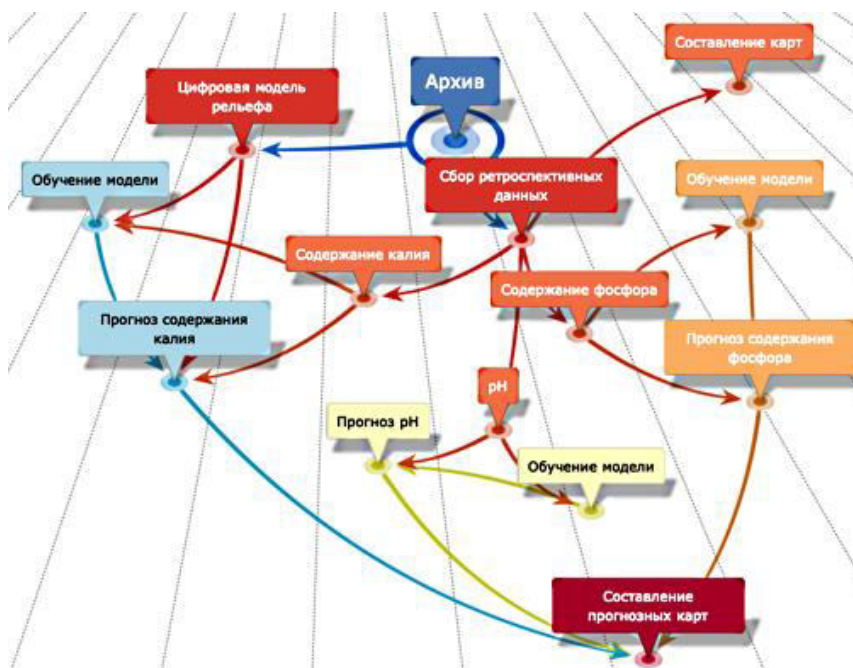


Рис. 3. Схема взаимосвязей данных при составлении прогнозов на основе машинного обучения

Апробация предложенной модели проведена на уровне территории сельскохозяйственного предприятия в Озерском муниципальном округе и тестового поля длительного мониторинга в Зеленоградском округе. В первом случае модель обучалась на основе ретроспективных данных за 1979, 1991, 2002 гг., а на основе данных за 2013 и 2017 гг. с помощью модели сделан прогноз на 2023 г. (рис. 4). При исходной неполноте агрохимических данных среднеквадратическая ошибка составляет для подвижного калия – 6,6 мг/кг; фосфора – 19,0 мг/кг; для pH – 0,2 единицы.

Для участков в Озерском округе в качестве дополнительного показателя была использована расчлененность рельефа, рассчитанная по цифровой модели рельефа. Этот параметр оказался эффективным только при

прогнозе содержания калия, в остальных случаях его использование не повышало точность прогноза.

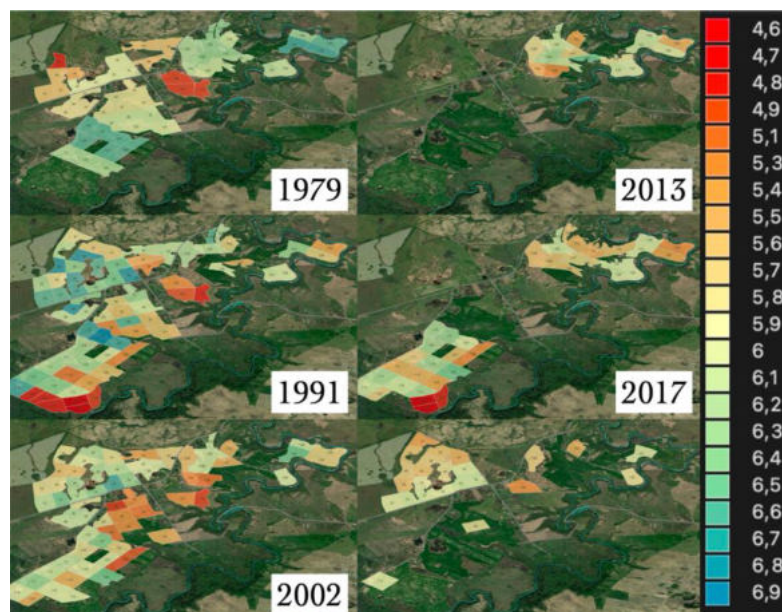


Рис. 4. Пространственное распределение значения pH_{KCl} по неполным данным архивным материалов и итог прогнозирования

Для прогноза на отдельном поле (ключевой участок «Перелески») модель (алгоритм Random Forest) обучалась на основе ретроспективных данных за 1986, 1992, 1997, 2008 и 2015 гг., а с помощью данных за 1992, 1997, 2008, 2015 и 2022 гг. прогноз получен на 2029 г. Небольшое количество контуров (16) на участке, на которых происходило обучение модели, и временной шаг между опробованием в 7 лет, существенно снижает достоверность прогноза модели. Среднеквадратическая ошибка составила для подвижного калия – 16 мг/кг; фосфора – 6,0 мг/кг; суммы обменных оснований – 0,7 мг·экв на 100 г почвы; для pH – 0,1 единицы. Влияние неоднородности рельефа достоверно не выявлено.

Апробация предложенной схемы вскрыла ряд проблем и ограничений применения:

- необходимость полноты исходной архивной информации по временному ряду с равномерным шагом в реальности не всегда соблюдается в связи с объективными причинами за последние 30 лет (реорганизация и распад сельскохозяйственных предприятий в 1991–2010 гг., преимущество агрохимического обследования пахотных угодий на фоне большого количества залежных);
- изменение площади и границ агрохимических контуров снижает качество прогноза;

- наибольшая точность прогноза получается при использовании большой исходной выборки (более 50 контуров); при малых выборках (менее 20 контуров) даже при длительном ряде данных (1986–2022 гг.) точность снижается вследствие неравномерности временного шага; это ограничивает применение прогнозной модели для индивидуальных сельскохозяйственных полей, особенно на фоне неопределённости по объемам известкований и внесения удобрений;

- линейные границы агрохимических контуров включают несколько почвенных ареалов и элементов рельефа, что является основной причиной низкой эффективности ЦМР в прогнозах (влияние рельефа не обнаруживается или локально проявляется для подвижного калия);

- наиболее точный прогноз получается в условиях отсутствия агрохимических воздействий (залежи, сенокосы) и для показателя рН.

Более существенная роль ЦМР выявлена при попытке прогноза распределения остаточных количеств удобрений (ОКУ). При использовании программы Rhinoceros 7 с системой Grasshopper с аддоном для физического моделирования Kangaroo 2 в принципе возможно получение информации о степени полноты аккумуляции или выноса питательных элементов по рельефу. Однако, при этом не учитываются свойства поверхности, которые могут замедлять процессы горизонтального переноса (наличие и плотность растительности, гранулометрического состава почвы и её типа). На результатах моделирования сказывается невысокая точность использованной общедоступной модели рельефа, поэтому полученные результаты носят оценочный характер. Тем не менее она позволяет в первом приближении оценить зоны аккумуляции ОКУ в прибалочных и пойменных участках агроландшафтов. Преимуществом является то, что системы искусственного интеллекта адаптированы динамически корректировать свои прогнозы и рекомендации по мере поступления новых данных и расширения входных параметров.

Начальный этап применения ГИС-технологий для решения прикладных почвенно-агрохимических задач в агроландшафтах Калининградской области показал очевидные преимущества открывающихся широких возможностей геопространственного анализа. Качество итоговых электронных цифровых продуктов (карт, прогнозов) зависит от двух аспектов: 1) полноты и точности архивных данных (топографических, почвенных, агрохимических); 2) выбора программ и алгоритмов, позволяющих наиболее эффективно решить задачи.

В настоящее время успешно апробирована методология составления цифровых почвенных карт и прикладных гидрологических моделей для выявления участков переувлажнения в агроландшафтах (на примере ряда

полей АПХ «Залесье»). Были установлены участки систематической гибели и недобра урожая. Это является основанием для корректировки агротехнологий, осуществления мероприятий по регулированию поверхностного стока и уровня грунтовых вод (раскрытие западин, ремонт дренажной сети, противоэрозионные приемы).

Применение разработанных прогнозных моделей на основе технологии машинного обучения с использованием ЦМР при дальнейшем их совершенствовании позволит эффективно использовать архив региональной Агрохимической службы, будет востребовано при разработке проектов повторного вовлечения залежных земель Калининградской области в сельскохозяйственный оборот и оценке эффективности применения средств химизации.

Авторы выражают благодарность научному руководителю доктору сельскохозяйственных наук, профессору О. А. Анциферовой; научному сотруднику отдела агроэкологической оценки почв и проектирования агроландшафтов ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» кандидату биологических наук П.М. Шилову; начальнику отдела мониторинга плодородия почв ФГБУ «ЦАС «Калининградский», кандидату биологических наук С.И. Новиковой.

Работа выполнена в рамках инициативно-поисковой госбюджетной научно-исследовательской темы кафедры агрономии и агроэкологии ФГБОУ ВО «КГТУ» «Почвенные ресурсы Калининградской области: оценка, использование, продуктивность, управление» (Рег. № 13.16.022.2).

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СОСТАВЛЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ КАРТ В СПО ПИК «ГИС-ВН-2М»

А. О. Богданов¹⁾, М. И. Кричевцов²⁾, А. С. Черенко³⁾

¹⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, artem10042000@gmail.com*

²⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, bsu.mf@bk.ru*

³⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, cherenko@bsu.by*

В данной статье авторами произведён анализ возможностей нового специализированного программного обеспечения программно-информационного комплекса поддержки принятия решений СПО ПИК «ГИС-ВН-2М» по автоматизированному составлению специальных карт местности на основе электронных топографических карт.

Ключевые слова: ГИС-ВН-2М; специальные карты; геоинформационное картографирование; военная топография.

AUTOMATED COMPILATION OF SPECIAL MAPS IN SPECIAL SOFTWARE OF THE «GIS-VN-2M» SOFTWARE AND INFORMATION COMPLEX

A. O. Bogdanov¹⁾, M. I. Krichevstov²⁾, A. S. Cherenko³⁾

¹⁾ *Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4,
220030, Minsk, Belarus, artem10042000@gmail.com*

²⁾ *Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4,
220030, Minsk, Belarus, bsu.mf@bk.ru*

³⁾ *Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4,
220030, Minsk, Belarus, cherenko@bsu.by*

In this article, the authors analyzed the capabilities of the new specialized software of the decision support software and information complex «GIS-VN-2M» for the automated compilation of special terrain maps based on electronic topographic maps.

Keywords: GIS-VN-2M; special maps; geoinformation mapping; military topography.

Специальные карты местности [1] являются одними из основных средств топогеодезической информации, подготавливаемой в ходе вы-

полнения мероприятий и задач по топогеодезическому и навигационному обеспечению боевых действий [2] в Вооруженных Силах Республики Беларусь.

Текущие реалии диктуют требования по увеличению оперативности подготавливаемой информации о местности в Вооруженных Силах Республики Беларусь, в следствии чего совершается переход от традиционного картографирования [3] территории, к более современному – геоинформационному [4], представляющему собой автоматизированное составление карт на основе географических баз данных и знаний. Перспективным к использованию является специализированное программное обеспечение программно-информационного комплекса поддержки принятия решения модернизированного СПО ПИК «ГИС-ВН-2М», разработанное государственным научным учреждением «Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси». Функции автоматизированного составления специальных карт на основе топографических карт являются одними из наиболее востребованных функций данного комплекса, анализ которых производится в данной статье.

В данной работе основным документом по оценке составленных программой карт является руководство по фототопографическим работам при топогеодезическом обеспечении войск часть 3 (РФР-3) [5]. Составление специальных карт производится согласно методике, указанной в руководстве оператора «ГИС-ВН-2М» [6].

Функции автоматизированного составления специальных карт представлены только в СПО ПИК «ГИС-ВН-2М». Какие-либо похожие функции в остальных геоинформационных системах, принятых на вооружение в Республике Беларусь отсутствуют, все специальные карты на данный момент создаются вручную, что значительно увеличивает трудозатраты и уменьшает оперативность подготовки средств топогеодезической информации.

Карта геодезических данных (КГД) (рис. 1). Инструменты построения КГД просты в освоении, всё, что необходимо оператору – указать точки, с которых будут сняты координаты. В данном случае важно выбирать устойчивые на местности точки, например башенные сооружения капитального типа, перекрестки дорог и тому подобное. В итоге построенная карта оформляется в условных знаках, соответствующих требованиям, предъявляемым РФР-3.

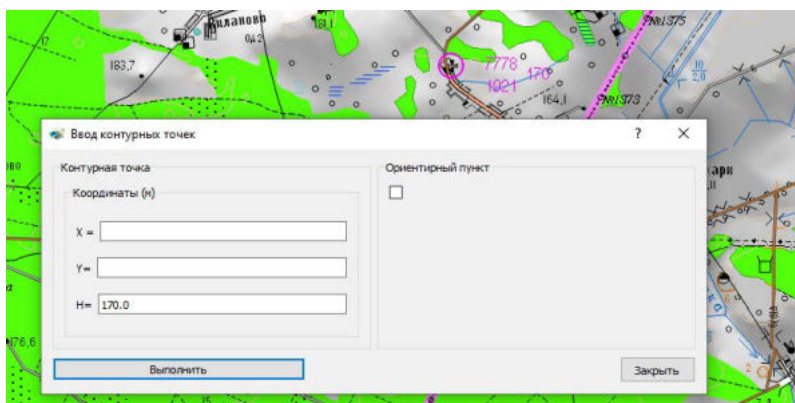


Рис. 1. Инструмент автоматизированного построения КГД

Карта автомобильных дорог (КАД). Программный комплекс обладает возможностями полностью автоматического построения данного вида специальных карт. Всё, что необходимо сделать оператору – сформировать район на основе топокарты масштаба 1:500000 и построить матрицу высот для этого района. После построения КАД имеется возможность автоматической расстановки подписей расстояния между условными знаками «расстояние на автодорогах» с учётом рельефа местности, характеристик регулируемых переездов на железной дороге. Также имеется инструмент ручного редактирования данных подписей и самой карты.

На основании КАД строится *карта путей сообщения (КПС)*. Оператору необходимо ввести параметр величины окрестности узловой станции, определить узловые станции, автоматически построить маршруты дистанций и произвести ручное редактирование маршрутов при необходимости. Итоговая КПС (рис. 2) строится автоматически, также имеются инструменты ручного редактирования.

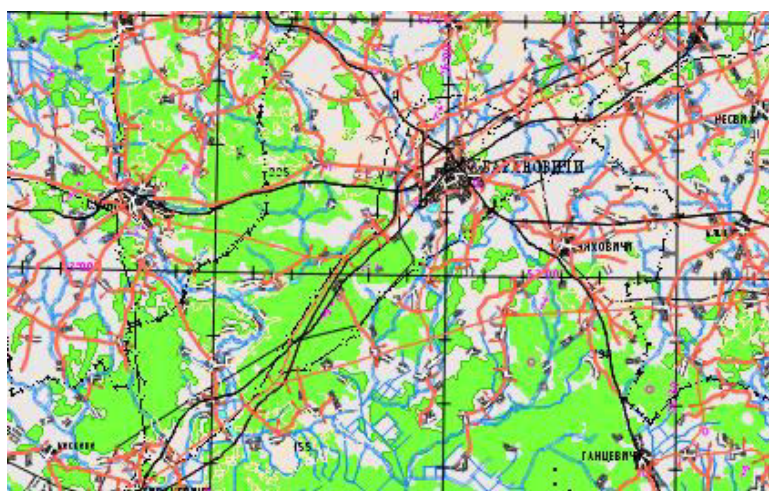


Рис. 2. Результат автоматического построения КПС

Карта искусственных препятствий (КИП) (рис. 3). Для построения КИП оператор должен загрузить карту масштаба 1:100000 и четыре рабочие карты масштаба 1:50000. При выборе функции «отбор объектов из ЦКМ рабочего масштаба» формируются объекты КИП, которые включают объекты, имеющие относительные высоты выше 50 м. Далее необходимо ввести ценз группировки объектов по параметрам «соседство» и «габариты» для увеличения читаемости специальной информации на карте.

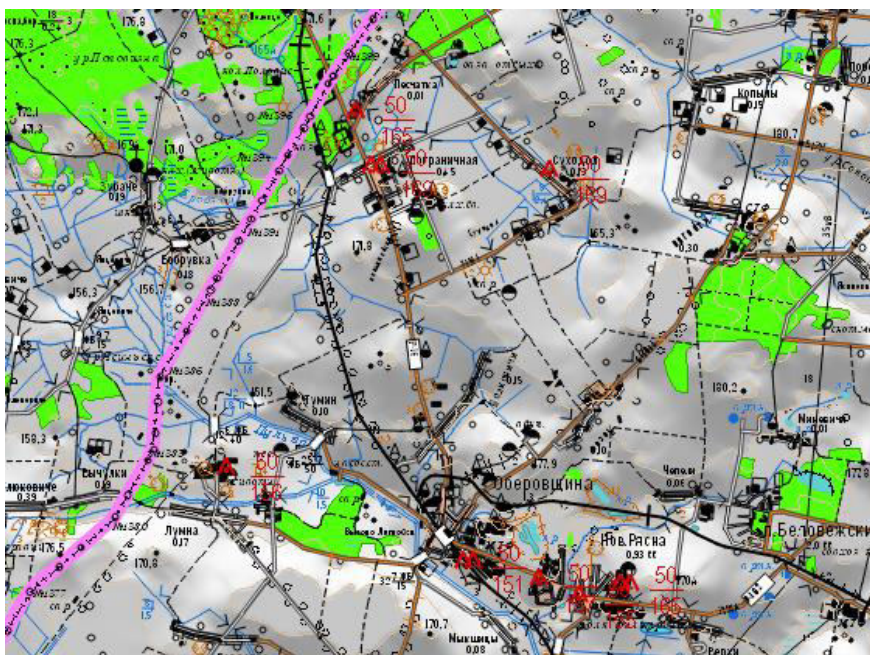


Рис. 3. Фрагмент КИП, построенной в СПО ПИК «ГИС-ВН-2М»

Карта условий маскировки (КУМ). КУМ является одной из наиболее востребованных специальных карт. Для её построения до разработки СПО ПИК «ГИС-ВН-2М» затрачивалось большое количество времени. Данный программный продукт позволяет создать КУМ (рис. 4) на основе полностью автоматизированного инструмента, где необходимо выбрать пору года, район или номенклатурный лист на составляемую карту и минимальную площадь маски объекта растительности.

Карта условий проходимости (КУП). КУП наравне с КУМ является основной специальной картой, подготавливаемой в интересах войск. Автоматизированный инструмент составления карты позволяет выбирать пору года для построения карты, а также указывать характеристики проходимости и техники, а также вручную добавить зоны по типам проходимости, отсеять или объединить зоны по указанным цензам. В соответствии с выбранными параметрами автоматически строится карта (рис. 5).

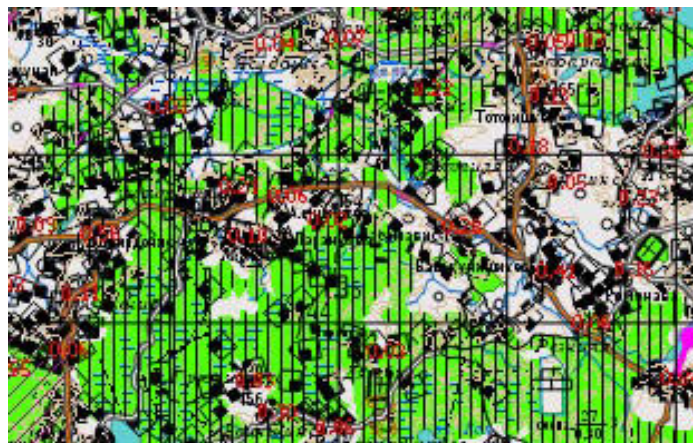


Рис. 4. Фрагмент КУМ, построенной в СПО ПИК «ГИС-ВН-2М»

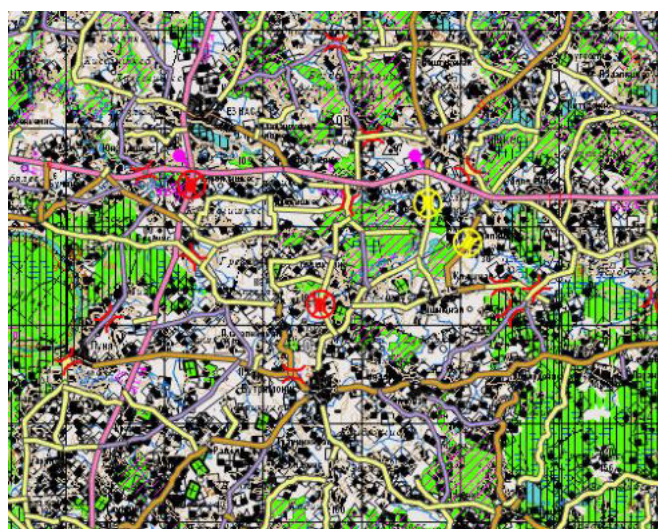


Рис. 5. Фрагмент КУП, построенной в СПО ПИК «ГИС-ВН-2М»

Карта участка реки (КУР). Необходима при форсировании водных рубежей. Формируется на основе топографических карт масштабов 1:25000 или 1:50000, а также матрицы высот и рельефа на данный район. Оператору необходимо ввести ширину участка от берега реки, крутизну ската участка, а также указать начальную и конечную точку формируемой КУР на объекте реки. Далее инструмент предоставляет автоматические функции расчёта крутизны ската, дальности видимости, зон затопления.

Подводя итог, следует заметить, что все построенные карты соответствуют требованиям руководящих документов, строятся оперативно и качественно, требуют минимальных трудозатрат, а также для их построения достаточно наличия топографических карт. Также немаловажным преимуществом данного комплекса является то, что это отечественная разработка

и соблюдены все требования по защите информации. Перечисленные достоинства диктуют необходимость принятия данного программного комплекса на вооружение в Вооруженных Силах Республики Беларусь.

Библиографические ссылки

1. Военная топография: учеб. / В. К. Утекалко [и др.]; под общ. ред. Г. П. Кобелева. 2-е изд. Минск : ВА РБ, 2013. 356 с.
2. Дубровский К. А. Топогеодезическое и навигационное обеспечение войск: учебное пособие. Минск : БГУ, 2013. 126 с.
3. Елюшкин В. Г. Геоинформационное обеспечение военных действий. От достаточности к превосходству. М.: Самиздат, 2-е изд. дополн. и исправл. 2019. 166 с.
4. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: учебник. М.: КДУ, 2008. 424 с.
5. Руководство по фототопографическим работам при топогеодезическом обеспечении войск. Часть 3. Создание оригиналов специальных карт и фотодокументов о местности. М. : РИО ВТС, 1983. 102 с.
6. Программно-информационный комплекс поддержки принятия решений модернизированный (ГИС-ВН-2М). Руководство оператора БГЛИ.30521-01 34 01. Мн. : ОИПИ НАН Беларуси, 2023. 312 с.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В ЦЕЛЯХ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**А. О. Богданов¹⁾, О. В. Руденков²⁾, А. С. Черенко³⁾,
М. И. Кричевцов⁴⁾**

*¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, artem10042000@gmail.com*

*²⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, o-rudenkov@mail.ru*

*³⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, cherenko@bsu.by*

*⁴⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, bsu.mf@bk.ru*

В данной статье авторами произведён сравнительный анализ фотограмметрического оборудования и лидаров для беспилотных летательных аппаратов мультикоптерного типа, сравнительная характеристика методов фотограмметрии и воздушного лазерного сканирования. Представлена методика обработки результатов совместных аэрофотосъёмки и воздушного лазерного сканирования в специальном программном обеспечении «Agisoft metashape professional» для получения геопривязанного ортофотоплана местности.

Ключевые слова: agisoft metashape; фотограмметрия; топогеодезическое и навигационное обеспечение; воздушное лазерное сканирование.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITIES OF USING AIR-BASED LASER SCANNING FOR THE PURPOSES OF THE ARMED FORCES OF THE REPUBLIC OF BELARUS

**A. O. Bogdanov¹⁾, O. V. Rudenkov²⁾, A. S. Cherenko³⁾,
M. I. Krichevtsov⁴⁾**

*¹⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4,
220030, Minsk, Belarus, artem10042000@gmail.com*

*²⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4,
220030, Minsk, Belarus, o-rudenkov@mail.ru*

*³⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4,
220030, Minsk, Belarus, cherenko@bsu.by*

*⁴⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti av., 4,
220030, Minsk, Belarus, bsu.mf@bk.ru*

In this article, the authors performed a comparative analysis of photogrammetric equipment and lidars for multicopter unmanned aerial vehicles, a comparative description of

photogrammetry and airborne laser scanning methods. A technique for processing the results of joint aerial photography and airborne laser scanning in special software is presented. A method for processing the results of joint aerial photography and airborne laser scanning in special software «Agisoft metashape professional» to obtain a georeferenced orthomosaic of the area is presented.

Keywords: agisoft metashape; photogrammetry; topogeodetic and navigation support; airborne laser scanning.

Создание фотодокументов местности в навигационно-топографической службе Вооруженных Сил Республики Беларусь является одним из видов работ по топогеодезическому и навигационному обеспечению боевых действий. Применение современных технологий при создании фотодокументов местности позволяет значительно сократить время составления и стоимость конечного продукта.

Существует множество направлений по увеличению качества итогового материала, а именно:

- изучение и оценка новейших фотокамер и лидаров для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА);
- сравнение технических возможностей систем съёмки местности с БПЛА;
- изучение, оценка и сравнение технологий воздушного лазерного сканирования (LiDAR) и фотограмметрии при создании фотодокумента местности;
- изучение и оценка программных продуктов при подготовке материалов, по которым составляется фотодокумент местности, и др.

Новейшие решения, представленные на рынке, позволяют получать высококачественные и высокоточные материалы, которые могут быть использованы в целях топогеодезического обеспечения боевых действий ВС РБ. Некоторые из доступных решений представлены в таблице 1, где приведены сравнительные характеристики фотограмметрического и лидарного оборудования для БПЛА [1-4]. В зависимости от занятого места по каждой характеристике присвоены значения от 1 до 4 для составления рейтинга сравнения, где наибольший набранный балл имеет наилучшее место.

Таблица 1

Сравнительная характеристика фотограмметрического оборудования

Характеристика	DJI Zenmuse L1	TOPODRONE Avia	DJI Zenmuse P1	DJI Zenmuse H20
Общие характеристики				
Размеры, мм	152×110×169	-	198×166×129	150×114×151

Окончание табл. 1

Характеристика	DJI Zenmuse L1	TOPODRONE Avia	DJI Zenmuse P1	DJI Zenmuse H20
Вес, г	900	800	787	678
Класс защиты	IP44	IP67	IP4X	IP44
Диапазон рабочих температур, °C	От -20 до +50	От -20 до +65	От -20 до +50	От -20 до +50
LiDAR				
Одноканальный возврат, точек/с	240000	240000	-	-
Многоканальный возврат, точек/с	480000	480000-720000	-	-
Точность, см	3	5	-	-
Горизонтальный угол обзора, °	70,4	70,4	-	-
Вертикальный угол обзора, °	77,2	77,2	-	-
Класс лазера	1	1	-	-
RGB камера				
Количество пикселей, Мп	20	-	45	20
Размер фото	5K	-	8K	6K
Хранение данных, Гб	256	128	128	128
Другое				
Встроенный ГНСС	+	+	-	-
Подвес	3-х осевой стабилизатор	Закреплён	3-х осевой стабилизатор	3-х осевой стабилизатор
Рейтинг сравнения				
Общие характеристики	10★	9★	10★	6★
LiDAR	7★	7★	14★	14★
RGB камера	5★	9★	4★	6★
Другое	2★	3★	3★	3★
ИТОГО	28★	32★	34★	32★
Цена, BYN	39900	40000	26590	20550

Таким образом, анализируя результаты рейтинговой таблицы заметно, что стоимость лидаров значительно выше, чем стоимость примерно равного ему фотограмметрического оборудования, однако примене-

ние технологии LiDAR открывает совершенно новую, перспективную область развития создания фотодокументов местности, увеличивает количество и качество получаемой цифровой информации о местности (ЦИоМ). Информация, полученная в ходе лазерного сканирования способна обойти большую часть маскировки вероятного противника, а также может быть получена в любых погодных условиях, будь то облачность, туман, дымка, либо же ночные съёмки, что вызывает элемент внезапности при рекогносцировке местности. Решение DJI Zenmuse L1 компании DJI открывает возможности объединения миссий и результатов фотограмметрии и лазерного сканирования, благодаря встроенной 1-дюймовой 20Мп камере, что по мнению авторов является предпочтительным решением для выполнения специальных задач по получению высококачественных трёхмерных моделей местности, однако из-за своей высокой стоимости слабо применим в Вооруженных Силах Республики Беларусь.

Использование технологий LiDAR и классической фотограмметрии в объединённом решении позволяет значительно увеличить качество и точность итоговой модели. На основании открытых источников информации [5] составлена сравнительная таблица фотограмметрии и лидарной съёмки (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная характеристика технологий классической фотограмметрии и воздушного лазерного сканирования

Лидарная съёмка	Фотограмметрия
Преимущества	
+ Наивысшая точность съёмки; + Возможность снимать труднодоступные участки местности (под пологом леса, игнорируя простые маскировочные средства); + Отсутствие необходимости дневного света при съёмке (ночные съёмки); + Наибольшая детализация малых объектов.	+ Высокая ценовая доступность; + Интуитивно понятные результаты фотосъёмки; + Сравнительно низкая стоимость оборудования и специального программного обеспечения; + Более гибкий подход к методике выполнения съёмки, следовательно, и ниже квалификация кадров.
Недостатки	
- Высокая стоимость оборудования; - Сложность в интерпретации данных и как следствие необходимость высококвалифицированных кадров; - Громоздкость оборудования вызывает необходимость использования более мощных (следовательно, и дорогих) дронов.	- Точность сильно зависит от камеры и самого дрона (с уменьшением стоимости оборудования сильно уменьшается качество получаемой информации); - Востребованность благоприятных погодных условий (отсутствие пыли, дымки, тумана, облачного покрова и т.д.).

Таким образом заметно, что не существует наиболее универсального решения поставленных задач с использованием только одного метода получения ЦИюМ. Наивысшей точности и качества фотодокумента местности, а также наиболее целостный фотодокумент можно получить только в объединении технологий LiDAR и фотограмметрии. Данные технологии и методики получения ЦИюМ не являются взаимоисключающими, напротив, они качественно дополняют друг друга, позволяя проводить разведку позиций противника интегрировано, с разных сторон и точек зрения, обследуя как внешние маскировочные свойства, путём фотограмметрии, так и скрытые, путем лазерного сканирования.

Итогом работ при проведении аэрофотосъёмки является геопривязанный ортофотоплан. По результатам съёмки местности с БПЛА мультикоптерного типа, представленного дроном DJI Matrice 300 [6] с подвесом DJI Zenmuse L1 получено облако точек, снимки в надир и наклонные снимки на ~2га территории вблизи города Минск. Данные результаты уже имеют географическую привязку, подготовлены для дальнейшей обработки в специализированном программном обеспечении (СПО). В качестве СПО для создания ортофотоплана выбран «Agisoft metashape professional» [7], позволяющий обработать как облако точек, полученное в процессе лазерного сканирования, так и провести фотограмметрическую обработку снимков. Полученная модель объединяет в себе достоинства обоих методов для получения наиболее качественного и позиционно точного представления участка Земли на плоскости. Точность геодезической привязки обеспечивается использованием технологии кинематики в реальном времени [8], обеспечивающая точность позиционирования в плане до 5 см и по высоте до 10 см. Точность пространственной привязки итоговой модели благодаря применению технологии LiDAR значительно выше, и составляет порядка 1 см, что позволяет использовать итоговые ортофотопланы в целях геодезии.

Экспорт облака точек осуществляется путём вызова меню «Файл – Экспорт – Экспорт облака точек» (рис. 1).

Для загрузки снимков необходимо вызвать меню «Добавить снимки». Для снимков требуется выполнить выравнивание путём вызова программы «Обработка – Выравнивание снимков». Точность выравнивания указывается в зависимости от мощности ЭВМ, остальные параметры по умолчанию. Далее необходимо построить результирующую модель, где за основу взято облако точек.

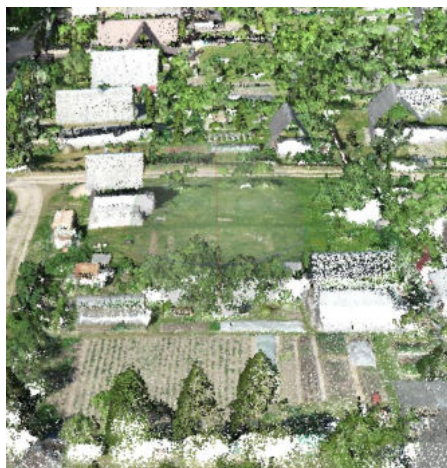


Рис. 1. Облако точек, полученное в результате воздушного лазерного сканирования

Тип поверхности выбирается в зависимости от необходимого конечного результата: ЦММ или ортофотоплан. Количество полигонов аналогично выравниванию снимков выбирается в зависимости от вычислительных мощностей. Этот этап обработки исходных данных наиболее требователен к мощностям – происходит самое продолжительное время. Полученная модель представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Полигональная модель местности

Итоговой частью обработки является подготовка геопривязанного ортофотоплана «Обработка – Построить ортофотоплан». Имеется возможность перепроецировать ортофотоплан в необходимую систему координат. Работа выполняется в исходной системе координат WGS-84. Скорость со-

здания ортофотоплана, его пространственное разрешение зависят от точности выравнивания снимков и количества полигонов модели. При средней точности и низком количестве полигонов получен геопривязанный ортофотоплан с разрешением 2,6 см/пиксель. Итоговый ортофотоплан представлен на рисунке 3.

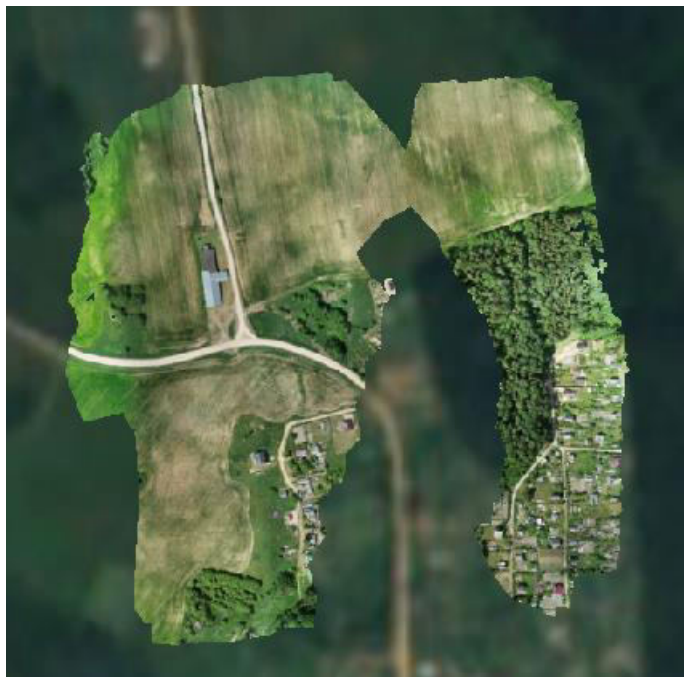


Рис. 3. Ортофотоплан местности.

Подводя итог, следует заметить, что предложенное решение является очень дорогостоящим и излишним по качеству для создания ортофотоплана в целях картографирования территорий. Наиболее применим для проведения узкоспециализированных работ по созданию высококачественных трёхмерных моделей местности, а также в инженерно-геодезических целях.

Библиографические ссылки

1. Лидар DJI Zenmuse L1 с лазером Livox Lidar / Интернет-магазин coptermarket [Электронный ресурс]. URL: <https://coptermarket.by/dji-shop/drones/promyshlennyye-kvadroptery/lidar-dji-zenmuse-l1> (дата обращения: 24.10.2024).
2. Лидар Topodrone AVIA / Интернет-магазин topodrone [Электронный ресурс]. URL: <https://topodrone.ru/product/lidar/162/1266/> (дата обращения: 24.10.2024).
3. Подвес с камерой и лазерным дальномером DJI Zenmuse H20 / Интернет-магазин DJI [Электронный ресурс]. URL: https://dji-minsk.by/catalog/ronin-series/podves_s_kameroj_i_lazernym_dalnomerom_dji_zenmuse_h20/ (дата обращения: 24.10.2024).

4. Камера Zenmuse P1 / Интернет-магазин coptermarket [Электронный ресурс]. URL: <https://coptermarket.by/dji-shop/drones/promyshlennye-kvadrokoptery/zenmuse-p1> (дата обращения: 24.10.2024).

5. Лидар против фотограмметрии / Интернет-магазин coptermarket [Электронный ресурс]. URL: <https://coptermarket.by/lidar-vs-photogrammetry> (дата обращения: 24.10.2024).

6. *Богданов А. О., Руденков О. В.* Преимущества применения квадрокоптера для топогеодезической привязки позиции войск / Геоинформационные системы военного назначения: теория и практика применения : материалы IX Респ. науч.-практ. конф., Минск, 12 мая 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. М. Бахарь (гл. ред.) [и др.] ; под общ. ред. А. С. Черенко. Минск : БГУ, 2023. С. 84–90.

7. *Щукина О. Г., Рузиев А. С., Эргашев М. З.* Использование БПЛА Geoscan 201 для съемки линейного объекта трассы Хива-Ургенч //ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. № 1. С. 430–440.

8. *Захлебин А. С.* Методика построения ортофотопланов местности с помощью беспилотного квадрокоптера, оснащенного навигационным геодезическим приемником //Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2021. Т. 24. № 3. С. 44–49.

ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВНУТРИПОЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ НА ПОЛЕ ОАО «КОШЕЛЕВО-АГРО» ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ВНЕСЕНИЮ МЕЛИОРАНТОВ

М. В. Воробей, А. Ф. Савко, А. Л. Киндеев

*Белорусский государственный университет, проспект Независимости, 4,
220030, Минск, Беларусь, geo.vorobeyMV@bsu.by*

В статье рассмотрены основные этапы картографирования агрохимических свойств с использованием геостатистического метода на примере почвенной кислотности. Выполнено сравнение классического и геостатистического подходов к картографированию кислотности почв для исследуемой территории. Сравнение основано на следующих критериях: стоимость отбора проб и лабораторного анализа, а также затраты на проведение известкования.

Ключевые слова: геостатистический анализ; точное земледелие; почвенная кислотность; вариограммный анализ; внесение мелиорантов.

GEOSTATISTICAL ANALYSIS OF INTRA-FIELD HETEROGENEITY OF SOIL ACIDITY IN THE FIELD OF JSC «KOSHELEVO-AGRO» FOR AMELIORANT APPLICATION WORKS

M. V. Vorobey, A. F. Savko, A. L. Kindeev

*Belarusian State University, prospect Nezavisimosti, 4,
220030, Minsk, Belarus, geo.vorobeyMV@bsu.by*

The article considers the main stages of mapping of agrochemical properties using geostatistical method on the example of soil acidity. The comparison of classical and geostatistical approaches to soil acidity mapping for the study area is carried out. The comparison is based on the following criteria: the cost of sampling and laboratory analysis, as well as the cost of liming.

Keywords: geostatistical analysis; precision agriculture; soil acidity; variogram analysis; ameliorant application.

Показатель кислотности почвы является важным критерием её плодородия, поскольку оказывает существенное влияние на состояние почвенной среды, рост и развитие сельскохозяйственных культур. Уровень pH напрямую определяет доступность питательных веществ для растений, влияя на усвоение ключевых микро- и макроэлементов. При отклонении

кислотности от оптимального диапазона снижается эффективность использования удобрений, что может негативно сказаться на урожайности [1]. Поэтому управление уровнем кислотности почвы является важным элементом обеспечения стабильной продуктивности сельского хозяйства.

Для анализа пространственной изменчивости агрохимических свойств, включая почвенную кислотность, на локальном уровне одним из передовых решений является применение методов геостатистики, которые входят в арсенал технологий точного земледелия. Геостатистика представляет собой научный подход, базирующийся на теории вероятностей, который позволяет моделировать пространственные и временные процессы, анализировать их структуру и закономерности. Использование этого инструмента даёт возможность создавать более точные прогнозы, классифицировать данные и проводить их интерпретацию с минимальной погрешностью [2].

Объектом для данного исследования выступают почвы рабочего участка, расположенного вблизи деревни Милевцы, на территории ОАО «Кошелево-Агро» Новогрудского района, Гродненской области. Предметом исследования является пространственная неоднородность кислотности почв. Почвенный покров участка отличается значительной сложностью как по типам почв, так и по происхождению почвообразующих пород. Здесь представлены дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные почвы. Большая часть территории имеет моренное происхождение, однако в северо-западной части поля встречается лессовидное подстиление, а также мелко-контурные ареалы дерново-карбонатных почв.

Гранулометрический состав участка представлен преимущественно связно-супесчаными почвами, со средним содержанием гумуса около 1,5 %. Участок характеризуется сложным рельефом с перепадом высот 38 м и расположен на склоне. Общая площадь рабочего участка составляет 180,7 га.

Отбор проб осуществлялся в середине сентября, после завершения уборки урожая тритикале. Пробы почвы отбирались с глубины 0–20 см по заранее разработанной сетке с интервалом 70 м между точками отбора (рис. 1). В общей сложности было отобрано 343 образца, что соответствует плотности пробоотбора около 2 образцов на 1 га. Определение pH солевой вытяжки проводилось в соответствии с методом ЦИНАО (ГОСТ 26483) с использованием pH-метра-милливольтметра pH-150M.

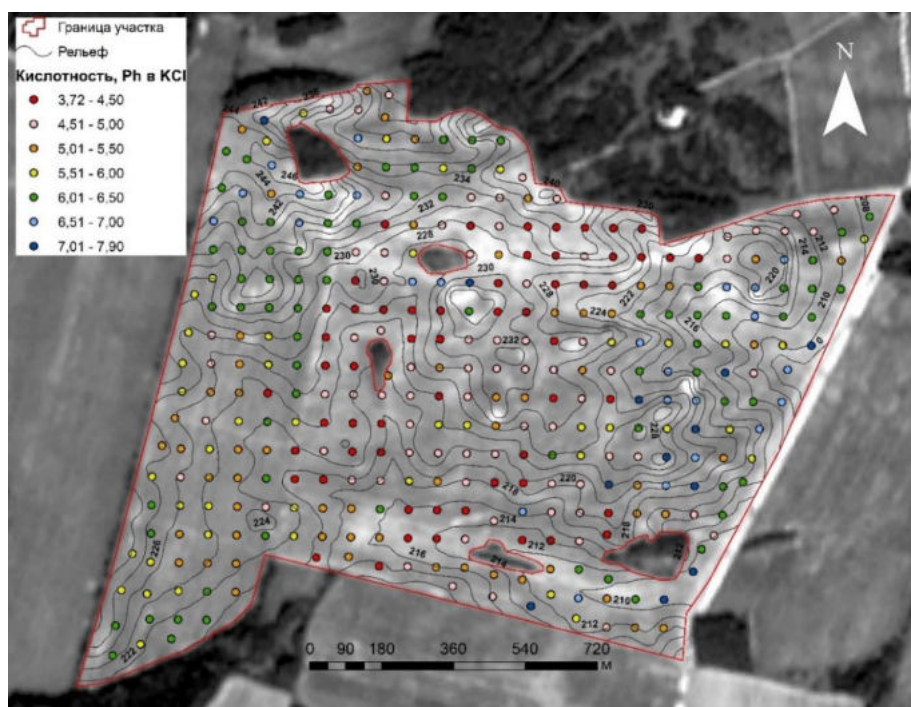


Рис. 1. Сетка точек отобранных образцов

На основании статистической обработки данных была построена гистограмма распределения (рис. 2), которая свидетельствует об отклонении ряда данных от нормального распределения. Глобальные пространственные тренды, представленные на рисунке 2 (справа), демонстрируют закономерности изменения значений кислотности в пределах участка. Гистограмма отражает концентрацию «ядра» данных в диапазоне 4,84–6,60 pH_{KCl} , что указывает на отклонение по эксцессу. Отсутствие островершинных пиков в распределении подтверждает отрицательное значение данного показателя.

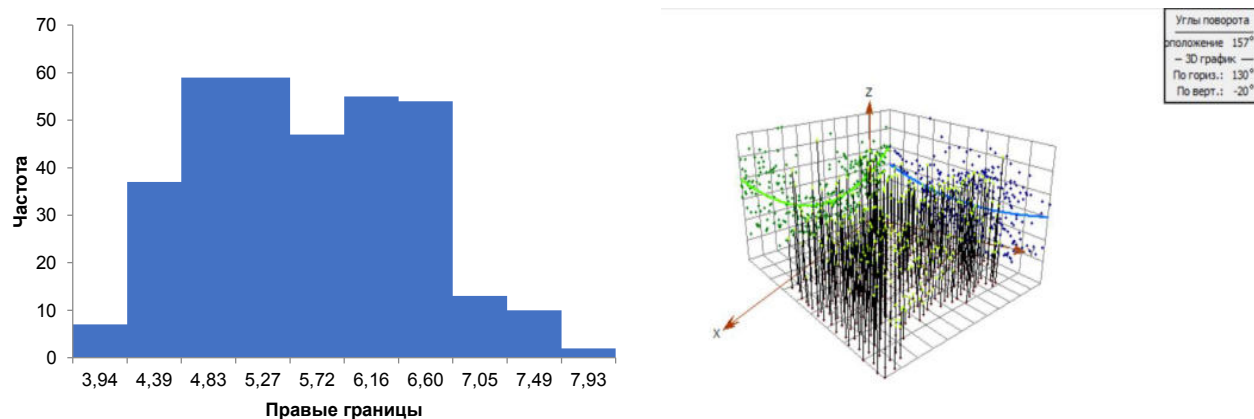


Рис. 2. Слева – гистограмма распределения данных; справа – линии тренда

На основе полученных данных была построена экспериментальная вариограмма, представляющая собой дискретный набор точек, который требует аппроксимации для использования в алгоритмах построения картограмм. Для этой цели используется теоретическая вариограмма — математическая функция, описывающая пространственную зависимость данных [3]. При корректном подборе теоретической вариограммы она точно отражает поведение анализируемых данных, что является ключевым этапом геостатистического моделирования.

В процессе подбора теоретической вариограммы были использованы экспоненциальная модель и модель J-Бесселя (рис. 3). Такой выбор обусловлен сложностью пространственного распределения кислотности почвы, требующей использования нескольких моделей для адекватного описания данных. Комбинированное применение обеих моделей позволяет учитывать как малый, так и большой радиус влияния, что значительно повышает точность интерполяции и качество полученных картографических материалов.

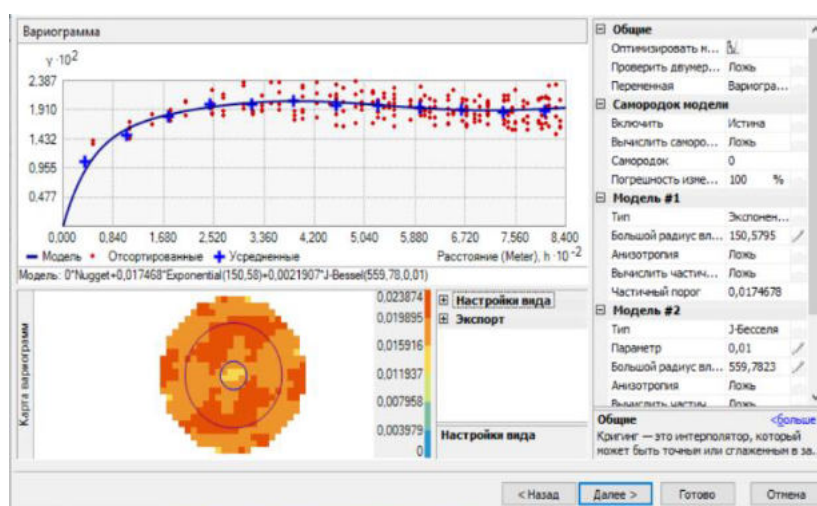


Рис. 3. Теоретическая вариограмма

В результате выполненного анализа была построена картограмма кислотности (рис. 4). Визуально выявлено параболическое распределение кислотности, характеризующееся более нейтральными значениями на периферийных участках и более кислыми почвами в центральной зоне. Эти особенности особенно заметны вдоль направлений юго-запад — северо-восток и северо-запад — юго-восток.

На участке также наблюдаются мелкоконтурные области с нейтральной или даже слегка щелочной реакцией среды, что обусловлено близким залеганием карбонатных пород. Такие локальные вариации демонстри-

руют значительную пространственную неоднородность почвенного покрова. Однако классический метод картографирования сглаживает эти детали, обобщая данные и не учитывая мелкомасштабные изменения, что снижает точность оценки состояния участка.

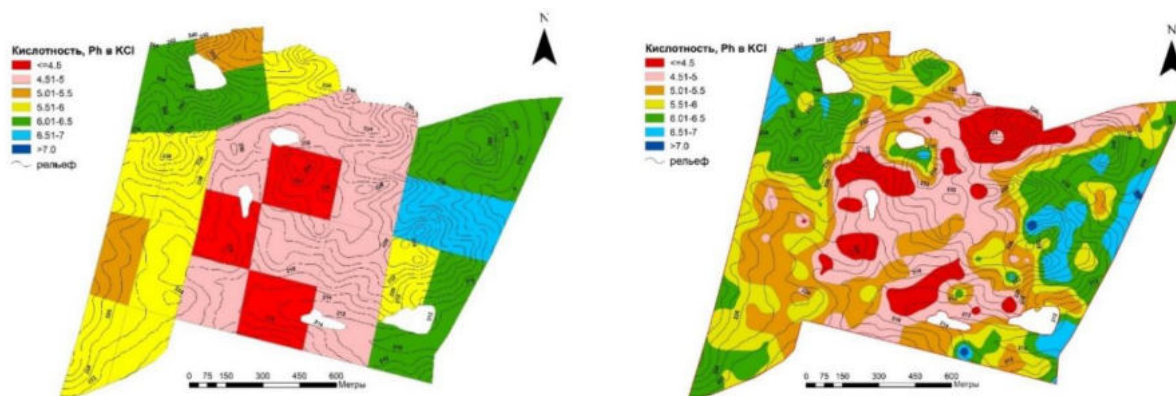


Рис. 4. Картограмма кислотности (слева – построенная классическим методом; справа – с применением методов геостатистики)

Для отбора проб и проведения лабораторных анализов при использовании геостатистического метода было затрачено в 2,75 раза больше средств по сравнению с классическим подходом. Затраты на внесение мелиоранта при применении геостатистического метода увеличились на 457 рублей, что составляет прирост в 1,2 %. При этом обрабатываемая площадь выросла на 6,5 га.

Однако при классическом методе из 461,5 тонны CaCO_3 , внесенных на поле, 127 тонн (27,5 %) были потрачены на переизвесткование, что не только неэффективно, но и может привести к избыточному подщелачиванию почвы. Это может вызвать дефицит микроэлементов, таких как железо, марганец, медь и цинк, поскольку их доступность для растений значительно снижается при повышении pH. Более того, на рабочем участке останутся недообработанные зоны, что приведет к необходимости дополнительного внесения 132,3 тонны мелиоранта для компенсации недостатка. Для проведения известкования на данном рабочем участке, с учетом затрат на отбор проб и лабораторные анализы, потребовалось бы 39 976 руб. по классическому методу и 40 935 руб. по геостатистическому методу. В пересчете на гектар, эти затраты составляют 221 руб./га и 227 руб./га соответственно. Расчеты проводились по инструкции по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель [4].

При этом более точный учет кислотности с использованием геостатистического метода позволит выровнять значения pH на участке в течение

ние нескольких лет, что приведет к увеличению урожайности и, соответственно, прибыли. В случае использования традиционных методов внесения химических средств, различия в значениях кислотности на участке будут только увеличиваться, что приведет к снижению общей урожайности с поля.

Библиографические ссылки

1. Плодородие почв – основа продовольственной безопасности государства: Материалы VI съезда Белорусского общества почвоведов и агрохимиков, Минск, 21 июля 2022 г. / Институт почвоведения и агрохимии, Белорусское общество почвоведов и агрохимиков; редкол.: Ю. К. Шашко [и др.]. Минск : Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. С. 54–58.

2. Кынашев С. К., Баранов С. А. Основные элементы и понятия геостатистики. Республика Казахстан, 2015. 15 с.

3. Клебанович Н. В., Киндеев А. Л., Сазонов А. А. Геостатистический анализ при картографировании пространственной неоднородности влажности и кислотности почв // Геосферные исследования. 2021. № 3. С. 80–91.

4. Инструкция по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель / В. В. Лапа [и др.]. Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2019. 31 с.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ЕГО ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

М. Е. Гуляй, А. Л. Киндеев

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, iexakshalf@gmail.com*

В работе приведены результаты применения методики спектрального анализа для определения иерархических уровней рельефа территории Республики Беларусь. В результате исследования выделены 9 иерархических уровней рельефа и получены карты, отображающие формы рельефа каждого уровня. Обнаружено соотношение расположения крупнейших форм рельефа и глубины залегания кристаллического фундамента.

Ключевые слова: масштаб; иерархия; пространственный анализ; спектральный анализ; генезис рельефа; соподчинённость.

SPECTRAL ANALYSIS OF THE RELIEF OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND ITS GEOINFORMATION INTERPRETATION

M. E. Gulyay, A. L. Kindeev

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, iexakshalf@gmail.com*

The paper presents results the use of spectral analysis techniques to determine the hierarchical levels of the relief of the territory of the Republic of Belarus. As a result of the study, 9 hierarchical relief levels were identified and maps showing the relief forms of each level were obtained. Discovered the relationship between the location of the largest relief forms and the depth of the crystalline basement.

Keywords: scale; hierarchy; spatial analysis; spectral analysis; relief genesis; subordination.

Иерархическая организация природы есть прямое следствие закона преобразования энергии и информации. Форма перераспределения вещества, энергии и информации определяется конкретными механизмами. В физических системах они связываются с различными формами нелинейной динамики и порождают дискретно-волновые структуры в соответствующей полосе пространственно-временных частот – иерархические уровни [1]. В географическом смысле иерархические уровни есть масштаб, в пределах которого какие-либо факторы порождают объекты или явления. В рамках исследования это масштаб проявления геоморфологических факторов и форм рельефа.

Практический смысл пространственного анализа через призму теории сигнала заключается в выявлении правил, порождающих иерархию, и использовании этих правил для решения практических задач согласования изображений на картах различного масштаба, выбора масштаба для составления физических и иных карт различного целевого назначения, для создания основы для изучения и описания механизмов, порождающих иерархию, для определения морфометрических характеристик различных форм рельефа и на основе этого прогнозирование его дальнейшего развития (например, протекания эрозионных и гравитационных процессов) [2].

Вопрос о методах генерализации рельефа на картографических произведениях возник вместе с появлением картографии как дисциплины и не теряет актуальности до сих пор. Также остро стоит вопрос о генерализации рельефа при прогнозном моделировании различных природных явлений, для которых рельеф выступает в качестве среды и/или фактора. Исходя из актуальности вышеописанных вопросов, исследование ставит целью апробацию методики спектрального анализа рельефа применительно к территории Республики Беларусь.

В качестве исходных данных для спектрального анализа была использована цифровая модель рельефа (ЦМР) Airbus WorldDEM4Ortho с пространственным разрешением (размером ячейки) в 50 м, абсолютной вертикальной точностью <4 м [3]. Из ЦМР вычтены высоты лесов, зданий, сооружений, антропогенного рельефа. Для первичного анализа Фурье был использован плагин Fourier Transform для QGIS и ПО QGIS 3.32.3. Рассчитанный при помощи плагина спектральный образ рельефа экспортируется в виде csv-таблицы. Таблица содержит переменные: волновые числа (W), периоды (P), частоты (F), мощность спектра (SP) тренд (Tr) и остатки (R). Также плагин рассчитывает константы в уравнении зависимости логарифма спектра от логарифма частоты колебания:

$$\ln (Sp) = a + b * \ln \frac{1}{P} \quad (1)$$

где – а – первая константа; b – вторая константа; P – период.

Из второй константы b рассчитывается фрактальная размерность D по формуле [4]:

$$D = \frac{5-b}{2} - 1 \quad (2)$$

В ПО STATISTICA производится выделение из отклонений от линии регрессии спектра трендовой составляющей: 1) в новом столбце

рассчитывается натуральный логарифм от частоты $\ln(F)$; 2) при помощи инструмента General Regression выделяется полиномиальный тренд. Отклонения от полиномиального тренда подвергаются спектральному анализу (инструмент Time Series Analysis – Spectral (Fourier) Analysis).

На основе значимых пиков на полученной из анализа периодограмме определяются показатели масштаба форм рельефа разных иерархических уровней [4]. Далее в ArcMap 10.8 при помощи инструмента «Фокальная статистика», рельеф усредняется окнами сглаживания, размеры которых указываются, как определённые значимыми пиками периодограммы последнего анализа. В результате сглаживания рельефа получаются карты, отображающие геоморфологические формы каждого определённого иерархического уровня.

На рисунке 1 изображена периодограмма спектра рельефа Беларуси и его линии регрессии (слева), а также отклонения от линии регрессии спектра (справа). Линейная зависимость логарифма спектра от логарифма частоты указывает на фрактальность структуры рельефа.

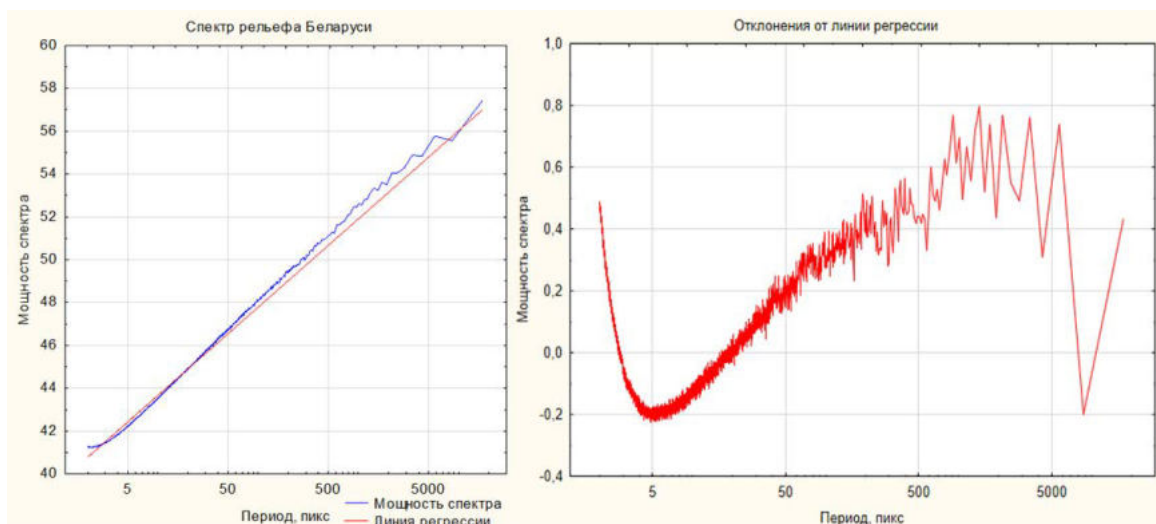


Рис. 1. Спектр рельефа Республики Беларусь (слева) и отклонения от спектра рельефа (справа)

Вторая константа (b) определена при помощи плагина Fourier Transform и равняется 1,789, а фрактальная размерность (D) – 1,605. Полученное значение фрактальной размерности соответствует «бурому шуму», который описывает рельеф, преимущественно определяемый эрозионной системой, близкой к равновесию [2].

Стоит обратить внимание на то, что значения периодов измеряются в пикселах (ячейках) исходной ЦМР. Таким образом, величина периодов (масштабов) форм рельефа на местности в метрах есть произведение значения периода в пикселах на разрешение ЦМР (50 м).

На рисунке 2 приведен график отклонения от линии регрессии спектра с полиномиальным трендом (слева) и периодограмма дисперсии отклонения от этого тренда (справа).

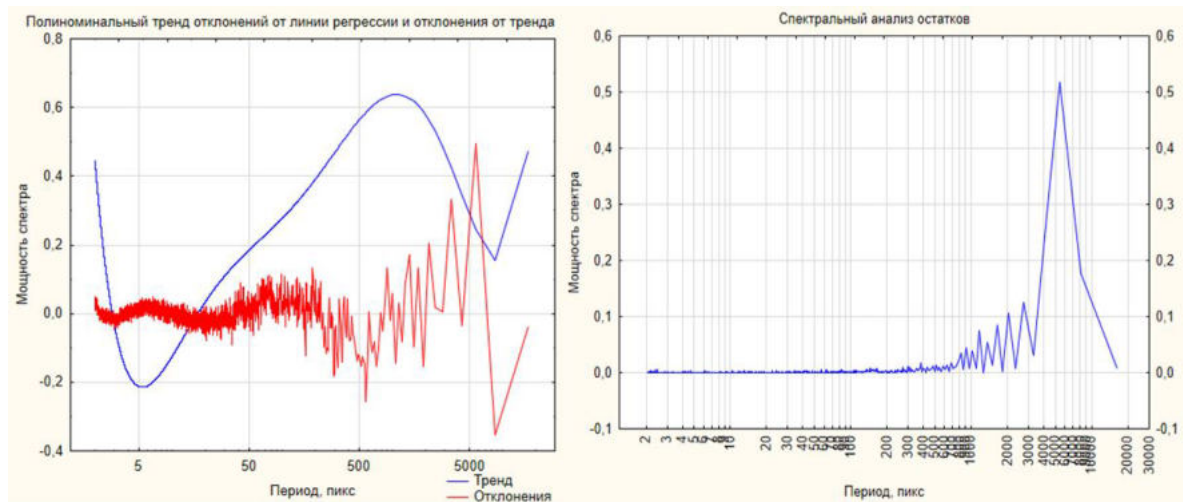


Рис. 2. Полиномиальный тренд и отклонения от него (слева) и дисперсия отклонений от полиномиального тренда (справа)

График отклонений от тренда имеет вид холмов, осложнённых вложенными пиками-зубцами – вид бурого шума, при этом разброс значений растёт с увеличением периода.

Точки экстремума полиномиального тренда (синяя линия на рисунке слева) соответствуют границам воздействия различных геоморфологических факторов. Предположительно, участок от 5,4 до 1080 ячеек описывает формирование рельефа под действием водотоков и эрозионных процессов, участок с периодом от 1080 ячеек и крупнее отражает зависимость рельефа от деятельности ледников, в первую очередь – сожского оледенения.

Осложнение формы («бугор» возле периода в 50 пикселей) графика тренда на этом участке может быть вызвано гляциоизостатическим поднятием после отступления поозерского ледника и последующим изменением базиса эрозии, деятельностью талых вод поозерского ледника, либо совокупностью этих факторов.

Высокочастотный «хвост» тренда (период менее 5,4 ячеек) всегда возникает при спектральном анализе рельефа и имеет неизученную на данный момент природу. Предположительно, это проявление шумов, вызванных погрешностями измерения или иными техническими свойствами моделей рельефа.

Периодограмма дисперсии отклонений от полиномиального тренда позволяет выделить статистически значимые пики, отражающие иерархические уровни организации рельефа. На основе этого графика для выделения иерархических уровней были отобраны следующие значения периода: 5460, 2730, 2048, 1638, 1170, 318, 168, 57, 18 пикселей (273000, 136500, 102400, 81900, 58500, 19050, 8250, 2850, 900 м соответственно). Которые в свою очередь можно разделить на низкочастотные (5460 пикселей), среднечастотные (2730–381) и высокочастотные (168–18) колебания (рис. 3).

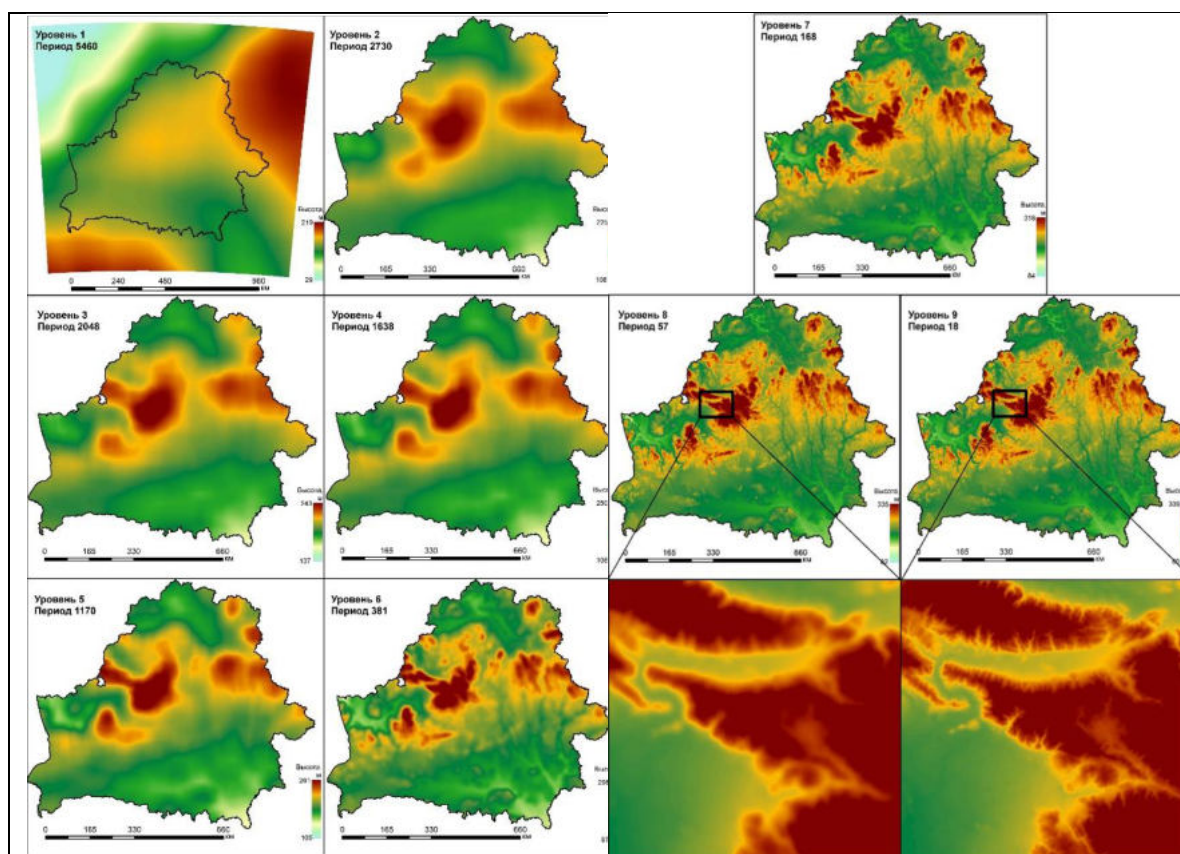


Рис. 3. Иерархические уровни рельефа Республики Беларусь

Рельеф на первом иерархическом уровне (период 5460 пикселей) отображает крупнейшие формы рельефа – возвышенности и низменности Русской равнины. Значения высот этой карты прямопропорциональны значениям глубин залегания кристаллического фундамента на этой территории. На втором иерархическом уровне (период 2730) выделяется Белорусская гряда и крупнейшие низменности – Полесская, Приднепровская, Полоцкая и Нёманская. На картах 3, 4 уровня (периоды 2048 и 1638) выделяются Витебская и Городокская возвышенности, а также Центральноберезинская и другие равнины. На

5 уровне (период 1170) становятся различимы небольшие по высоте и площади возвышенности и гряды краевых ледниковых формирований днепровского, сожского и поозерского оледенений, а также долины крупнейших рек.

Иерархические уровни 6, 7, 8 (периоды 318, 168, 57) отражают отдельные группы форм и формы мезорельефа: отдельные возвышенности и гряды, формы их склонов, а также долины рек, являющиеся притоками главных рек разных порядков (чем меньше период – тем меньше водотоки). На карте 9 иерархического уровня становятся различимы элементы овражно-балочной эрозионной сети.

Методика спектрального анализа рельефа позволила выделить 9 иерархических уровней организации рельефа, обусловленных действием исторических и современных геоморфологических факторов. Исходя из этого можно отметить перспективность применения спектрального анализа для изучения различных пространственных характеристик местности в различных масштабах. Полученные в результате этого или аналогичных исследований данные могут быть использованы в оптимизации работ по генерализации рельефа при производстве картографических произведений или моделировании различных природных процессов, лечь в основу создания иерархически соподчиненной, математически обоснованной иерархической типологии рельефа Беларуси, и как следствия – нового районирования.

В свою очередь такая схема районирования позволит детально выявить географическую локализацию, масштабы и причины проявления негативных геоморфологических процессов и предложить рекомендации по минимизации их негативного воздействия.

Библиографические ссылки

1. Пузаченко Ю. Г., Котлов И. П., Кренке А. Н. Теоретико-методологические основания исследования иерархии в географии и экологии // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов. М. : Истоки, 2018.
2. Пузаченко Ю. Г., Дьяконов К. Н., Алещенко Г. М. География и мониторинг биоразнообразия. Разнообразие ландшафта и методы его измерения // Издательство Научного и учебно-методического центра, 2002. С. 76–101.
3. WorldDEM4Ortho Technical Product Specification [Электронный ресурс]. URL: <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2018-10-worlddem-now-entirely-edited-and-available-via-streaming> (дата обращения: 10.10.2024).
4. Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях: Учеб. пособие для студ. вузов. М. : Издательский центр «Академия», 2004. С. 339–397.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОГОДЫ НА ОСНОВАНИИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ L-ДИАПАЗОНА

Д. И. Гумерова, В. Е. Гершензон, В. И. Жернаков

*Уфимский университет науки и технологий, ул. Заки Валиди, 32,
45007, г. Уфа, Россия, rector@uust.ru*

Данная работа посвящена теме автоматизированной обработки космических снимков для составления прогнозов погоды на судах. Для приема космической информации использовался аппаратно-программный комплекс с патч-антенной. Результатом работы являются два продукта: погодный веб-ГИС-сервис, содержащий данные, принятые с помощью патч-антенны, и методическое пособие.

Ключевые слова: геоинформационные технологии; дистанционное зондирование Земли, аппаратно-программный комплекс (АПК) приема спутниковой информации в L-диапазоне; веб-ГИС-сервис.

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR OPERATIONAL WEATHER FORECASTING BASED ON L-BAND SATELLITE DATA

D. I. Gumerova, V. Y. Gershenzon, V. I. Zhernakov

*Ufa University of Science and Technology, Zaki Validi Av., 32,
45007, Ufa, Russia, rector@uust.ru*

This paper is devoted to the topic of automated processing of satellite images for making weather forecasts on ships. A hardware-software complex with a patch antenna was used to receive space information. The result of the work is two products: weather web-GIS-service containing data received with a patch-antenna and methodical manual.

Keywords: geoinformation technologies; remote sensing, hardware-software complex (HSC) of satellite information reception in L-band; web-GIS-service.

Проблема качественного оперативного спутникового метеобеспечения мореплавания в Арктических морях становится все более актуальной в связи с растущими темпами перевозок, туризма, исследований и освоения Арктической зоны и всего Мирового океана [1]. Традиционные методы зачастую недостаточно детальны и своевременны, прием передаваемой через геостационарные ретрансляторы информации затруднен в силу полярной локации акваторий. Судна не оснащены комплексами приема спутниковых данных для оперативного мониторинга погоды – прогноз

экипажам кораблей отправляют службы, находящиеся на берегу. Но передача информации с берега на борт занимает несколько часов, за это время погодная ситуация меняется, и прогноз не всегда остается актуальным [2].

Целью данной работы является разработка и составление метеорологических прогнозов с использованием технологии приема спутниковых данных в L-диапазоне на аппаратно-программном комплексе (далее АПК) с патч-антенной с использованием системы датчиков курса с последующей их программной обработкой. Применяемая патч-антенна, наиболее эффективна для приема информации на судне из-за небольших размеров и энергоэффективности. В отличие от существующих стандартных станций на подвижных платформах, в комплексе используется не гироплатформа, а аппаратно-программная система компенсации крена и динамической ориентации по направлению на север. Антенна принимает снимки в автоматическом режиме. Данное оборудование было предоставлено ООО «Лоретт» в рамках образовательной программы «Большие вызовы» в образовательном центре «Сириус» (рисунок).



АПК с патч-антенной

Для составления метеорологических прогнозов были использованы космические снимки, принятые патч-антенной. Информация поступает со спутника в виде зашифрованного сигнала и автоматически декодируется станцией. Полученные данные проходят дополнительную постобработку в программе Lorette для дальнейшей работы с ними при помощи прикладной программы SNAP. Итоговый снимок Земли – это многослойная структура, содержащая данные радиолокационной и фотосъемки. По ним можно узнать водозапасы облаков, увидеть слои и типы льдов, циклоны и зоны повышения температуры, а также множество другой информации. Это поможет избежать серьезных катастроф на море.

На обработку и анализ спутникового снимка требуется несколько минут, с его помощью возможно наблюдать за погодной ситуацией в реальном времени. По принятым снимкам в течение 15 минут составляется прогноз погоды.

Было написано методическое пособие, позволяющее любому желающему самостоятельно сделать подобный прогноз. Оно содержит следующие разделы:

1. Материалы. Содержит теоретическую информацию о метеорологических величинах (температуре воздуха, атмосферном давлении и т.д.), ветре, воздушных массах, атмосферных фронтах и барических системах (циклонах и антициклонах).

2. Установка программного обеспечения. Этот раздел посвящен установке необходимого для проведения анализа снимков программного обеспечения.

3. Анализ снимка. В разделе описывается пошаговый алгоритм решения задачи составления прогноза погоды на основании данных, полученных со спутникового снимка.

Также создан прототип погодного веб-ГИС-сервиса, на котором размещены все погодные данные, созданные на основе полученных снимков, а именно: температура воздуха, температура воды, высота нижней и верхней границы облачности, направление ветра и т.д. Каждый из размещенных на нем слоев имеет географическую привязку, что позволяет узнать погоду в конкретной точке.

Таким образом, результатом работы являются два продукта: погодный веб-ГИС-сервис, содержащий данные, принятые с помощью патч-антенны, и методическое пособие. В перспективе планируется предоставить погодные данные судоходным и логистическим компаниям для обеспечения возможности оперативного прогнозирования, обучить штурманов быстрому прогнозированию по разработанной методике, интегрировать созданный сервис в глобальную судоходную систему.

Библиографические ссылки

1. *Бондарев Б. М.* Навигационная и промысловая гидрометеорология: учебно-методическое пособие (практикум). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2006. 122 с.

2. *Позднякова В. А.* Практическая авиационная метеорология: учеб. пособие для летного и диспетчерского состава ГА. Уральский УТЦ ГА, 2015. 131 с.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ МЕМОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ БЕЛАРУСИ

Е. А. Гуринович

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, geo.gurinoviEA1@bsu.by*

На территории оккупированной Беларуси нацистами было организовано около 250 лагерей военнопленных и 350 мест принудительного содержания гражданского населения [1]. Сейчас в стране более 9 тысяч памятников и захоронений Великой Отечественной войны (ВОВ) [2]. Цель данной работы – создание цифровых трехмерных моделей мемориальных комплексов Беларуси, расположенных на месте лагерей смерти времен ВОВ, для сохранения исторической памяти и повышения доступности культурного наследия страны.

Ключевые слова: трехмерное моделирование; фотограмметрия; мемориальный комплекс; Великая Отечественная война.

DIGITALIZATION OF MEMORIAL COMPLEXES OF BELARUS

E. A. Gurinovich

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, geo.gurinoviEA1@bsu.by*

On the territory of occupied Belarus, the nazis organized about 250 prisoner of war camps and 350 places of forced detention of the civilian population. Currently, there are more than 9 thousand memorial sites and burial sites of the Great Patriotic War in the country. The purpose of this work is to create digital three-dimensional models of memorial complexes of Belarus located on the site of death camps from the Great Patriotic War, to preserve historical memory and increase the accessibility of the country's cultural heritage.

Keywords: 3D modeling; photogrammetry; memorial complex; Great Patriotic War.

Беларусь потеряла каждого третьего жителя в годы ВОВ [3]. Мемориальные комплексы, посвященные этим событиям, являются важными историческими и культурными объектами. Их цифровизация позволит сохранить и популяризировать эти памятники, обеспечивая доступ к ним широкой аудитории, включая молодое поколение и международное сообщество.

Создание трехмерной модели – это многоэтапный процесс, включающий в себя следующие ключевые ступени:

1. моделирование – первоначальный этап, на котором формируется базовая структура сцены, содержащая объекты, планируемые в 3D-сцене и, при необходимости, дополнительные для них модели;

2. текстурирование – этап, на котором объекты наделяются визуальными характеристиками, такими как цвет и текстура, для придания схожести с реальными объектами и материалами (дерево, гранит, металл и др.);

3. освещение – на данном этапе происходит добавление источников света, создающих или имитирующих реальное, студийное, естественное освещение, чтобы придать сцене глубину и реализм (блики, отражение, поглощение света и т.п.);

4. рендеринг – заключительный этап. Преобразует готовую 3D-модель или сцену в окончательное изображение, учитывая все параметры предыдущих этапов. Именно его мы наблюдаем везде, где присутствует трехмерная визуализация.

Все эти этапы описывают полный цикл создания трехмерных моделей, от проектирования концепции до воплощения детализированной и реалистичной визуализации.

В работе смоделирован мемориальный комплекс «Детям – жертвам войны» (рис. 1), расположенный в д. Красный Берег Жлобинского района, на месте одного из крупнейших детских донорских пунктов.



Рис. 1. Цифровая трехмерная модель мемориального комплекса «Детям – жертвам войны»

Моделирование производилось в ПО Blender ручным способом. Фигурки животных выполнены методом фотограмметрии: вручную были сделаны фотографии и обработаны в ПО Agisoft Metashape Pro (рис. 2).



Рис. 2. Фотограмметрическая модель

Модель интерактивная: ее можно вращать, перемещать, масштабировать. Концепция позволяет безбарьерно перемещаться по комплексу, в отличие от панорам. Так как объект исторический – предусмотрено размещение аннотаций, с информацией о составных элементах комплекса, их значении и о лагере, на месте которого он расположен (рис. 3).



Рис. 3. Аннотации

Использование передовых технологий 3D-сканирования, моделирования и визуализации обеспечивает высокую точность и детализацию моделей.

Объекты, посвященные ВОВ, являются важными символами памяти и уважения к тем, кто пострадал и погиб в годы войны. Создание трехмерных моделей позволяет сохранить и передать эти памятники будущим поколениям в цифровом формате, что особенно важно в условиях возможного физического разрушения или износа оригинала. Кроме того, 3D-модели могут быть использованы в образовательных целях, помогая уча-

щимся лучше понять исторические события и их значимость. А виртуальные туры могут привлечь больше туристов, как из Беларуси, так и из-за рубежа, что способствует развитию культурного туризма и повышению интереса к историческому наследию страны.

Библиографические ссылки

1. 9 декабря – Международный день памяти жертв преступления геноцида [Электронный ресурс]. URL: <https://sov.minsk.gov.by/aktualnaya-infomatsiya/8508-20221209-mezhdunarodnyj-den-pamyati-zhertv-prestupleniya-genotsida> (дата обращения: 02.10.2024).

2. Памятники Великой Отечественной войны в Беларуси [Электронный ресурс]. URL: <https://www.belarus.by/ru/travel/military-history-tourism/memorials-great-patriotic-war> (дата обращения: 02.10.2024).

3. Великая Отечественная война в Беларуси [Электронный ресурс]. URL: <https://www.belarus.by/ru/travel/military-history-tourism/great-patriotic-war-in-belarus> (дата обращения: 02.10.2024).

МУЛЬТИМАСШТАБНАЯ КАРТА ДОСТОПРИМЕЧАТЕЛЬНОСТЕЙ ГОРОДА СЛУЦКА

Е. А. Дубовик

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, г. Минск, Беларусь*

Данная работа посвящена созданию мультимасштабной карты достопримечательностей города Слуцка. Рассматриваются теоретические основы карт, анализ потребностей пользователей, проектирование и использование технологий GIS-Panorama. Включен сбор данных о ключевых объектах, таких как храмы и памятники, а также создание интерактивного прототипа карты. Ресурс станет удобным инструментом для местных жителей и туристов, улучшая доступ к информации о культурном наследии города.

Ключевые слова: мультимасштабная карта; достопримечательности; город Слуцк; картография; GIS-Panorama; туризм; географическая информация; пользовательский интерфейс.

В современном мире мультимасштабные карты становятся важным инструментом для представления географической информации. Они позволяют пользователям легко ориентироваться и находить интересующие их объекты. Темой данной работы является создание мультимасштабной карты достопримечательностей города Слуцка, что улучшит доступ к информации как для местных жителей, так и для туристов.

Мультимасштабные карты представляют собой интерактивные ресурсы, которые позволяют пользователю изменять масштаб отображаемой информации. Это делает их удобными для различных задач – от общего ознакомления с территорией до детального изучения конкретных объектов. Такие карты могут включать в себя данные о культурных, исторических и природных достопримечательностях, а также информацию о транспортной инфраструктуре и туристических услугах [1].

Мультимасштабные карты играют ключевую роль в образовании, туризме и управлении городским пространством. Они обеспечивают визуализацию информации, что способствует лучшему восприятию и пониманию данных. Кроме того, такие карты могут использоваться для планирования маршрутов, организации экскурсионных программ и улучшения навигации по городским территориям.

Для создания мультимасштабных карт применяются различные технологии, включая ГИС (географические информационные системы), веб-

картографию и мобильные приложения. Эти технологии позволяют интегрировать данные из различных источников и представлять их в удобной для пользователя форме.

Целевой аудиторией мультимасштабной карты являются туристы, местные жители, студенты и исследователи. Для успешного проектирования карты важно учитывать их потребности и предпочтения. Основными группами пользователей являются:

- туристы, интересующиеся историко-культурными объектами;
- местные жители, которые хотят узнать больше о своем городе и его достопримечательностях;
- студенты и исследователи, нуждающиеся в доступе к достоверной информации для учебных и научных целей.

Для анализа потребностей пользователей были проведены опросы и интервью. Вопросы касались интереса к достопримечательностям, необходимой информации, предпочтений в интерфейсе и функционале карты.

Опросы показали, что существующие ресурсы недостаточно информативны и удобны для пользователей. Это создает необходимость в разработке мультимасштабной карты, которая будет отвечать их требованиям и предоставлять актуальную информацию [2].

Для создания карты была проведена работа по сбору и анализу информации о достопримечательностях Слуцка. Включены такие объекты, как:

- храм преподобного Паисия Святогорца – историческая церковь, известная своей архитектурой;
- кафедральный собор святого Архангела Михаила – образец полеского деревянного зодчества;
- часовня святой Варвары – важный культурный памятник;
- памятник Анастасии Слуцкой – символ местной истории.

Каждый объект будет сопровождаться кратким описанием, фотографиями и информацией о местоположении.

Прототип карты включает в себя основные элементы: интерактивные метки на карте, которые при наведении показывают информацию о достопримечательностях, фотографии и ссылки на дополнительные ресурсы. Основные разделы карты будут включать:

- общая информация о городе – история, культура и традиции;
- каталог карт – туристическая карта с отмеченными достопримечательностями (рис.);
- сервисы и услуги – информация о гостиницах, ресторанах.



Каталог карт

Дизайн карты будет современным и интуитивно понятным. Навигация будет включать:

- поиск по ключевым словам – пользователи смогут быстро находить интересующие их объекты;
- фильтры по категориям – возможность выбора между историческими, культурными и природными достопримечательностями;
- изменение масштаба – пользователи смогут увеличивать или уменьшать масштаб для получения более детальной информации.

Для создания мультимасштабной карты достопримечательностей города Слуцка будет использована программа GIS-Panorama. Этот мощный инструмент позволяет интегрировать геопространственные данные и создавать интерактивные карты, поддерживая работу с различными форматами данных и обеспечивая высокую точность отображения информации. GIS-Panorama даст возможность объединять данные из различных источников, включая базы данных, спутниковые изображения и картографические сервисы, что обеспечит актуальность и достоверность информации на карте.

Интерфейс карты будет разработан с акцентом на простоту и интуитивную понятность, включая функции изменения масштаба, выбора категорий объектов и поиска по ключевым словам. Использование GIS-Panorama позволяет легко реализовать эти функции, обеспечивая высокий уровень взаимодействия с пользователем и удобство работы с картой. Таким образом, комплексный подход к разработке мультимасштабной карты сделает ее полезным и информативным ресурсом для пользователей [3].

Главная задача – не только упростить доступ к информации, но и повысить интерес к культурному наследию города. Дальнейшие шаги включают тестирование карты на пользователях и внедрение дополнительных функций для улучшения пользовательского опыта.

Библиографические ссылки

1. Берлянт А. М. Картоведение: учебник для вузов. М. : Академия, 2016. 320 с.
2. Атоян Л. В. Компьютерная картография : курс лекций. М. : Геоцентр, 2018. 240 с.
3. Официальные материалы по GIS-Panorama [Электронный ресурс]. URL: <https://gistoolkit.com/download/doc/preprintdoc.pdf> (дата обращения: 15.11.2024).

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ГОРОДСКОГО ОКРУГА ГОРОД ЕЛЕЦ

Д. Е. Дюкарев, В. А. Дмитриева

*Воронежский государственный университет, пл. Университетская, 1,
394036, Воронеж, Российская Федерация, verba47@list.ru, d-dukarev@yandex.ru*

Верхняя часть бассейна р. Дон, включая г. Елец, не испытывает катастрофических подъемов уровня воды с последней трети прошлого века, однако события в Оренбургской области показывают, что это возможно при определенных условиях. Исследование в ГИС привело к созданию модели затопления, определению площади затопления, а также возможной оценке ущерба для городской инфраструктуры.

Ключевые слова: зона затопления; расчетная обеспеченность; кривые обеспеченности; Липецкая область; ГИС-технологии.

PREDICTION AND MODELING OF FLOODING ZONES OF THE CALCULATED PROBABILITY IN THE CITY DISTRICT OF YELETS

D. E. Dyukarev, V. A. Dmitrieva

*Voronezh State University, Universitetskaya Sq., 1,
394036, Voronezh, Russian Federation, verba47@list.ru, d-dukarev@yandex.ru*

The upper part of the Don River basin, including the city of Yelets, has not experienced catastrophic rises in water levels since the last third of the last century. However, events in the Orenburg region indicate that this is possible under certain conditions. The GIS study led to the creation of a flooding model, the determination of flooded areas, and a potential future assessment of damage to urban infrastructure.

Keywords: flood zone, calculated reliability, reliability curves, Lipetsk region, GIS.

Половодье – весенняя фаза водного режима европейских рек, с последней трети прошлого столетия отличается невысокими объемами, относительно низкими максимальными расходами и уровнями воды [5, 7, 8], не представляющими потенциальной угрозы образования наводнений. В бассейне Дона, начиная с 2007 года и по настоящее время, установилось маловодье с исторически минимальными значениями снегового половодья в 2020 году. Но в тоже время, гидрологические события на реках Урал, Тобол, Ишим, Илек и других в апреле 2024 года показали, что при опре-

деленных сочетаниях природно-метеорологических факторов могут образоваться катастрофические наводнения с редкой повторяемостью 1 раз в 100 лет. Наводнения являются одним из наиболее разрушительных природных явлений, охватывающих все континенты земного шара. Ежегодно сотни людей становятся жертвами их последствий, а общие убытки достигают десятков миллиардов долларов. Несмотря на это, до недавнего времени недостаточно внимания уделялось как учету самих наводнений, так и прогнозированию их риска для населения [2, 4].

Весеннее половодье в России является причиной около 80 % случаев наводнений [2]. И хотя бассейн Дона, по мнению Н.И. Коронкевича и др., не относится к районам с опасными катастрофическими наводнениями, но высокие половодья весьма вероятны и затопления возможны при подъемах уровней воды на 2-3 м выше среднего значения [9]. Опасные подъемы расходов и уровней воды в бассейне Дона, приведшие к затоплениям больших площадей, наблюдались в 1970 году. В этом же году на гидрологическом посту р. Сосна – г. Елец был достигнут исторически максимальный уровень воды в реке – 14,3 м БС (рис. 1). Он превысил максимум 1942 года.

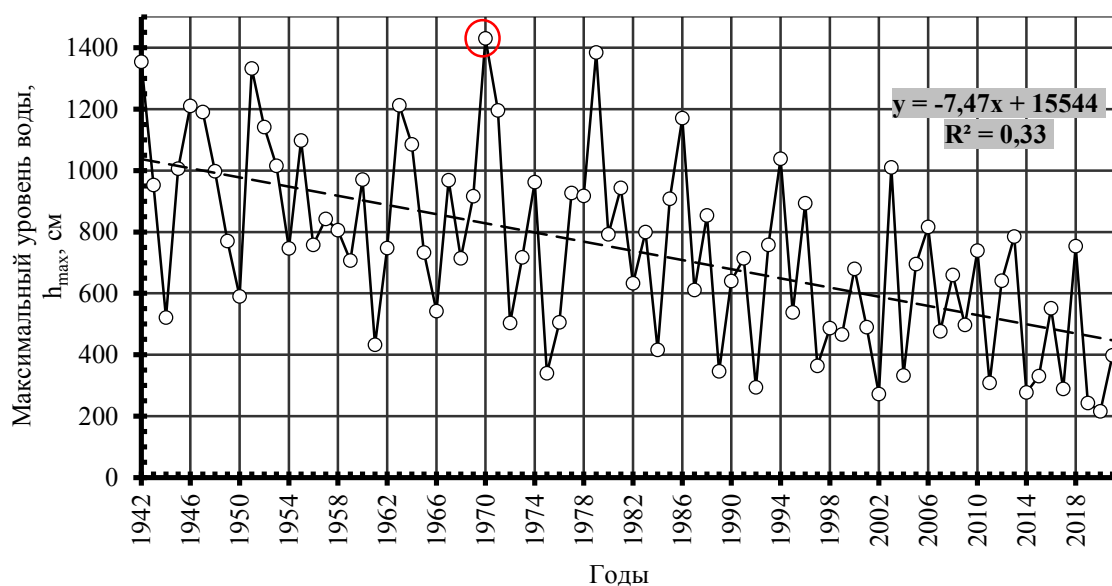


Рис. 1. Хронологический график максимальных расходов весеннего половодья р. Сосна – г. Елец за 1942–2021 гг.

Поскольку природные процессы цикличны, то вероятность того, что наводнения уровня 1970-го года на р. Сосна – г. Елец могут повториться и иметь уровень даже выше, чем прежде, высока.

В настоящее время мы можем статистически рассчитывать максимальный уровень воды в период весеннего половодья различной вероятности превышения (обеспеченности). Данная информация, представленная в картографическом виде, имеет большую наглядность и ценность. Благодаря развитию цифровых моделей рельефа и геоинформационных систем прогнозирование потенциальных зон затопления и их картографическое представление стало вполне реальным. Используя их, возможно смоделировать зону затопления, определить ее площадь, а также выявить районы и конкретные объекты, подверженные воздействию воды.

Цель настоящего исследования заключается в определении отметок уровней воды и зон затопления водами весеннего половодья с вероятностью превышения (обеспеченностью) 0,1, 1 и 5 % в городском округе Елец, а также в анализе полученных результатов и их визуализации в виде карт с использованием ГИС-технологий.

Базовые материалы исследования представляют ряды максимальных уровней воды р. Сосна – г. Елец за период с 1970 по 2021 год. Выборка с 1970 года начинается случайно. 1970-е годы являются началом глобального изменения климата, проявившиеся и в региональном масштабе. Климатическая динамика в совокупности с усилившейся антропогенной нагрузкой в бассейне реки Сосна привели к трансформации элементов водного режима, в частности, максимального уровня воды. Для обеспечения независимости и однородности элементов ряда, а также репрезентативности выборки, было принято решение сократить ее объем и использовать в расчетной схеме не весь ряд наблюдений с 1927 года, а его часть, с 1970 по 2021 годы.

Одним из **методов** определения зон затопления средствами ГИС является метод превышений [3]. Для выявления затопленной территории используются цифровая модель рельефа SRTM (30 м), описанная в СТО ГГИ 52.08.48–2020 и рекомендованная для визуализации гидрологических объектов, и модель секущей плоскости водной поверхности при подъеме уровня воды на заданную высоту [1]. Секущая плоскость должна также учитывать уклон реки, но из-за того, что нами берется малая территория по площади, этим условием можно пренебречь.

Для расчета максимальных уровней воды р. Сосна – г. Елец использовались одна эмпирическая и две аналитические кривые обеспеченности: Пирсона III типа и Крицкого-Менкеля (рис. 2). Данные кривые рекомендуются к использованию в СП 33-101-2003 и СП 529.1325800.2023 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик».

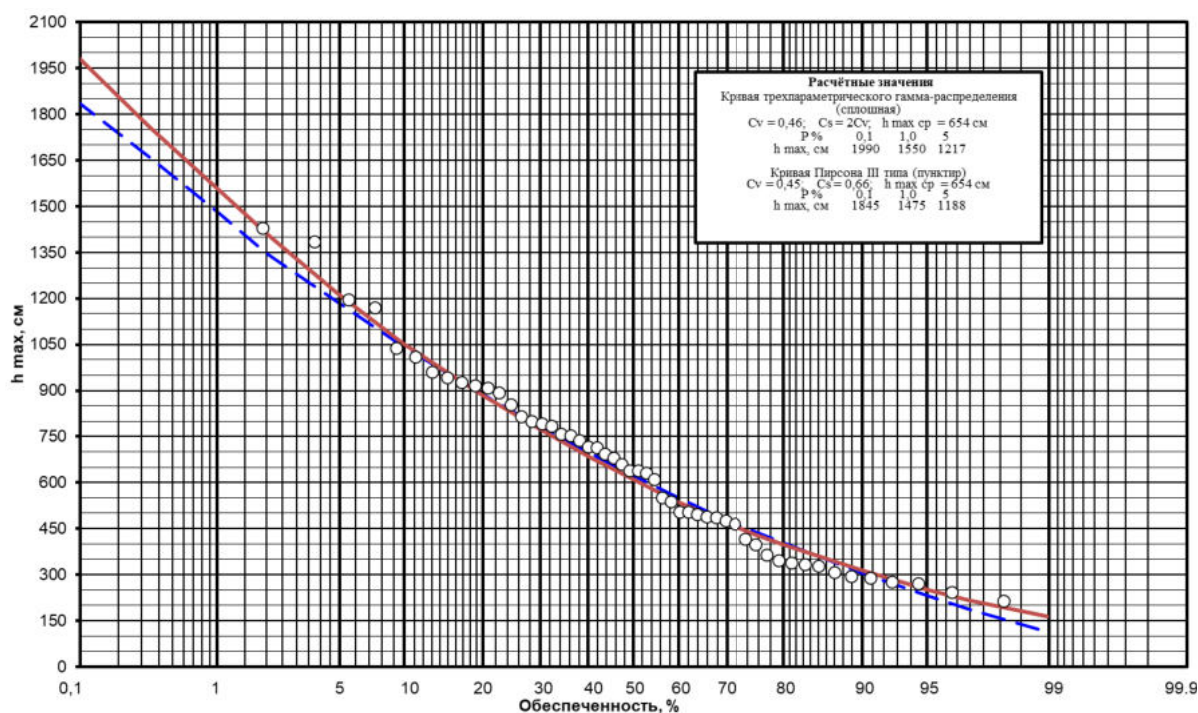


Рис. 2. Кривая обеспеченности максимальных уровней воды
р. Сосна – г. Елец за 1970–2021 гг.

Проанализировав рисунок 2, можно отметить, что между эмпирической кривой и кривой трехпараметрического гамма-распределения Крицкого-Менкеля есть наибольшее пересечение, поэтому значения с вероятностью 0,1, 1 и 5% сняты с данной кривой. Значения максимальных уровней воды, снятые с кривой трехпараметрического гамма-распределения, занесены в таблицу. Далее рассчитана сумма высоты гидрологического пункта от уровня моря и максимального уровня воды расчетной вероятности. Расчетные значения приведены в таблице.

Расчетные значения 0,1; 1 и 5 % обеспеченности максимального уровня воды

Код пункта наблюдений	Название водного объекта и пункта наблюдений	Высота ГП, м БС	Максимальный уровень воды, см			Высота ГП + максимальный уровень воды, м БС		
			обеспеченность, %			обеспеченность, %		
			5	1	0,1	5	1	0,1
78054	р. Сосна – г. Елец	106,30	1217	1550	1990	118,47	121,80	126,20

Для расчета зоны затопления при половодье необходимо ввести в «Растровый калькулятор» соответствующее выражение [3]:

$$(H_{\text{гп}} + H_{\text{max}} - \text{DEM}) > 0,$$

где $H_{\text{гп}}$ – высота гидрологического поста над уровнем моря; H_{max} – заданная высота подъема уровня воды; DEM – цифровая модель рельефа.

В нашей работе приведена исправленная формула, результатом вычисления по которой является созданный бинарный растр, где значение «1» соответствует затопленной территории, а «0» – незатопленной.

Растр, полученный в предыдущем шаге, был преобразован в полигон и сглажен. После этого, с помощью инструмента «Определить объект», были получены площадные значения зон затопления различной обеспеченности. Зона затопления 5 % обеспеченности равна 5,94 км², зона затопления 1 % обеспеченности – 7,57 км² и зона затопления 0,1 % обеспеченности – 17,64 км².

В работе рассчитаны площадные значения зон затопления различной обеспеченности, а результаты исследования представлены в виде карты (рис. 3).

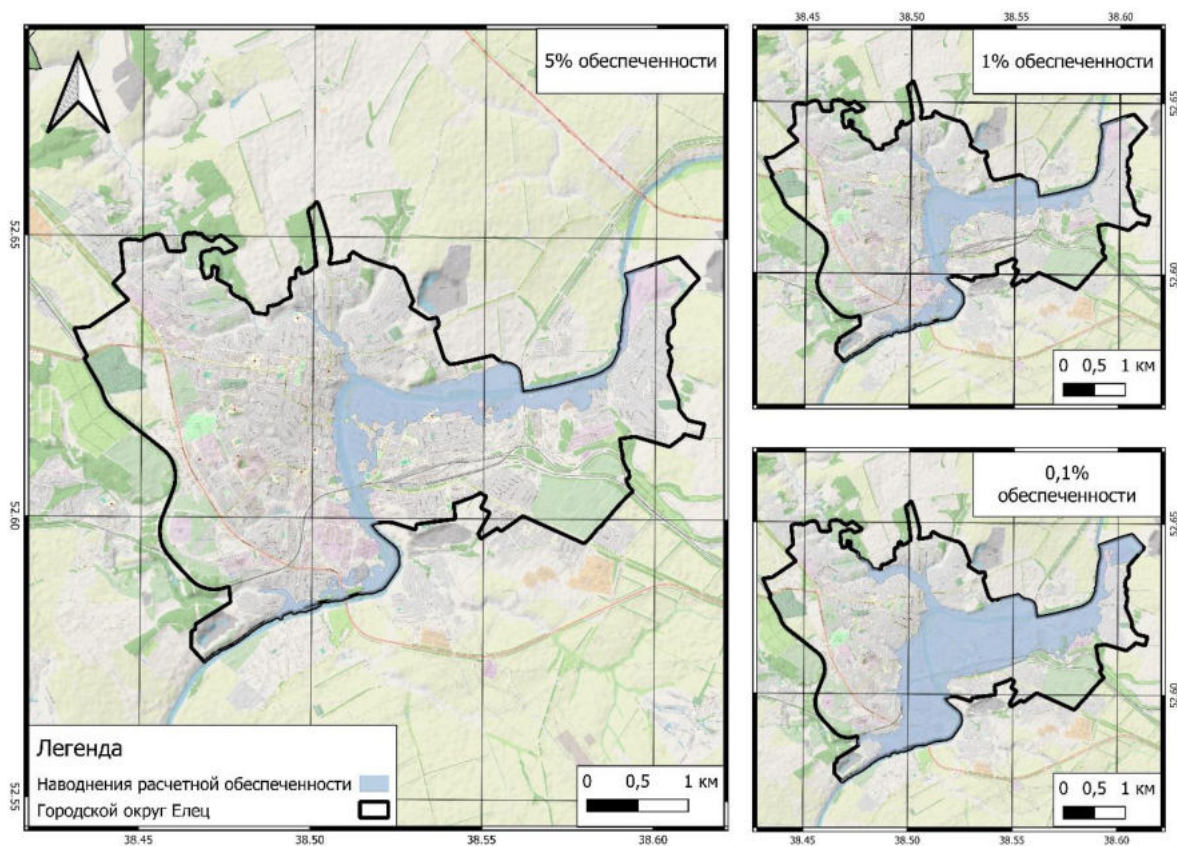


Рис. 3. Геоинформационная модель затопления территории городского округа г. Елец

В заключении можно отметить, что использование цифровых моделей рельефа и геоинформационных систем позволяет эффективно моделировать различные географические процессы, такие как зоны затопления при катастрофических половодьях. Эти инструменты предоставляют информацию, необходимую для прогнозирования возможных зон затопления, оценки их площади, а также определения числа жилых домов и промышленных объектов, подверженных воздействию экстремальных уровней воды.

Библиографические ссылки

1. *Дмитриева В. А., Дюкарев Д. Е.* Территориальные различия водообеспеченности административных районов Липецкой области. Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг : Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2-х томах, Ростов-на-Дону, 20–22 сентября 2023 года. Том 2. Новочеркасск: ООО "Лик", 2023. С. 203–208.
2. *Добровольский С. Г.* Глобальная гидрология: процессы и прогнозы / Институт водных проблем РАН; Российский фонд фундаментальных исследований. М.: ГЕОС, 2017. 526 с.
3. *Куракина Н. И., Ковчик В. С.* Картографическое моделирование гидрологических процессов подтопления территорий [Электронный ресурс] // ESRI. ArcReview : сайт. URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2020/09/29/cartographic-modeling-of-the-territory-flooding/> (дата обращения: 23.04.2024).
4. *Пьянков С. В., Шихов А. Н.* Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений. Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский ун-т, 2017. 148 с.
5. *Джамалов Р. Г., Киреева М. Б., Косолапов А. Е.* Водные ресурсы бассейна Дона и их экологические состояние : монография. М.: ГЕОС, 2017. 204 с.
6. *Дмитриева В. А.* Водные ресурсы Воронежской области в условиях меняющегося климата и хозяйственной деятельности. Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015. 192 с.
7. *Дмитриева В. А.* Современные изменения водного режима и морфометрии рек Верхнедонского бассейна // Известия Российской академии наук, Сер. географическая. 2020. № 1. С. 103–113.
8. *Сивохин Ж. Т., Павлейчик В. М., Чибилёв А. А.* Изменение водного режима рек бассейна реки Урал // Доклады РАН. Науки о Земле, 2019. Том 488. № 5. С. 103–107.
9. Экстремальные гидрологические ситуации / Отв. ред. Н. И. Коронкевич, Е. А. Барабанова, И. С. Зайцева. М. : ООО «Медиа-ПРЕСС», 2010. 404 с.

УСТАНОВЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМОЙ TRIMBLE R8 В РЕЖИМЕ RTK С ЗАКРЕПЛЕНИЕМ ПОВОРОТНЫХ ТОЧЕК НА МЕСТНОСТИ И ОБРАБОТКОЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПО TRIMBLE BUSINESS CENTER

Чж. Е¹⁾, С. И. Ласточкина¹⁾

*¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, email: LastachkinaSI@bsy.by*

Основной целью межхозяйственного землеустройства при образовании земельных участков сельскохозяйственных организаций является приведение при формировании земельных участков площади хозяйства, его специализации, местоположения и границы в соответствии с природными особенностями объекта проектирования и требованиями организации рационального использования земель и эффективного производства [1].

Ключевые слова: картография; геоинформационные системы; установление границы земельного участка; закреплением поворотных точек на местности.

ESTABLISHMENT OF LAND PLOT BOUNDARY BY TRIMBLE R8 SATELLITE SYSTEM IN RTK MODE WITH FIXING OF TURNING POINTS ON THE TERRAIN AND PROCESSING OF OLE MEASUREMENTS BY TRIMBLE BUSINESS CENTER

Zh. E¹⁾, S. Lastachkina¹⁾

*¹⁾Belarusian State University, Independence Ave., 4, 2203030, Belarus,
email: LastachkinaSI@bsy.by*

The main purpose of inter-farm land management in the formation of land plots of agricultural organizations is to bring the area of the farm, its specialization, location and boundaries in accordance with the natural features of the object of design and the requirements of the organization of rational land use and efficient production [1].

Keywords: mapping; geographic information system; establishment of the boundary of the land plot; fixing of turning points on the ground.

Установление границы земельного участка с использованием спутниковой системы Trimble R8 в режиме RTK с закреплением поворотных точек на местности и обработкой результатов полевых измерений по Trimble

Business Center проводилось в соответствии с административным порядком выполнения работ [2, 3].

На первом этапе проводилась подготовка геодезических данных для перенесения границы земельного участка на местность [2]. Согласно Постановления Совета Министров Республики Беларусь от 13 января 2023 г. № 32 после принятия решения об изъятии и предоставлении земельного участка материалы изъятия и предоставления и выписка из решения направляются в организацию по землеустройству для установления границы этого земельного участка на местности [4, 5].

Закрепление поворотных точек производилось по границе земельного участка, предоставленного КФХ «Солдатенко А.А.» вблизи д. Азаровичи Добровского сельсовета Горецкого района Могилевской области для ведения крестьянского (фермерского) хозяйства (рис. 1).

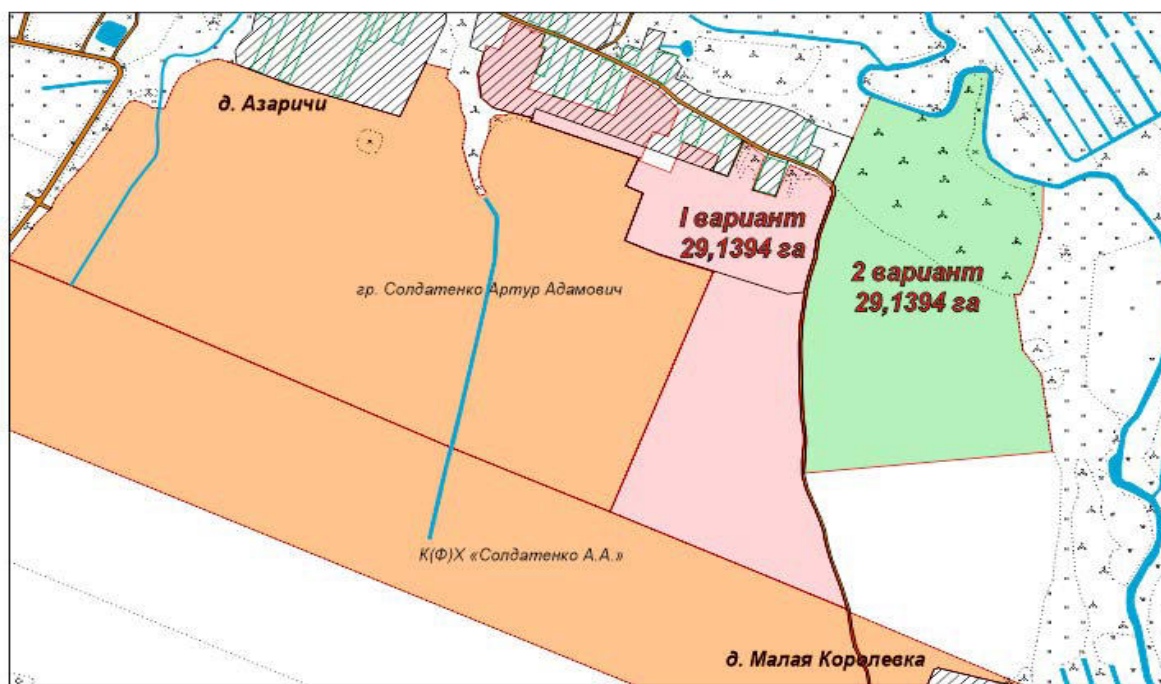


Рис. 1. Схема размещения земельного участка

Для перенесения границы земельного участка на местность применялся геодезический способ [5, 6, 7]. Выбор способа установления границы земельного участка производился в соответствии с Инструкцией о порядке проведения работ по установлению (восстановлению), изменению границ земельных участков и заключался в выявлении наличия материалов по изъятию и предоставлению земельных участков, масштаба планово-картографического материала, оснащенность соответствующими

геодезическими приборами, комплексами и системами, а также вычислительными средствами и их программным обеспечением [4].

При геодезическом способе установления границы, как правило, применяются наиболее простые методы определения координат, известные в геодезической практике [2, 4]. По данным земельно-информационной системы были сняты координаты фиксированных поворотных точек окружающей границы образуемого земельного участка (с точностью до тысячных долей метра). Для вычисления площади была использована программа обработки геодезических данных tGeodesy. Снятые графически координаты были занесены в создаваемый каталог координат. Вычисленная аналитическим способом площадь участка составила 29,1394 га, а периметр – 4339,114 м.

На следующем этапе составленный каталог координат был внесен в GNSS приемник Trimble R8 для перенесения на местность границы земельного участка. Далее проводились работы по установлению границы участка и закреплению ее поворотных точек на местности [2, 4].

Полевые измерения производились спутниковой системой Trimble R8 в режиме RTK, предназначенной для выполнения крупномасштабных топографических съемок, создания сетей планово-высотного обоснования, выполнения исполнительских съемок застроенных и застраиваемых территорий и других геодезических задач.

Руководствуясь Инструкцией о порядке проведения работ по установлению (восстановлению), изменению границ земельных участков, утвержденной постановлением Государственного Комитета по Имуществу Республики Беларусь от 23 декабря 2022 г № 44 [2, 4] было определено количество и тип межевых знаков.

Закрепление поворотных точек границы земельного участка, предоставленного для ведения крестьянского (фермерского) хозяйства, производилось металлическими межевыми знаками установленного образца в количестве 33 единиц (точки № 1-5, 11-37, 83), тремя углами ограждения, профилированной трубой и деревянным столбом. При установлении межевого знака на местности его сторона (марка) с изображением букв «ГЗ» была обращена к следующему межевому знаку, расположенному по ходу часовой стрелки.

Установление границы отводимого земельного участка на местности производилось в присутствии представителей сельского исполнительного комитета и главы крестьянского (фермерского) хозяйства. Все записи были оформлены актом об ознакомлении заинтересованных сторон на

местности с границами земельного участка, подписанным указанными лицами и представителем РУП «Проектный институт Могилевгипрозем» в момент осуществления этих работ. После этого производится контроль правильности установления границы земельного участка на местности, на основании которого составляется акт полевой приемки.

При оценке качества и приемке работ [4, 5]:

- выяснялось соблюдение установленной технологии работ и выполнение технических требований, которым должна удовлетворять контролируемая работа;
- изучалась схема сети геодезического обоснования, оценивается надежность и качество привязки развиваемых на участке сетей к исходным пунктам геодезического обоснования, а также качество привязки межевых знаков к местным предметам;
- проверялась состояние и качество применяемых при производстве работ приборов, соответствие их технических характеристик требованиям к точности выполняемых работ, соблюдение периодичности обязательных поверок и исследований приборов;
- выполнялись полевые контрольные измерения, производилась их обработка и по ее результатам оценивалась точность предъявленных к приёмке работ;
- проверялось выполнение предложений и требований предыдущих контролей работ другими контролирующими лицами;
- составлялся акт контроля и приемки работ с оценкой их качества.

После завершения полевых работ по установлению границы земельного участка на местности, проводились камеральные работы с обработкой результатов полевых измерений с вычислением координат и площади земельного участка [2, 4, 5]. В начале импортировались координаты поворотных точек границы земельного участка, съемка которых производилась двухчастотным подвижным GNSS приемником Trimble R8 в режиме RTK (см. рис. 1).

Для переноса координат из контроллера на персональный компьютер использовано специальное лицензионное программное обеспечение Trimble Business Center (рис. 2).

Так как данные с приемника представлены в системе координат 1995 года, для их перевода в систему координат 1963 года использовался геодезический калькулятор (рис. 3).

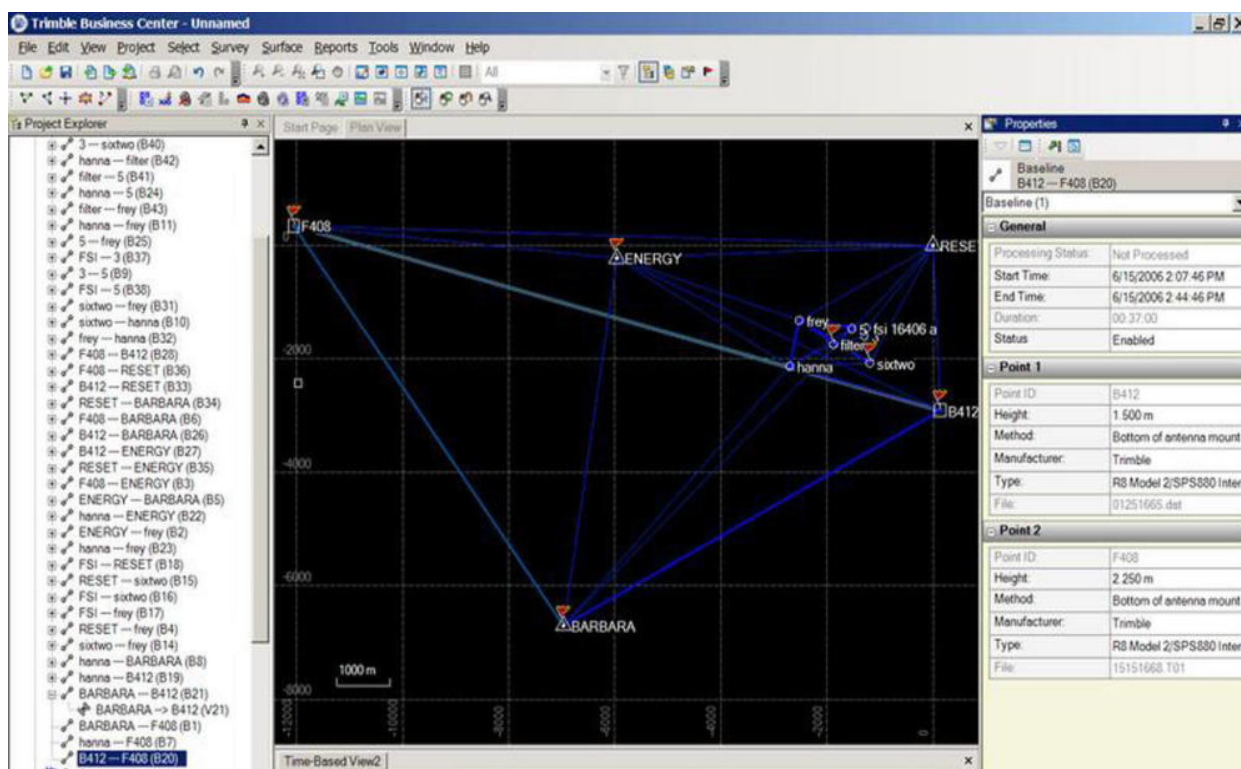


Рис. 2. Программный комплекс Trimble Business Center

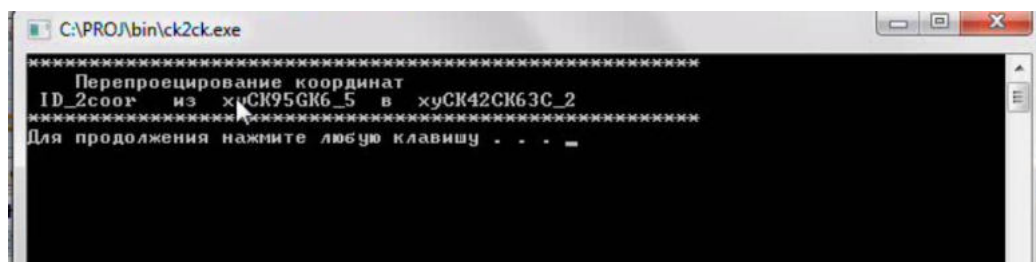


Рис. 3. Геодезический калькулятор для пересчета координат

Камеральная обработка данных полевых измерений производилась на персональном компьютере при помощи программного пакета aGeodesySuite 3.1.

В результате был составлен каталог координат поворотных точек границы земельного участка (табл.). В каталоге координат указано количество поворотных точек земельного участка, их номера, координаты, а также закрепления точек поворота границы. Под самой таблицей приводится характеристика точности вычисления площади земельного участка: площадь участка вычисленная (29,1394 га), периметр полигона (4338,114 м), допустимое расхождение площади (0,26990 га). Вычисленная площадь не имела расхождения с предоставляемой по решению районного исполнительного комитета (29,1394 га).

Каталог координат углов поворота границы земельного участка

предоставленного КФХ «Солдатенко А.А.» вблизи д. Азаровичи Добровского сельсовета Горецкого района Могилевской области

Система координат 1963 года, граница фиксированная

№ по каталогу	№ углов поворота границ	Вид закрепления углов поворота границ	Координаты, м		Дирекционные углы, 0, '	Расстояния, м
			X	Y		
1	1	меж. знак	6001375.50	3253540.86	113 22.8	39.917
2	2	меж. знак	6001359.66	3253577.50	196 52.9	5.716
3	3	меж. знак	6001354.19	3253575.84	108 18.4	7.036
4	4	меж. знак	6001351.98	3253582.52	18 28.1	5.430
5	5	меж. знак	6001357.13	3253584.24	112 57.6	20.200
6	6	угол ограждения	6001349.25	3253602.84	201 13.6	18.119
7	7	мет. штырь	6001332.36	3253596.28	195 21.5	10.723
8	8	проф. труба	6001322.02	3253593.44	112 01.4	9.601
9	9	угол ограждения	6001318.42	3253602.34	200 23.6	6.572
n	-	-	-	-	-	-
80	80	без закрепления	6001213.70	3253482.36	353 19.5	51.106
81	81	без закрепления	6001264.46	3253476.42	15 56.7	46.156
82	82	без закрепления	6001308.84	3253489.10	17 48.2	16.647
83	83	меж. знак	6001324.69	3253494.19	109 18.0	26.626
84	84	дер. столб	6001315.89	3253519.32	19 52.0	63.382

Площадь участка 291394 м² (29.1394 га)

Периметр полигона 4338.114 м

Допустимое расхождение площади $\partial p \leq 0.05 \cdot 10000 / 10000 = 0.26990$ га

Фиксированные точки вынесены GNSS приемником Trimble R8 схема связи (привязки) с пунктами государственной геодезической сети границы земельного участка.

Далее составлен план границы земельного участка, с нанесением на него необходимых условных обозначений (границы земельного участка и длин линий, точек его поворота, границ земель с ограничениями (обременениями) прав на них, кодами ограничений), данных о землепользователе, вещном праве, целевом назначении, адресе и площади.

По окончании камеральных работ было изготовлено землеустроительное дело по установлению границы земельного участка на местности.

Оформленное землеустроительное дело с заявлением о выдаче свидетельства (удостоверения) о государственной регистрации создания земельного участка и возникновения прав на него было направлено в Горецкий филиал РУП «Могилевское агентство по государственной регистрации и земельному кадастру» для регистрации.

После осуществления государственной регистрации создания земельного участка и возникновения прав на него дело о предоставлении земельного участка и установления его границ на местности было передано в отдел землеустройства Горецкого райисполкома на хранение.

Заключительным документом, составляемым управлением по землеустройству при предоставлении участка для ведения КФХ являлся проект решения, в котором отражены данные об участке, его состав земель, местоположении, адресе, условиях возмещения упущенной выгоды, проведении государственной регистрации. Физическому лицу было выдано свидетельство (удостоверение) о государственной регистрации земельного участка и права на него.

Библиографические ссылки

1. Указ Президента Республики Беларусь от 29 июня 2021 г. № 292 «Об утверждении программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021 – 2025 годы». URL: <https://pravo.by/document/> (дата обращения: 10.06.2024).

2. Технические нормативные правовые акты / Белгипрозем / страница информация. URL: <https://www.belgiprozem.by/informacija/tekhnicheskie-normativnye-pravovye-akty/> (дата обращения: 10.06.2024).

3. Кодекс Республики Беларусь о Земле. URL: https://etalonline.by/document/?regnum=hk0800425 &q_id=10670058 (дата обращения: 10.06.2024).

4. Постановление Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 23 декабря 2022 г. № 44 «Об утверждении Инструкции о порядке проведения работ по установлению (восстановлению), изменению границ земельных участков». URL: <https://pravo.by/document/> (дата обращения: 10.06.2024).

5. Методические указания по разработке материалов изъятия и предоставления земельного участка и оформление материалов об изъятии и предоставлении земельного участка утверд. РУП «Проектный институт Белгипрозем». 30.01.2023 г. Минск : РУП «Проектный институт Белгипрозем», 2023. 55 с.

6. Методические указания по согласованию материалов предводительного согласования места расположения земельного участка утвержд. РУП «Проектный институт Белгипрозем». 09.09.2023 г. Минск : РУП «Проектный институт Белгипрозем», 2010. 57 с.

7. Гражданский Кодекс Республики Беларусь с изменениями и дополнениями от 05.01.2024 / страница правовые акты по темам. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=Hk1400149> (дата обращения: 10.06.2024).

ГИС-КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНЫХ ЦЕННОСТЕЙ МОГИЛЕВА СРЕДСТВАМИ ШАБЛОНОВ ОБЛАЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ARCGIS ONLINE

Е. А. Земцова¹⁾, С. М. Токарчук²⁾

¹⁾Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, бул. Космонавтов, 21, 224016, г. Брест, Беларусь, iwlelee@gmail.com

²⁾Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, бул. Космонавтов, 21, 224016, г. Брест, Беларусь, svetlana.m.tokarchuk@mail.ru

В работе предложены варианты картографирования историко-культурных ценностей города на примере Могилева. В частности, рассматриваются возможности создания разных типов ГИС-продуктов с использованием картографических шаблонов ArcGIS Instant Apps и ArcGIS StoryMaps. В результате с использованием шаблонов было выполнено три ГИС-продукта: «Виды историко-культурных ценностей г. Могилева», «Категории историко-культурных ценностей г. Могилева» и «Исторический центр г. Могилева».

Ключевые слова: Могилев; историко-культурные ценности; ГИС-картографирование; интерактивная карта; информационно-справочная система.

GIS MAPPING OF HISTORICAL AND CULTURAL VALUES OF MOGILEV USING TEMPLATES OF THE CLOUD MAPPING PLATFORM ARCGIS ONLINE

Y. A. Ziamtsova¹⁾, S. M. Tokarchuk²⁾

¹⁾A. S. Pushkin Brest State University, 21, Cosmonauts Blvd, 224016, Brest, Belarus, iwkelee@gmail.com;

²⁾A. S. Pushkin Brest State University, 21, Cosmonauts Blvd, 224016, Brest, Belarus, svetlana.m.tokarchuk@mail.ru

The paper proposes options for mapping historical and cultural values of the city using Mogilev as an example. In particular, the possibilities of creating different types of GIS products using ArcGIS Instant Apps and ArcGIS StoryMaps cartographic templates are considered. As a result, three GIS products were created using the templates: "Types of historical and cultural values of Mogilev", "Categories of historical and cultural values of Mogilev" and "Historical center of Mogilev".

Keywords: Mogilev; historical and cultural values; GIS mapping; interactive map; information and reference system.

Историко-культурные ценности являются важной частью любой территории. Объекты историко-культурного наследия пользуются большой

популярностью у туристов и часто упоминаются в энциклопедических, краеведческих и других источниках. Существует много литературных изданий, где достаточно подробно описываются историко-культурные достопримечательности, представляются их фотографии. В то же время, следует отметить, что на современном этапе все большее применение в различных направлениях деятельности человека находят информационные системы. Необходимо отметить, что в научных отечественных исследованиях в Республике Беларусь недостаточное внимание уделяется применению современных облачных технологий (особенно ГИС-технологий) в гуманитарных направлениях (истории, социологии и др.), в том числе для изучения и популяризации данных об историко-культурных ценностях.

Веб-приложения, созданные с использованием ГИС-технологий, позволят объединить и опосредовать в Интернет-среде общедоступную информацию об историко-культурных ценностях; упростит поиск интересной информации об этих объектах.

Таким образом, были разработаны основные направления использования веб-технологий при изучении историко-культурных ценностей: инвентаризация [1, 2, 3], разработка и создание интерактивных карт, каталогов, информационно-справочных систем [4].

Таким образом, в данной работе с учетом полученного опыта работы с облачной платформой картографирования ArcGIS Online были предложены варианты картографирования историко-культурных ценностей города на примере Могилева.

В частности, рассматриваются возможности создания разных типов ГИС-продуктов с использованием картографических шаблонов ArcGIS Instant Apps и ArcGIS StoryMaps.

Instant Apps – это новое поколение настраиваемых картографических веб-приложений, которое включает более 20 шаблонов.

В данном исследовании использовался шаблон «Интерактивная легенда». «Интерактивная легенда» в Instant Apps является одним из наиболее популярных шаблонов. Данное картографическое веб-приложение дает возможность взаимодействовать с легендой. Можно рассматривать каждый из блоков легенды по отдельности, выбирать несколько блоков легенды одновременно, либо выбирать все.

С использованием данного шаблона было создано две интерактивные веб-карты: «Категории историко-культурных ценностей Могилева» и «Виды историко-культурных ценностей Могилева». Для создания интерактивных карт с помощью шаблона «Интерактивная легенда» были взяты карты, заранее созданные в Map Viewer ArcGIS Online с помощью редактора легенды. Легенда созданных интерактивных карт настроена таким

образом, чтобы была возможность рассмотреть виды и категории историко-культурных ценностей города Могилева как в общем, так и отдельно каждый вид (категорию). Возможность взаимодействия с легендой позволяет выбирать объекты на карте, которые будут подсвечиваться, тем самым данные будут наглядны, а невыбранные объекты будут размываться и не мешать обзору выбранных объектов.

Также для обеих карт настроены всплывающие окна, с подробной информацией о выбранном объекте (рис. 1).

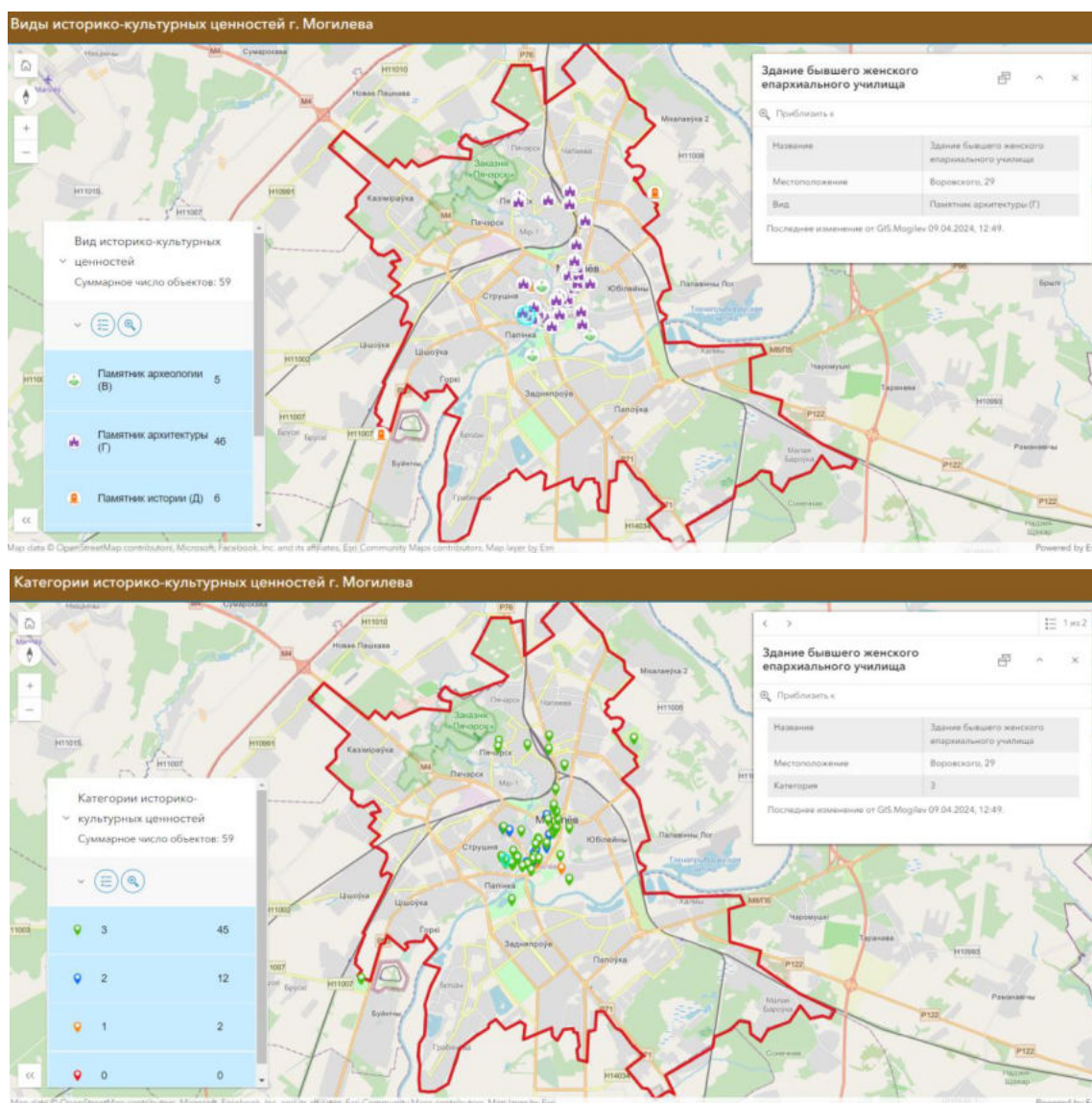


Рис. 1. Информационно-справочные системы «Виды историко-культурных ценностей г. Могилева», «Категории историко-культурных ценностей г. Могилева»

Вторым ГИС-продуктом является информационно-справочная система «Исторический центр г. Могилева», созданная с помощью шаблона конструктора ArcGIS StoryMaps.

Первым этапом создания информационно-справочной системы являлось создание таблицы, которая характеризует исторический центр города Могилева и отображает улицы, номера зданий, а также количество зданий (табл. 1).

Таблица 1

Исторический центр города Могилева

Название улицы	Номера зданий	Количество зданий	Длина улицы, км
Буденного	15	1	0,40
пер. Комиссариатский	4, 6, 17, 29	4	0,16
Комсомольская	8, 8А, 12, 18	4	0,34
пер. Комунистический	3, 6, 7, 10	4	0,25
пер. Т. Карпинской	9, 11	2	0,28
пер. 1-й крутой	4	1	0,14
Лазаренко	5, 7, 13, 15	4	2,25
Карла Маркса	13, 14, 17	3	0,96
пер. Мигая	7, 9, 11	3	0,25
Ленинская	3,4, 5, 6, 8, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 28А, 29, 29А, 30, 32, 34, 35, 38, 40, 41, 46	30	1,43
пер. Пожарный	1А, 3, 5, 6/1, 6А, 6Б, 7, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 19, 21	15	0,51
Первомайская	11, 13, 15, 17, 19, 21, 22, 23, 23А, 24, 25, 26, 27	13	6,65
Пионерская	18	1	0,92

Вторым этапом стало само создание справочно-информационной системы с помощью шаблона ArcGIS StoryMaps.

Стилистическое оформление очень важно, поэтому в «дизайне» была выбрана тема «Historical» из галереи избранных тем. Данная тема выполнена в коричнево-бежевых оттенках, которые наиболее подходят для темы архитектуры и градостроительства.

Система включает в себя 16 разделов, по которым осуществляется навигация (рис. 2). Первый раздел про Могилев, в нем размещена минимальная информация о городе; второй раздел про историко-культурные ценности. Там можно найти определение историко-культурных ценностей, а также таблицу с категориями ценностей и их определениями.



Рис. 2. Навигация по информационно-справочной системе

Третий раздел называется «Исторический центр г. Могилева» и включает в себя экспресс-карту, на которой отображены улицы, относящиеся к историческому центру города (рис. 3).

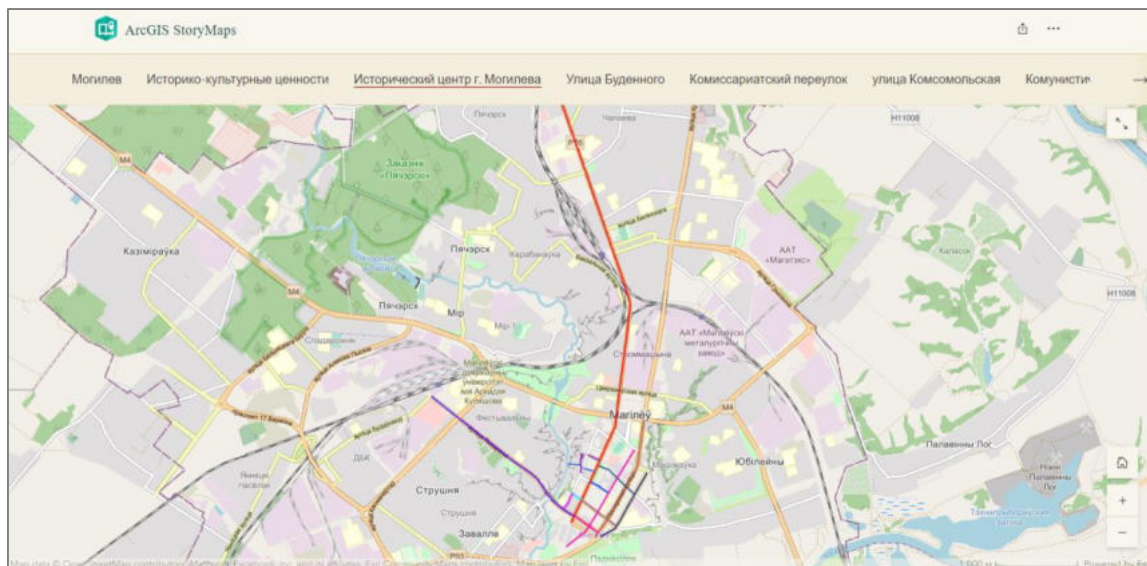


Рис. 3. Раздел «Исторический центр г. Могилева» в информационно-справочной системе

Разделы 4–16 названы в соответствии с улицами исторического центра города Могилева и включают в себя карты улиц, с обозначением улицы и зданий, расположенных на этой улице. А также текстовую часть с названием улиц, номерами зданий и количеством этих зданий (рис. 4). Для создания разделов 4–16 использовался боковой блок с компоновкой «закрепленный». Все разделы однотипны и содержат в себе одну и ту же информацию (названия улиц, номера зданий и количество этих зданий). Также хочется отметить, что улица в каждом разделе выделена таким же цветом, что и на карте из раздела «Исторический центр г. Могилева». То есть если улица на карте исторического центра города выделена красным цветом, то и в разделе, посвященном этой улице она тоже будет выделена красным цветом. Это создано для возможности лучшего понимания месторасположения улицы на карте города.

В результате с использованием шаблонов облачной платформы картографирования ArcGIS Online было выполнено три ГИС-продукта: «Виды историко-культурных ценностей г. Могилева», «Категории историко-культурных ценностей г. Могилева» и «Исторический центр г. Могилева» (табл. 2).

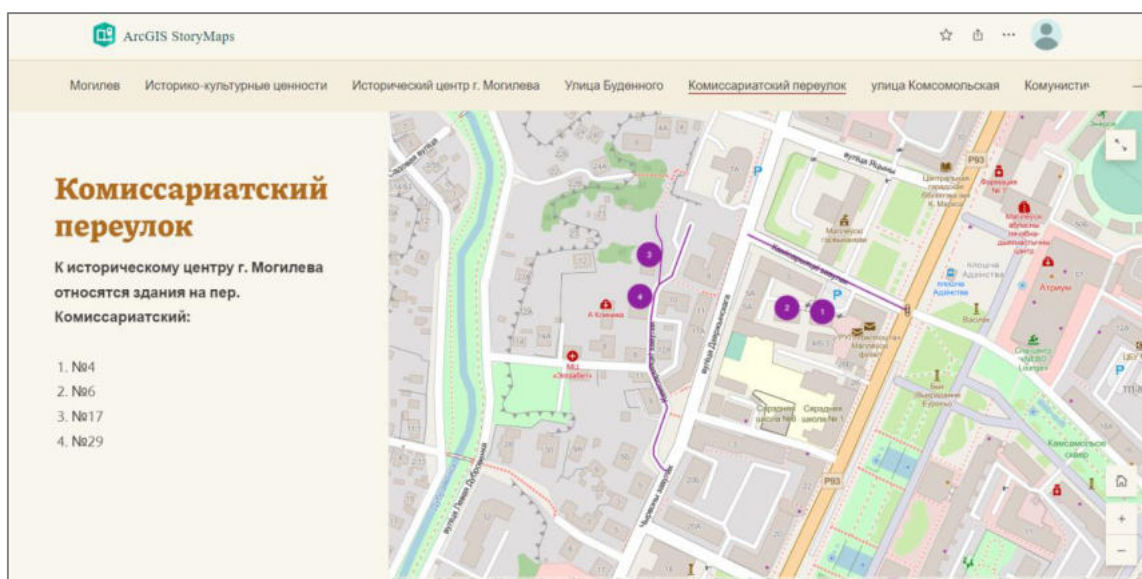


Рис. 4. Раздел «Комиссариатский переулок» в информационно-справочной системе

Таблица 2

Электронные атласы с использованием конструктора ArcGIS StoryMaps и ArcGIS Instant Apps

Название информационно-справочной системы	Виды историко-культурных ценностей г. Могилева	Категории историко-культурных ценностей г. Могилева	Исторический центр г. Могилева
Ссылка	https://arcg.is/1D5K8r	https://arcg.is/PCLrL0	https://arcg.is/av1Xa
QR-код			

Закключение. Таким образом, создание интерактивных ГИС-продуктов является самым лучшим вариантом для картирования большого количества данных их лучшего восприятия либо анализа. Создавая информационно-справочную систему с помощью интерактивной легенды, мы получаем карты с легендами, в которых можно выбрать для отображения только интересующие категории/виды. При создании информационно-справочной системы в StoryMaps можно разделить большое количество данных одной категории/вида (типа) на разделы и рассматривать их только в пределах одного раздела, что может наглядно показывать данные.

Библиографический список

1. *Ковешников А. И., Силаева Ж. Г.* Инвентаризация объектов ландшафтной архитектуры на примере ГПКиО г. Орла. Изд. Картуш, 2016. 135 с.
2. Мониторинг объектов исторического и культурного наследия на основе современных информационных технологий / О. Е. Архипова [и др.] // *ИнтерКарто. ИнтерГИС*. 2021. Т. 27, № 4. С. 434–444.
3. *Токарчук С. М., Поливач К. А.* Инвентаризация историко-культурных ценностей города Гродно для целей развития туризма впечатлений // *Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки*. 2022. Т. 15, № 4. С. 90–102.
4. *Щеболева Е. Г.* О создании Каталога памятников архитектуры Костромской области // *Вестник Российского гуманитарного научного фонда*. 2003. № 1 (30). С. 218–225.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ В СИСТЕМЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Н. Е. Иванов

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск, Беларусь, email: ivanovn347@gmail.com*

В данной статье рассматриваются теоретические и практические аспекты применения нейронных сетей для прогнозирования уровня воды в водоемах. Практический аспект включает реализацию нейросетевой модели на языке программирования Python с применением библиотек scikit-learn и Matplotlib, ее обучение на основе архивных данных метеонаблюдений и действительных показателей уровня воды в водоеме. В качестве параметров модели используются: уровень воды, температура воздуха, температура воды, статистика выпадения осадков, высота снежного покрова.

Ключевые слова: нейросетевые модели; уровень воды; гидрологическое прогнозирование; scikit-learn; метеонаблюдения.

USING A NEURAL NETWORK MODEL IN A HYDROLOGICAL FORECASTING SYSTEM

N. E. Ivanov

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
6 P. Brovka St., 220013, Minsk, Belarus, email: ivanovn347@gmail.com*

This article discusses theoretical and practical aspects of applying neural networks for forecasting water levels in water bodies. The practical aspect includes the implementation of a neural network model using the Python programming language, with the application of scikit-learn and Matplotlib libraries, and its training based on archived meteorological observation data and actual water level indicators in water bodies. The model parameters used include: water level, air temperature, water temperature, precipitation statistics, and snow cover height.

Keywords: neural network models; water level; hydrological forecasting; scikit-learn; meteorological observations.

Гидрологические прогнозы – научно обоснованные методы предсказания различных элементов режима водных объектов суши [1]. Гидрологические явления формируются на территориях речных и озерных водосборов, отличающихся высокой географической неоднородностью, и представляют собой результат сложных процессов, протекающих в атмосфере, на поверхности и в глубинах Земли. Гидрологическое прогнозирование включает в себя исследование закономерностей предсказываемых

явлений и осуществляется посредством теоретического анализа, а также полевых экспериментов и наблюдений.

Прогнозирование паводков рек является многопараметрической задачей, зависящей от множества природно-климатических факторов, включая антропогенные влияния. Значение некоторых факторов, таких как осадки или уровень влажности почвы, невозможно измерить в конкретной точке из-за сложностей доступа, пространственной изменчивости и других объективных причин. Другие параметры, как, например, температура воздуха или состояние ледяного покрова, могут обладать недостаточной точностью и подвержены резким изменениям. В таких условиях использование нейронных моделей оказывается предпочтительнее традиционных математических подходов, поскольку они обучаются на больших объемах данных, выявляя скрытые закономерности и взаимосвязи между параметрами. Эти модели учитывают значимость каждого фактора, адаптируются к изменяющимся условиям и обеспечивают более точное и надежное прогнозирование сложных процессов, таких как изменение уровня воды в водоеме.

Для исследования актуальности использования нейронных сетей в гидрологическом прогнозировании был проведен анализ открытых источников информации, содержащих необходимые данные о наблюдениях за гидрологической ситуацией. В качестве примера для исследования была выбрана река Припять на участке, проходящем в городе Наровля Гомельской области, поскольку удалось найти обширный и достоверный набор данных, включающий параметры, необходимые для гидрологического прогнозирования. В частности, в архивах содержатся данные о таких характеристиках, как уровень и температура воды [2], дневная, вечерняя и ночная температуры воздуха, количество осадков и высота снежного покрова [3]. Эти параметры являются ключевыми для анализа динамики водных потоков, оценки погодных условий и потенциальных изменений уровня воды, что позволяет более полно изучить возможность использования нейронных сетей для точного и эффективного прогнозирования гидрологических явлений.

На основе архивных данных была сформирована база гидрологических и метеорологических данных в городе Наровля и проходящему по нему участку реки Припять за март, апрель и май 2021 – 2024 годов и сохранена в базе данных SQLite. На рис. 1 представлены графики уровня воды в реке Припять в весенний период (с 1 марта по 31 мая) в 2021–2024 годах. Как видно из графиков, динамика уровня воды в разные годы значительно различается, особенно в отношении локальных экстремумов уровня воды. Эти изменения могут быть связаны с различными климатическими и гидрологическими факторами, такими как осадки, таяние снега

или антропогенные воздействия на экосистему реки. Визуализация данных в виде графиков позволяет более наглядно оценить эти колебания и выявить закономерности.

Графики, представленные на рис. 1, были построены с использованием библиотеки `matplotlib` в Python. Данные для графиков были извлечены из базы данных SQLite, в которой хранятся показания уровня воды по дням за рассматриваемые годы. Для каждого года был построен отдельный график, где ось X отображает дату измерений, а ось Y – уровень воды в сантиметрах. Каждый график имеет отдельную цветовую палитру, что облегчает их различение и позволяет увидеть различия в динамике уровня воды по годам.

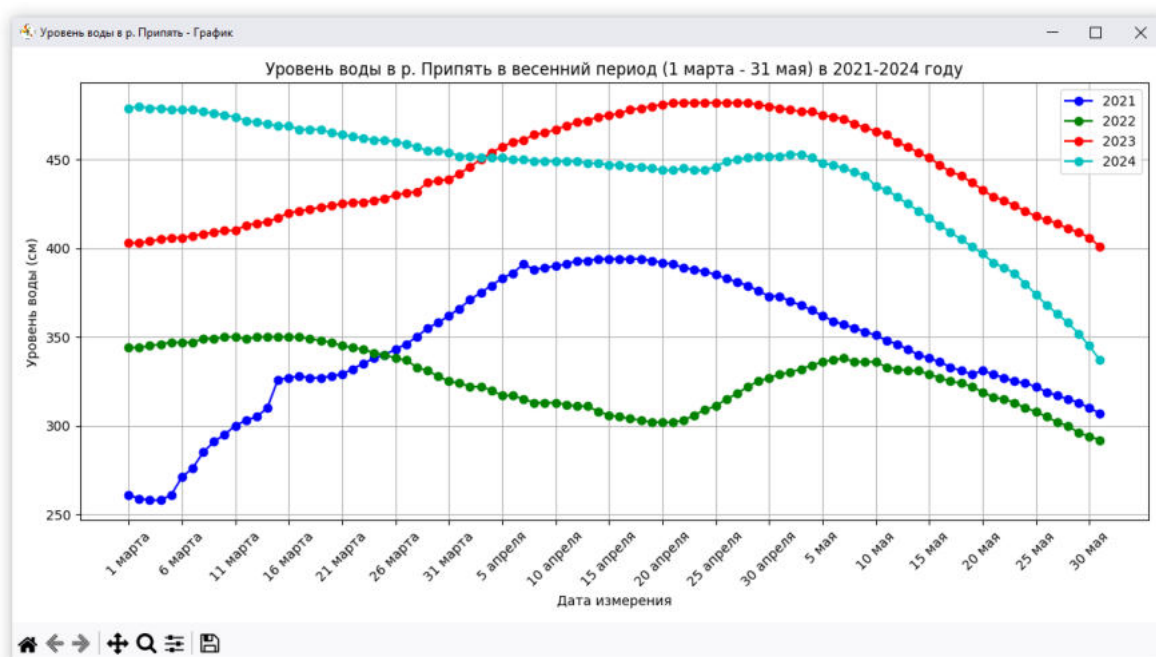


Рис. 1. Графики уровня воды в р. Припять в весенний период с 2021 по 2024 год

После извлечения данных был выполнен этап предобработки, в ходе которого данные были нормализованы с помощью `StandardScaler` из библиотеки `scikit-learn`. Нормализация данных необходима для того, чтобы модель могла эффективно обучаться, так как разные признаки (температура воды и воздуха) могут иметь разные масштабы. Также данные были разделены на обучающую и тестовую выборки с использованием функции `train_test_split`, при этом для сохранения временной последовательности данные были разбиты по времени без случайного перемешивания (параметр `shuffle=False`).

Сам процесс обучения модели использовал архитектуру нейронной сети, состоящую из нескольких полносвязных слоев (`Dense`). Первый слой

сети с 64 нейронами использует функцию активации ReLU, что помогает модели эффективно обучаться на нелинейных зависимостях между признаками. Следующий скрытый слой имеет 32 нейрона, также с активацией ReLU. На выходе сети находится один нейрон, который представляет предсказанный уровень воды. В качестве функции потерь была выбрана среднеквадратическая ошибка (MSE), что является стандартным выбором для задач регрессии. Для оптимизации использовался Adam-оптимизатор, который позволяет адаптивно менять скорость обучения и ускоряет процесс обучения.

Модель обучалась на обучающих данных в течение 100 эпох с использованием мини-пакетов по 32 примера на каждой итерации. После обучения модель была протестирована на тестовой выборке, что позволило оценить её точность и способность предсказывать уровень воды. После этого модель использовалась для прогнозирования уровня воды на основе данных за май 2024 года. Для этого были загружены последние данные о температуре воды и воздуха, преобразованы в день года, а затем масштабированы с использованием того же стандартизатора, что и для обучающих данных. Результаты прогнозирования с помощью нейронной модели в сравнении с существующими данными об уровне воды представлены на рисунке 2.

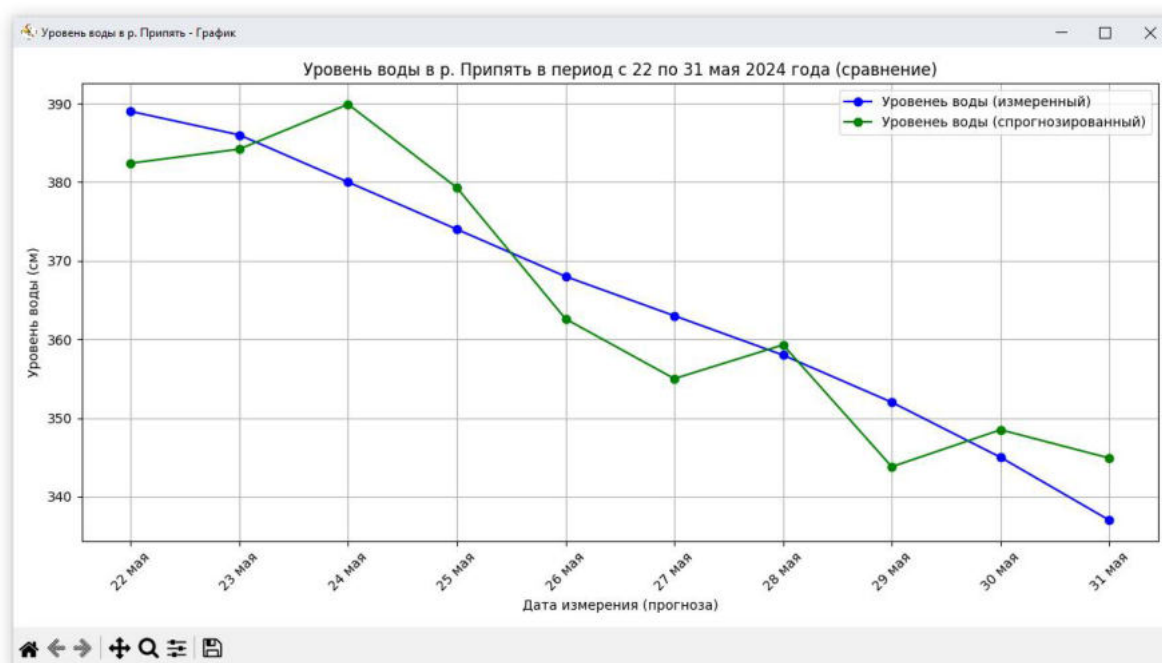


Рис. 2. Графики измеренного и спрогнозированного уровней воды в р. Припять в период с 22 по 31 мая 2024 года

Нейросетевая модель продемонстрировала достаточно высокую точность при прогнозировании уровня воды в конкретной точке водоема, результаты прогноза оказались близкими к фактическим данным. Модель успешно уловила основные тенденции изменения уровня воды, что указывает на её способность адекватно отражать динамику гидрологических процессов.

Библиографические ссылки

1. Гидрологическое прогнозирование: электронный учебно-методический комплекс для специальности: 1-31 02 02 «Гидрометеорология» / А. А. Новик; БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. общего землеведения и гидрометеорологии. Минск : БГУ, 2022. 61 с.
2. Уровень воды на гидропосту Припять-Наровля [Электронный ресурс] // All Rivers : сайт. URL: <https://allrivers.info/gauge/pripyat-narovlya/waterlevel> (дата обращения: 14.11.2024).
3. Архив погоды в Мозыре [Электронный ресурс] // RP5 : сайт. URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Мозыре (дата обращения: 14.11.2024).

ВОЗДУШНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ КАК МЕТОД СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЙ

Р. М. Ильясов¹⁾, С. А. Печкин²⁾

¹⁾ ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», ул. Республики, 20,
628000, г. Салехард, Россия, frandly@mail.ru

²⁾ ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», ул. Республики, 20,
628000, г. Салехард, Россия, a.pechkin.ncia@yandex.ru

Лазерное сканирование – это современный и эффективный метод мониторинга поверхностей природных и инфраструктурных объектов. Однако, как и любая другая технология, она имеет свои ограничения. Работа посвящена выявлению потенциальных ограничений, которые могут возникнуть при использовании воздушной лазерной съёмки, в частности, рассматривается опыт применения лазерной съёмки в ходе проведения мониторинга и поиска геометрических и текстурных изменений внешней поверхности многоэтажных зданий. Уделяется особое внимание описанию методов и инструментов обследования, даётся подробное определение процессам проведения геодезических и аэрофотосъёмочных работ с последующей камеральной обработкой. В заключении проводится оценка качества работ и эффективность данного мониторинга с использованием воздушного лазерного сканирования.

Ключевые слова: лазерное сканирование (ЛС); воздушное лазерное сканирование (ВЛС); беспилотный летательный аппарат (БЛА); точки лазерного отражения (ТЛО); аэрофотосъёмка; трёхмерная модель; текстурные изменения.

AERO LASER SCANNING AS A METHOD OF CREATING A DIGITAL MODEL OF THE BUILDINGS

R. M. Ilyasov¹⁾, S. A. Pechkin²⁾

¹⁾ YNAO State Autonomous Institution " Arctic Research Center", Respubliki St., 20,
628000, Salekhard, Russia, frandly@mail.ru

²⁾ YNAO State Autonomous Institution " Arctic Research Center", Respubliki St., 20,
628000, Salekhard, Russia, frandly@mail.ru

Laser scanning is a modern and effective method of monitoring the surfaces of natural and infrastructural objects. However, like any other technology, it has its limitations. This article is devoted to identifying potential limitations that may arise when using airborne laser survey, in particular, it considers the experience of using VLS during monitoring and searching for geometric and textural changes in the external surface of multi-story buildings, paying special attention to the description of survey methods and tools, giving a detailed definition of the processes of geodetic and aerial survey work with subsequent office processing. In conclusion, an assessment of the quality of work and the effectiveness of this monitoring using airborne laser scanning is carried out.

Keywords: laser scanning (LS); airborne laser scanning (ALS); unmanned aerial vehicle (UAV); laser reflection points (LRP); aerial photography; three-dimensional model; textural changes.

С начала 2000-х годов технология воздушного лазерного сканирования, с появлением на рынке относительно доступных и точных датчиков, находит широкое применение в различных отраслях научной и производственной деятельности. Лазерное сканирование зданий основано на использовании лазерного луча, который отражается от поверхности здания и возвращается к датчику. На основе времени, за которое луч вернулся, и его интенсивности, компьютер и строит трёхмерную модель здания [1]. Данная работа направлена на пилотное использование ВЛС для обследования зданий.

Объект: многоэтажные здания.

Предмет: характеристики наружной поверхности стен искомых зданий.

Цель работы: получение материалов для анализа геометрических характеристик объектов.

Задачи:

1. Получение воздушного лазерного сканирования объектов.
2. Камеральная обработка полученных материалов.
3. Реконструкция облака точек лазерного сканирования, 3D моделей зданий и ортотрансформированного изображения местности.
4. Осмотр текстурных и геометрических характеристик наружной поверхности стен зданий с помощью полученных моделей, дать заключение.

Методы и инструменты исследования.

При исследовании состояние наружной поверхности объектов многоэтажных домов, на участке площадью в 2,8 га, была проведена объёмная ВЛС съёмка с использованием БЛА с полезной подвесной нагрузкой и дополнительным геодезическим оборудованием.

Для повышения качества точности плановых координат и высот точек лазерной съёмки была использована система дифференциальной коррекции спутниковой навигации (далее – DGPS). С помощью DGPS, осуществлялась коррекция измерений псевдодальностей с приемника БВС на основе полученных поправок от достоверного измерителя – базовой навигационной станции, установленной с помощью одного из GNSS-приемников на торцевом опорном геодезическом пункте зданий (рис. 1).

В режиме статической записи были уточнены данные местоположения пункта в проекции.



Рис. 1. Место установки опорного геодезического пункта

При помощи той же системы DGPS, для контроля точности, определили местоположения полученных данных. В кинематическом режиме реального времени, с помощью двух спутниковых навигационных приемников EFT M1+ в связке «база-ровер» (далее – GNSS приемники), была создана опорная сеть из 10 контрольных маркеров, в виде наземных номерных опознаков 1х1м (рис. 2). Опознаки были выставлены из расчёта оптимизации времени полётных работ и согласно триангуляционному методу.



Рис. 2. Пример выставленных опознаков № 1 и № 2, вид сверху

Пролёты БВС (беспилотного воздушного судна) были проведены согласно Федеральным правилам использования воздушного пространства Российской Федерации и согласно краткой информации Росавиации о требованиях российского законодательства в части использования воздушного пространства и использования беспилотных летательных аппаратов [2].

Полёт осуществлялся на высотах не более 50 метров, в светлое время суток, в прямой видимости оператором. Время полётных работ составило 6 часов. Всего было произведено 20 полётных миссий. Общее расстояние полёта насчитывает более 30 км, из них 2/3 полезного полёта с максимальным перекрытием съемки в поперечном направлении по 45 % и в продольном по 70 % (рис. 3).

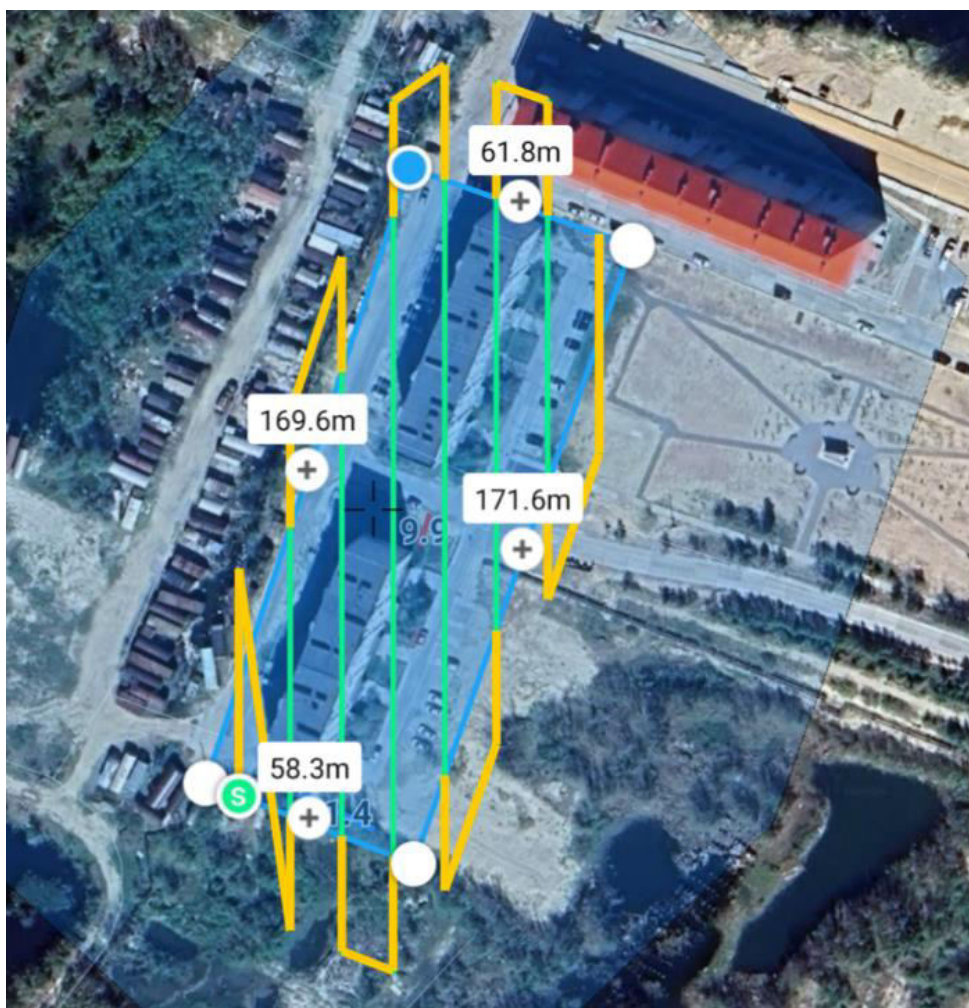


Рис. 3. Пример одного из 20 полётных заданий для БЛА над объектами исследования (общая площадь пролёта 3 га)

Так как данный объект является геометрически сложным для лазерного сканирования в виду сложносоставной фигуры зданий (углы рам окон, надстройки крыш, подъезды и т.п.) и из-за ряда тенеобразующих элементов (кустов, заборов, близко припаркованных авто и т.п.), и для оптимизации времени полевых работ было принято решение осуществлять лазерную съемку (с референцем на погодные условия) на нескольких высотах, в диаметрической проекции под разными углами сканирования относительно поверхности Земли.

Также, для экономии полётного времени и уменьшения шума полученных данных, были оптимизированы настройки лазерного сканирования. В местах, где большая частота перекрытия сканирования не требовалась, например, где работа велась под прямым углом, сканирование осуществлялось с минимально возможным перекрытием для экономии полез-

ного полётного времени. В местах, где осуществлялось лазерное сканирование поверхностей с большим количеством тенеобразующих объектов, оптимизировать процесс не представлялось возможным, в виду необходимости большего количества отраженных импульсов. В связи с этим, для получения лучшей геометрии перекрытых поверхностей было увеличено отражение от 1 до 3 импульсов и повторяющееся сканирование от 140 КHz до 240 КHz. Данные характеристики настроек полёта позволили уменьшить время полёта с 40 до 20 полётных заданий и усилить способность лазерного сканирования поверхностей, перекрывающихся теневыми объектами, что повлияло на общее качество полученных данных.

Общее количество облака ТЛО составило 420 502 681, по итогу камеральной обработки удалось оптимизировать модель до 54 731 461 ТЛО. Камеральная обработка осуществлялась при помощи ортофотограмметрических, геоинформационных систем и систем программного обеспечения, работающих с точками лазерного сканирования.

Обследование текстурных и геометрических характеристик наружной поверхности стен зданий осуществлялось в камеральных условиях на основе анализа построенной тайловой 3Dмодели на предмет текстурных изменений поверхности стен и модели облака ТЛО на предмет нехарактерных геометрических изменений для поверхности модели зданий (трещин, сколов). По результатам визуального обследования в фасадной и торцевых частях зданий были обнаружены текстурные изменения цветов поверхности стен линейной и полигональной формы на верхних этажах и в местах межэтажных стыков (рис. 4), возможно связанных с ремонтными работами. Геометрических деформаций выявлено не было, размерные характеристики двух моделей зданий идентичны, геометрические пропорции симметричны (ширина/длина/высота) (рис. 4).

При контроле точности полученных данных лазерного сканирования и её валидирования с созданной опорной сетью, было выявлено, что общее среднеквадратическое отклонение полученных измерений составляет 0,02 м, что не превышает требований к выполнению аэросъемки, согласно ГОСТ р 59562-2021 [3]. Тем не менее, данные материалы, полученные при помощи аэросъемки, не являются эталонным для инженерных изысканий и предназначены только для предварительных геометрических измерений и визуального анализа объектов.

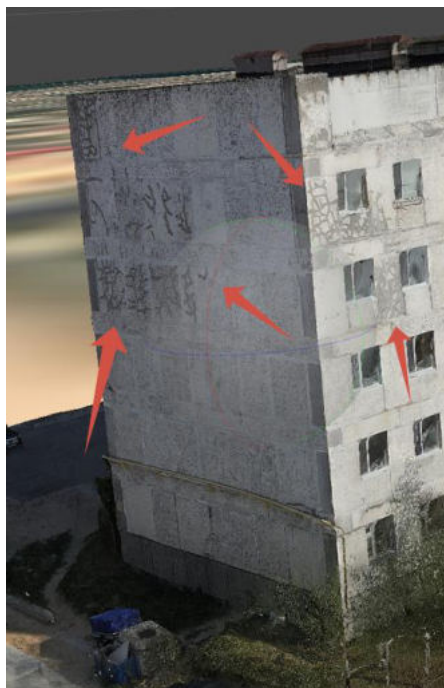


Рис. 4. Пример текстурных изменений цветов поверхности стен



Рис. 5. Измерения габаритных размеров 3D-модели

Предварительный анализ созданных моделей показал, что в фасадной и торцевых частях зданий присутствует текстурная изменения цветов поверхности стен (линейной и полигональной формы) (рис. 5). Геометрических деформаций выявлено не было, размерные характеристики двух моделей зданий идентичны и геометрические пропорции симметричны (ширина/длина/высота) [4].

Воздушное сканирование как метод получения модели, сформированной на основе облака точек лазерного сканирования, является цифровой реконструкцией реального объекта, что вполне может подойти для создания BIM моделей (цифровая модель здания) с минимальными затратами на моделирование.

Библиографические ссылки

1. *Гайрабеков И. Г., Пилигин И. Ю., Гайрабекова А. И.* Определение деформаций здания лазерным сканированием / Всероссийский съезд экологов : сборник тезисов, приуроченный к году экологии в России. Изд. ИПК «Грозненский рабочий», 2017. С. 167–170.
2. Постановление правительства РФ от 11.03.2010 N 138 (ред. от 02.12.2020) «Об утверждении федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 09.06.2021).
3. ГОСТ р 59562-2021 «Съемка аэрофототопографическая : технические требования». Утв. и введ. в действие 10.06.2021. М. : Стандартинформ, 2021. 66 с.
4. СП 126.13330.2017 «Свод правил : геодезические работы в строительстве». Введ. в действие 25.04.2018. М. : Минстрой России, 2017. 58 с.

ГРАФИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ГИС-АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА БРЕСТА

М. В. Касянюк¹⁾, С. М. Токарчук²⁾

¹⁾Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, бул. Космонавтов, 21, 224016, г. Брест, Беларусь, mariabartasevic12@gmail.com

²⁾Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, бул. Космонавтов, 21, 224016, г. Брест, Беларусь, svetlana.m.tokarchuk@mail.ru

В статье рассматриваются возможности веб-приложения Survey123 for ArcGIS для проведения ГИС-анализа инфраструктуры общественного транспорта города на примере автобусных рейсов Бреста. Графико-статистический анализ был выполнен с использованием раздела «Анализ» программы, где полученные результаты представляются в виде карты, таблицы, галереи фотографий, столбчатой, линейной или круговой диаграммы, облака слов.

Ключевые слова: город; городская инфраструктура; общественный транспорт; ГИС-анализ; графический анализ; статистический анализ.

GRAPHIC AND STATISTICAL GIS-ANALYSIS OF PUBLIC TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF BREST

M. V. Kasianiuk¹⁾, S. M. Tokarchuk²⁾

¹⁾A. S. Pushkin Brest State University, 21, Cosmonauts Blvd, 224016, Brest, Belarus, mariabartasevic12@gmail.com;

²⁾A. S. Pushkin Brest State University, 21, Cosmonauts Blvd, 224016, Brest, Belarus, svetlana.m.tokarchuk@mail.ru

The article examines the capabilities of the Survey123 for ArcGIS web-application for conducting GIS-analysis of the city's public transport infrastructure using the example of Brest bus routes. Graphical and statistical analysis was performed using the "Analysis" section of the program, where the results are presented in the form of a map, table, photo gallery, bar, line or pie chart, word cloud.

Keywords: city; urban infrastructure; public transport; GIS analysis; graphical analysis; statistical analysis.

Изучение транспортной инфраструктуры является достаточно популярным направлением в современных научных исследованиях [1–4]. Следует отметить, что в научных журналах встречаются статьи отображающие исследования любых видов транспорта: воздушного, трубопроводного, железнодорожного, автомобильного и др. Также большое внимание

уделяется изучению городского транспорта [2], в первую очередь, общественного [3].

Для анализа инфраструктуры общественного транспорта широко применяются геоинформационные технологии [3, 4]. Помимо картографирования, самыми распространенными являются работы, посвященные ГИС-анализу транспортной инфраструктуры. В таких работах основными элементами иллюстрации текста являются не карты, а таблицы и графики [2], которые могут быть получены также с использованием современных ГИС-оболочек.

В данной работе приводится опыт графико-статистического анализа инфраструктуры общественного транспорта на примере изучения сети автобусных маршрутов города Бреста с использованием ГИС-технологий.

Исследования проводилось с использованием веб-приложения Survey123 for ArcGIS.

На первом этапе был создан специальный опрос по маршрутам общественного транспорта, отдельно для автобусов и троллейбусов. Опрос включал 13 пунктов (табл. 1) и представлял собой своеобразную анкету (рис. 1), при заполнении которой автоматически формировалась облачная картографическая база данных.

Рис. 1. Интерактивный опрос «Автобусные маршруты Бреста»

Таблица 1

Состав и основное содержание интерактивного опроса «Автобусные маршруты города Бреста»

№	Название	Тип поля	Описание	Пример заполнения
1	Номер маршрута	Число	Номер маршрута	48
2	Маршрут	Карта	Маршрут на карте	
3	Протяженность маршрута, км	Число	Рассчитать по веб-карте протяженность маршрута в километрах	14,60
4	Количество остановок	Число	Посчитать сколько находится остановок на данном маршруте.	25
5	Количество остановок на километр	Число	Разделить количество остановок на протяженность маршрута.	1,7
6	Средняя протяженность маршрута между остановками	Число	Разделить протяженность маршрута на количество остановок.	0,58
7	Время начала движения. Будние дни	Время	Время начала движения по маршруту.	5:45
8	Время окончания движения. Будние дни	Время	Последний рейс во сколько отправляется.	22:41
9	Количество рейсов. Будние дни	Число	Общее количество рейсов за день.	19
10	Время начала движения. Выходные дни	Время	Время начала движения по маршруту.	6:23
11	Время окончания движения. Выходные дни	Время	Последний рейс во сколько отправляется.	20:48
12	Количество рейсов. Выходные дни	Число	Общее количество рейсов за день.	8
13	Примечание	Много-строчный текст	Характерные особенности или уникальность маршрута	<i>Маршрут имеет разное количество остановок с двух сторон</i>

Следует отметить, что интерфейс программы позволяет сразу получать данные для анализа. Эти данные могут быть представлены в виде карты, таблицы, галереи фотографий, столбчатой, линейной или круговой диаграммы, облака слов. Также к графикам и иллюстрациям имеется возможность включения статистических данных.

Таким образом, с использованием раздела «Анализ» программы Survey123 for ArcGIS был выполнен графико-статистический ГИС-анализ транспортной инфраструктуры автобусов города Бреста.

Протяжённость маршрута. Основные статистические данные по протяженности автобусных маршрутов города Бреста представлены в таблице 2. Самый короткий маршрут имеет протяжённость 4,81 км автобуса № 5. В целом в Бресте пять автобусных маршрутов имеет протяжённость менее 7 км. Это маршрут 3 (5,86), 7 (5,89), 44А (6,38), 8 (6,47). Самым длинным маршрутом, протяжённость которого составляет 27,05, является автобус № 34. Следует отметить, что протяжённость больше 20 км имеется только у одного маршрута — это № 35 (21,98 км).

Таблица 2

Статистический анализ протяженности автобусных маршрутов города Бреста (км)

Статистика	Значение
Минимальное	4,81
Максимальное	27,05
Среднее	12,77
Сумма	791,83

На рис. 2 показана группировка автобусных маршрутов города Бреста по протяжённости. При проведении графико-статистического ГИС-анализа использовался метод равноинтервального ранжирования на пять классов. Наибольшее количество (25) автобусных маршрутов относится ко второму уровню (9,26–13,71 км).

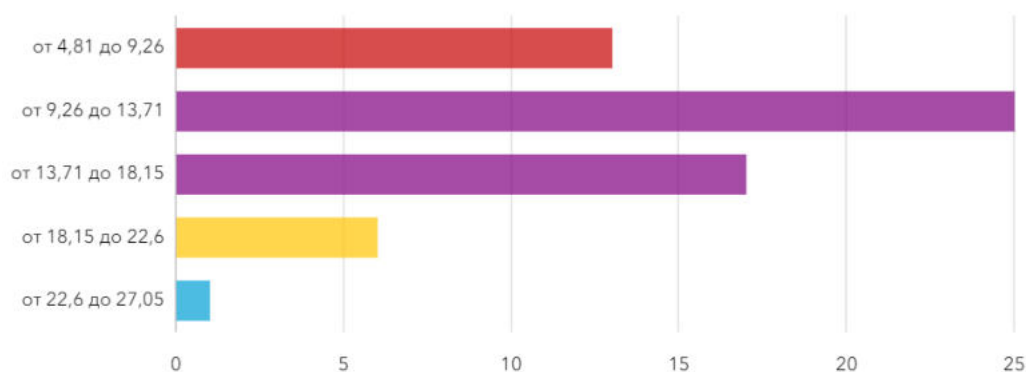


Рис. 2. Классификация автобусных маршрутов города Бреста по протяженности

Количество остановок. В таблице 3 представлена статистика количества остановок автобусных маршрутов в городе Бресте. Минимальное ко-

личество остановок (9) отмечается для маршрута №5. Максимальное количество остановок является 40 и наблюдается у маршрута №34. Среднее количество остановок составляет 22.

Таблица 3

Статистический анализ количества остановок автобусных маршрутов Бреста

Статистика	Значение
Минимальное	9
Максимальное	40
Среднее	22

С помощью метода равноинтервального ранжирования было разделено на 5 классов количество остановок автобусных маршрутов в городе Бресте (рис. 3). Наибольшее количество (22 маршрута) относится ко 2 классу (от 16 до 21 остановки).

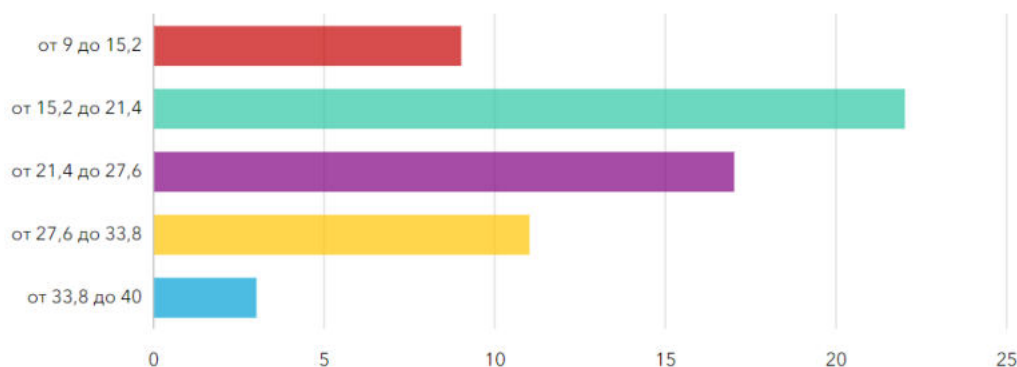


Рис. 3. Классификация автобусных маршрутов Бреста по количеству остановок

Количество остановок на километр. Таблица 4 показывает статистический анализ количества остановок на один километр каждого автобусного маршрута города Бреста. Минимальное количество остановок на километр автобусных маршрутов составило 1,3 (автобус № 45), а максимальное 2,1 (автобус № 14).

Таблица 4

Статистический анализ количества остановок на километр автобусных маршрутов Бреста

Статистика	Значение
Минимальное	1,3
Максимальное	2,1
Среднее	1,73

На рисунке 4 показана классификация автобусных маршрутов города Бреста по количеству остановок на километр. Наибольшее количество маршрутов (22) относят к 4 классу (от 1,78 до 1,94).

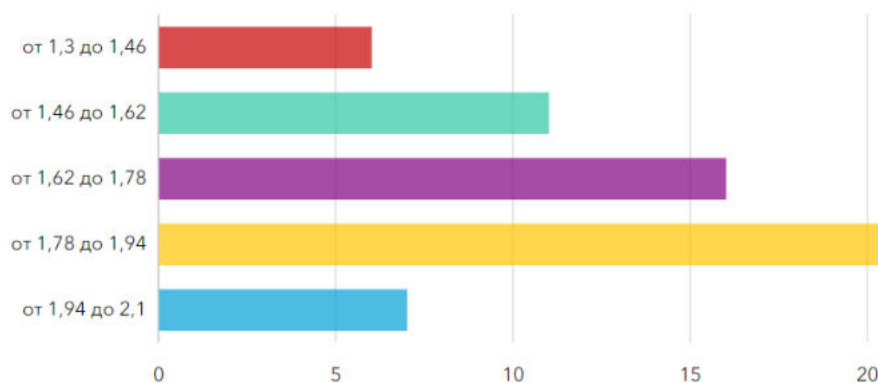


Рис. 4. Классификация автобусных маршрутов города Бреста по количеству остановок на километр

Средняя протяженность маршрута между остановками. В таблице 5 представлен статический анализ средней протяженности между остановками каждого автобусного маршрута города Бреста. Минимальное значение средней протяженности маршрута между остановками составляет 0,48 и относится к маршруту № 12А, а максимальное 0,77 у автобуса № 45.

Таблица 5

Статистический анализ средней протяженности маршрута между остановками автобусных маршрутов города Бреста

Статистика	Значение
Минимальное	0,48
Максимальное	0,77
Среднее	1

На рисунке 5 показана классификация автобусных маршрутов города Бреста по средней протяженности между остановками. Второй класс (от 0,54 до 0,6) является наибольшим, и сюда относят 27 маршрутов, 5 класс (от 0,71 до 0,77) включает в себя всего 1 маршрут (№ 45).

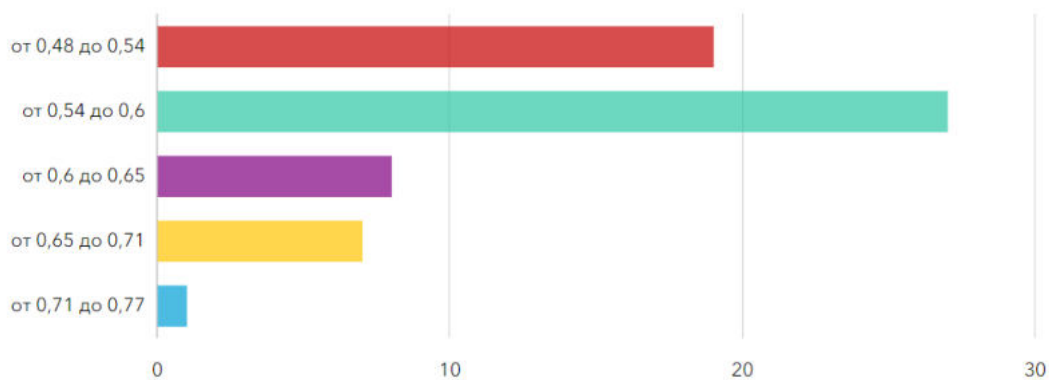


Рис. 5. Классификация автобусных маршрутов города Бреста по средней протяжённости маршрута между остановками

Время начала движения. Будние дни. Абсолютное большинство автобусных рейсов (23) начинает движение до 06:00 и в период с 06:00–07:00 (рис. 6).

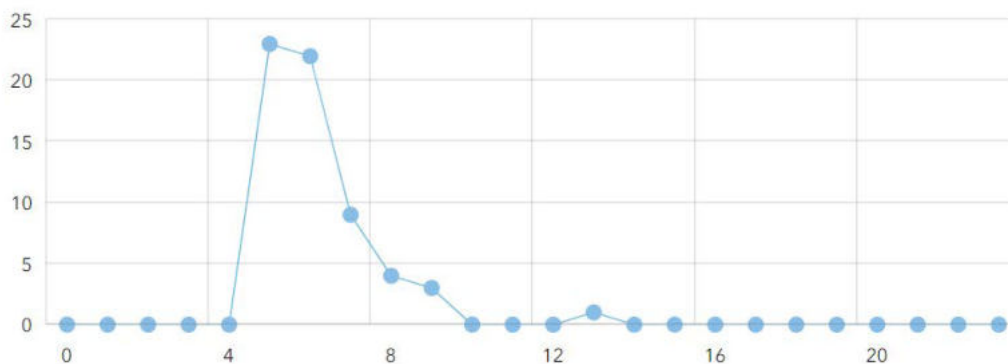


Рис. 6. Время начала движения в будние дни

Время окончания движения. Будние дни. 14 рейсов заканчивает движение с 23:00 до 00:00, еще 12 рейсов – с 22:00 до 23:00 (рис. 7).

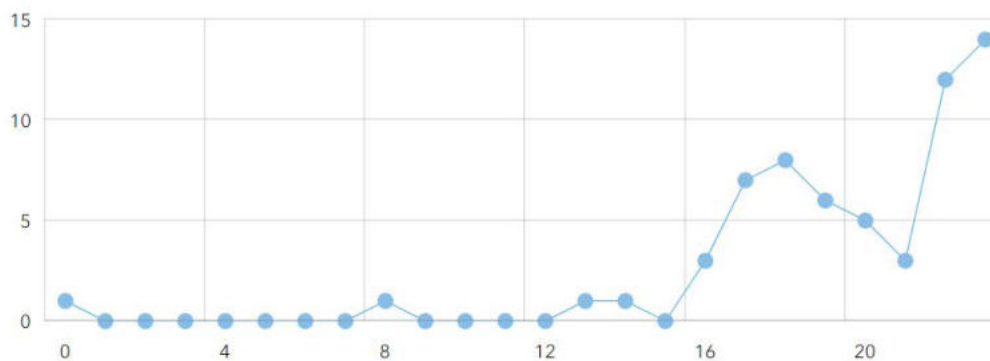


Рис. 7. Время окончания движения в будние дни

Количество рейсов. Будние дни. В таблице 6 отображён статический анализ количества рейсов автобусных маршрутов города Бреста в будние дни. Можно отметить, что минимальным значением является 1 рейс. Но минимальное число рейса относится не к одному, а к нескольким маршрутам – №6, 14Б, 34, 36, 44А, 49. Максимальное количество – 51 рейс, и он относится к маршруту №18. Среднее значение равно 14 рейсам.

Таблица 6

Статистический анализ количества рейсов в будние дни автобусных маршрутов города Бреста

Статистика	Значение
Минимальное	1
Максимальное	51
Среднее	14
Сумма	892

На рисунке 8 показана группировка автобусных маршрутов города Бреста по количеству рейсов в будние дни. Как видно из графика, наибольшее количество рейсов – от 1 до 11.

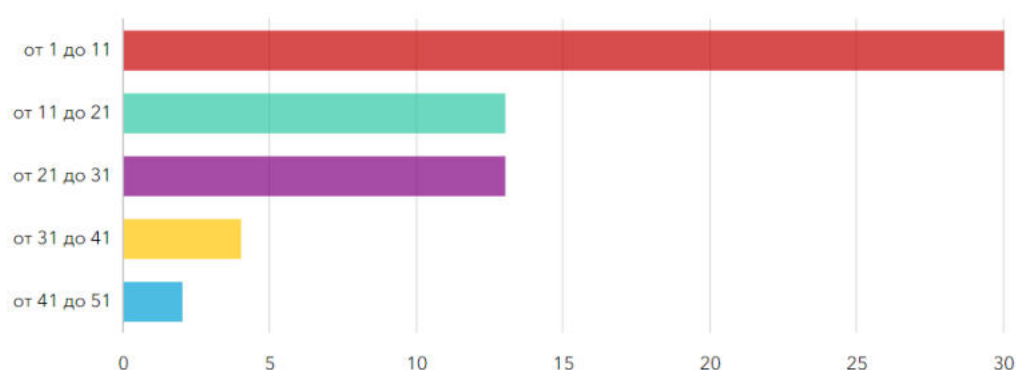


Рис. 8. Классификация автобусных маршрутов города Бреста по количеству рейсов в будние дни

Таким образом, веб-приложение Survey123 for ArcGIS является хорошим инструментом для проведения ГИС-анализа инфраструктуры общественного транспорта города.

Библиографические ссылки

1. Даштилов Ц. Б. Картографирование и анализ транспорта Байкало-Монгольской Азии // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 46. С. 53–64.

2. Кононова М. С., Воробьева Ю. А., Курипта О. В. Анализ транспортной инфраструктуры г. Воронежа // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2023. № 3 (26). С. 117–127.

3. Мамажакыпова Г. Т., Алиев А. У. Оценка обеспеченности населения общественным транспортом города Ош с применением ГИС-анализа // Бюллетень науки и практики. 2022. Т. 8, № 5. С. 418–424.

4. Шамак А. В., Чиж Д. А. Использование ГИС для анализа доступности кикшеринга в г. Минске // ГИС-технологии в науках о Земле : материалы республиканского научно-практического семинара студентов и молодых ученых, Минск, 15 ноября 2023 года. Минск : Белорусский государственный университет, 2023. С. 242–247.

**СОЗДАНИЕ ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ
ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ В РАМКАХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО КУРСУ «ГИС-ТЕХНОЛОГИИ»
(НА ПРИМЕРЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ
ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА БРЕСТА)**

М. В. Касянюк¹⁾, С. М. Токарчук²⁾

¹⁾Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, бул. Космонавтов, 21, 224016, г. Брест, Беларусь, mariabartasevic12@gmail.com

²⁾Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, бул. Космонавтов, 21, 224016, г. Брест, Беларусь, svetlana.m.tokarchuk@mail.ru

В данной статье представлен опыт выполнения лабораторных работ по курсу «ГИС-технологии» по теме курсовой работы «ГИС-картографирование современной инфраструктуры общественного транспорта города Бреста». В статье приводится описание четырех созданных по тематике курсовой работы ГИС-проектов: простого интерактивного каталога, картографического веб-каталог, виртуальной экскурсии, электронного атласа, выполненных с использованием шаблона StoryMaps ArcGIS Online.

Ключевые слова: город; общественный транспорт; ГИС-технологии; ГИС-картографирование; интерактивный каталог; виртуальная экскурсия; электронный атлас.

**CREATION OF THEMATIC CARTOGRAPHIC
WEB-APPLICATIONS WITHIN THE FRAMEWORK OF
LABORATORY WORKS ON THE COURSE "GIS-TECHNOLOGIES"
(ON THE EXAMPLE OF MAPPING THE INFRASTRUCTURE OF
PUBLIC TRANSPORTATION IN BREST)**

M. V. Kasianiuk¹⁾, S. M. Tokarchuk²⁾

¹⁾A. S. Pushkin Brest State University, 21, Cosmonauts Blvd, 224016, Brest, Belarus, mariabartasevic12@gmail.com;

²⁾A. S. Pushkin Brest State University, 21, Cosmonauts Blvd, 224016, Brest, Belarus, svetlana.m.tokarchuk@mail.ru

This article presents the experience of performing laboratory work on the course "GIS-technologies" on the topic of the coursework "GIS mapping of the modern public transport infrastructure of the city of Brest". The article provides a description of four GIS projects created on the topic of the coursework: a simple interactive catalog, a cartographic web catalog, a virtual excursion, an electronic atlas, made using the StoryMaps ArcGIS Online template.

Keywords: city; public transport; GIS technologies; GIS mapping; interactive catalog; virtual tour; electronic atlas.

В современном географическом образовании большое значение имеет обучение студентов современным информационным технологиям, в первую очередь, владению и использованию в учебной и научной деятельности ГИС-технологий. Это обусловлено тем, что в настоящее время геоинформационные технологии находят применение во всё большем числе различных направлений деятельности человека. Постоянно расширяется спектр решаемых задач и круг прикладных отраслей, где используются средства ГИС.

В связи с этим встает задача подготовки квалифицированных специалистов-географов, обладающих не только знаниями и навыками, позволяющими использовать предоставляемые ГИС возможности, но и разрабатывать идеи и реализовывать собственные ГИС-проекты с использованием различных программных оболочек.

Приобрести данные компетенции студенты могут в рамках курса «ГИС-технологии». В учебной программе современного университета основная часть данного курса включает лабораторный практикум, при выполнении которого студенты получают навыки работы с разными ГИС-программами.

Учебная дисциплина «ГИС-технологии» в Брестском государственном университете имени А.С. Пушкина изучается на протяжении 2 семестров 3 курса. Первая часть курса связана с изучением возможностей и созданием картографических веб-приложений средствами шаблона карт историй (StoryMaps) облачной платформы картографирования ArcGIS Online.

Шаблон ArcGIS StoryMaps представляет собой новую современную платформу для создания повествований (т. н. «историй») с помощью интерактивных карт и других типов материалов (текста, фотографий и др.).

Шаблон ArcGIS StoryMaps можно использовать для создания разных типов интерактивных проектов, содержащих текстовые описания и сопровождающихся иллюстрациями, гиперссылками, картами.

Лабораторный практикум первой части включает 7 лабораторных работ, в результате выполнения каждой из которых студенты с использованием шаблона ArcGIS StoryMaps должны реализовать один из видов ГИС-проекта: простой интерактивный каталог, каталог веб-ресурсов, картографический веб-каталог, интерактивный паспорт, виртуальную экскурсию, интерактивный каталог, электронный атлас.

Рекомендации к выполнению лабораторных работ являются полностью авторской разработкой, составлены на основании выполнения собственных геоинформационных продуктов (веб-приложений) [5]. Рекомендации могут быть использованы как для выполнения лабораторных работ,

так и в научно-исследовательской деятельности студентов (при написании курсовых и дипломных работы, магистерских диссертаций).

Следует отметить, что варианты (тематику) выполнения лабораторных работ студенты выбирают самостоятельно, в том числе, предложенный вариант может соответствовать тематике курсовой работы студента. Таким образом, выполняя лабораторный практикум, студенты могут параллельно работать над своей научно-исследовательской работой.

В данной статье представлен опыт выполнения лабораторных работ в рамках курсовой работы «ГИС-картографирование современной инфраструктуры общественного транспорта города Бреста». Следует отметить, что тематика картографирования (в том числе геоинформационного) транспортной системы, в том числе городов, является достаточно популярным направлением современных научных исследований [1, 2, 4]. Кроме того, картографирование транспортной инфраструктуры также является элементом работ, посвященных изучению других видов городской инфраструктуры [3]. Следует отметить, что чаще всего в научных работах картографирование транспорта, в том числе, общественного происходит с использованием настольных версий ГИС [1, 2], а примеров использования облачных платформ фактически не встречается.

Лабораторная работа 1. «Создание простого интерактивного каталога». Простой интерактивный каталог представляет собой веб-приложение в виде набора иллюстративных или мультимедийных страниц с дополнительным текстово-иллюстративным окном.

При выполнении данной лабораторной работы был создан каталог «Виды общественного транспорта» (рис. 1). Веб-каталог предлагает краткие описания различных видов общественного транспорта Беларуси. В основном окне каталога представлена фотография данного вида общественного транспорта, а в дополнительном – текстовое описание. Текстовое описание хорошо структурировано и включает несколько подразделов. Во-первых, каждого вида транспорта указаны его преимущества и недостатки, что позволяет пользователям лучше понять, какой именно вид может подойти им в той или иной ситуации. Кроме того, в каталоге содержится информация о том, как и когда данный вид транспорта появился в Беларуси, что добавляет историческую ценность и контекст к представленным данным. В завершение, для тех, кто хочет углубить свои знания, предусмотрены ссылки на более подробные материалы и исследования о каждом виде транспорта. Это делает каталог не только информативным, но и полезным инструментом для изучения общественного транспорта в стране.



Рис. 1. Вкладка «Автобус» в интерактивном каталоге

Лабораторная работа 3. «Создание интерактивного картографического каталога». Заданием данной лабораторной работы было создание сложного интерактивного каталога с использованием шаблона ArcGIS StoryMaps, который будет включать не менее двух разделов (т. е. туров по карте), а также описательную часть.

В рамках данной лабораторной работы было выполнено веб-приложение «Инфраструктура общественного транспорта».

Проект включает несколько частей. Первая часть – это описание инфраструктуры общественного транспорта города.

Вторая часть представляет собой интерактивную карту-каталог всех конечных остановок автобусов и троллейбусов города (рис. 2). В описательной части к каждой конечной остановке приводится следующая информация: расположение, вид транспорта и количество рейсов (рис. 3).

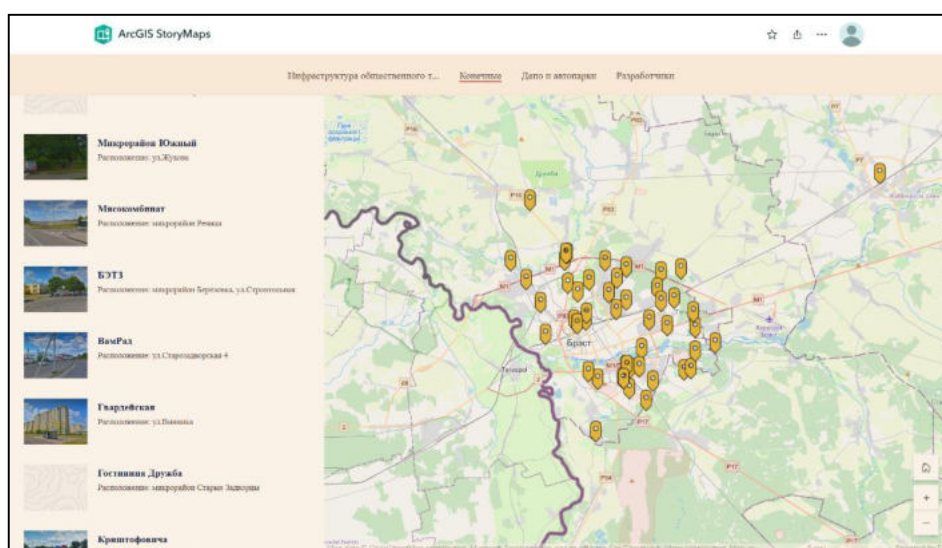


Рис. 2. Карта-каталог конечных остановок общественного транспорта Бреста

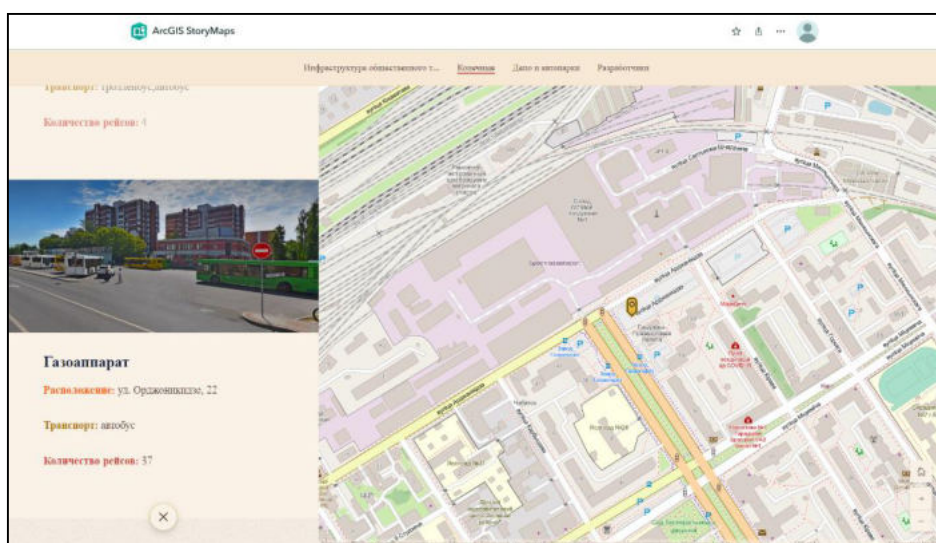


Рис. 3. Конечная остановка «Газоаппарат» в интерактивном каталоге

Третья часть представляет собой карту-каталог троллейбусных депо и автобусных парков. В их содержании описано расположение и адрес и на карте обозначено их местоположение.

Лабораторная работа 5. «Создание виртуальной экскурсии». Целью данной работы являлось создание городской виртуальной экскурсии локального (ультраллокального) уровня с использованием данных собственных полевых исследований. Студентам на выбор было предложено создание простой виртуальной экскурсии с фотографиями либо сложной экскурсии со стендами.

В результате работы была разработана виртуальная экскурсия со стендами под названием «Общественный транспорт». Эта экскурсия предлагает пользователям уникальную возможность познакомиться с системой общественного транспорта в Бресте, исследуя ключевые точки маршрута, который проходит через центральную часть города. Экскурсия состоит из восьми остановок, каждая из которых представляет собой важный элемент транспортной инфраструктуры. Начало маршрута расположено у автовокзала города Бреста (рис. 4) — важного узла, откуда отправляются автобусы в разные направления. Это место играет центральную роль в жизни города, обеспечивая связь между различными районами и другими населенными пунктами. По мере продвижения по маршруту участники экскурсии смогут увидеть различные остановки и транспортные узлы, которые иллюстрируют, как организована система общественного транспорта в Бресте. Каждая точка маршрута сопровождается стендом, выполненным в программе Canva.

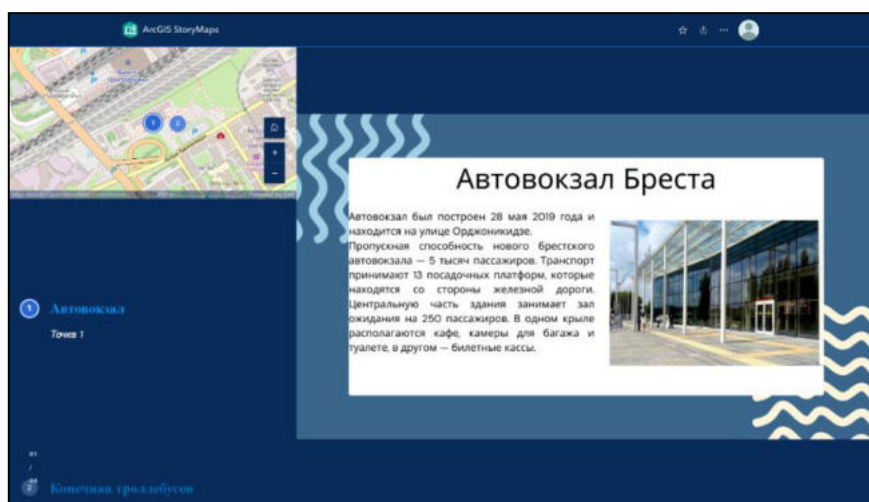


Рис. 4. Стоянка «Автовокзал»

Лабораторная работа 6. «Создание электронного атласа». Цель данной работы – составить электронный атлас с использованием шаблона ArcGIS StoryMaps, который будет включать экспресс-карты, текст, изображения и др.

В результате выполнения работы был создан электронный атлас «Троллейбусные маршруты» (рис. 5). Атлас включал описательную часть и 11 разделов, каждый из которых соответствует одному маршруту троллейбусов. Основное (большое) окно атласа включает интерактивную карту маршрута, которая состоит из двух типов векторных объектов: (1) линейного, которым изображен сам маршрут троллейбуса и (2) точечного, которым нанесены все остановки данного маршрута. В малом дополнительном окне представлена сводная информация о маршруте: длина маршрута, количество рейсов с обеих сторон, количество рейсов с каждой из сторон, средняя протяжённость между остановками.

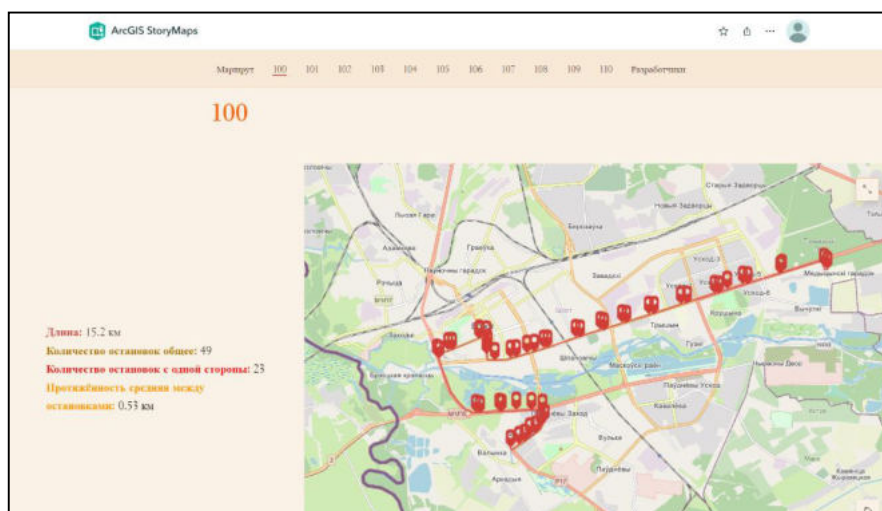


Рис. 5. Маршрут троллейбуса № 100

Таким образом, можно выделить два основных результата данной работы. Во-первых, в ходе выполнения лабораторного практикума по курсу «ГИС-технологии» были получены навыки реализации разных типов ГИС-проектов (интерактивных каталогов, виртуальных экскурсий, электронных атласов). Во-вторых, было выполнено исследование, соответствующее тематике курсовой работы.

Библиографические ссылки

1. *Адиева Г. М., Сатыбаев А. Д.* Геоинформационное картографирование сети массового пассажирского транспорта города Ош // Научное обозрение. Технические науки. 2024. № 2. С. 42–49.
2. *Александров В. Ю., Прохорова Е. А.* Исследование и картографирование некоторых аспектов работы общественного транспорта Тверской области // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28, № 1. С. 219–229.
3. *Курлович Д. М., Усова И. П., Сысоева В. А.* Картографо-геоинформационное обеспечение разработки планов зеленого градостроительства в Республике Беларусь // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27, № 1. С. 151–164.
4. *Лаврентьев С. В.* Картографирование городского транспорта: направления развития // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. № 4. С. 33–38.
5. *Токарчук С. М., Полячок Т. С., Белюк А. О.* Опыт создания ГИС-порталов как платформы для объединения результатов научной и учебной деятельности студентов // Псковский регионологический журнал. 2022. Т. 18, № 3. С. 147–163.
6. *Чибряков Я. Ю.* Использование геоинформационных технологий для картографирования железнодорожного транспорта // Бюллетень транспортной информации. 2003. № 10 (100). С. 35–40.

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ В ТУНКИНСКОЙ КОТЛОВИНЕ

А. Л. Киндеев¹⁾, Н. Н. Воропай^{2,3)}, Д. И. Голубец^{2,3)}

1) Белорусский государственный университет, 220030,
Республика Беларусь, Минск, ул. Ленинградская, д. 16,
AKindeev@tut.by

2) Институт Мониторинга Климатических и Экологических Систем СО РАН,
Российская Федерация, г. Томск, пр. Академический, 10/3

3) Институт Географии СО РАН им. В. Б. Сочавы,
Российская Федерация, Иркутск, ул. Улан-Баторская 1,
voropay_nn@mail.ru

2) Институт Мониторинга Климатических и Экологических Систем СО РАН,
Российская Федерация, г. Томск, пр. Академический, 10/3

3) Институт Географии СО РАН им. В. Б. Сочавы,
Российская Федерация, Иркутск, ул. Улан-Баторская 1,
dima.golubets1203@gmail.com

В исследовании представляются результаты апробации методики трехмерного геостатистического моделирования с использованием эмпирического байесовского кригинга 3D-глубины промерзания почвенного покрова в Тункинской котловине. Для анализа использовались значения средних температур за 2013–2015 гг. по глубинам от 0 до 7 м в 19 скважинах. Наилучшей моделью интерполяции стала степенная вариограмма, показавшая наилучшее соответствие с эмпирической вариограммой и доверительными интервалами, что говорит о высокой точности моделирования и возможностях использования полученных результатов в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова: вечная мерзлота; температура; геостатистика; ошибки интерполяции.

3D MODELING OF PERMAFROST SPREADING IN THE TUNKA BASIN

A. L. Kindeyev¹⁾, N. N. Voropay^{2,3)}, D. I. Golubets^{2,3)}

1) Belarusian State University, 220030,
Republic of Belarus, Minsk, Leningradskaya St., 16,
AKindeev@tut.by

2) Institute for Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS,
Russian Federation, Tomsk, Akademicheskoy Ave., 10/3

3) V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS,
Russian Federation, Irkutsk, Ulaanbaatar St., 1,
voropay_nn@mail.ru

2) Institute for Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS,
Russian Federation, Tomsk, Akademicheskoy Ave., 10/3

3) V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS,
Russian Federation, Irkutsk, Ulaanbaatar St., 1,
dima.golubets1203@gmail.com

The study presents the results of testing the methodology of three-dimensional geostatistical modeling using empirical Bayesian kriging of 3D soil freezing depth in the Tunka Basin. The analysis was carried out using average temperature values for 2013–2015 at depths from 0 to 7 m in 19 wells. The best interpolation model was the power variogram, which showed the best agreement with the empirical variogram and confidence intervals, which indicates high accuracy of modeling and the possibility of using the obtained results in further research.

Keywords: permafrost; temperature; geostatistics; interpolation errors.

На исходе XX века проблема изменения климата в сторону глобального потепления стала одной из центральных [1], и ее обсуждение продолжается до сих пор. Одним из наиболее уязвимых к потеплению климата регионов является территория Арктики, в связи с тем, что многие тысячи лет экосистемы формировались в условиях вечной мерзлоты.

Почвы, затронутые вечной мерзлотой, занимают большую часть земель в северных широтах [2]. Потепление климата напрямую влияет на температуру почв, затронутых вечной мерзлотой, и оказывает прямое негативное воздействие на экосистемы Арктики [3]. Ежегодно прогревание слоя вечной мерзлоты становится все больше, что приводит к повышению выбросов углерода и метана от разложения больших запасов ранее замороженного органического материала [4].

На территории России, в частности в Сибири, как и в других регионах Арктики, изучение динамики вечной мерзлоты является актуальной и важной задачей [5]. Нарушение напочвенного покрова и верхних органогенных горизонтов почв приводит к изменению их гидротермических свойств, вызывая избыточный нагрев поверхности в летний период, что фиксируется и в сезонно-талом (СТС) корнеобитаемом слое почвы, и в нижележащих мерзлотных слоях [6]. В связи с этим необходимость изучения распределения температур в естественных экосистемах вечной мерзлоты позволяет смоделировать и спрогнозировать дальнейшее развитие таких систем под воздействием изменения климата.

Исследование проводилось на территории Тункинской котловины (рис. 1) в долине, где ведется ежедневный мониторинг изменения температуры земли с поверхности до глубины 7 м.

Тункинская котловина – система межгорных понижений тектонического происхождения в горах Восточного Саяна в Бурятии, ограниченная хребтами Хамар-Дабана с юга. Тункинская котловина имеет природные особенности: разнообразные формы рельефа от равнинных до альпийских, древнейшие геологические обнажения и современные вулканические образования, выход минеральных источников, разнообразный ландшафт от полупустынных до горнотаетных [7]. Длина Тункинской котловины составляет 65 км, ширина варьируется от 25 до 32 км, общая площадь 1800 км² [8].



Рис. 1. Обзорная карта объекта исследования

Материалами для исследования послужили данные мониторинговых наблюдений за суточным ходом температуры с 2013 по 2015 гг. на глубинах 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 140, 240, 320, 400, 500, 600, 700, 800, 900 и 1000 см. Однако стоит отметить, что измерения до 10,0 м проводятся в 3 скважинах из 19; до 7,0 м – в 1; до 5,0 м – в 3. В остальных наблюдения ведутся до 3,2 м.

Моделирование проводилось в программном продукте ArcGIS Pro с использованием модуля Geostatistic analyst. Возможности данного модуля значительно расширены в ArcGIS Pro по сравнению с ArcGIS ArcMap и позволяют изучать пространственную структуру данных с учетом высот/глубин, а также визуализировать полученные результаты в различных плоскостях.

Трехмерное геостатистическое моделирование основывается на эмпирическом байесовском кригинге. В отличие от других видов кригинга, такой метод автоматизирует трудоемкие процессы подбора вариограммы [9], однако при этом отсутствуют коррекции на анизотропию и лаг. Главной отличительной особенностью байесовского кригинга является использование не одной вариограммы, а множества, которые учитывают неопределенность расчета самих вариограмм, тем самым снижая ошибку интерполяции, что позволяет более корректно оценивать пространственное распределение данных по малым выборкам [10].

Несмотря на большую автоматизацию вариограммного анализа, в эмпирическом байесовском кригинге присутствует ряд условий, которые необходимо подобрать для наилучшего воспроизведения реальной картины распределения изучаемого явления. Как и в обычном кригинге, в основе лежит оценка ошибок интерполяции, таких как: средняя, среднеквадратическая, средняя нормированная, среднеквадратическая нормированная и средняя стандартная ошибка прогноза [11]. Кроме этих показателей,

также существуют дополнительные параметры, присущие только данному виду кригинга (таблица):

1. Средний CRPS – средняя непрерывная ранжированная вероятностная оценка. Это значение должно быть как можно меньше. Чтобы у модели был низкий CRPS, прогнозируемые значения и стандартные ошибки должны быть рассчитаны с высокой точностью и достоверностью.

2. В пределах интервала 90 процентов – процент измеренных значений, входящих в 90 % интервал прогнозирования. Это значение должно быть близко к 90. Этот показатель указывает, насколько стандартные ошибки совпадают с прогнозируемыми значениями. Значения выше 90 указывают на то, что стандартные ошибки слишком велики по отношению к прогнозированным значениям. Значения ниже 90 указывают на то, что стандартные ошибки слишком малы.

3. В пределах интервала 95 процентов – процент измеренных значений, входящих в 95 % интервал прогнозирования. Это значение должно быть близко к 95. Этот показатель указывает, насколько стандартные ошибки совпадают с прогнозируемыми значениями [12].

Ошибки интерполяции эмпирического байесовского кригинга

Показатель	Вариограммы					
	Линейная	Степенная	Плоский сплайн	Экспоненциальная	Уиттла	К-Бесселя
Количество	322					
Средний CRPS	0,1493	0,1466	0,1609	0,1423	0,1357	0,1360
В пределах интервала 90 %	95,9627	95,6521	96,6292	95,6521	95,6521	96,2732
В пределах интервала 95 %	97,2049	97,515	97,3782	96,8944	97,2049	97,2049
Средняя	0,0012	0,0024	-0,0036	0,0006	-0,0010	0,0011
Ср. квадр.	0,3208	0,3170	0,3084	0,3139	0,3106	0,3086
Средняя норм.	-0,0024	-0,0017	-0,0100	-0,0068	-0,0042	0,00004
Среднеквадр. нормированная	0,7938	0,7927	0,6622	0,8093	0,8371	0,8347
Средняя стандартная ошибка	0,4186	0,4208	0,4653	0,4217	0,3918	0,3990

Примечание. Лучшие показатели ошибок выделены полужирным шрифтом.

Основываясь на ошибках интерполяции, можно заметить, что разница между моделями несущественна и колеблется в одинаковых диапазонах значений показателя, что является одним из преимуществ эмпирического байесовского кригинга. При этом выделяется экспоненциальная вариограмма, по трем позициям показавшая результат чуть лучший, чем другие, Уиттла – также по трем, и К-Бесселя – по двум.

При этом не столь значимые различия (в сотые, а иногда и в тысячные) предполагают, кроме количественной оценки, проведение качественной, т. е. сопоставление математической вариограммы с эмпирической (рис. 2).

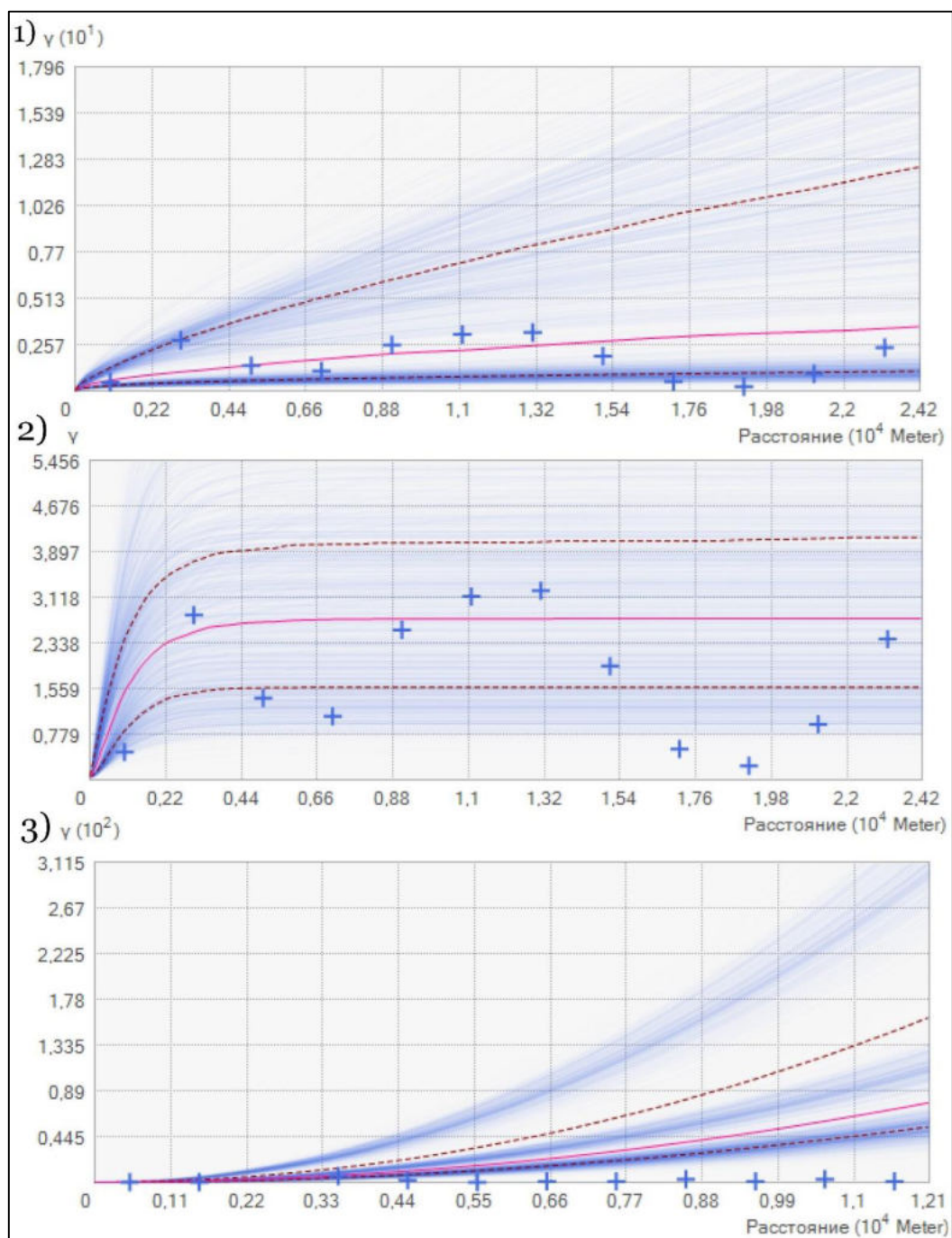


Рис 2. Модель вариограммы: 1 – степенной; 2 – плоского сплайна; 3 – К-Бесселя средних температур вечной мерзлоты в долине Тункинской котловины

Для всех вариограмм остальные настройки оставались неизменными: выборка для поднаборов составила 100 значений с коэффициентом перекрытия выборок, равным 5, тип сектора – октаэдр с числом соседей от 5 до 6. Число моделируемых вариограмм составило 500 шт.

Исходя из рисунка, очевидно, что, несмотря на ошибки интерполяции, вариограммы К-Бесселя соответствуют эмпирической вариограмме только на малых расстояниях (4 крестика из 12). Лучше выглядит вариограмма плоского сплайна – несмотря на значительные колебания эмпирической вариограммы, половина входит в доверительные интервалы. Использование же степенных вариограмм позволяет достичь наилучшего соответствия модели с эмпирическими данными, что и послужило главным критерием выбора именно этих вариограмм для построения трехмерных вокселей температур (рис. 3).

Представление пространственной информации в формате вокселей (netCDF) позволяет визуализировать данные в трехмерном виде. Так, на 3D-картограмме № 1 представлена вся интерполяционная объемная поверхность с эффектом прозрачности. Также данный формат позволяет строить различные сечения (срезы) поверхности (№ 2), чтобы анализировать изменения внутри пространства.

Так, можно наблюдать, что непосредственно вечная мерзлота на протяжении всего периода сохраняется от поверхности до глубин только в центре долины. С глубины 2,0 м и ниже ареал минусовых температур расширяется на юг, при этом непосредственно на глубинах 3,2 м средняя температура сохраняется около 0, но ниже не опускается.

Также существует возможность визуализации данных в виде изоповерхностей – своеобразных объемных изолиний. На данном рисунке проведены 4 изоповерхности, отражающие температуры от 0 до 4 °С.

На основании проведенного исследования можно заключить, что развитие геостатистических методов позволяет охватывать все больше предметных областей исследования пространственных данных. Моделирование байесовским кригингом позволяет в значительной мере автоматизировать и улучшить результаты вариограммного анализа, однако при этом фактор экспертной оценки по-прежнему играет ключевую роль в правильности подбора моделей.

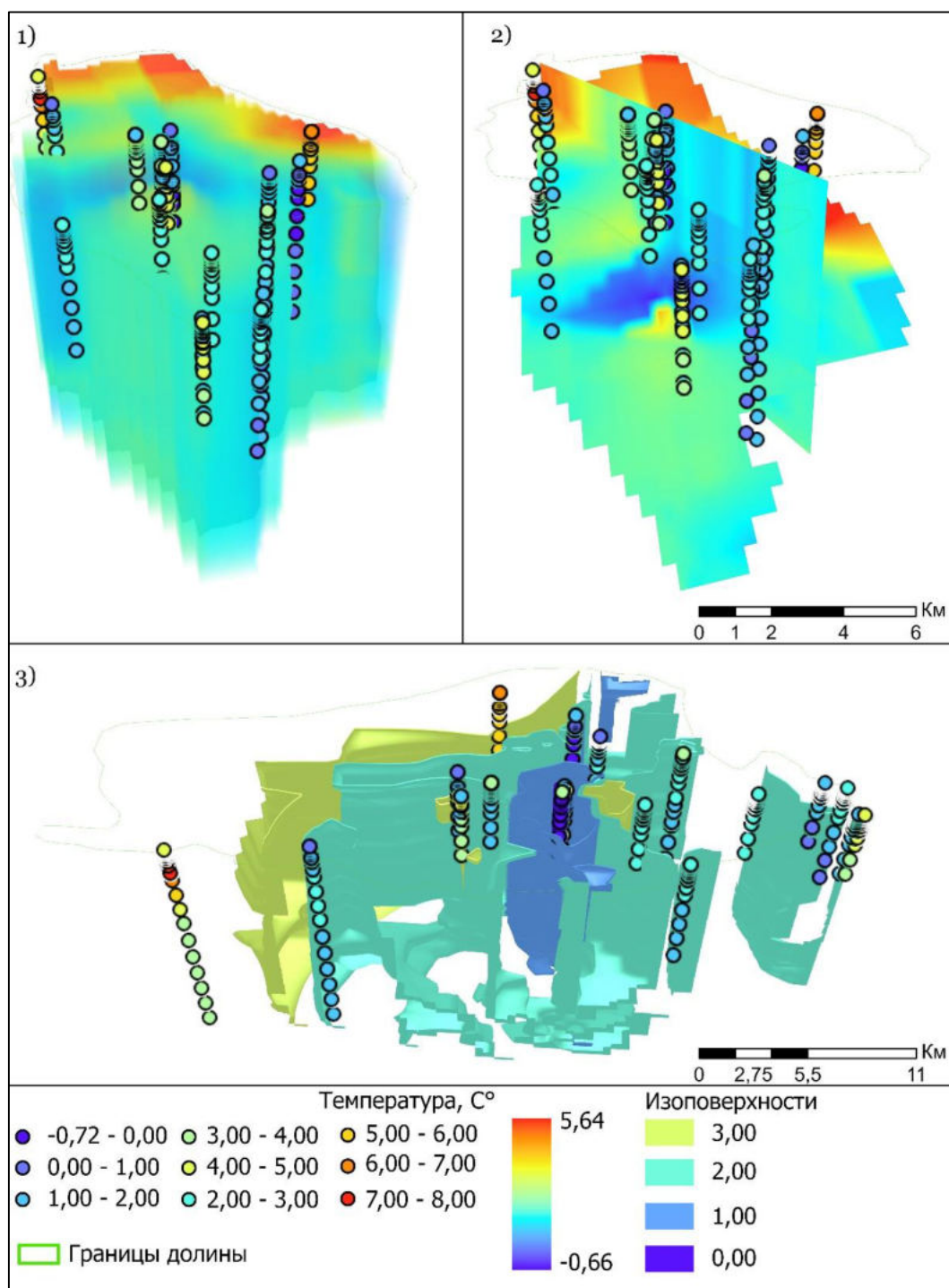


Рис 3. Трехмерная модель – 1; срезы – 2; изоповерхности распространения вечной мерзлоты в долине Тункинской котловины – 3

В рамках дальнейших изысканий представляются актуальными сопоставление полученных результатов с дневной поверхностью рельефа, изучение сезонных колебаний температур и среднесрочное прогнозирование динамики вечной мерзлоты.

Библиографические ссылки

1. *Анисимов О. А., Нельсон Ф. Э.* Прогноз изменения мерзлотных условий в северном полушарии: применение результатов балансовых и транзитивных расчетов по моделям общей циркуляции атмосферы // Криосфера Земли. 1998. № 2. С. 53–57.
2. Statistics and characteristics of permafrost and ground-ice distribution in the Northern Hemisphere / T. Zhang [et al.] // Polar Geogr. 1999. Vol. 23. P. 132–154.
3. Climate change damages to Alaska public infrastructure and the economics of proactive adaptation / A. M. Melvin [et al.] // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2017. Vol. 114. P. 122–131.
4. The expanding footprint of rapid Arctic change / T. A. Moon [et al.] // Earth's Future. 2019. Vol. 7. P. 212–218.
5. *Десяткин Р. В., Десяткин А. Р., Федоров П. П.* Температурный режим мерзлотно-таежных почв Центральной Якутии // Криосфера Земли. 2012. № 16 (2). С. 70–78.
6. Тепловое состояние нарушенных почв в криолитозоне Сибири на основе дистанционных данных и численного моделирования / Т. В. Пономарева [и др.] // Вычислительные технологии. 2022. Т. 27, №. 3. С. 16–35.
7. *Ахаржанова Т. В.* Геоэкологические особенности ландшафтов Тункинской котловины : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36. Улан-Удэ : Бурятский государственный университет, 2005. 21 с.
8. *Выркин В. Б., Кузьмин В. А., Снытко В. А.* Общность и различия некоторых черт природы Тункинской ветви котловин // География и природные ресурсы. 1991. № 4. С. 61–68.
9. ArcGIS Pro [Электронный ресурс]. Что такое эмпирический байесовский кригинг? URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/what-is-empirical-bayesian-kriging-.htm> (дата обращения: 01.12.2024).
10. *Pilz J., Spöck G.* Why do we need and how should we implement Bayesian kriging methods // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2008. Vol. 22. P. 621–632.
11. *Киндеев А. Л., Клебанович Н. В.* Методика учета почвенно-агрохимического потенциала для оптимизации структуры землепользования Воложинского района Республики Беларусь // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2024. Т. 79. № 2. С. 63–72.
12. ArcGIS Pro [Электронный ресурс]. Использование перекрестной проверки для оценки результатов интерполяции. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/performing-cross-validation-and-validation.htm> (дата обращения: 01.12.2024).

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Д. А. Кислицын

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, dimas_13082000@mail.ru*

Проанализирована пространственная структура сельскохозяйственных земель в рамках сельсоветов трех административных районов Гродненской области на основе результатов автоматизированного дешифрирования космического снимка Sentinel-2. Выявлены ключевые тренды динамики пахотных, луговых и лесных земель за период с 1986 по 2019 гг. по данным геоинформационного анализа результатов классификации космических снимков Landsat-5, Landsat-7, Sentinel-2.

Ключевые слова: земельное покрытие; геоинформационный анализ; автоматизированное дешифрирование; космические снимки; сельскохозяйственные земли.

GEOINFORMATION ANALYSIS OF REMOTE SENSING DATA FOR AGRICULTURAL LAND MAPPING

D. A. Kislitsyn

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, dimas_13082000@mail.ru*

The spatial structure of agricultural land within the selsoviets of three administrative districts of Grodno region has been analyzed based on the results of automated interpretation of Sentinel-2 space image. Key trends in the dynamics of arable, meadow and forest lands for the period from 1986 to 2019 were identified based on the geoinformation analysis of Landsat-5, Landsat-7, Sentinel-2 space images classification results.

Keywords: land cover; geoinformation analysis; automated interpretation; space images; agricultural land.

Качество земельного менеджмента в значительной степени связано с уровнем использования пространственной информации о земельных ресурсах, которая должна быть достоверной, объективной и максимально полной. Автоматизированное дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяет получить репрезентативную информацию на основе разновременных космических снимков, что повышает эффективность картографирования земельного покрытия. Использование геоинформационных систем (ГИС) автоматизирует различные этапы по картографированию земельных ресурсов и заметно

увеличивает скорость обработки геоданных, что определяет актуальность исследования.

Прикладные аспекты использования данных ДЗЗ и ГИС-технологий для картографирования динамики природных экосистем и оценки их состояния представлены в монографии Д. Г. Груммо и соавторов [1]. Результаты автоматизированного дешифрирования космических снимков Landsat для анализа динамики классов земного покрытия Полесского государственного радиационно-экологического заповедника за период с 1987 по 2014 г. изложены в статье [2]. Оценка уровня точности при обработке космических снимков MODIS по сравнению с результатами, полученными на основе дешифрирования снимков Landsat для территории Канады, проанализирована в работе канадских ученых [3]. Зарубежный обзор [4], посвященный теоретико-методологическим аспектам использования космических снимков Sentinel для картографирования динамики и структуры земельного покрытия, позволяет оценить уровень точности и перспективы развития различных методов для обработки снимков.

Исследуемая территория занимает около 4329,2 км² и представлена Новогрудским, Кореличским и Дятловским районами Гродненской области Республики Беларусь. Автоматизированное дешифрирование космических снимков Landsat-5, Landsat-7, Sentinel-2 (даты съемки: 04 мая 1986 г., 02 мая 2000 г. и 17 апреля 2019 г. соответственно) выполнено на основе метода максимального правдоподобия в ENVI 5.3. Применение дополнительных космических снимков Landsat и Sentinel за период с конца августа по начало октября за аналогичные годы в указанных периодах позволит рассчитать минимальные значения индекса NDVI для более точного выделения пахотных и луговых земель. Последовательное применение инструментов «Фильтр большинства», «Удаление границ», «Группировка», «Извлечь по атрибутам», «Отсечение» в ArcGIS 10.7 использовано для пост-классификационной обработки результатов автоматизированного дешифрирования, а автоматическая векторизация проведена с помощью инструмента «Растр в полигоны».

Для повышения точности при выделении различных классов земельного покрытия использована информация о морфометрических показателях рельефа (уклон и вертикальное расчленение) и вегетационном индексе NDVI. Расчет статистических данных для каждого векторного контура результата контролируемой классификации производился путем использования инструмента «Зональная статистика в таблицу».

При выделении различных классов сельскохозяйственных земель с учетом информации о гидроморфизме почв определен ряд критериев. Пахотные земли имеют преимущественно более низкие значения NDVI (ме-

нее 0,32–0,39 в зависимости от периода вегетации), рассчитанного на основе минимальных значений для двух космических снимков (в основном, май и сентябрь), по сравнению с луговыми землями. Сельскохозяйственные земли на гидроморфных почвах при уклоне более 0,4–0,5°, если не выделялись заболоченные луга в отдельный подкласс, а в остальных случаях при уклоне более 0,3°, – можно отнести к луговым землям. Контуров луговых земель, имеющие средние значения уклона более 1,0–1,5° и NDVI менее 0,24–0,26 (по данным космических снимков Landsat), со значительной долей вероятности могут быть идентифицированы как пахотные [5].

Анализ распределения вертикального расчленения рельефа для некоторых типов и видов почв сельскохозяйственных земель Новогрудского района (на основе перекодированного векторного слоя Soils из земельно-информационной системы) проведен на основе использования инструмента «Зональная гистограмма». Минимальные значения данного морфометрического показателя (до 2 м/км²) характерны для 58,6 % от площади торфяно-болотных почв и 50,9 % от площади деградированных почв. Для аллювиальных болотных и аллювиальных дерновых почв характерны более высокие значения вертикального расчленения рельефа: в основном от 2,1 до 10,0 м/км² (табл. 1).

Таблица 1

Распределение вертикального расчленения рельефа для некоторых типов и видов почв Новогрудского района (в процентах от площади для каждого из выбранных типов или видов почв)

Вертикальное расчленение рельефа, м/км ²	Типы и виды почв							
	среднесмытые	слабосмытые	сильносмытые	аллювиальные	деградированные	аллювиальные болотные	торфяно-болотные	овражно-болотные
0,0-2,0	0,36	0,96	0,78	16,79	50,88	21,96	58,57	0,94
2,1-5,0	1,02	2,84	0,38	38,70	19,40	40,75	11,66	0,30
5,1-10,0	2,93	6,02	1,03	28,09	10,84	23,34	11,81	0,32
10,1-20,0	15,74	27,24	6,86	11,92	11,93	7,87	8,62	12,11
20,1-30,0	40,81	37,54	31,16	2,18	5,85	2,40	6,32	42,31
30,1-40,0	24,92	16,75	31,59	1,32	0,35	1,97	1,71	20,48
40,1-50,0	12,77	7,68	20,42	0,85	0,58	1,54	1,30	19,19
50,1-60,0	1,27	0,82	6,99	0,15	0,17	0,17	0,00	4,07

Высокий удельный вес участков, имеющих вертикальное расчленение рельефа более 30 м/км², характерен для эродированных почв: для слабосмытых – 25,2 %, для среднесмытых – 39,0 %, для сильносмытых –

59,0 %. Около 62,8 % от площади овражно-балочных почв имеют вертикальное расчленение рельефа в диапазоне от 20,1 до 40,0 м/км².

Анализ динамики основных видов земель и их групп в рамках трех районов проведен за период с 1986 по 2019 гг. По районам структура отличается: в структуре земельного покрытия Кореличского района наибольшие площади занимают пахотные земли, а Дятловский район характеризуется более высоким уровнем лесистости территории.

За период с 1986 по 2000 гг. произошло снижение удельного веса лесных земель и под древесно-кустарниковой растительностью (ДКР), что обусловлено наличием лесных вырубок, а за период с 2000 по 2019 гг. отмечено существенное увеличение данной группы видов земель из-за увеличения площади участков, занятых кустарниковой растительностью, и в связи с переводом низкопродуктивных луговых земель в состав лесных. Площадь пахотных земель на территории Новогрудского и Дятловского районов увеличилась с 1986 по 2000 гг. (от 28,2 % до 30,2 % и от 28,7 % до 30,7 % соответственно), что связано с переводом части наиболее продуктивных участков улучшенных луговых земель в состав пашни (табл. 2).

Таблица 2

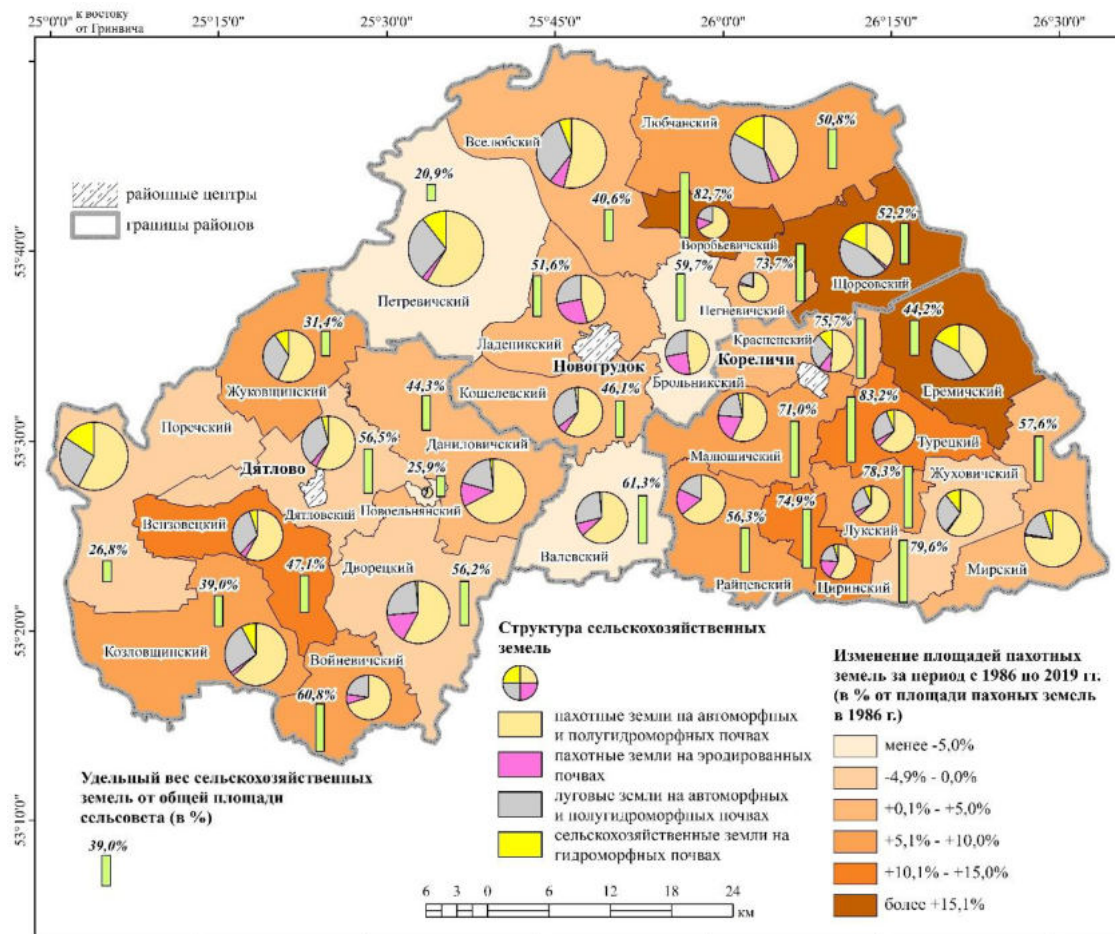
Динамика удельного веса основных видов земель и их групп за период с 1986 по 2019 гг., %

Виды земель и их группы	Районы								
	Новогрудский			Кореличский			Дятловский		
	1986	2000	2019	1986	2000	2019	1986	2000	2019
Лесные земли и земли под ДКР	40,5	39,3	43,4	20,3	19,9	23,9	44,9	43,6	49,7
Пахотные земли	28,2	30,2	28,6	41,6	40,2	44,7	28,7	30,7	29,3
Луговые земли	20,7	19,6	18,1	27,4	28,0	21,4	17,1	16,4	14,0

За период с 2000 по 2019 гг. в Дятловском и Новогрудском районах произошло снижение удельного веса пахотных земель из-за неэффективности использования небольших контуров пашни, отдаленных от центров сельскохозяйственных организаций или расположенных на малопродуктивных песчаных почвах среди лесных массивов. Высокий уровень сельскохозяйственной освоенности территории и повышенный балл плодородия почв характерны для Кореличского района, который имеет другие тенденции по динамике площади пахотных земель. За период с 2000 по 2019 гг. произошло существенное сокращение площади луговых земель, а для

Кореличского района удельный вес данного вида земель уменьшился от 28,0 % до 21,4 %.

Пространственная информация о структуре сельскохозяйственных земель в рамках сельсоветов административных районов Новогрудской возвышенности получена путем обработки векторного результата дешифрирования с помощью таких инструментов, как «Пересечение», «Суммарная статистика» и «Сводная таблица» (рисунок).



Структура сельскохозяйственных земель в рамках сельсоветов Новогрудской возвышенности в 2019 г. (на основе мозаики космических снимков Sentinel-2)

Минимальные значения сельскохозяйственной освоенности (от 20,9 % до 31,4 %) характерны для четырех сельсоветов, которые в основном расположены в северо-западной части Новогрудской возвышенности, где преобладают песчаные почвы с невысоким уровнем плодородия, а также сконцентрированы обширные участки лесных массивов. Новоельнянский сельсовет также имеет низкий уровень сельскохозяйственной освоенности, что обусловлено наименьшей площадью среди сельсоветов

в рамках исследуемой территории и расположением в его пределах городского поселка Новоелья, занимающего основную его часть. В центральной части Кореличского района сельскохозяйственная освоенность составляет около 70–80 %.

Щорсовский и Еремичский сельсоветы выделяются достаточно высокой (более 42,0 %) долей луговых земель на автоморфных и полугидроморфных почвах, что связано с ограничениями в использовании земель под пашню в пределах речной долины Немана. Для двух сельсоветов Новогрудского района удельный вес эродированных почв в составе сельскохозяйственных земель превышает 23,0 %, что связано с высокими значениями вертикального расчленения рельефа. В пределах речной долины Немана сконцентрированы основные участки торфяно-болотных и аллювиальных болотных почв, поэтому три сельсовета, характеризующиеся наиболее высоким удельным весом сельскохозяйственных земель на гидроморфных почвах (более 17,0 %), приурочены к северо-восточной части Новогрудской возвышенности (табл. 3).

Таблица 3

Сельсоветы Новогрудской возвышенности с наибольшим удельным весом различных классов объектов в структуре сельскохозяйственных земель, %

Сельсоветы	Удельный вес луговых земель на автоморфных и полугидроморфных почвах	Сельсоветы	Удельный вес пахотных земель на эродированных почвах
Щорсовский	44,3	Ладеницкий	26,0
Еремичский	42,1	Брольницкий	23,9
Любчанский	36,9	Малюшицкий	18,8
Сельсоветы	Удельный вес пахотных земель на автоморфных и полугидроморфных почвах (не включая эродированные)	Сельсоветы	Удельный вес сельскохозяйственных земель на гидроморфных почвах
Негневичский	77,4	Щорсовский	18,1
Мирский	76,6	Любчанский	17,2
Войневичский	69,7	Еремичский	17,1

Для трех сельсоветов пахотные земли на автоморфных и полугидроморфных почвах (не включая эродированные) имеют удельный вес более 69,0 % от структуры сельскохозяйственных земель, а для большинства сельсоветов преобладают значения в диапазоне от 50,1 % до 65,0 %.

Увеличение площади пахотных земель от 5,1 % до 15,0 % за период с 1986 по 2019 гг. в основном характерно для сельсоветов, расположенных

в южной части Дятловского района, а также в центральной части Кореличского района. Для пяти сельсоветов исследуемой территории наблюдается снижение площади пахотных земель на более чем 3,0 %, что обусловлено такими факторами, как рост застроенных территорий (в Дятловском и Новоеельнянском сельсоветах), проявление процессов водной эрозии, невысокое плодородие песчаных почв.

Таким образом, на основе применения ГИС-технологий проанализирована пространственная дифференциация структуры сельскохозяйственных земель в рамках сельсоветов Новогрудской возвышенности за 2019 г. Использование разновременных космических снимков для анализа динамики основных видов земель и их групп позволило определить основные тренды в рамках трех районов за период с 1986 по 2019 гг. Некоторые типы и виды почв характеризуются заметными различиями по распределению вертикального расчленения рельефа, информация о котором может использоваться в качестве косвенного дешифровочного признака.

Библиографические ссылки

1. Наземные и дистанционные методы оценки состояния экосистем особо охраняемых природных территорий / Д. Г. Груммо [и др.] ; под общ. ред. Д. Г. Груммо, А. В. Судника ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича. Минск : Беларуская навука, 2023. 351 с.
2. *Кохно А., Казяк Е.* Картографирование земельного фонда Полесского государственного радиационно-экологического заповедника на основе автоматизированного дешифрирования материалов дистанционного зондирования Земли // *Земля Беларуси*. 2016. № 4. С. 30–33.
3. *Pouliot D., Latifovic R., Zabcic N.* Development and assessment of a 250 m spatial resolution MODIS annual land cover time series (2000–2011) for the forest region of Canada derived from change-based updating // *Remote Sensing of Environment*. 2014. № 140. P. 731–743.
4. *Thanh N., Kappas M.* Comparison of random forest, k-nearest neighbor, and support vector machine classifiers for land cover classification using Sentinel-2 imagery // *Sensors*. 2018. № 18 (18). P. 1–20.
5. *Кислицын Д. А., Клебанович Н. В.* Геоинформационный анализ динамики и структуры классов земельного покрытия Новогрудской возвышенности // *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2024. № 1. С. 126–140.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЕЛОИНФРАСТРУКТУРЫ ГОМЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТКРЫТОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Е. А. Кисляков, А. С. Соколов

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
ул. Советская, 104, 246028, г. Гомель, Беларусь, j.kisliakou@gmail.com*

Статья посвящена пространственному анализу велосипедной инфраструктуры Гомеля с помощью открытого программного обеспечения. Результат анализа показал, что велоинфраструктура города состоит из 18,16 км велодорожек, 16 веломагазинов, 4 станций самообслуживания, 665 велопарковок. Более развита велоинфраструктура в Центральном районе.

Ключевые слова: Гомель; велоинфраструктура; пространственный анализ; OpenStreetMap; PostgreSQL; PostGIS.

SPATIAL ANALYSIS CYCLING INFRASTRUCTURE IN GOMEL USING OPEN-SOURCE SOFTWARE

Y. A. Kisliakou, A. S. Sakalou

*Francisk Skorina Gomel State University, Savieckaja St., 104,
246028, Gomel, Belarus, j.kisliakou@gmail.com*

The research article is devoted to the geospatial analysis of Gomel cycling infrastructure using open-source software. The result of the analysis showed that the infrastructure of Gomel consists of 18.16 km of bikeways, 16 bicycle stores, 4 self-service bicycle repair stations, 665 bicycle stands. The infrastructure is more developed in the Central District.

Keywords: Gomel; cycling infrastructure; geospatial analysis; OpenStreetMap; PostgreSQL; PostGIS.

В настоящее время ГИС-технологии являются одним из инструментов исследования в естественных науках и, в частности, в науках о Земле. Кроме этого, применяются для решения разнообразных прикладных задач [1]. Одна из задач ГИС-технологий – пространственный анализ.

В данной работе проводится анализ велосипедной инфраструктуры Гомеля с использованием открытого и свободного программного обеспечения (Every Door, JOSM, система управления базами данных PostgreSQL, PostGIS, osmium, osm2pgsql, географическая информационная система QGIS).

Основная часть работы, пространственный анализ, проводилась в PostgreSQL с дополнением PostGIS, добавляющим возможность хранения, индексирования и работы с пространственными объектами [2].

Исследование велосипедной инфраструктуры проводилось в несколько этапов:

1. Начальным этапом является сбор и оцифровка данных. Точечные объекты (магазины, станции самообслуживания, велосипедные парковки) собирались на местности с помощью программы Every Door. Линейные объекты (велосипедные дорожки) оцифровывались с помощью программы JOSM.

Для хранения данных была выбрана база географических данных OpenStreetMap. OpenStreetMap (OSM) – бесплатная открытая база пространственных данных, которая поддерживается и обновляется сообществом пользователей на добровольной основе [3].

Преимущества хранения данных в OSM:

- данными могут пользоваться все пользователи;
- поддержка инфраструктуры базы данных и сопутствующих сервисов самим проектом;
- распределённое хранение, т. е. данные можно скачать не только с основного сервера, но и со множества «зеркал»;
- крупное сообщество пользователей, поддерживающее данные в актуальном состоянии;
- еженедельное резервное копирование [4].

Такой подход имеет и ряд минусов:

- любой зарегистрированный пользователь может изменить данные, и не всегда атрибутивная информация будет изменена корректно;
- возможен вандализм, в результате которого могут быть удалены исследуемые объекты. В тоже время, в структуру OSM входит рабочая группа Data working group, которая успешно борется с вандализмом [5].

2. Второй этап – формирование локальной базы пространственных данных, в которую выгружаются данные из OSM для последующей обработки и анализа.

СУБД PostgreSQL использовалась в качестве локального хранилища, экспорт данных в которое осуществлялся с помощью инструментов osmium и osm2pgsql. Структурная схема локальной БД в виде ER-диаграммы представлена на рисунке 1.

3. Третий этап – пространственный анализ данных, осуществляемый с помощью SQL-запросов и функций PostGIS.

4. Конечный этап, четвёртый, включает в себя визуализацию данных – построение карт, и заключительный анализ полученных данных. Визуализация осуществлялась в программе QGIS.

district_boundaries	bicycle_parkir	bicycle_cycleway	bicycle_repair_station	bicycle_shop
123 relation_id	123 node_id	123 id_0	123 node_id	123 node_id
123 id	123 id	geom	123 id	123 id
A-Z name_be	A-Z type	123 way_id	A-Z opening_hours	A-Z name_be
A-Z name_int	123 capacity	123 id	A-Z brand	A-Z name_int
geom	A-Z covered	A-Z type	A-Z operator	A-Z addr_street
	A-Z fee	A-Z segregated	A-Z fee	A-Z addr_housenumber
	A-Z access	A-Z surface	A-Z covered	A-Z opening_hours
	A-Z timestamp	A-Z smoothness	A-Z pump	A-Z website
	geom	123 length	A-Z tools	A-Z retail
		A-Z timestamp	A-Z stand	A-Z repair
			A-Z timestamp	A-Z rental
			geom	A-Z timestamp
				geom

Рис. 1. Структурная схема локальной базы данных

Проведённый анализ показал, что велосипедная инфраструктура города (по состоянию на ноябрь 2024 г.) состоит из 18,16 км велодорожек, 16 веломагазинов, 4 станций самостоятельного обслуживания, 665 велопарковок (рис. 2).

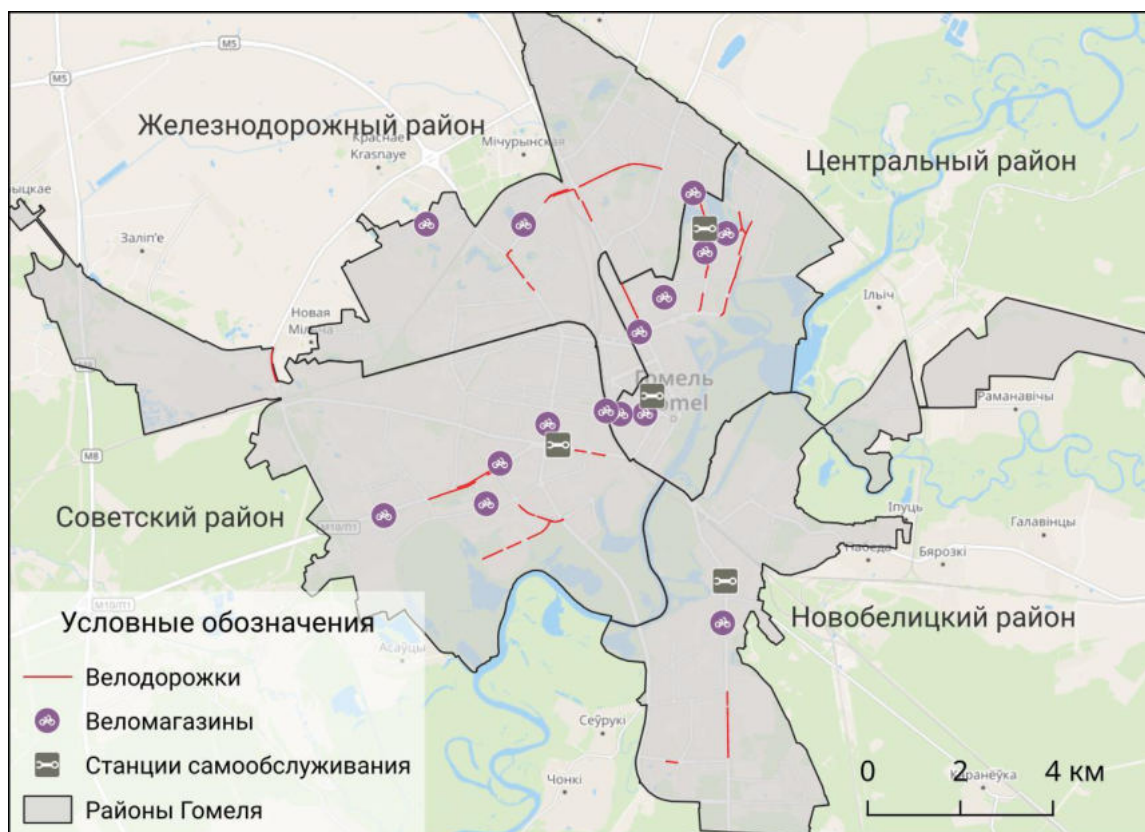


Рис. 2. Структурная схема локальной базы данных

При анализе инфраструктуры в разрезе административных районов используется функция PostGIS ST_Intersects, позволяющая определить

элементы инфраструктуры, ограниченные областью каждого района [6]. Полученные данные по районам представлены в таблице 1.

Таблица 1

Общая статистика по велоинфраструктуре в разрезе районов

Район	Протяжён- ность вело- дорожек, м	Густота сети, км/км ²	Количество магазинов	Количество станций само- обслуживания
Центральный	5650,48	0,28	7	2
Советский	5537,06	0,11	5	1
Железнодорожный	5432,26	0,15	3	0
Новобелицкий	1544,16	0,04	1	1

Центральный район лидирует как по протяжённости велодорожек (5,65 км), так и по густоте сети велодорожек (0,28 км/км²). Также район лидирует по количеству веломагазинов и станций самообслуживания.

Следует отметить Новобелицкий район, который отстаёт по всем показателям от остальных административных единиц Гомеля.

Ещё один показатель инфраструктуры – состояние покрытия велодорожек – представлен в таблице 2.

Таблица 2

Состояние покрытия велодорожек в разрезе районов (%)

Состояние покрытия	Район			
	Центральный	Советский	Железнодорожный	Новобелицкий
Отличное	38,46	82,35	77,78	25
Хорошее	57,69	5,88	7,41	75
Среднее	-	2,94	14,81	-
Плохое	3,85	8,82	-	-

По данному показателю лидируют Советский и Железнодорожный районы, где доли велодорожек с отличным состоянием покрытия составляют 82,35 % и 77,78 %. Если говорить о состоянии покрытия по Гомелю в целом, то на долю велодорожек с отличным состоянием покрытия приходится 65,93 %, на долю со средним и плохим состоянием приходится чуть менее 10 %. Следовательно, сеть велодорожек Гомеля находится в отличном состоянии (рис. 3).

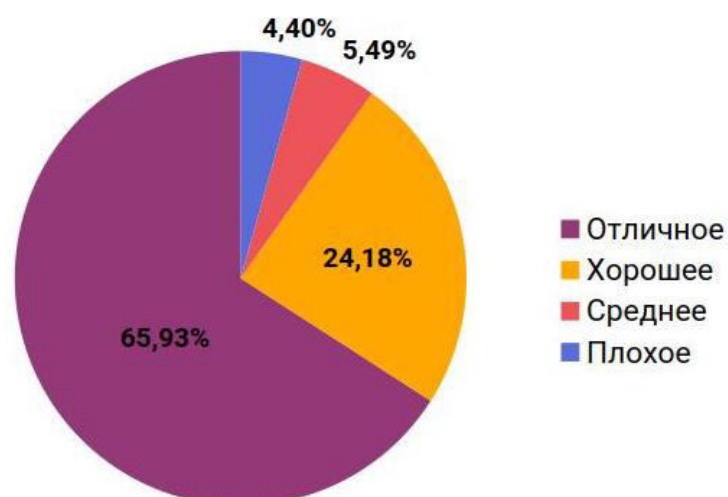


Рис. 3. Структура состояния покрытия велосипедных дорожек Гомеля

На основе имеющихся данных можно составить рейтинг районов по обеспеченности велосипедной инфраструктурой. При этом велосипедные парковки в рейтинге не учитываются из-за неполноты данных.

Методика составления рейтинга следующая. Каждому показателю начисляется от 0 до 4 баллов (0 баллов за наименьший показатель и т. д.), баллы суммируются и на основе этой суммы районы Гомеля ранжируются: район с наибольшим количеством баллов имеет более высокий рейтинг, чем район с меньшим количеством баллов. Результаты подсчёта рейтинга представлены в таблице 3.

Таблица 3

Рейтинг районов по обеспеченности велосипедной инфраструктурой (в баллах)

Название района	Протяжённость велосипедных дорожек	Густота сети	Состояние покрытия	Количество магазинов	Станции самостоятельного обслуживания	Сумма баллов	Рейтинг района
Центральный	4	4	3	4	2	17	1
Советский	4	2	4	3	1	14	2
Железнодорожный	4	3	4	2	0	13	2
Новобелицкий	1	1	2	1	1	6	3

Наиболее развита велосипедная инфраструктура в Центральном районе (сумма баллов – 17). Район лидирует по большей части показателей

(длина велодорожек, густота сети, наличие веломагазинов, количество станций самообслуживания), лишь уступая по состоянию покрытия.

За Центральным районом следуют Советский и Железнодорожный (сумма баллов – 14 и 13). Уступают Центральному району по большинству показателей, кроме состояния покрытия велодорожек. Если же сравнивать районы между собой, то почти по всем показателям они схожи, за исключением отсутствия станций самообслуживания в Железнодорожном районе.

Отдельно стоит отметить Новобелицкий район, который оказался в рейтинге на последней позиции (сумма баллов – 6). По всем показателям, кроме станций самостоятельного обслуживания велосипедов, Новобелица уступает остальным административным районам Гомеля. Следовательно, велоинфраструктура в данном районе наименее развита.

Библиографические ссылки

1. *Шихов А. Н., Черепанова Е. С., Пьянков С. В.* Геоинформационные системы: методы пространственного анализа. Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2017. 88 с.
2. PostGIS PSC & OSGeo [Electronic resource]. URL: <https://postgis.net> (date of access: 03.11.2024).
3. *Мяжков С. С., Карандаева Л. М.* Цифровая модель местности территории города Ташкента // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2023. № 3. С. 72–82.
4. Planet OSM [Electronic resource]. URL: <https://planet.openstreetmap.org> (date of access: 04.11.2024).
5. Data Working Group [Electronic resource] // OpenStreetMap Foundation. URL: https://osmfoundation.org/wiki/Data_Working_Group (date of access: 04.11.2024).
6. ST_Intersects [Electronic resource] // PostGIS PSC & OSGeo. URL: https://postgis.net/docs/ST_Intersects.html (date of access: 03.11.2024).

СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. В. Коваленко, Ю. А. Шекунова, В. Н. Пейхвассер

*Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16, 220030, г. Минск,
Беларусь, geo@bsu.by*

В работе представлены результаты начала работ по воссозданию карты типологии сельских населённых пунктов Белорусской ССР на всю территорию современной Беларуси, рассмотрены основные возможности по использованию ПО ГИС «Панорама» в целях демографического картографирования. Произведена привязка растровой карты типологии сельских населённых пунктов Белорусской ССР и выполнено преобразование условных знаков. Сделаны выводы о возможности дальнейшего развития проекта.

Ключевые слова: Геоинформационное картографирование; демографическое картографирование; карта типологии сельских населённых пунктов БССР; аффинные преобразования; классификатор векторной карты.

MAPPING THE POPULATION OF BELARUS USING COMPUTER TECHNOLOGY

A. V. Kovalenko, Y. A. Shekunova, V. N. Peikhwasser

Belarusian State University, Leningradskaya str., 16, 220030, Minsk, Belarus, geo@bsu.

The paper presents the results of the beginning of work on the reconstruction of the typology map of rural settlements of the Belarusian SSR for the entire territory of modern Belarus, the main possibilities for using GIS "Panoramas" for demographic mapping are considered. A raster map of the typology of rural settlements of the Belarusian SSR was linked and the conversion of conventional signs was performed. Conclusions are drawn about the possibility of further development of the project.

Keywords: Geoinformation mapping; demographic mapping; map of the typology of rural settlements of the BSSR; affine transformations; classifier of a vector map.

Геоинформационное картографирование (ГК) – это программно-управляемое создание и использование карт на основе ГИС и баз картографических данных и знаний. На современном этапе картографирование демографических процессов тесно связано с использованием технологий геоинформационного картографирования. ГИС позволяют комплексно изучать региональные процессы демографии и принимать на основе проводимого анализа научные и управленческие решения. Что дает возмож-

ность разрабатывать с помощью ГИС модели демографических процессов, проводить территориальную дифференциацию, районирование и типологию.

На современном этапе развития геодемографической науки исследовательский процесс достаточно компьютеризирован на всех этапах. Существует большое количество различных статистических и графических пакетов, а также электронных баз данных. Тем не менее, в каждой программе есть свои недостатки и достоинства, но идеальной программы нет. Это приводит к тому, что на различных этапах исследования необходимо использование различных профильных программ, потому что нет такой программы, которая удовлетворяла бы выполнению задач разных исследовательских этапов [2].

При выполнении данной работы в качестве программного обеспечения для картографирования демографической ситуации был выбран продукт компании АО КБ «Панорама» – ГИС «Панорама». В состав ГИС «Панорама» входят профессиональные средства создания и обновления цифровых топографических карт и планов городов, обработки данных ДЗЗ, тематического картографирования и анализа, подготовки карт к изданию, генерализации карт для создания карт более мелких масштабов, построения 3D-моделей, комплекс 3D-анализа, комплекс геодезических и землеустроительных задач, комплекс геологических задач, навигационные и многие другие задачи.

Первым этапом работы стало сканирование карты типологии сельских населённых пунктов Белорусской ССР (рис. 1).

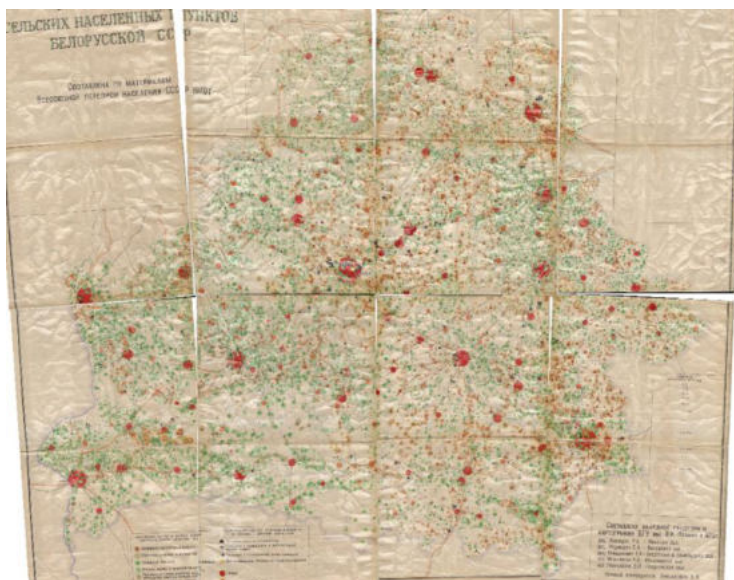


Рис. 1. Отсканированная карта типологии сельских населённых пунктов Белорусской ССР

Следующим этапом работы стало добавление к готовой векторной карте Республики Беларусь отсканированных частей карты в программе ГИС «Панорама». Для привязки растра к карте использовался тип привязки «по двум точкам с масштабированием и поворотом», в результате чего отсканированные части карты перемещались на соответствующую им территорию РБ. Однако для более корректной привязки дополнительно использовалось трансформирование растра. Благодаря аффинным преобразованиям растр более точно укладывался на векторную карту (рис. 2). Аффинное преобразование – это математическая операция, которая сопоставляет одно пространство координат с другим. Другими словами, он сопоставляет один набор точек с другим набором точек. Аффинные преобразования имеют некоторые функции, которые делают их полезными в компьютерной графике:

- Аффинные преобразования сохраняют коллинеарность. Если три или более точек попадают на линию, они по-прежнему образуют линию после преобразования. Прямые линии остаются прямыми.

- Композиция двух аффинных преобразований является аффинным преобразованием [1].

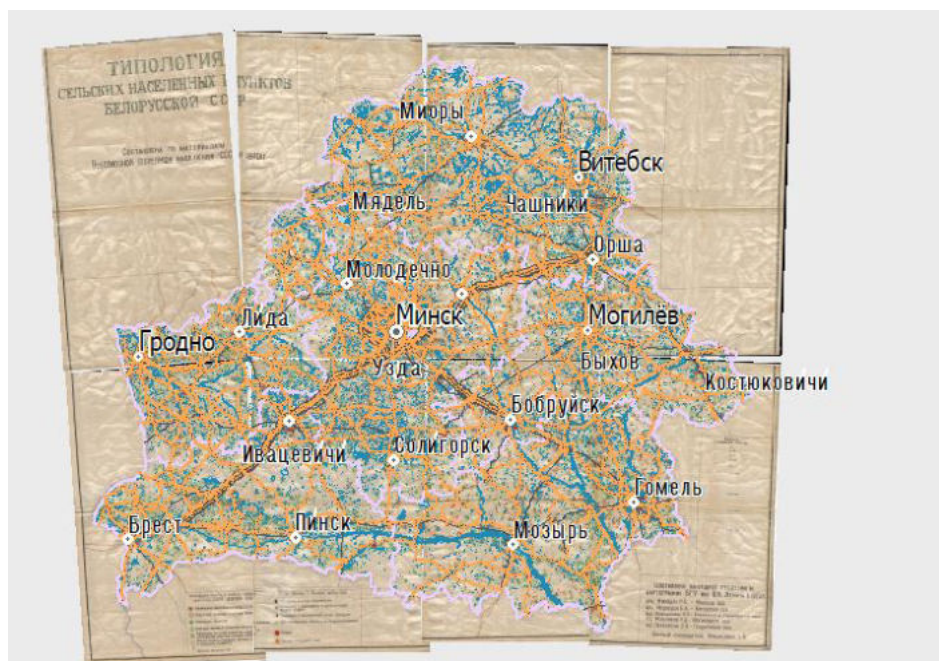


Рис. 2. Привязанная карта

Последним этапом работы стала разработка и применение условных знаков для отображения размещения населения. Для чего в ГИС «Панорама» в готовом классификаторе изменялся вид существующего условного знака на знак, необходимый для показа характеристик населения

(рис. 3). Классификатор векторной карты – это совокупность описания слоёв векторной карты, видов объектов и их условных знаков, видов семантических характеристик и принимаемых ими значений, представленных в цифровом виде [3].

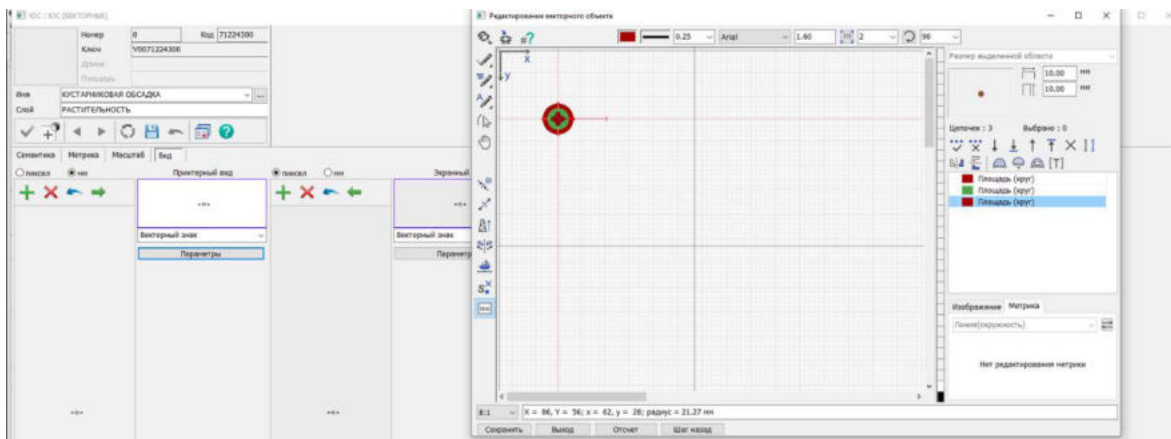


Рис. 3. Пример создания в классификаторе условного знака

Результатом данной работы является привязанная карта типологии сельских населённых пунктов Белорусской ССР и часть территории Республики Беларусь с нанесёнными условными знаками (рис. 4).

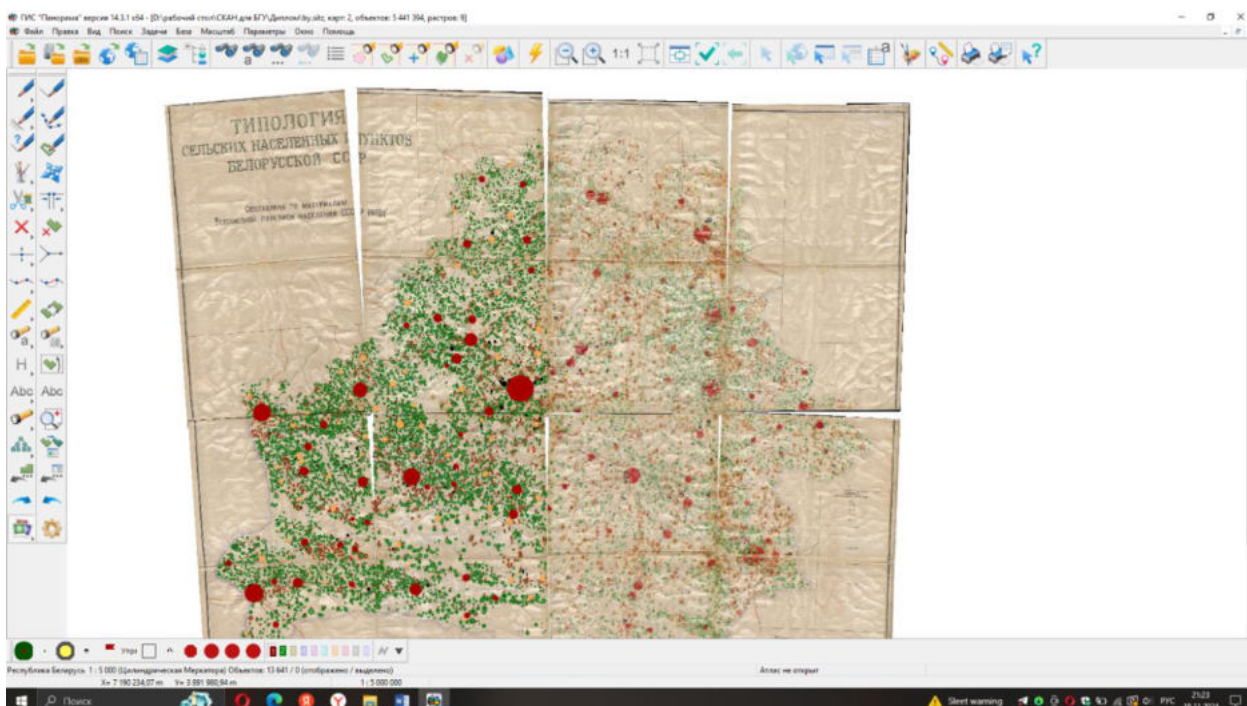


Рис. 4. Фрагмент карты с нанесёнными условными знаками

В ходе работы было установлено, что процесс картографирования населения в наше время активно развивается, так как карты населения служат для решения многих задач и остаются востребованными. Совершенствуются системы статистического учета, расширяется тематика картографических произведений, создаются новые компьютерные программы, значительно облегчающие многие процессы составления карт.

В дальнейшем стоит цель воссоздать карту типологии сельских населённых пунктов Белорусской ССР на всю территорию современной Беларуси, включающую государственную границу, реки, транспортные пути и все населенные пункты.

Библиографические ссылки

1. Аффинные преобразования [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com> (дата обращения: 17.11.2024).
2. Геоинформатика [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Д. В. Лисицкий. Новосибирск : СГГА, 2012. 115 с. URL: <http://lib.ssga.ru> (дата обращения: 15.11.2024).
3. *Пейхвассер В. Н., Кафтанчикова А. Б.* ГИС Панорама. Функции и инструменты : метод. рекомендации. Минск : БГУ, 2022. 67 с.

АНАЛИЗ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

А. В. Коробейников¹⁾, М. В. Кузякина^{1,2)}, А. Н. Пелина¹⁾

¹⁾*Кубанский государственный университет, ул. Ставропольская, 149,
350040, г. Краснодар, Российская Федерация, deskruh@gmail.com*

²⁾*Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2,
350072, г. Краснодар, Российская Федерация*

В статье проведен картографический анализ демографических показателей для населения, проживающего на Черноморском побережье Краснодарского края: в Темрюкском и Туапсинском районах, муниципальных образованиях Анапа, Новороссийск, Геленджик, Сочи и федеральной территории Сириус по данным переписей населения с 1897 по 2021 гг. Ряд показателей рассмотрен в динамике.

Ключевые слова: Черноморское побережье; Краснодарский край; население; изменение численности населения; доля городского населения; распределение населения; плотность населения; национальный состав.

ANALYSIS OF DEMOGRAPHIC INDICATORS ON THE TERRITORY OF THE BLACK SEA COAST OF THE KRASNODAR TERRITORY

A. V. Korobeynikov¹⁾, M. V. Kuzyakina^{1,2)}, A. N. Pelina¹⁾

¹⁾*Kuban State University, Stavropolskaya str., 149,
350040, Krasnodar, Russian Federation, deskruh@gmail.com*

²⁾*Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2,
350072, Krasnodar, Russian Federation*

The article provides a cartographic analysis of demographic indicators for the population living on the Black Sea coast of the Krasnodar Territory: in Temryuk and Tuapse districts, municipalities of Anapa, Novorossiysk, Gelendzhik, Sochi and the federal territory of Sirius according to population censuses from 1897 to 2021. A number of indicators are considered in dynamics.

Keywords: the Black Sea coast; Krasnodar territory; population; population change; percentage of the urban population; population distribution; population density; national composition.

Черноморское побережье Кавказа РФ имеет стратегическое значение в курортном и торговом секторах экономики. В качестве исследуемой тер-

ритории были взяты следующие АТЕ (административные-территориальные единицы) Краснодарского края: Темрюкский район, МО г.-к. Анапа, МО г.-г. Новороссийск, МО г.-к. Геленджик, Туапсинский район, МО г.-к. Сочи и федеральная территория Сириус.

По данным переписи населения 2021 г., суммарное постоянное население в рассматриваемых семи АТЕ Краснодарского края, имеющих выход к Черному морю, составляет 1500744 чел. Доля от всего населения Краснодарского края – 26%. При этом население городов побережья (Анапа, Новороссийск, Геленджик, Туапсе, Сочи), составляет 952009 чел. (рис. 1).

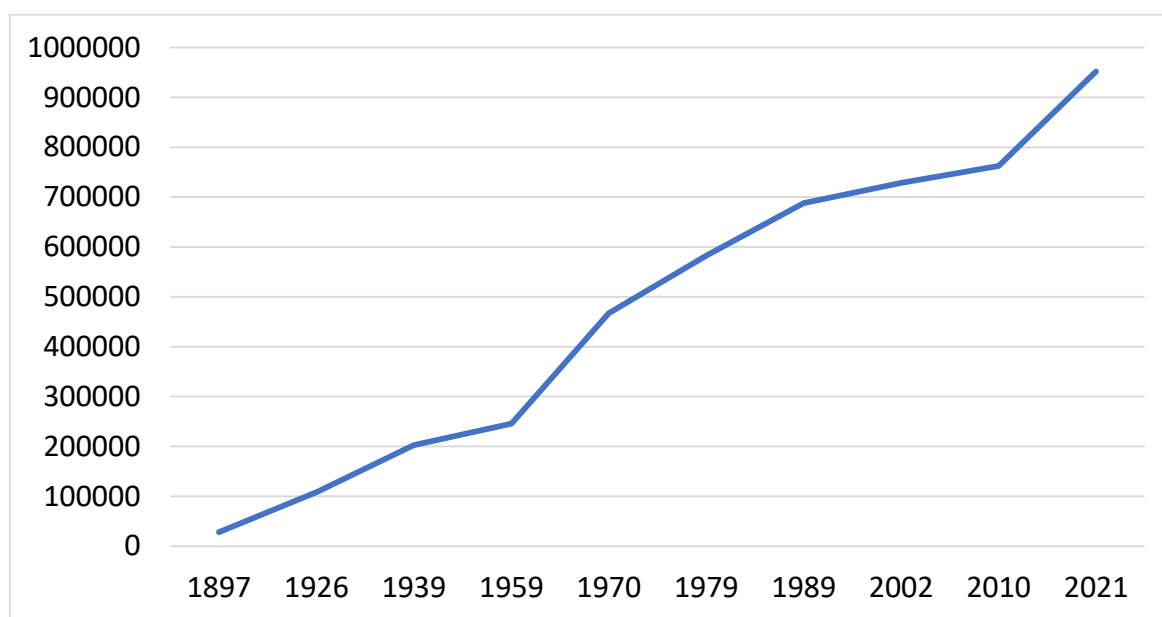


Рис. 1. Изменение суммарной численности населения городов побережья по данным переписей населения

Население черноморских районов края выросло с 1202206 чел. в 2010 г. до 1500744 чел. в 2021 г. То есть абсолютный прирост населения на побережье между последними двумя переписями 2010 и 2021 гг. составил 298538 чел. Таким образом, средний ежегодный абсолютный прирост населения – 27140 чел.

Из-за значительных изменений границ и количества АТЕ в регионе в первой половине 20 в., отследить динамику населения во всех муниципалитетах в более ранний период времени сложно. Более-менее стабильными АТЕ за последние полтора века являются только города (рис. 2).

Как видно на рисунке 2, население городов росло или оставалось близким к прежнему на протяжении всего периода за исключением двух промежутков: между 1939 и 1959 гг. (в Новороссийске), а также между 1989 и 2002 гг. (снижение в Сочи и Анапе). Наиболее вероятная причина первого снижения – человеческие потери в Великой Отечественной войне,

второго – демографический кризис 1990-х гг. До середины 20 в. Новороссийск был самым населенным городом побережья, но уже по переписи 1970 г. уступил первенство Сочи. Это связано с тем, что южная часть побережья начала позже развиваться из-за большей удаленности от центральных регионов страны и более сложного рельефа.

На графике абсолютного прироста населения городов (рис. 3) хорошо видны эти две «просадки» из-за демографических кризисов за 1940-е гг. и за 1990–2000-е гг.

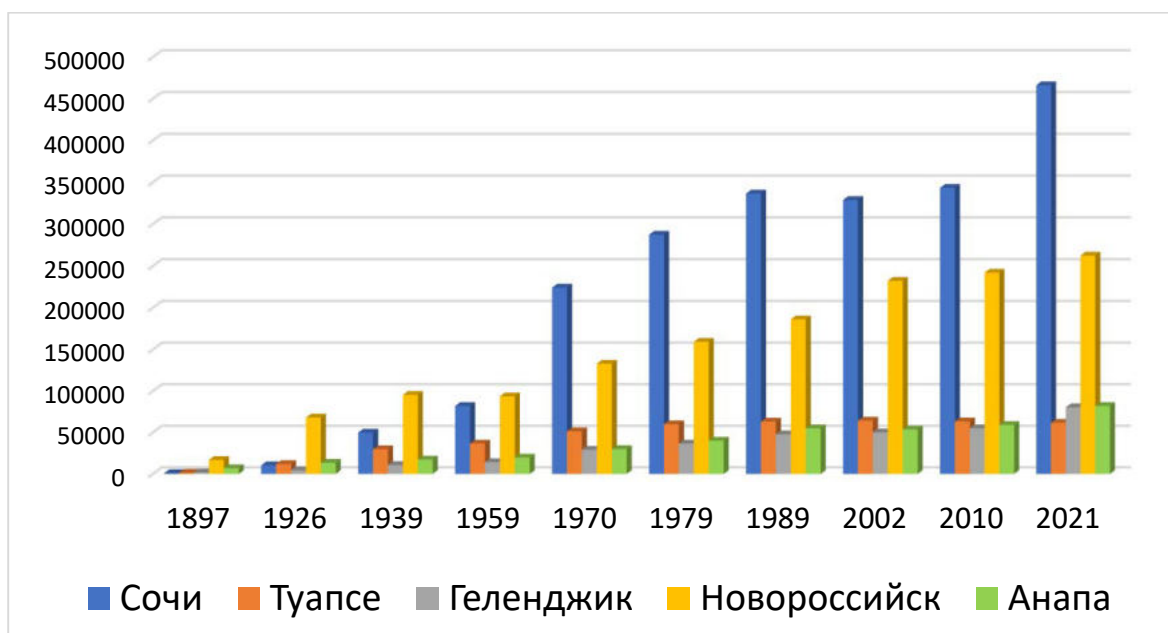


Рис. 2. Динамика численности населения городов побережья по данным переписей населения, чел.

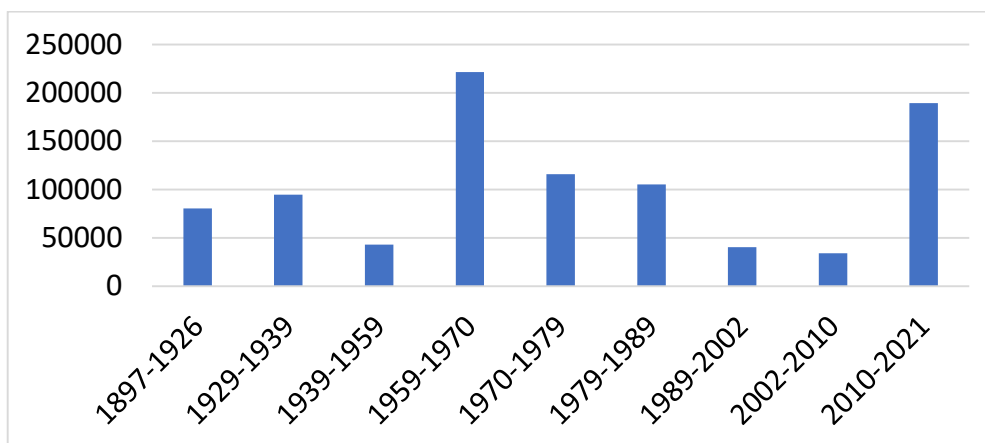


Рис. 3. Абсолютный прирост суммарного населения городов между всеобщими переписями населения, чел.

Относительный рост населения за период 2010–2021 гг. – 124,8 %. Среднегодовой рост за указанный период составил 102,037 %. Относительный прирост населения за период 2010–2021 гг. – 24,8 %. Среднегодовой прирост за указанный период составил 2,037 %.

Если же брать промежуток 1959–2021 гг., то общий относительный рост и прирост населения составили 351% и 251% соответственно. То есть средний ежегодный рост и прирост за последние 62 года составили 102,046 % и 2,046 % соответственно [1, 3]. Причем наибольший относительный прирост был в Сочи и Геленджике, наименьший – в Темрюкском и Туапсинском районах (рис. 4).

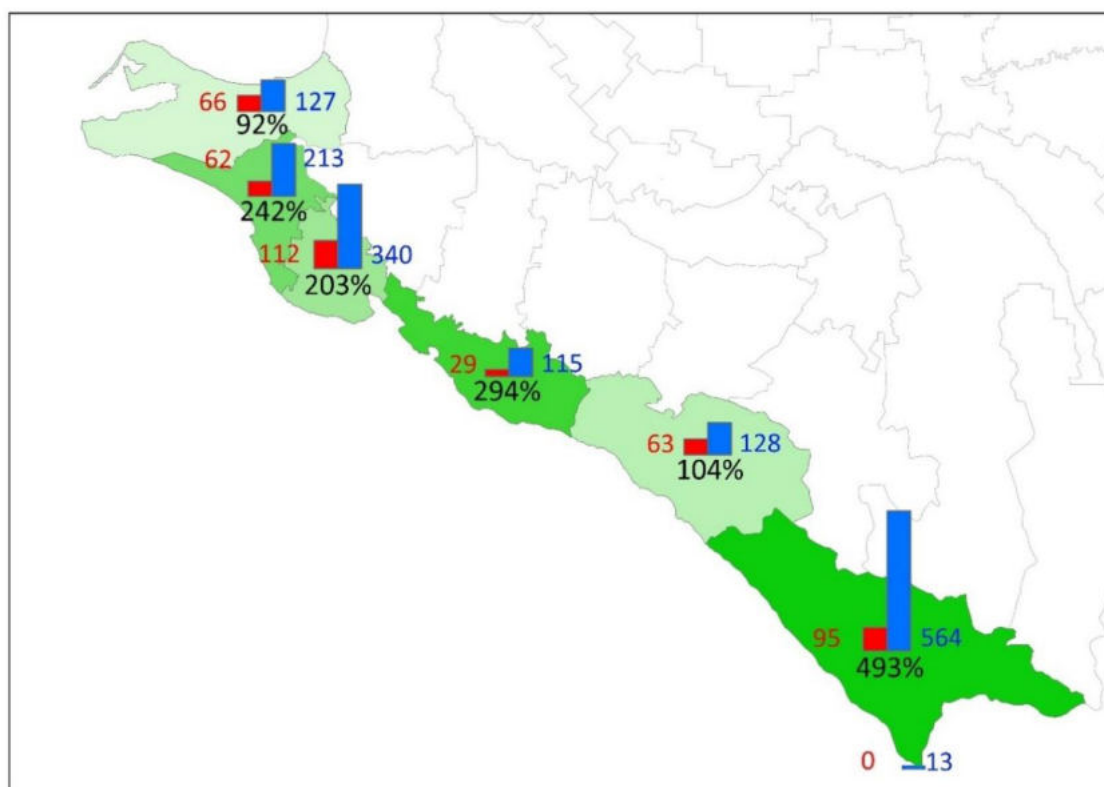


Рис. 4. Относительный прирост населения по АТЕ между переписями 1959 и 2021 гг. и население на момент переписей, тыс. чел.

Из этого можно сделать вывод о том, что темпы относительного прироста населения сохраняются, так как среднегодовой показатель прироста за последние 11 лет (2,037 %) близок к аналогичному показателю за последние 62 года (2,046 %).

Если сравнивать прирост всего населения на побережье с приростом населения только в городах, то получится, что в период 1959–2021 гг. население городов росло быстрее – прирост 287,4 % против 251 % у всего населения, а в период 2010–2021 гг. прирост городского и всего населения

оказался одинаковым – 24,8 %, то есть доля городского населения перестала расти.

Распределение населения на Черноморском побережье неоднородно. Постоянное население по переписи 2021 г. и доля от всего населения побережья (рис. 5) следующие: федеральная территория Сириус – 13424 чел. (доля – 1 %), городской округ Сочи – 564367 чел. (доля – 38 %), Туапсинский район – 127562 чел. (доля 8 – %), городской округ Геленджик – 115048 чел. (доля – 8 %), городской округ Новороссийск – 340043 чел. (доля – 23 %), городской округ Анапа – 212839 чел. (доля – 14 %), Темрюкский район – 127461 чел. (доля – 8 %). Как видно из данных переписи, 75 % всего населения проживают всего в трех городских округах: Сочи, Новороссийск и Анапа.

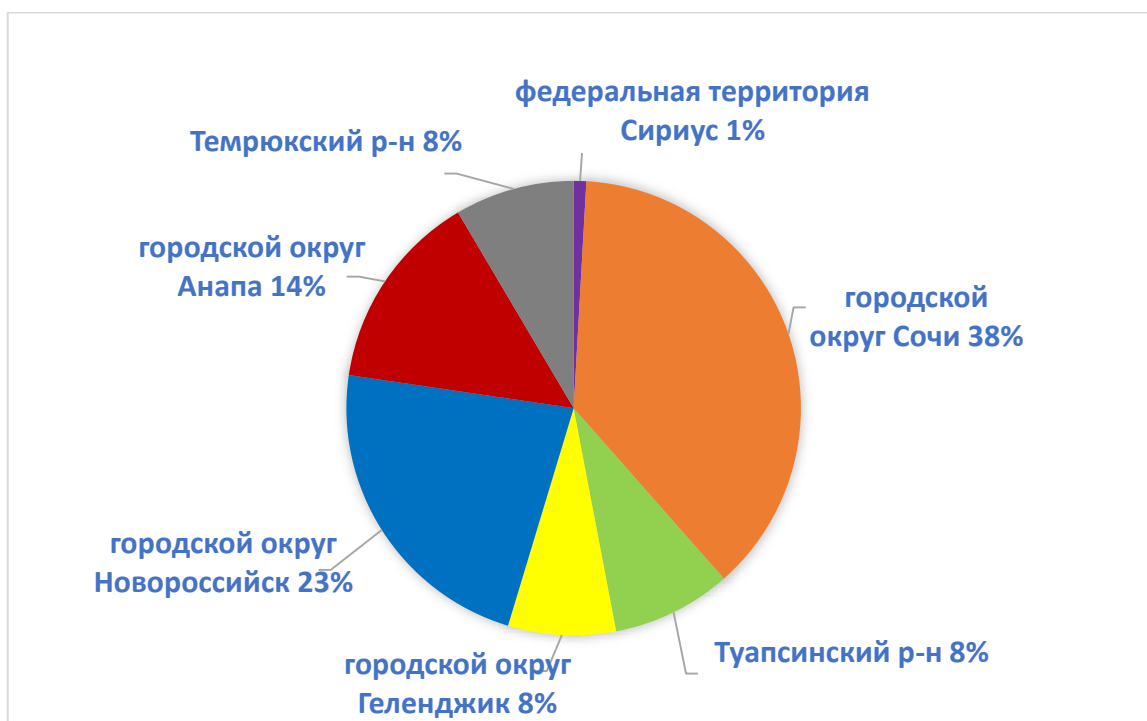


Рис. 5. Распределение населения по АТЕ по данным переписи 2021 г., в % от общего населения

На 2021 г. 68,9 % населения в административных районах побережья сконцентрировано в городских населенных пунктах (6 городов и 3 пгт (поселка городского типа)). Это выше среднего по краю значения 56,9 % и связано с курортной специализацией региона и ограниченностью пригодной для застройки территории на побережье. Урбанизация в разрезе АТЕ следующая: федеральная территория Сириус – 100 %, городской округ Сочи – 84,2 %, Туапсинский район – 61,8 %, городской округ Геленджик

– 69,7 %, городской округ Новороссийск – 77,1 %, городской округ Анапа – 38,5 %, Темрюкский район – 32,6 % [3].

Средняя плотность населения в муниципалитетах побережья на 2021 г. составляет 138 чел/ км². Для сравнения средняя плотность населения в крае – 75 чел/км² [2]. В пределах АТЕ: федеральная территория Сириус – 924 чел/км², городской округ Сочи – 161 чел/км², Туапсинский район – 53 чел/км², городской округ Геленджик – 96 чел/км², городской округ Новороссийск – 408 чел/км², городской округ Анапа – 208 чел/км², Темрюкский район – 64 чел/км². Самая низкая плотность в Туапсинском районе, так как в его состав входят также горные малозаселенные территории.

Несмотря на то, что на Черноморском побережье края проживают представители различных этносов, русские являются большинством в каждом городе, ПГТ и практически во всех сельских населенных пунктах. Все народы региона можно условно разделить на две группы. Одна – это коренные и ныне относительно малочисленные народы такие, как черкесы, абхазы, шапсуги, абазины. Другая – это народы, начавшие активно заселяться на территории после вхождения в состав Российской империи. Самые многочисленные из них русские (рис. 6), армяне (рис. 7), а также украинцы, греки, грузины, татары, белорусы [1].

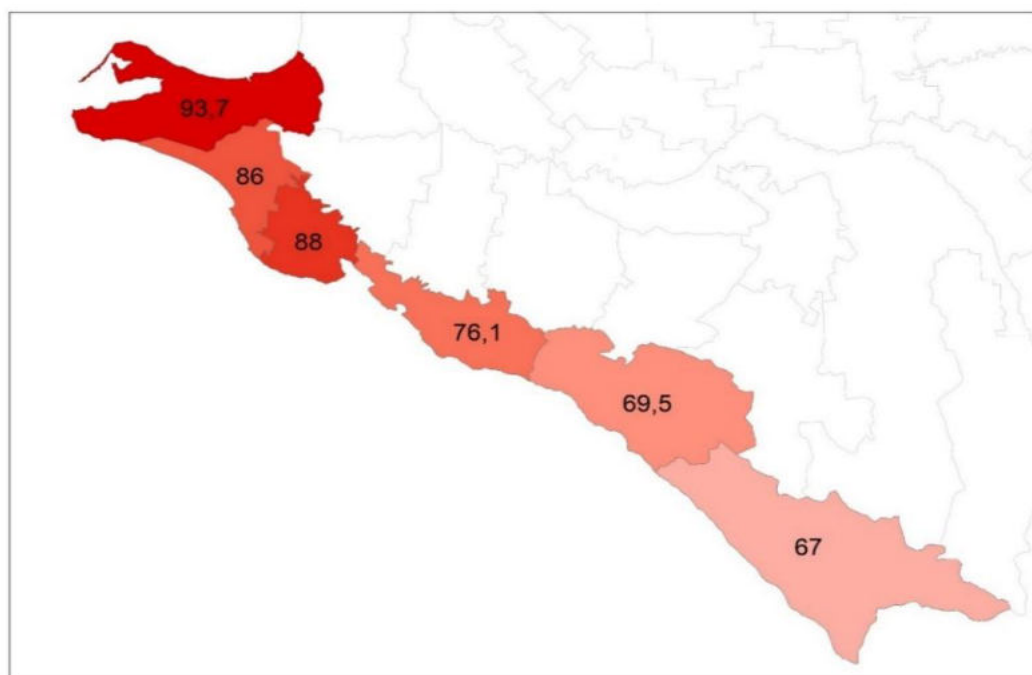


Рис. 6. Доля русских в населении АТЕ, в % на 2010 г.

На основе анализа статистики населения Черноморского побережья Краснодарского края можно прийти к следующим выводам:

– начиная с момента вхождения в состав России, численность населения в регионе росла быстрыми темпами, за исключением нескольких периодов демографических кризисов;

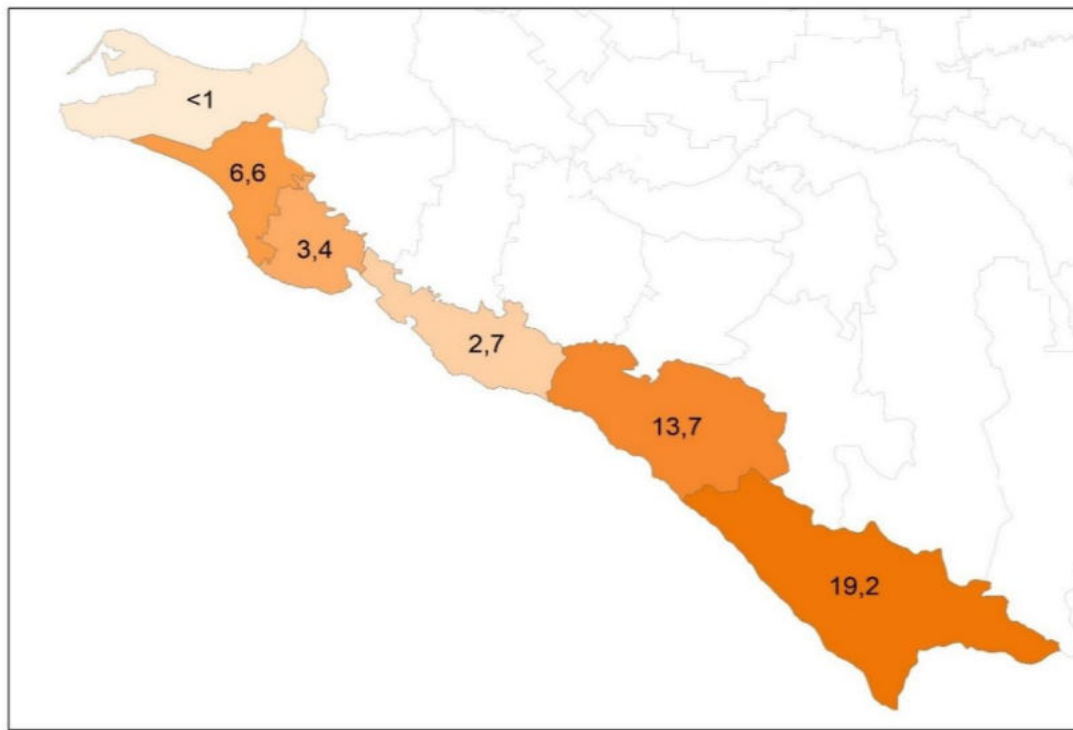


Рис. 7. Доля армян в населении АТЕ, в % на 2010 г.

– доля городского населения раньше росла, а теперь стабилизировалась на одном уровне;
– распределение населения остается крайне неоднородным;
– этнический состав кардинально не менялся в последние десятилетия;
Сейчас регион стоит перед задачей сохранения и увеличения населения.

Библиографические ссылки

1. Рыбаковский О. Л. Демографическая динамика России: основные понятия, показатели, итоги за 1946–2017 гг. // Народонаселение. 2018. Т. 1, № 4. С. 14–22.
2. Управление Федеральной службы государственной статистики по Краснодарскому краю и Республике Адыгея [Электронный ресурс]. URL: <https://23.rosstat.gov.ru/> (дата обращения 22.11.2023).
3. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 19.11.2023).
4. Хусяинова Д. Ф. Динамика основных демографических показателей России в период 2000–2022 годов // Финансовая экономика. 2024. № 3. С. 76–79.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ УЧАСТКА 288 КМ АВТОДОРОГИ «АМУР»

А. П. Кулаков

*Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН, Уланский пер., д. 13, стр. 2,
101000, г. Москва, Россия, cryolithozone@mail.ru*

В работе представлены результаты инженерно-геокриологического профилирования участка 288 км автодороги «Амур», основанные на полевых и дистанционных исследованиях, в том числе данных бурения 7 поперечных скважин. В работе рассматриваются факторы и закономерности развития инженерно-геокриологических процессов, приводящих к деформациям земляного полотна автодороги. Результаты исследования показали, что разнообразие факторов и условий непосредственно влияет на развитие и скорость инженерно-геокриологических процессов и деформаций на автодороге. Проведение инженерно-геокриологического профилирования предлагается с целью эффективной оценки и прогноза инженерно-геокриологических процессов, а также мониторинга состояния и динамики земляного полотна автодороги и окружающих ландшафтов.

Ключевые слова: автомобильные дороги, земляное полотно, деформации, криолитозона, термокарст, повторно-жильные льды, геокриологические процессы, инженерно-геокриологическое профилирование, многолетнемерзлые породы.

GEOCRYOLOGICAL ENGINEERING PROFILING OF THE AMUR HIGHWAY 288 KM SECTION

A. P. Kulakov

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, Ulansky lane, 13-2, 101000, Moscow,
Russia, cryolithozone@mail.ru*

The paper presents the results of engineering geocryological profiling of the Amur highway 288 km section, based on field and remote studies, including data from drilling 7 transverse wells. The paper considers the factors and patterns of development of geocryological engineering processes that lead to deformations of the roadbed. The results of the study showed that a variety of factors and conditions directly affect the development and speed of geocryological engineering processes and deformations on the highway. Engineering geocryological profiling is proposed for the purpose of effective assessment and prediction of engineering geocryological processes, as well as monitoring the condition and dynamics of the roadbed and surrounding landscapes.

Keywords: highways, roadbed, deformations, cryolithozone, thermokarst, ice-wedge, geocryological processes, geocryological engineering profiling, permafrost.

Введение. Опыт эксплуатации автомобильных дорог в условиях распространения многолетнемерзлых пород (ММП) показывает, что развитие инженерно-геокриологических процессов является одной из основных причин деформаций земляного полотна автодороги и их недопустимого транспортно-эксплуатационного состояния.

В условиях растущей эксплуатационной нагрузки и глобального изменения климата на ММП происходит активизация и возникновение новых криогенных процессов. Меняющиеся климатические условия наряду с возрастающей техногенной нагрузкой приводят к деформациям автодорог и непредсказуемым внеплановым ремонтным работам.

Несмотря на длительное изучение проблематики, деформации на автодорогах, построенных на ММП, не прекращаются до сих пор. Цель исследования состоит в изучении причин образования деформаций, особенностей их развития на автодорогах с помощью инженерно-геокриологического профилирования для организации эффективной системы мониторинга, направленной на снижение развития опасных геокриологических процессов, приводящих к деформациям и высоким затратам на обслуживание многочисленных участков автодорог в условиях ММП [1].

Особенность работы заключается в применении инженерно-геокриологического профилирования в качестве базовой основы оценки состояния и прогноза развития геокриологических процессов на автодорогах в условиях ММП, а также выбора ключевых участков для стационарного и мобильного инженерно-геокриологического мониторинга протяженных автодорог (линейных объектов исследования).

Полевыми и дистанционными методами установлено, что повторяемость просадок на разных участках автодорог в разные годы сопряжена с разными ведущими криогенными процессами. Это требует инженерно-геокриологического профилирования ключевых разнородных участков, в котором будет отражаться текущая инженерно-геокриологическая обстановка с типами нарушений земляного полотна. Отражение ситуации на инженерно-геокриологическом профиле будет служить основой для организации инженерно-геокриологического мониторинга, составления прогноза развития опасных геокриологических процессов и выработки стратегии инженерной защиты.

В перечень решаемых задач входят полевые и дистанционные обследования ключевых репрезентативных участков автодорог (на примере 288 км автодороги «Амур»), изучение факторов и закономерностей разви-

тия инженерно-геокриологических процессов, приводящих к деформациям земляного полотна автодороги с помощью геоинформационных технологий (ГИС).

Материалы и методы. Информационной базой исследования служат данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), полевые и фондовые инженерно-геологические материалы.

В работе осуществлялась камеральная обработка первичной информации (космические снимки с сайта Google, ESRI, Yandex, съемочных систем Aster, Landsat, Sentinel, Terra, Spot, данных среднесуточных наблюдений на имеющихся температурных скважинах и гидрометеорологических станциях), применение геоинформационных технологий (ArcGIS 10.5) для построения инженерно-геокриологического профиля на ключевом участке 288 км.

Экспериментальные измерения на ключевых участках осуществлялись с помощью нивелирной съемки, теодолита, измерительной рулетки, инфракрасного термометра, почвенного шупа.

При профилировании и районировании использовались данные ДЗЗ (в том числе цифровые модели рельефа, рассчитанные тепловые и радиолокационные снимки), топографические карты (1:50 000, 1:200 000), тематические карты разного геологического и физико-географического содержания (геологические, геокриологические, геоморфологические, геоботанические и т.п.).

Исследования характеристик состояния грунтов, определение гранулометрического состава проводились экспресс методами в полевых и лабораторных условиях.

Полученная информация позволила составить профиль в ГИС на основании поперечных земляному полотну автодороге 7 пробуренных скважин, глубиной от 7.5 до 30 м.

Результаты инженерно-геокриологического профилирования. Ключевой участок исследования расположен в аккумулятивно-эрозионной долине, в пределах первой надпойменной террасы реки Олов. Участок складывается преимущественно аллювиальными супесчаными и суглинистыми отложениями с намывными делювиальными накоплениями на плоско-западинных и ложбинных формах рельефа. В пределах ключевого участка происходит морозобойное растрескивание и поверхностный смыв, а также термокарст и вытаивание повторно-жильных льдов (рис. 1).

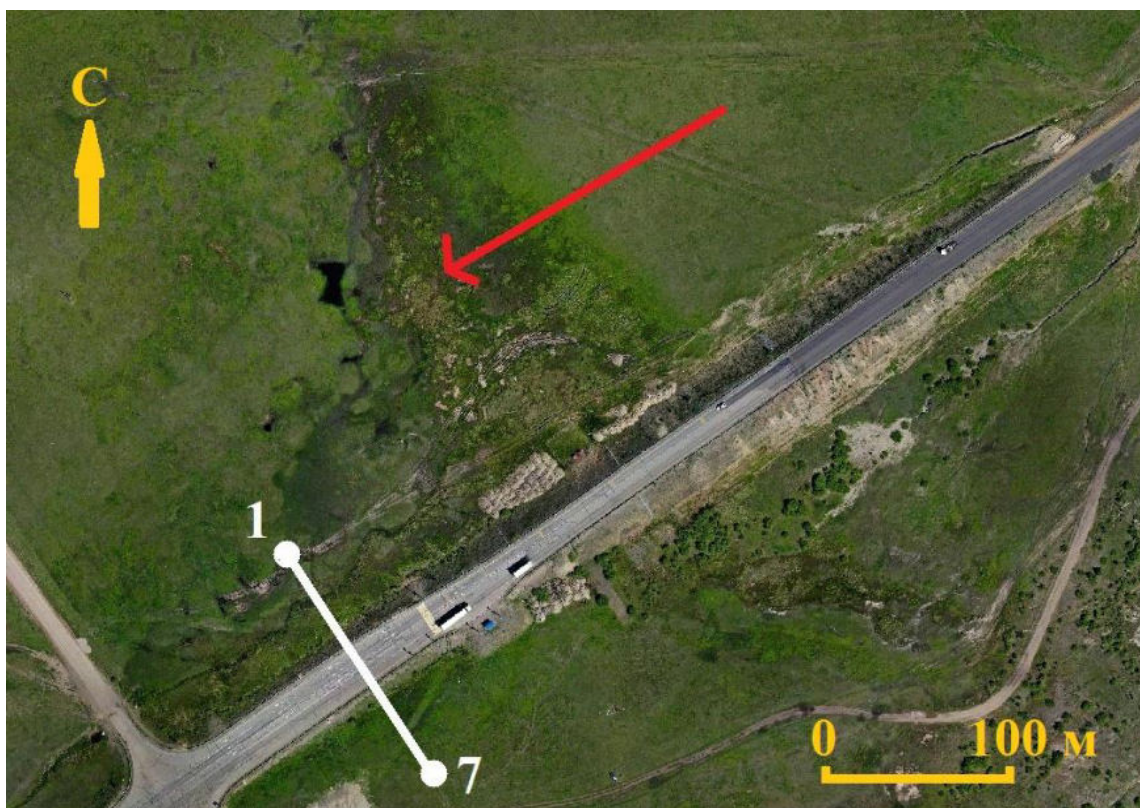


Рис. 1. Вытаивание повторно-жильных льдов и термокарстовые процессы (красная стрелка) вблизи автодороги «Амур» (288 км). Белая линия соответствует положению инженерно-геокриологического профиля (по порядку 1–7 скважина). Снимок с БПЛА, 2022 г.

На пониженных и вогнутых участках нередко происходит подтопление вследствие активной аккумуляции поверхностных и подземных вод с возвышенных участков, заболачивание в замкнутых понижениях и криогенное пучение.

Для ключевого участка автодороги «Амур» (288 км) был построен инженерно-геокриологический профиль (поперечный разрез проблемного участка) на основании проведенного бурения и исследованных образцов грунта (рис. 2).

Участок 288 км автодороги «Амур» лежит в зоне первой надпойменной террасы реки Олов с ярко выраженными мерзлотными формами рельефа в виде морозобойных трещин, термокарстовых западин и повторно-жильных льдов (ПЖЛ). Участок примечателен тем, что волнообразная просадка земляного полотна автодороги произошла с наклоном в южную сторону, несмотря на то, что полоса отвода с другой стороны дороги имеет транзитные понижения в виде подтопленных участков крупной плосковогнутой ложбины с эрозионными бороздами мелких ручьев, примыкающих к откосу насыпи северной экспозиции (справа по профилю). В данном ме-

сте был сформирован шлейф разгрузки стекающих вод и накоплений с водораздела с преимущественной аккумуляций с северной стороны дороги в связи с тем, что с южной стороны (слева по профилю) вода еще перед исследуемым участком перетекает через водопропускную трубу на северную сторону из-за более возвышенного положения и не застаивается.

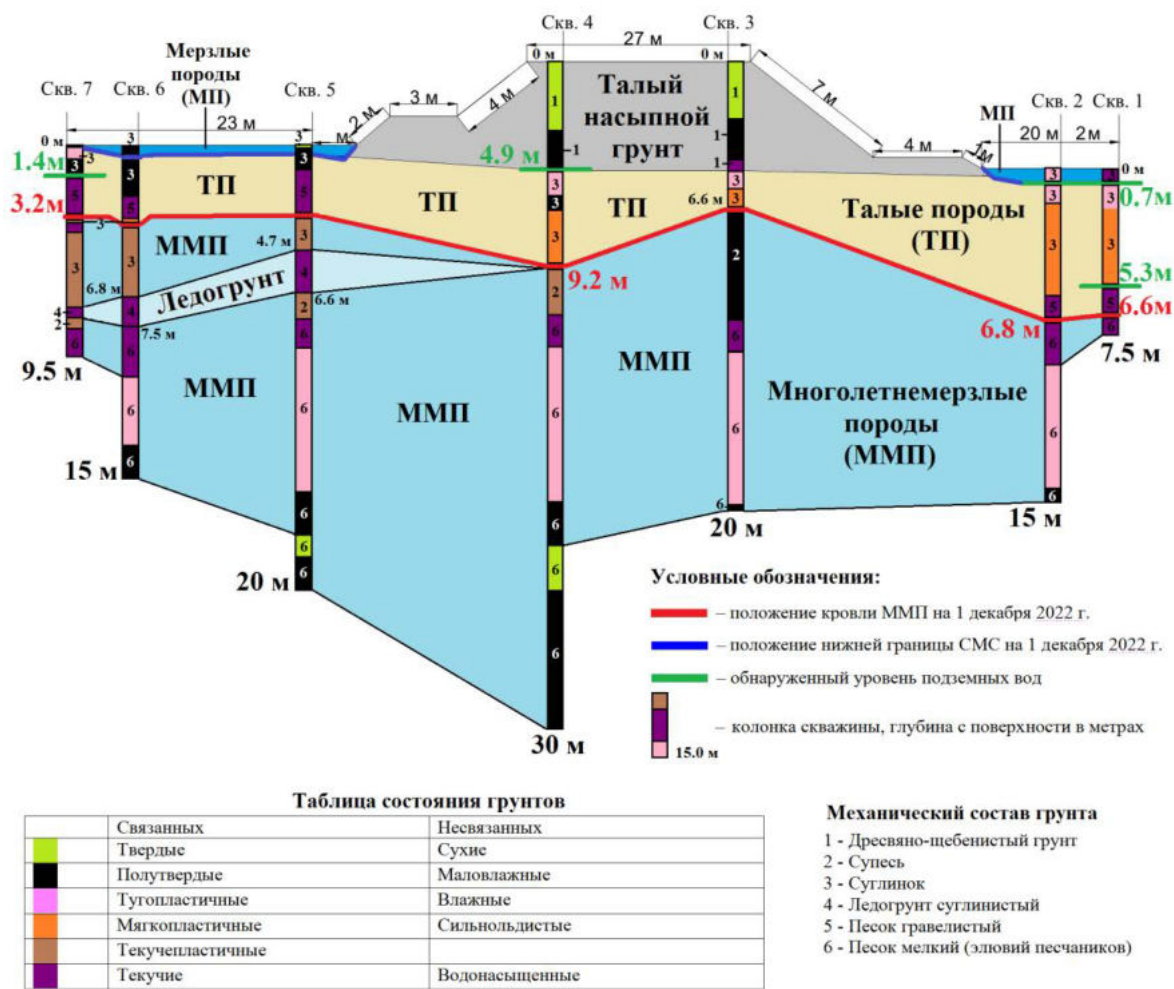


Рис. 2. Инженерно-геокриологический профиль участка 288 км автодороги «Амур»

По профилю обнаруживается, что северный участок в зоне отвода имеет значительную мощность сезонно-талого слоя, в то время как под основанием автодороги с северной стороны СТС имеет те же показатели, что и возвышенная и сухая полоса отвода с южной стороны автодороги. Инсоляция значительно выше у откоса насыпи южной экспозиции, куда солнечные лучи (прямая солнечная радиация) в определенное время попадают под прямым углом в отличие от северной части, где перегревания откосов насыпи практически отсутствует. Несмотря на высокий уровень

СТС и застаивания воды у откоса насыпи северной экспозиции, под основанием южной части дороги уровень СТС выше, чем с северной части, возможно, из-за того, что откос насыпи южной экспозиции непосредственно прогревается солнечными лучами и растепляет имеющиеся льдистые грунты с южной стороны дороги. Это дает предполагать, что, под основанием дороги растепляющее значение солнечной радиации в определенных случаях может быть выше, чем растепление многолетнемерзлых пород образовавшейся застойной водой у откосов насыпи.

Заключение. В пределах первой надпойменной террасы активно развиваются процессы вытаивания повторно-жильных льдов и термокарста, приводящих к проседанию земляного полотна автодороги в результате термокарстовых процессов. Основными факторами, влияющих на активизацию и развитие процессов, являются поверхностный и подземный сток, повышенная инсоляция откосов южной экспозиции, а также физическое и тепловое влияние земляного полотна автодороги на подстилающие грунты.

Библиографические ссылки

1. Особенности организации инженерно-геокриологического мониторинга автомобильных дорог, эксплуатируемых на территориях распространения многолетнемерзлых пород / А. Н. Хименков [и др.] // Арктика и Антарктика. 2023. № 4. С. 125–157.

ГИС-КАРТОГРАФИРОВАНИЕ МУЗЕЕВ УЧРЕЖДЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. А. КупREENKO¹⁾, К. С. Малкина¹⁾, А. Н. Полюхович^{1,2)}

¹⁾Государственное учреждение образования «Гимназия № 146 г. Минска»,
пр-т им. газеты «Правда», 48, 220116, г. Минск, Беларусь,
anan2008146@gmail.com, kira19782208@gmail.com

²⁾Белорусский государственный университет,
ул. Ленинградская, 16, 220030, г. Минск, Беларусь, nadkimar@gmail.com

Проведено ГИС-картографирование около 1430 музеев учреждений образования Республики Беларусь, создана интерактивная база данных с пространственной привязкой. Главным образом они сконцентрированы в западной и центральной части страны. Наибольшее количество музеев расположено в Гродненской и Минской областях, наименьшее – в Витебской области.

Ключевые слова: музеи учреждений образования; профиль музея; направление музея; ГИС-картографирование; пространственная модель.

GIS MAPPING OF MUSEUMS OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

A. A. Kupreenko¹⁾, K. S. Malkina¹⁾, A. N. Polyukhovich^{1,2)}

¹⁾State Educational Institution "Gymnasium No. 146 of Minsk",
48 Pravda Gazeta Ave., 220116, Minsk, Belarus, anan2008146@gmail.com,
kira19782208@gmail.com

²⁾Belarusian State University,
Leningradskaya str., 16, 220030, Minsk, Belarus, nadkimar@gmail.com

GIS mapping of about 1,430 museums of educational institutions of the Republic of Belarus has been carried out, an interactive database with spatial reference has been created. They are mainly concentrated in the western and central part of the country. The largest number of museums is located in the Grodno and Minsk regions, the smallest in the Vitebsk region.

Keywords: museums of educational institutions; museum profile; museum direction; GIS mapping; spatial model.

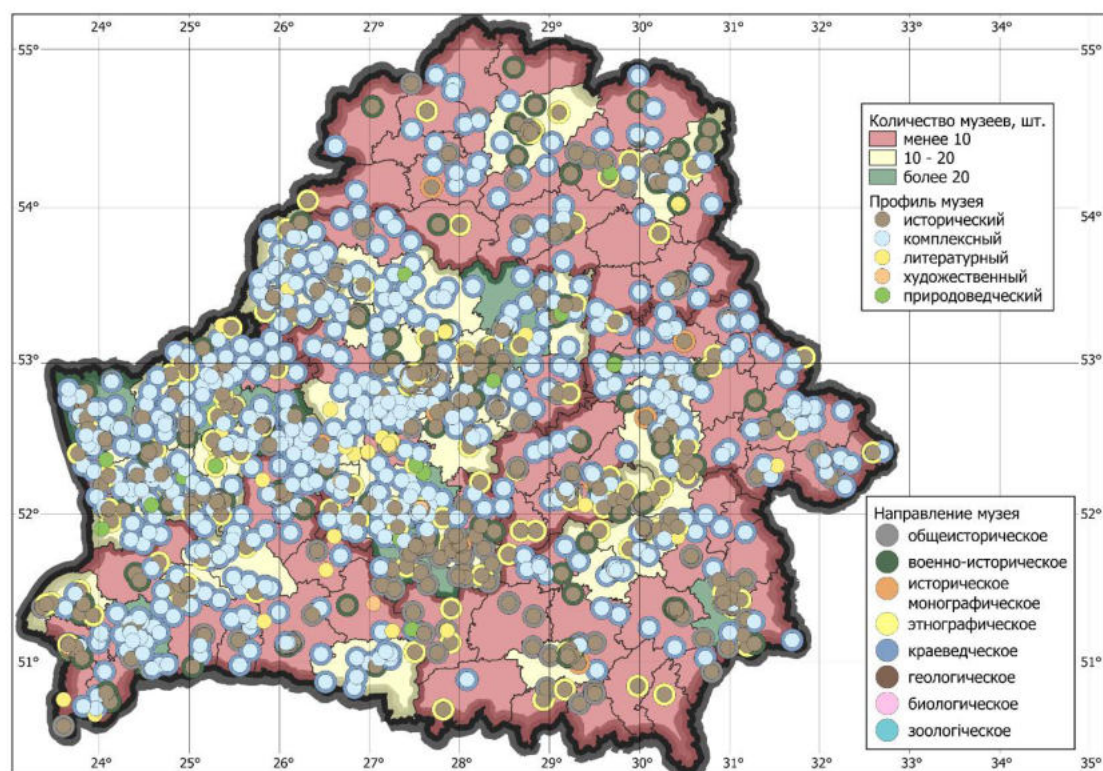
Музеи учреждений образования призваны объективно отражать прошлое и настоящее своего региона (страны), а также вести исследовательскую работу по выявлению, изучению и сохранению памятников материальной и духовной культуры, пропагандировать историко-культурные и природные ценности. Таким образом музей учреждения образования является структурным подразделением учреждения образования, которое

создается с целью выявления и сохранения на постоянной основе музейных предметов, научно-вспомогательных и сырьевых материалов, их изучения, учета, экспонирования и популяризации для осуществления образовательных задач учреждения образования [1].

Использование ГИС позволяет создавать цифровые пространственные модели, например, в виде цифровых карт как двухмерных моделей трехмерной реальности.

Цель работы – создать пространственную ГИС-модель музеев учреждений образования Республики Беларусь. При этом использовались сравнительно-географический, статистический и геоинформационный методы. В работе использовались фондовые данные Республиканского центра экологии и краеведения [1]. Точные местоположения были определены с использованием возможностей OpenStreetMap, Яндекс Карты, Публичной кадастровой карты. ГИС-картографирование проведено в QGIS.

Нами было проведено ГИС-картографирование музеев, классификация районов Беларуси по количеству музеев (использовалась трехступенчатая шкала), ГИС-анализ музеев по профилям и направлениям (рисунок). Наибольшая концентрация музеев наблюдается в западной и центральной частях Беларуси.



Пространственная модель музеев учреждений образования Республики Беларусь

В Республике Беларусь насчитывается около 1430 музеев учреждений образования. Наибольшее число расположено в Гродненской (329) и Минской (313) областях, в г. Минске – 124 музея. По профилю преобладают комплексные (658) и исторические (676), меньше всего художественных музеев (10) (таблица).

**Количество музеев учреждений образований по профилям
в разрезе областей и г. Минска**

Название области	Всего	Комплексные	Литературные	Художественные	Природоведческие	Исторические
Брестская	187	95	8	3	3	78
Гродненская	329	181	6	—	9	133
Витебская	135	48	3	1	10	71
Минская	313	162	14	3	11	123
г. Минск	124	32	2	1	2	87
Гомельская	150	41	4	—	—	105
Могилевская	188	99	4	2	4	79

Наибольшей концентрацией музеев отличается Минская область и г. Минск. Это связано с большей концентрацией населения, большим количеством учреждений образования.

Таким образом, нами была в ГИС создана пространственная модель музеев учреждений образования.

Библиографические ссылки

1. Нарматыўныя дакументы і метадычныя матэрыялы па музейнай педагогіке : Рэспубліканскі цэнтр экалогіі і краязнаўства. URL: <https://rcek.by/metodicheskie-materialy> (дата звароту: 19.10.2024).

ОБРАБОТКА СНИМКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, В ПРОГРАММЕ AGISOFT METASHAPE PROFESSIONAL

С. А. Лазаренко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 2203030,
Беларусь*

В работе рассмотрена обработка снимков с беспилотных летательных аппаратов. Установлены основные конструкционные особенности и классификация беспилотных летательных аппаратов. Приведены примеры использования беспилотных летательных аппаратов в различных географических исследованиях.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; Agisoft Metashape Professional.

PROCESSING OF IMAGES TAKEN FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES AIRCRAFT IN THE AGISOFT METASHAPE PROFESSIONAL PROGRAM

S. A. Lazarenko

The paper considers the processing of images from unmanned aerial vehicles. The main design features and classification of unmanned aerial vehicles have been established. Examples of the use of unmanned aerial vehicles in various geographical studies are given.

Keywords: unmanned aerial vehicles; Agisoft Metashape Professional.

Agisoft Metashape Professional позволяет создавать географически привязанные плотные облака точек, текстурированные полигональные и тайловые модели, цифровые модели местности/рельефа и ортофотопланы на основании перекрывающихся цифровых снимков и информации о географических координатах.

Обрабатываемые снимки были получены с помощью DJI Mavic Pro 1 / 2,3" CMOS-датчик, с диафрагмой = F/2,2, углом обзора FOV = 78,8°, с высоты съёмки 100 м.

В первую очередь, нужно загрузить снимки с беспилотника в программу, из-за большого количества снимков лучше загружать их папками (рис. 1), хотя это можно делать и отдельными снимками.

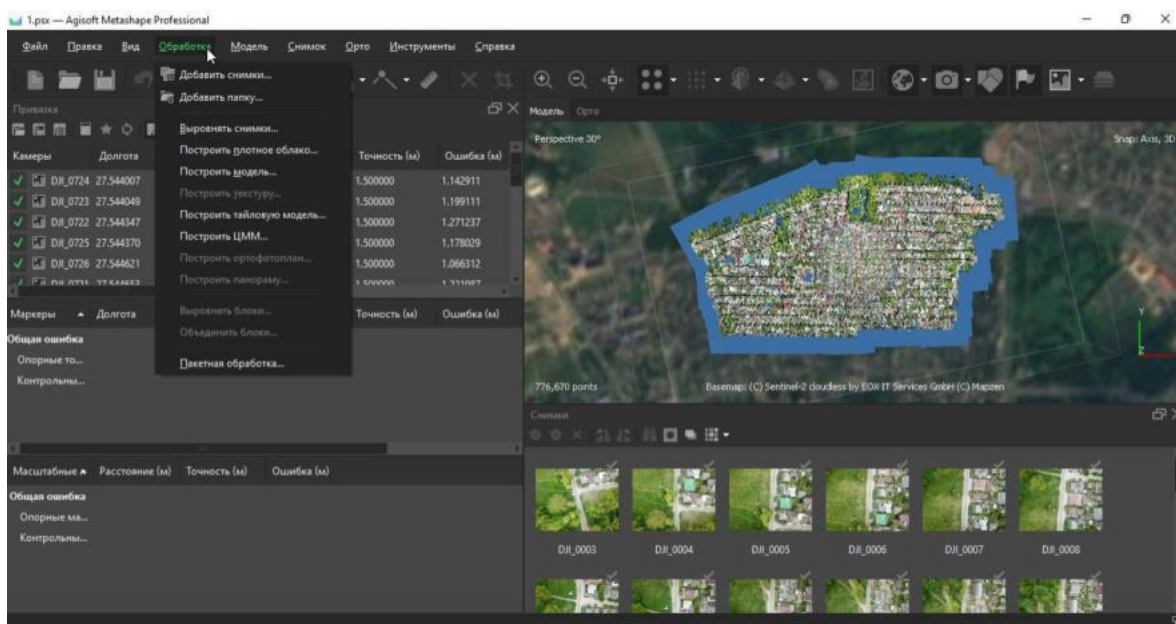


Рис. 1. Загрузка снимков

Так как все изображение уже имело свои геотеги в подходящей системе координат, то нет необходимости в импорте CSV-файлов. Далее происходит выравнивание снимков. Для быстрой обработки более чем сотни снимков необходимо включить общую преселекцию (рис. 2).

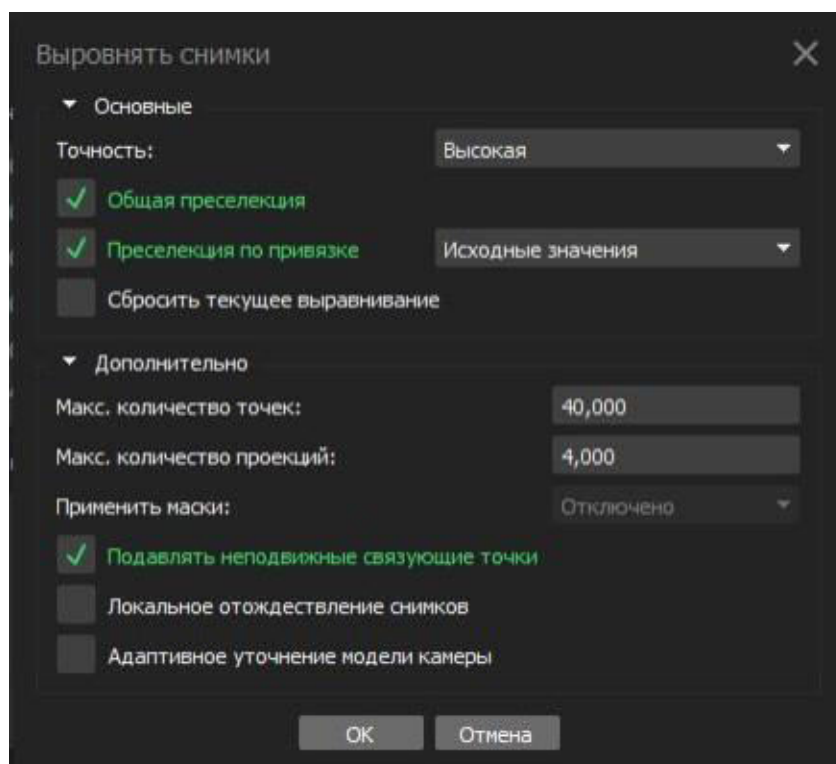


Рис. 2. Выравнивание снимков

Функция «Подавлять неподвижные связующие точки» позволяет исключить связующие точки, остающиеся неподвижными на многих снимках в наборе. Такой подход полезен при выравнивании наборов с неподвижным фоном. Также применение этой опции помогает исключить ложные связующие точки – артефакты сенсора или объектива.

Локальное отождествление снимков позволяет находить дополнительные связующие точки на снимках большого разрешения: изображениях, снятых камерами профессионального уровня; спутниковых снимках или архивных аэрофотоснимках, отсканированных в высоком разрешении.

Опция «Адаптивное уточнение модели камеры» помогает автоматически уточнить элементы внутреннего ориентирования камеры в зависимости от оценки их надежности.

Для каждого снимка определяется отдельный набор элементов дисторсии, что может привести к снижению надежности сети фототриангуляции, а для каждого измерения – свой набор неизвестных, что снижает корреляцию параметров между снимками маршрута.

По окончании процесса выравнивания в окне отобразятся рассчитанные положения камеры (рис. 3) и разреженное облако точек (рис. 4).



Рис. 3. Рассчитанные положения камеры



Рис. 4. Облако точек

Дальше производится расстановка маркеров по контуру и в центре данной территории. Также можно загрузить каталог маркеров (при наличии) (рис. 5).



Рис. 5. Расстановка маркеров

Основываясь на рассчитанных положениях снимков, программа строит карты глубины для каждого из них. Чтобы построить плотное облако точек, в меню «Обработка» выбираем соответствующий пункт. На основании полученного плотного облака точек можно построить трехмерную полигональную модель.

ЦММ представляет собой модель поверхности в виде регулярной сетки значений высот. ЦММ можно построить из плотного и разреженного облака точек, карт глубины или полигональной модели. Рекомендуется в качестве исходных данных использовать данные плотного облака точек для получения более точных результатов; также в этом случае построение полигональной модели не требуется, что сокращает общее время

обработки. Но можно в качестве исходных данных взять построенную ранее модель. Далее на основе цифровой модели местности строится ортофотоплан (рис. 6). По завершении операции построения ортофотоплан можно открыть для просмотра в окне «Орто» или экспортировать как отдельное изображение.

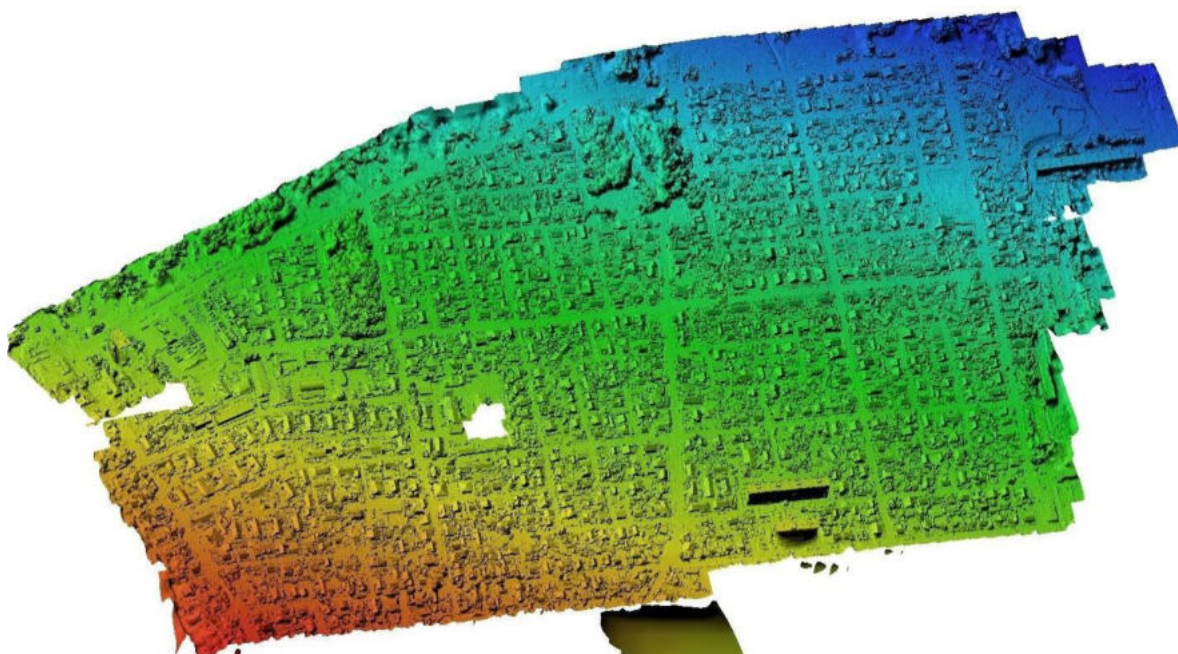


Рис. 6. Ортофотоплан

Оценивая опыт использования программы Agisoft Metashape, можно отметить её почти полную автоматизированность, удобный интерфейс и крайне высокое качество цифровой модели местности и аэрофотоплана. Возможности экспорта данных аэрофотосъемки в различные форматы позволяют использовать их в своих работах очень широкому кругу специалистов-географов.

Варианты использования данных после обработки в фотограмметрических программах довольно многочисленны. Например, ортофотоплан может использоваться для межевания, инвентаризации и кадастровой оценки земельных участков, оценки эффективности использования земельных ресурсов, проектирования развития территорий, проектно-изыскательских работ, реконструкции и развития дорожных сетей, мониторинга состояния наземных и подземных коммуникаций (трубопроводов, ЛЭП и т. п.), мониторинга земель, создания трехмерных моделей местности для ГИС.

Библиографические ссылки

1. Кальной А. И. Конструктивные особенности беспилотного летательного аппарата, применяемого воинскими формированиями Министерства обороны // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения. 2015. № 4. С. 52–58.
2. Лихачев В. П., Рязанцев Л. Б., Чередников И. Ю. Применение беспилотных летательных аппаратов для ведения тактической радиолокационной разведки // Военная мысль. 2016. № 3. С. 24–28.
3. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В. С. Фетисов [и др.]. Уфа: ФОТОН, 2014. 217 с.
4. Евтушенко Е. В., Володин А. Н. Анализ существующих типов беспилотных летательных аппаратов и перспектив их развития // Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2017. Материалы III Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов: под ред. А. Т. Барабанова. Севастополь: СГУ, 2017. С. 299–305.
5. Авиационная силовая установка на водородо-воздушных твердополимерных топливных элементах / И. Е. Баранов [и др.] // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). С. 36–44.

МАКЕТ WEB-АТЛАСА «ИЗУЧЕНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

Н. Е. Лось

*Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16,
220006, г. Минск, Беларусь*

В работе рассмотрены теория создания web-атласа «Изучение Земли из космоса» и процесс создания макета страниц данного картографического произведения. Установлены и изучены этапы создания web-карт, формирования web-атласа и требования к нему. Осуществлён процесс разработки списка карт в атласе. Проведено описание работы по созданию макета страниц и компоновки карт.

Ключевые слова: создание; процесс; описание.

LAYOUT OF WEB-ATLAS "STUDY OF THE EARTH FROM SPACE"

N. E. Los

Belarusian State University, Leningradskaya St., 16, 220006, Minsk, Belarus

The paper deals with the theory of creating WEB-atlas "Studying the Earth from Space" and the process of creating the page layout of this cartographic work. The stages of WEB-maps creation, WEB-atlas formation and requirements to it are established and studied. The process of developing the list of maps in the atlas has been realized. The description of the work of creating the layout of pages and the layout of maps is carried out.

Keywords: creating; process; description.

В создании web-атласа теория и практика играют равноценную роль, обеспечивая его полезность и эффективность. Теория здесь – это план или идея того, как должен работать атлас. Она определяет основные принципы и концепции, которые лежат в основе всего проекта, от его структуры до дизайна. Практика же – это реальная реализация этих идей в жизнь: программирование, создание интерфейса, тестирование и др.

Формирование web-атласа – это процесс создания интерактивного веб-ресурса, предоставляющего доступ к географическим данным и обеспечивающего возможность пользовательского взаимодействия с этой информацией. Этот процесс включает в себя несколько этапов, начиная от определения целей и аудитории атласа до его развертывания и поддержки.

Один из ключевых этапов формирования web-атласа – это анализ потребностей пользователей. Определение ожиданий и запросов пользовате-

лей позволяет создателям атласа разработать структуру и функционал ресурса, который будет наиболее полезен и удобен в использовании для конечных пользователей.

После анализа потребностей пользователей следует сбор и организация данных. Это включает в себя выбор источников информации, сбор географических данных, их обработку и подготовку для дальнейшего использования в web-атласе. Важно обеспечить точность и достоверность данных, а также их актуальность для пользователей.

Далее идет разработка дизайна и функционала web-атласа. Это включает в себя выбор подходящих инструментов и технологий, разработку интерфейса пользователя, визуализацию данных на карте, реализацию поисковых и фильтрационных возможностей, а также создание дополнительных функций, улучшающих пользовательский опыт.

После завершения разработки происходит тестирование web-атласа. Это позволяет выявить и исправить ошибки, а также убедиться в его корректной работе на различных устройствах и в различных браузерах. Тестирование также включает в себя оценку производительности и скорости загрузки атласа.

Одним из ключевых аспектов формирования web-атласа является его масштабируемость и производительность. При проектировании и разработке атласа необходимо учитывать возможность эффективной работы с большим объемом данных и высокой нагрузкой, особенно в случае, если он предназначен для использования в широком масштабе или в реальном времени.

Также важно обеспечение доступности и безопасности web-атласа. Это включает в себя использование современных методов аутентификации и авторизации пользователей, защиту данных от несанкционированного доступа, а также обеспечение совместимости с различными устройствами и браузерами.

Наконец, после успешного завершения всех этапов процесса формирования web-атласа происходит его развертывание и запуск. Это включает в себя выбор хостинга, настройку доменного имени и проведение маркетинговых мероприятий для привлечения пользователей к новому ресурсу.

Разработка списка карт для веб-атласа является ключевым этапом в создании этого типа приложения. Этот процесс включает в себя следующие шаги:

1. Определение целей и аудитории;
2. Идентификация и сбор данных;
3. Выбор подходящих типов карт;
4. Определение порядка отображения;
5. Разработка пользовательского интерфейса.

Разработка списка карт для веб-атласа представляет собой сложный и многоэтапный процесс, который требует внимательного планирования и учета потребностей пользователей. Определение целей и аудитории, сбор и анализ данных, выбор подходящих типов карт и разработка удобного пользовательского интерфейса – ключевые этапы, определяющие успешность проекта.

Разработка макета компоновки в веб-атласе – это процесс, который включает в себя создание структуры и расположения элементов интерфейса на веб-странице. Важно, чтобы макет был интуитивно понятным и удобным для пользователей. Процесс разработки макета обычно начинается с определения основных элементов, которые будут включены на странице, таких как заголовки, меню, содержимое карты и дополнительные функциональные элементы.

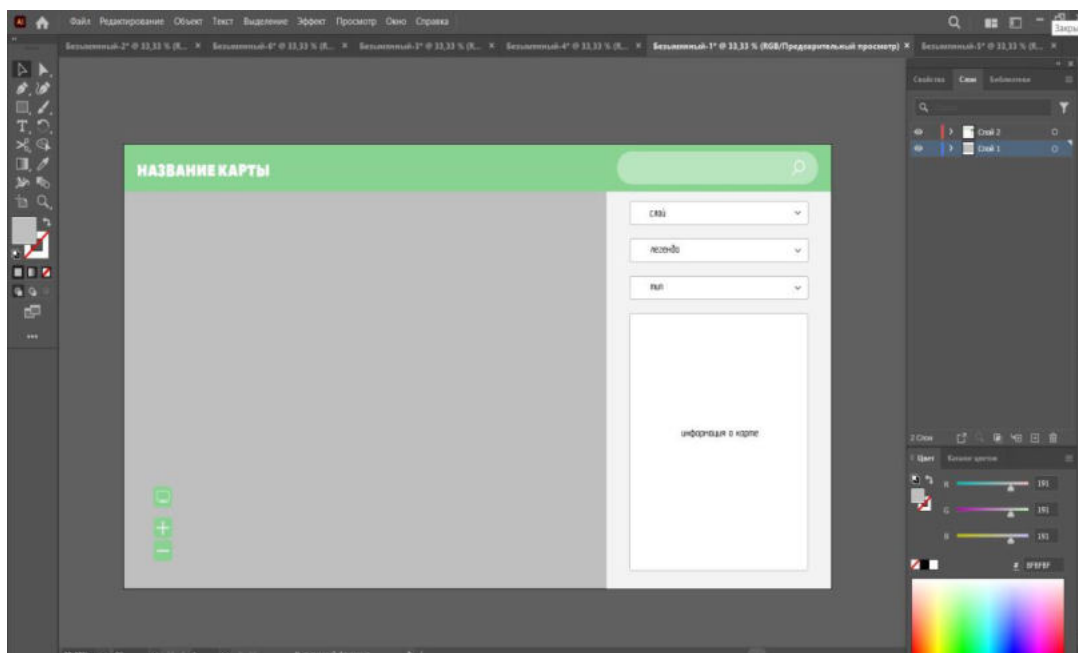
После этого создается структура страницы, определяющая расположение и взаимосвязь между элементами. Веб-атлас должен быть организован логически и последовательно, чтобы пользователи могли легко найти нужную информацию и взаимодействовать с ней. Это может включать в себя разделение страницы на различные блоки или колонки, использование вкладок или выпадающих меню для организации контента, а также создание ярких и привлекательных элементов интерфейса для привлечения внимания пользователей.

При разработке макета важно также учитывать адаптивность страницы под различные типы устройств и экранов. Макет должен быть адаптирован под мобильные устройства, планшеты и настольные компьютеры, чтобы обеспечить оптимальный пользовательский опыт для всех пользователей. Это может включать в себя использование адаптивных дизайн-техник, медиазапросов и других методов, которые позволяют странице автоматически изменяться и подстраиваться под размер экрана.

Важным аспектом разработки макета является также его визуальное оформление. Макет должен быть привлекательным и современным, соответствовать стилю веб-атласа. Это может включать в себя выбор подходящих цветовых схем, шрифтов и графических элементов, которые создадут единый и запоминающийся облик страницы.

В целом, разработка макета компоновки в веб-атласе – это важный этап, определяющий визуальное и структурное оформление страницы, которое в свою очередь влияет на удобство использования и восприятие информации пользователем.

Разработка масштабов и компоновка карт атласа являются ключевыми аспектами, определяющими его функциональность и удобство использования.



Готовый макет компоновки в Adobe Illustrator

Важно выбрать подходящие масштабы для каждой карты в атласе, чтобы пользователи могли получить необходимую информацию без излишней детализации. Например, для общегеографической карты масштаб должен быть достаточно крупным, чтобы пользователи могли увидеть основные географические объекты, такие как реки, горы и города. С другой стороны, для детализированных тематических карт, таких как карты климата или почвенного покрова, масштаб должен быть более крупным, чтобы пользователи могли увидеть мельчайшие детали.

Крупномасштабные карты:

- Городские планы: представляют детальную информацию о зданиях, улицах, парках и других объектах внутри города. Примером может служить план центрального района большого мегаполиса.
- Схемы общественного транспорта: показывают маршруты автобусов, трамваев, метро и других видов транспорта в крупных городах, например, схема городского электротранспорта Минска.

Среднемасштабные карты:

- Топографические карты: представляют информацию о рельефе, реках, озерах, лесах и дорогах в определенном районе или регионе. Примером может служить топографическая карта национального парка или региона.
- Карты плотности населения: показывают распределение населения на определенной территории, например, карта плотности населения Беларуси.

Мелкомасштабные карты:

- Политические карты мира: отображают границы стран, столицы и крупнейшие города на всей планете. Примером может служить политическая карта мира.
- Карты климата: представляют информацию о климатических зонах, осадках и температуре на больших территориях, например, карта климата континента или полушария.

При разработке атласа важно обеспечить соответствие масштабов между картами для обеспечения логической последовательности и удобства использования. Это позволяет пользователям легко ориентироваться и сравнивать информацию на различных картах.

Компоновка карт в атласе также играет важную роль. Карты должны быть организованы логически и последовательно, чтобы пользователи могли легко найти нужную информацию. Например, общегеографическая карта может быть размещена в начале атласа, а более детализированные тематические карты – в последующих разделах. Важно также обеспечить единый стиль и дизайн для всех карт в атласе, чтобы создать единое и целостное визуальное впечатление.

Математическая основа карт веб-атласа является основой для их создания и анализа. Она включает в себя несколько ключевых аспектов:

1. Проекция карт: проекция карты определяет способ, которым трехмерная поверхность Земли преобразуется в плоскость. Существует множество различных проекций, каждая из которых имеет свои уникальные свойства. Некоторые проекции сохраняют форму объектов (равноугольные проекции), в то время как другие сохраняют площади (равновеликие проекции). Выбор проекции зависит от целей картографического представления и требований проекта.

2. Координатные системы: координатные системы используются для определения местоположения точек на карте. Наиболее распространенные координатные системы – это географические координаты широты и долготы, которые используются для глобального позиционирования. Для более точных измерений используются проекционные координаты, которые выражаются в метрических единицах и применимы к конкретной картографической проекции.

3. Геодезические формулы: геодезические формулы используются для расчета расстояний, направлений и других характеристик между точками на поверхности Земли. Эти формулы учитывают кривизну Земли и позволяют проводить точные геопространственные расчеты.

4. Обработка пространственных данных: для работы с географическими данными в веб-атласе используются различные методы обработки,

включая геокодирование (преобразование адресов в координаты и наоборот), анализ маршрутов, агрегирование данных и другие методы, которые обеспечивают функциональность и удобство использования веб-атласа.

Эффективное представление географической информации требует тщательного учета различных аспектов. Важность выбора правильной проекции карты, использование соответствующих координатных систем и применение геодезических формул подчеркивают необходимость математической точности и глубокого понимания пространственных данных.

Система условных знаков карт атласа играет ключевую роль в передаче информации и обеспечении понятности картографических изображений. Вот несколько основных аспектов этой системы:

1. **Обозначения объектов:** каждый тип объекта на карте имеет свой условный знак или символ. Например, для обозначения рек могут использоваться линии с различной толщиной и стилем, для городов – точечные маркеры разного размера и цвета.

2. **Цветовая гамма:** цвета также могут использоваться для обозначения различных объектов и явлений на карте. Например, синий цвет может обозначать водоемы, зеленый – леса, красный – дороги и т. д. Это помогает пользователю быстро определить тип объекта, не читая дополнительных обозначений.

3. **Легенда:** система условных знаков часто сопровождается легендой, где каждый символ или цвет соотносится с его значением или обозначением. Легенда облегчает интерпретацию карты и помогает пользователям понять, что представляет собой каждый элемент на карте.

4. **Стандартизация:** важно, чтобы система условных знаков была стандартизированной и широко принятой. Это обеспечивает единообразие и понятность картографических продуктов, что делает их более доступными и удобными для использования.

Оформление карт атласа играет важную роль в их визуальном восприятии и понимании. Вот несколько аспектов оформления карт атласа:

1. **Шрифты и текст:** выбор подходящего шрифта и оформление текста имеет значение для читаемости и эстетического восприятия карты. Шрифты должны быть четкими и легко читаемыми на различных масштабах. Размер шрифта и его стиль также должны соответствовать важности информации.

2. **Размещение элементов:** элементы карты, такие как легенда, масштаб, и другие, должны быть размещены таким образом, чтобы они были легко доступны и не загромождали карту. Оптимальное размещение элементов обеспечивает удобство использования и читаемость карты.

3. Иконографика: использование иконок и символов помогает в быстром восприятии информации на карте. Иконки должны быть понятными и соответствовать своему назначению, чтобы пользователи могли легко интерпретировать представленные данные.

4. Оформление легенды и масштаба: легенда и масштаб карты должны быть ясно представлены и легко воспринимаемы. Легенда должна содержать все необходимые обозначения и пояснения к карте, а масштаб – четко показывать отношение размеров на карте к реальным размерам на местности.

5. Обработка границ и рамок: границы карты и рамки должны быть четко определены и отчетливо выделены. Это помогает ограничить зону представленной информации и сделать карту более упорядоченной.

Библиографические ссылки

1. ГИС Панорама [Электронный ресурс]. URL: <https://gisinfo.ru/download/doc.html> (дата обращения: 27.03.2024).
2. Салищев К. А. Проектирование и составление карт. М. : МГУ, 1978. 240 с.
3. Берлянт А. М. Картография. М. : Аспект-Пресс, 2002. 336 с.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ РАЙОНОВ БЕЛАРУСИ В ГИС

Е. Ю. Лутохина¹⁾, А. С. Семенюк²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16,
220006, г. Минск, Беларусь, email: geo.lutohina@bsu.by

²⁾Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16,
220006, г. Минск, Беларусь, geo-semenuk@yandex.ru

В данной работе на основе архивных материалов произведено картографирование видов земель части территории Республики Беларусь. В ходе исследования были рассмотрены Березинский, Чаусский и Речицкий районы страны. Работа выполнялась с применением программного комплекса ArcGIS Pro. В качестве архивных материалов использовались топографическая военная карта Рабоче-Крестьянской Красной Армии 1930-х годов и карта Генерального Штаба СССР по состоянию на 1990-е годы. Результатом стало создание картосхем районов по видам земель, проведен сравнительный анализ структуры землепользования разных времен.

Ключевые слова: картографирование; архивные материалы; структура землепользования; ретроспективный анализ.

ANALYSIS OF CHANGES IN THE STRUCTURE OF LAND USE OF DISTRICTS OF BELARUS IN GIS

L. Y. Lutokhina¹⁾, A. S. Semenyuk²⁾

¹⁾Belarusian State University, Leningradskaya str., 16, 220006, Minsk, Belarus,
e-mail: geo.lutohina@bsu.by

²⁾Belarusian State University, 16, Leningradskaya str., 220006, Minsk, Belarus,
e-mail: geo-semenuk@yandex.ru

In this research we have mapped the land types of a part of the territory of the Republic of Belarus on the basis of archival materials. Byerazino, Chavusy and Rechytsa districts of the country were considered in the process of the project. The work was carried out using ArcGIS Pro program complex. The topographic military map of the Workers' and Peasants' Red Army of the 1930s and the map of the USSR General Staff as of the 1990s were used as archival materials. The result was the creation of cartographic schemes of districts by types of land, and a comparative analysis of land use structure of different times was carried out.

Keywords: mapping; archival materials; land use structure; retrospective analysis.

В «Руководстве по выполнению Конвенции об охране Всемирного наследия» в документах ЮНЕСКО «культурный ландшафт» трактуется

как результат совместного творчества человека и природы и отражает процессы эволюции общества под влиянием условий природной среды, социальных, экономических и культурных процессов [2]. С целью визуализации таких процессов на территории Республики Беларусь и дальнейшего анализа полученных данных была проведена работа по картографированию архивных материалов по группам видов земель.

Целью данного исследования является анализ динамики структуры земель районов Беларуси по архивным картографическим материалам за период 1930–2020-х гг. Задачами исследования выступает ГИС-картографирование групп видов земель по архивным материалам, определение структуры земель в 1930-х, 1990-х, 2020-х гг. и анализ ее динамики.

Источниками для данной работы послужили топографическая военная карта Рабоче-Крестьянской Красной Армии в масштабе 1 см – 2 км [3], карта Генштаба СССР в масштабе 1 см – 1 км [4], шейп-файлы лесов, водных объектов, сельскохозяйственных земель, болот, населенных пунктов и административно-территориальных единиц Республики Беларусь (векторные слои OpenStreetMap) [1].

Прежде всего необходимо было выделить область работы. В рамках данного исследования было решено рассмотреть несколько репрезентативных районов в границах административно-территориального деления страны. Учитывая местоположение, рельеф и культурное использование территории были выбраны такие районы, как Березинский, Чаусский и Речицкий.

Следующим шагом виды земель были сгруппированы в группы, поскольку масштаб архивной карты Рабоче-Крестьянской Красной армии не позволяет классифицировать земли по 14 видам земель. Было выделено 5 групп видов: сельскохозяйственные земли, лесные земли, земли под водными объектами, земли под болотами и земли населенных пунктов. В качестве водных объектов выделялись только водоёмы, так как на картах линейные водные объекты обозначаются внемасштабными знаками.

Все работы по картографированию объектов выполнялись вручную в программном комплексе ArcGIS Pro. Для этого в базе данных были созданы классы пространственных объектов по районам, в которых создавались полигоны выделенных нами групп видов земель. В результате процесса оцифровки были составлены картосхемы районов, показывающие структуру землепользования на 1930-е и 1990-е.

Из шейп-файлов OpenStreetMap 2023 г. были выделены и экспортированы определенные классы объектов и также составлены картосхемы районов.

Полученные картографические материалы применялись для сравнения структуры землепользования и динамики видов земель. Карты поддаются

визуальному сравнению, однако в ходе анализа были посчитаны площади каждого вида земель по архивным материалам и современным данным.

В Березинском районе (рис. 1) наиболее сильные изменения произошли в сторону уменьшения площади болот, за период с 1930-ых по 2023 год значения уменьшились почти в 6 раз. Также значительно увеличивалась во все периоды площадь населенных пунктов, с 1930-ых по 2023 год в 2 раза. Вместе с тем и визуально заметно увеличение площадей лесных земель, что по расчетам составляет прибавление на 32 % в 2023 году по сравнению с 1930-ыми. При этом площадь сельскохозяйственных земель увеличилась в период с 1930-ых по 1990-е и уменьшилась с 1990-ых по 2023 год.

В Чаусском районе (рис. 2) доля лесных земель увеличилась одновременно с сокращением площадей сельскохозяйственных земель и земель под болотами. Последних при этом практически не осталось, так как данная группа видов земель к 2023 году уменьшилась на 97 % по сравнению с первым рассматриваемым этапом (1930-е годы). Земли населенных пунктов увеличивались по площади в период с 1930-ых по 1990-е, однако уменьшились в последующем к 2023 году.

В Речицком районе (рис. 3) за исследуемый период земли населенных пунктов подверглись значительным изменениям в сторону увеличения на всем рассматриваемом промежутке времени, так же, как и земли под болотами, но в сторону уменьшения. Последние уменьшились на 97 % к 2023 году по сравнению с 1930-ыми. Площади лесных земель постепенно увеличивались во всех рассмотренных этапах, площади сельскохозяйственных земель незначительно колебались.

Земли под водными объектами не были рассмотрены для сравнения, так как их доля слишком мала либо не подверглась значимым изменениям.

Таким образом, для всех исследуемых районов характерно многократное уменьшение доли земель под болотами, что объясняется проведением мелиоративных работ на всей территории республики. Увеличение доли земель населенных пунктов связано с изменением структуры хозяйственной деятельности страны и широко распространенными процессами урбанизации. За рассматриваемый период произошло заметное увеличение лесных земель и незначительное колебание сельскохозяйственных земель.

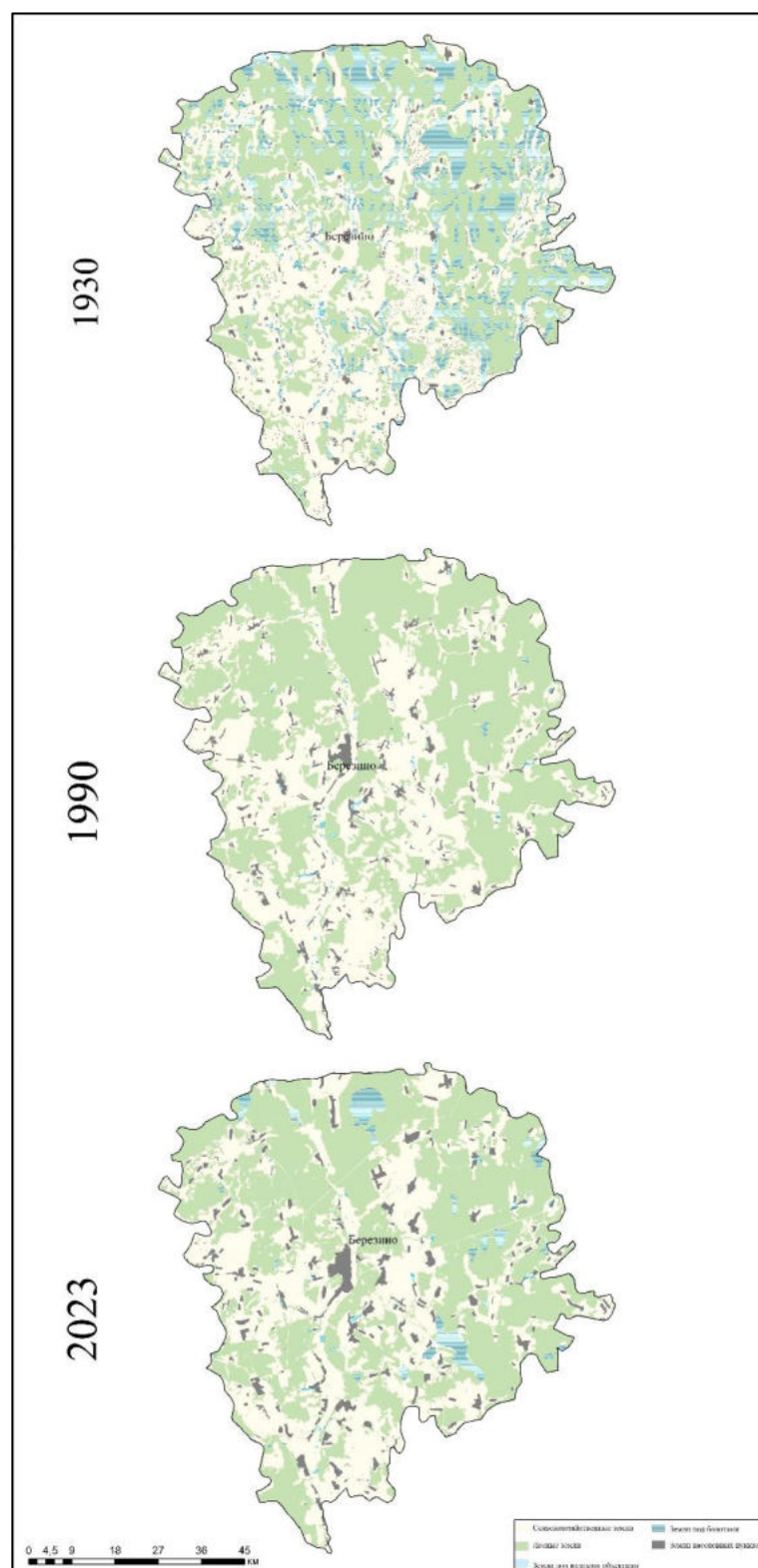


Рис. 1. Картосхема распределения групп видов земель Березинского района

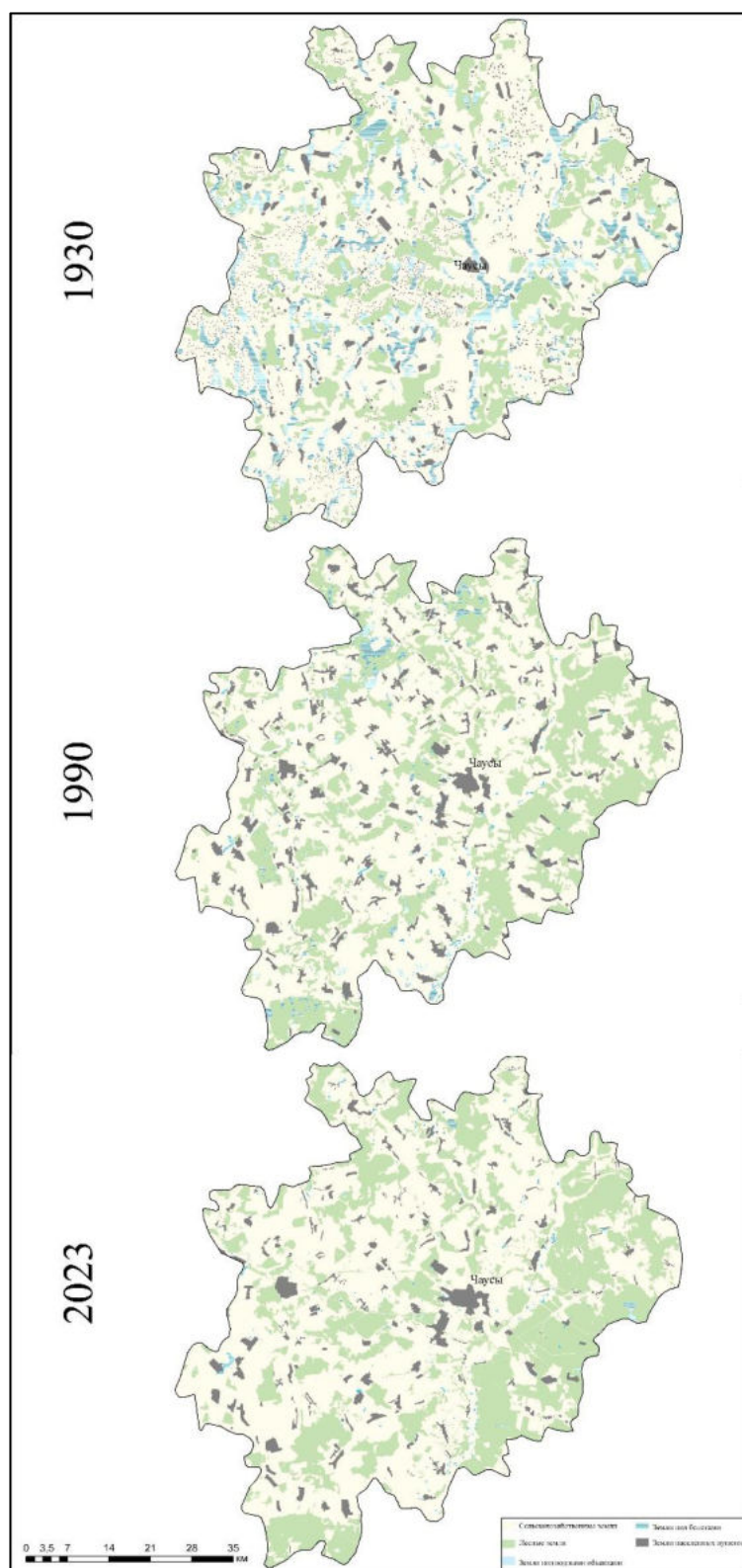


Рис. 2. Картограмма распределения групп видов земель Чаусского района

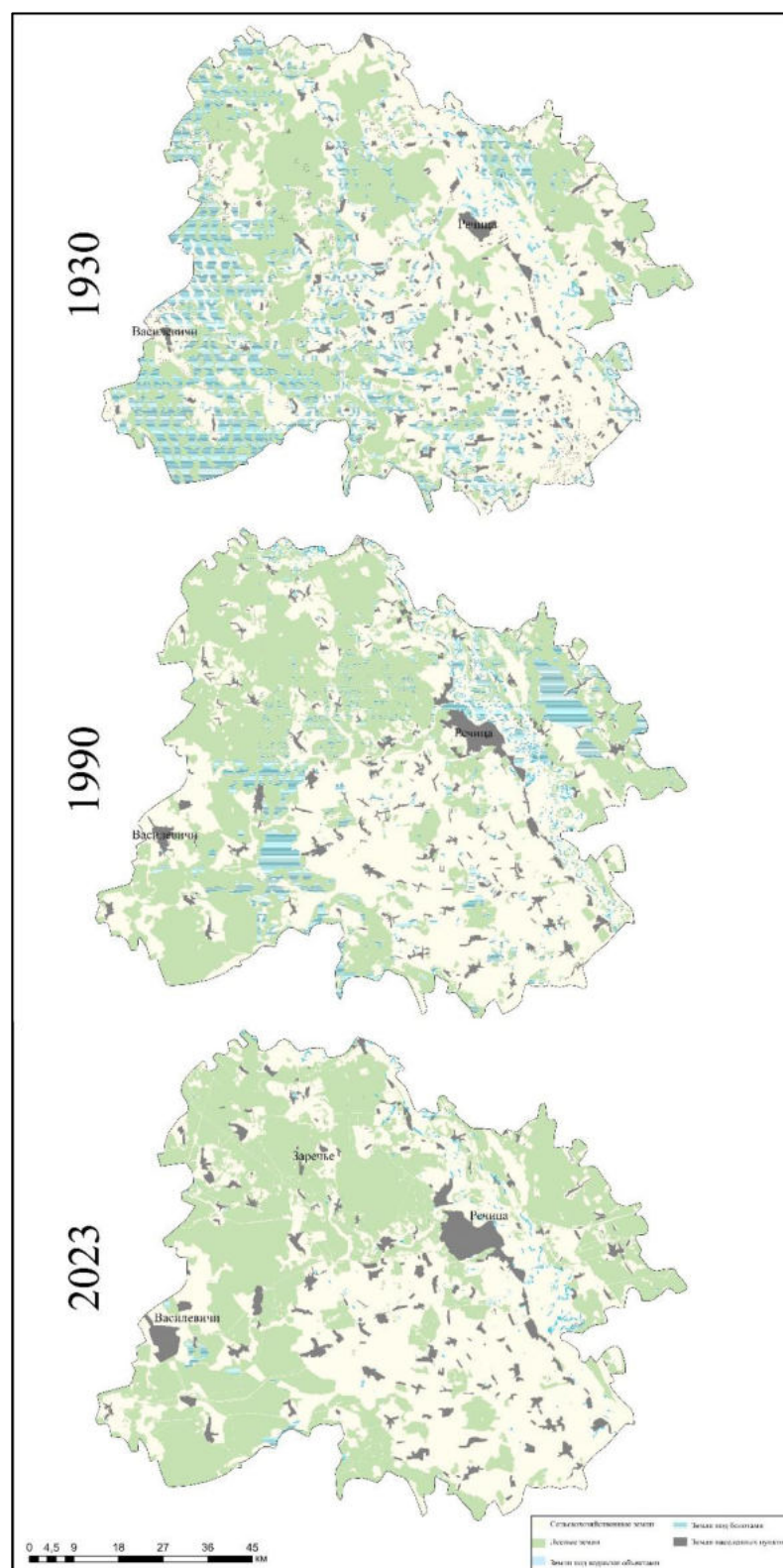


Рис. 3. Картограмма распределения групп видов земель Речицкого района

Работа выполнена НИЛ экологии ландшафтов для НИР «Разработать классификацию и типологию культурных ландшафтов Беларуси для сохранения природного и историко-культурного наследия» в рамках ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда.

Библиографические ссылки

1. Данные OpenStreetMap для региона Республики Беларусь [Электронный ресурс] // сайт. URL: <https://download.geofabrik.de/europe/belarus.html> (дата обращения 11.10.2024).
2. Европейская конвенция о ландшафтах и пояснительный доклад, Страсбург, 2000 [Электронный ресурс] // URL: <https://rm.coe.int/16802f3fb9> (дата обращения 11.10.2024).
3. Топографическая военная карта РККА 2 км [Электронный ресурс] // сайт. URL: <https://orda.of.by/.map> (дата обращения 11.10.2024).
4. Топографические карты Генштаба СССР [Электронный ресурс] // сайт. URL: <https://satmaps.info/genshtab.php> (дата обращения 11.10.2024).

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ

П. Н. Мурашко, С. А. Тесленок

*Югорский государственный университет, ул. Чехова, 16,
628012, г. Ханты-Мансийск, Россия, ugrasu@ugrasu.ru*

В данной статье раскрывается проблема анализа опыта использования геоинформационных систем (далее ГИС) в геологоразведочных работах (далее ГРП). Она актуальна в связи с тем, что оптимизация комплекса процессов сбора, редактирования и использования информации о недрах – один из важных вопросов для ГРП, при этом ГИС является наиболее оптимальным решением. В статье подробно рассказывается об информационной системе (ИС) «Архив ГРП», выявленных проблемах и достигнутых результатах для оптимизации применения ИС, преимуществах ГИС в ГРП. Так же приведен пример из статьи, в которой затрагивается тема развития единых ИС для широкого круга пользователей.

Ключевые слова: геоинформационные системы; геологоразведочные работы; геология; геологическая информация; единая информационная система; мониторинг.

EXPERIENCE OF USING GEOINFORMATION SYSTEMS IN GEOLOGICAL EXPLORATION WORKS

P. N. Murashko, S. A. Teslenok

*Yugorsk State University, Chekhova St., 16,
628012, Khanty-Mansiysk, Russia, ugrasu@ugrasu.ru*

This article reveals the problem of analyzing the experience of using geoinformation systems (here in after GIS) in geological exploration works (here in after GEOW). It is relevant due to the fact that optimization of the complex of processes of collecting, editing and using information about the subsoil is one of the important issues for GEOW, and GIS is the most optimal solution. The article describes in detail the information system (IS) «GEOW Archive», the problems identified and the results achieved to optimize the use of IS, the advantages of GIS in GEOW. An example from the article is also given, which touches on the topic of developing unified information systems for a wide range of users.

Keywords: geoinformation systems; geological exploration; geology; geological information; unified information system; monitoring; optimization.

ГРП – комплекс работ, направленных на выявление месторождений полезных ископаемых и подготовку их к промышленному использованию. Эти работы включает в себя три этапа: региональный, поисково-оценочный и разведочный этап [1].

ГИС – это интегрированная система, предназначенная для сбора, хранения, анализа и визуализации пространственных данных и информации о географических объектах [5].

В статье [6] представлена информация об информационной системе «Архив ГРП» (рис. 1), разработанной ООО «Тюменский нефтяной научный центр» (ООО «ТННЦ») – дочерним обществом ОАО «НК «Роснефть». Основное назначение этой системы – оптимизация использования информации для решения задач ГРП за счет возможности быстрого внесения и редактирования информации, её структурирования и работы с ней территориально удаленным подразделениям в одной системе, что позволяет актуализировать всю информацию практически в режиме реального времени [3]. Таким образом, желание оптимизировать огромное количество информации, которая находится в различных источниках и форматах, а порой и вообще на бумажных носителях, стало причиной для создания подобной информационной системы, которая способна предоставить возможность собирать, структурировать и актуализировать информацию для ГРП.

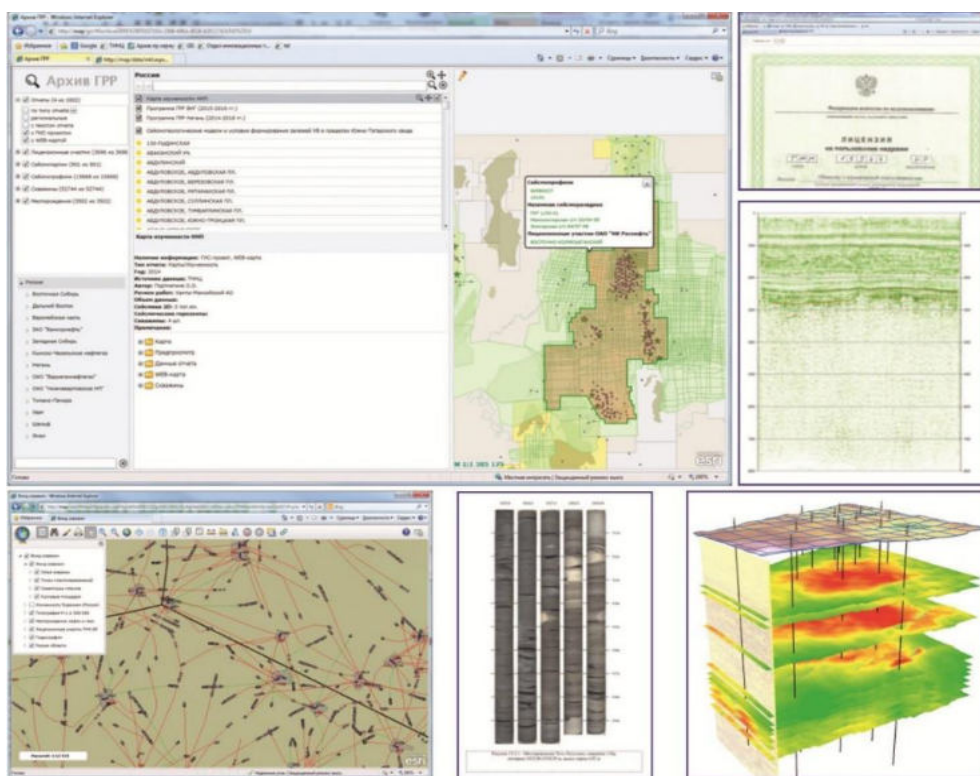


Рис. 1. Информационная система «Архив ГРП» – единая точка доступа к корпоративным данным.

Источник: [6]

Также в статье обосновывается необходимость использования ГИС тем, что современный пользователь сталкивается с множеством информационных хранилищ, не связанных между собой, а также из-за отсутствия возможности предоставлять доступ нескольким лицам для работы в одном документе, что может привести к накоплению одних и тех же данных на разных носителях.

Зачастую для получения необходимой пользователям информации требуется искать её на разных информационных системах и ресурсах, каждый из которых может иметь своё собственное программное обеспечение и необходимые подходы для работы. Далее необходимо эту разрозненную разнотипную информацию привести к общему виду для дальнейшей работы с ней. Это всё приводит к большим потерям времени и очень трудоемко, что так же влияет на трудность поддержания актуальной информации на всех её источниках.

По этой причине создание общей информационной системы, которая позволила бы собрать в себя всю информацию о недрах и структурировать её для наглядного и быстрого использования – не только необходимость для создания целостной картины, но и потребность для оптимизации текущих и будущих работ. Технология, которая была применена для создания этой системы, была разработана совместно с сотрудниками департаментов ГРР. Рассмотрены этапы ГРР и требования для их проведения, самым важным из которых является необходимость хранения огромное количество информации – как первичной геологической информации, так и интерпретированной.

Также, как уже было рассмотрено ранее, всю эту информацию необходимо собрать из самостоятельных ИС, при этом часть ее может быть привязана ко всем данным по месторождению, лицензионному участку или региону в целом. Поэтому пользователь может получить либо много лишней информации, либо наоборот, получить информацию в гораздо меньшем объеме, чем ему будет необходимо. И именно в этих вопросах ИС «Архив ГРР», как единая система, имеет преимущества, так как в ней собирается вся информация из разных ИС. Так же есть возможность актуализировать данные с разных рабочих мест. Существенным преимуществом является интуитивно понятный интерфейс.

К задачам и функциям ИС отнесены [6]:

- быстрый атрибутивный поиск информации;
- пространственный поиск;
- фильтрация данных (как атрибутивная, так и пространственная);
- получение материалов изученности по территории;
- разграничение прав доступа;
- рассылка сообщений;

- логирование и статистика посещения.

На рис. 2 представлен пример карты изученности территории в ИС «Архив ГРР» [6].

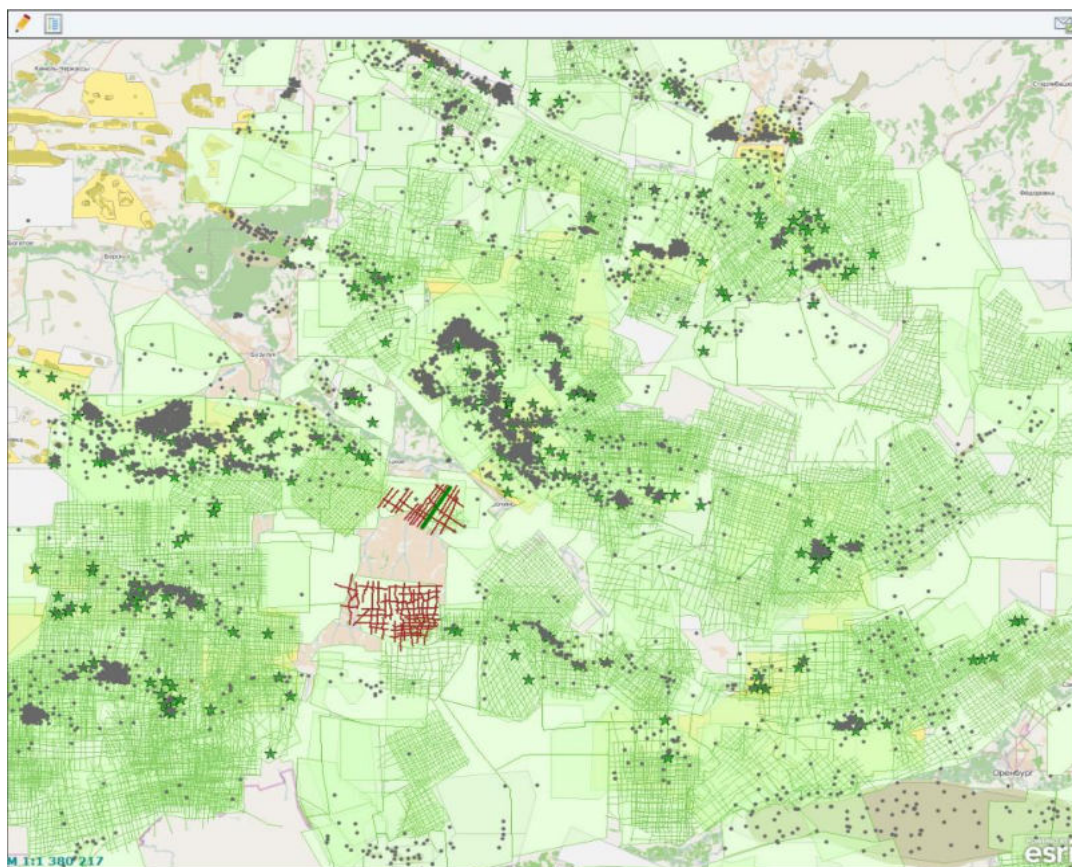


Рис. 2. Пример карты изученности территории в ИС «Архив ГРР».

Источник: [6]

В статье [4] указаны предпосылки для создания **корпоративной ГИС (КГИС) «Изученность»**, к которым относятся трудность в структурировании информации и необходимость хранения её в едином хранилище. Все выполняемые исследования имеют различную структуру и поступают на хранение в разных форматах. С отчётами только по одной выполненной работе может быть связано до 15 приложений разного формата. Соответственно, огромный объём информации и отсутствие возможности её структурировать и распределить в общее хранилище, усложняет дальнейшую работу с материалами исследований, что, скорее всего, и стало причиной для создания подобной КГИС.

КГИС – автоматизированная ИС, которая представляет единое хранилище данных по проведенным и текущим работам, средства для планирования, учета и контроля выполнения работ, обеспечивает возможность оперативного получения полной и актуальной информации по работам,

минимизирует риски потери данных [4]. Важными задачами КГИС «Изученность» является обеспечение не только хранения отчетных материалов, но и возможности удобного поиска нужной информации с дальнейшей её выгрузкой, а также возможности формирования новой. КГИС включает такие функции как формирование и ведение реестра материалов, информационно справочная база, административное обслуживание реестра.

Сама КГИС «Изученность» представляет из себя приложение в виде расширения для ArcMap [4] (рис. 3).

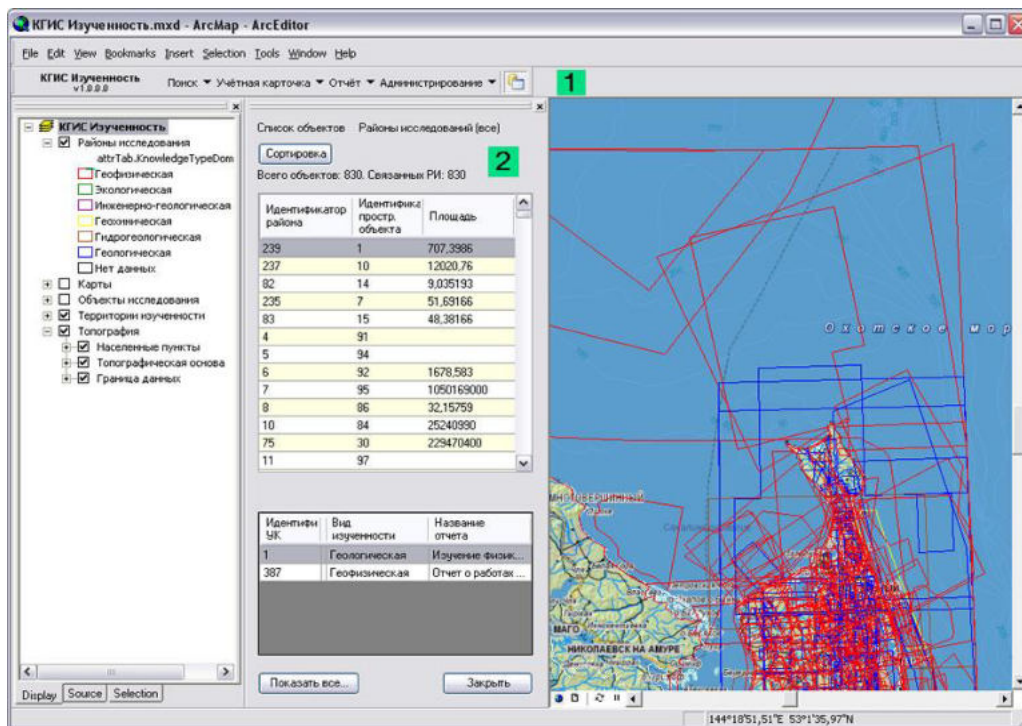


Рис. 3. Общий вид интерфейса настольного приложения.

Источник: [4]

Интересным примером использования ГИС в ГРП является опыт казахстанской ИТ-компании Азия-Софт, которая на данный момент успешно реализовала ряд проектов с использованием ГИС. В настоящее время все эти разработки и внедрения успешно эксплуатируются на крупнейших нефтегазовых предприятиях Республики Казахстан [2].

В статье [2] рассмотрена актуальная проблема работы по планированию месторождений и квотированию с информацией для недропользователей. При этом характерны большие потери времени для создания и редактирования документов на бумажных носителях и быстрая потеря их актуальности. Государственному органу было необходимо эффективно решить следующие основные задачи [2]:

- сбор и хранение информации обо всех недропользователях, участках недропользования и т. п.;
- автоматизация процесса ведения конкурсной и контрактной документации;
- планирование, отслеживание лицензионно-контрактных обязательств недропользователей;
- анализ эффективности нефтегазодобывающей отрасли.

Решением стало создание ИС с отдельным компонентом «Пространственная визуализация» (рис. 4). С ее помощью пользователи успешно выполняют свои функции: эффективно управляют бизнес-процессами, производят необходимый контроль по распределению месторождений, улучшают процесс принятия решений с помощью отчетов, анализа и планирования, налаживают совместную работу и взаимодействие подразделений государственного органа и недропользователей [2].

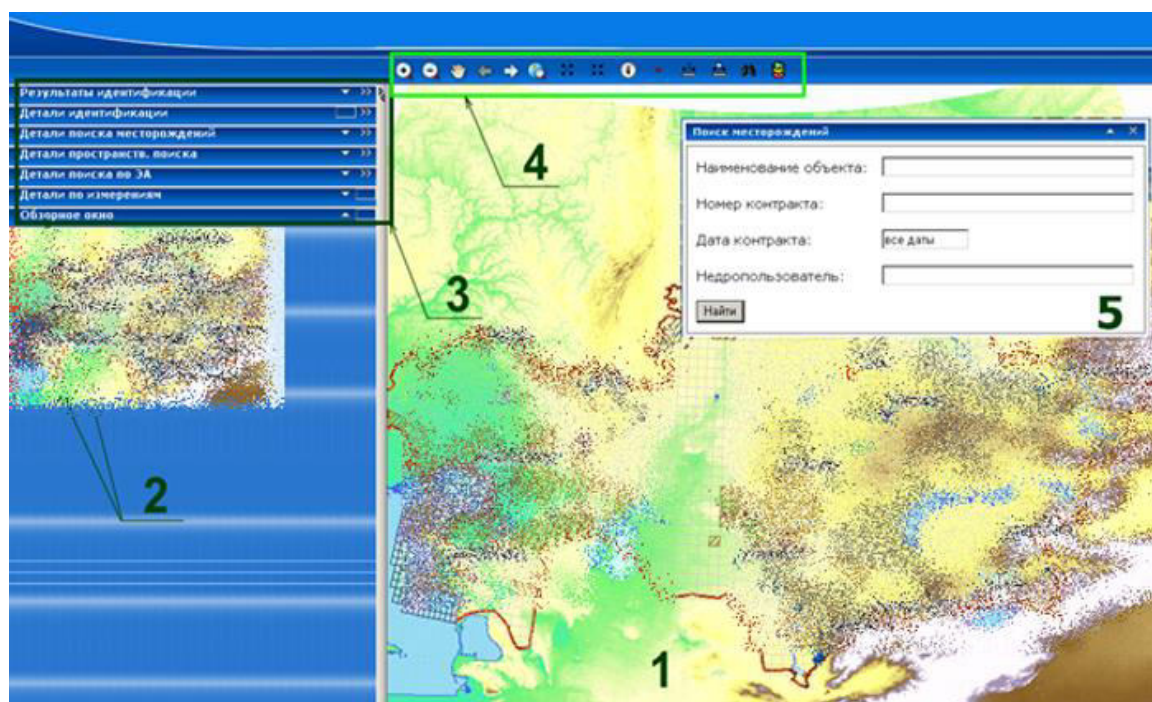


Рис. 4. Интерфейс ГИС-компонента «Пространственная визуализация».

Источник: [2]

Нами рассмотрены исследования ООО «Тюменский нефтяной научный центр» и проанализирован материал об ИС «Архив ГРП» [6], имеющей очень большую перспективу в ГРП. Внедрение подобных ГИС в другие организации позволило бы оптимизировать весь комплекс работ с недрами, как на уже разрабатываемых месторождениях, нуждающихся в

доразведке, так и на перспективных участках, которые находятся только на поисково-оценочном этапе.

Похожий вопрос был поднят в материале о корпоративной ГИС геологической изученности месторождений [4], где ИС рассматривается как необходимость для сбора всех данных в единой базе, что позволило бы в процессах работ поддерживать актуальность используемой информации для нескольких сотрудничающих организаций.

Так же изучен опыт компании «Азия-софт» об успешном внедрении ГИС в работу нефтедобывающих компаний Республики Казахстан [2], что дает четкое представление о преимуществах использования ИС для ГРР.

В заключении можно отметить, что необходимость в создании и использовании ГИС для крупных предприятий, осуществляющих комплекс ГРР несомненно имеет явные важные преимущества, так как наличие подобной системы существенно упрощает не только исследование новых возможных перспективных участков недр, но и позволяет проводить контроль и анализ текущих разработок. Кроме того, есть необходимость внедрения единых ИС, включая ГИС, в государственные учреждения, которые занимаются мониторингом информации, получаемой от недропользователей.

Библиографические ссылки

1. *Авдонин В. В.* Геолого-разведочные работы [Электронный ресурс] // Большая российская энциклопедия 2004–2017. URL: <https://old.bigenc.ru/geology/text/2352185> (дата обращения: 13.11.2024).

2. *Медникова О. В.* Географические информационные системы на службе нефтегазовой отрасли Республики Казахстан [Электронный ресурс] // ArcReview 2014. Т. 70, №3. URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2014/08/08/gis-in-oil-and-gas-industry-of-kazakhstan/> (дата обращения: 13.11.2024).

3. *Костров В. А., Ядрышникова О. А.* DataCenter – вектор развития геоинформационных систем ТНК-ВР // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации 2009. Т. 68, №1. С. 34–38

4. *Радионон Г. П., Париуков С. Ю.* Корпоративная ГИС геологической изученности месторождений [Электронный ресурс] // ArcReview 2009. Т. 50, №3. URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2009/08/12/gis-for-deposits/> (дата обращения: 14.11.2024).

5. *Журкин И. Г., Шайтура С. В.* Геоинформационные системы. М. : Кудиц-пресс, 2009. С. 273

6. *Ядрышникова О. А., Беляков В. О.* ГИС – основа интеграции данных геолого-разведки в Компании [Электронный ресурс] // ArcReview 2015. Т. 72, №1. URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2015/03/06/gis-integration-of-exploration-data/> (дата обращения: 13.11.2024).

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЙОНАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА

Т. А. Новикова, А. Ю. Нигамаева, Д. В. Кириенко, С. А. Тесленок

*Югорский государственный университет, ул. Чехова, 16, 628012,
г. Ханты-Мансийск, Россия, ugrasu@ugrasu.ru*

В статье рассматривается опыт использования геоинформационных систем (ГИС) в северных районах России, в частности в долине реки Обь вблизи города Нижневартовск. Описаны преимущества применения ГИС для мониторинга состояния почв и растительности, планирования работ по добыче нефти и газа и предотвращения экологических рисков. Приведены примеры использования ГИС для рекультивации нарушенных территорий и контроля за состоянием экосистем.

Ключевые слова: дистанционное зондирование; геоинформационные технологии; нефтегазодобыча; Обь-Иртышский бассейн; Нижневартовск; почвенный покров; мониторинг; рекультивация; экология; природопользование; северные районы России.

EXPERIENCE IN THE APPLICATION OF REMOTE SENSING DATA AND GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN THE OIL AND GAS PRODUCTION AREAS OF THE OB-IRTYSH RIVER BASIN

T. A. Novikova, A. Y. Nigamaeva, D. V. Kiriyeenko, S. A. Teslenok

*Yugra State University, Chekhova st., 16, 628012, Khanty-Mansiysk, Russia,
ugrasu@ugrasu.ru*

The article examines the experience of using geographic information systems (GIS) in the northern regions of Russia, in particular in the valley of the Ob River near the city of Nizhnevartovsk. The advantages of using GIS for monitoring the state of soils and vegetation, planning oil and gas production and preventing environmental risks are described. Examples of the use of GIS for the reclamation of disturbed areas and monitoring the state of ecosystems are given.

Keywords: remote sensing; geoinformation technologies; oil and gas production; Ob-Irtysh River basin; Nizhnevartovsk; soil cover; monitoring; reclamation; ecology; nature management; northern regions of Russia.

Обь-Иртышский бассейн, расположенный на территории Западно-Сибирской равнины Российской Федерации, богат крупными месторож-

дениями нефти и газа. Климат региона характеризуется низкими температурами и определяет наличие многолетней мерзлоты. В процессе эксплуатации месторождений возможны утечки нефти, загрязняющие, в первую очередь, почвенный покров. Анализ литературных и интернет-источников показал, что для исследования структуры почв и мониторинга происходящих изменений используются космические снимки со спутников Landsat-8 и Sentinel-2 [10]. Они предоставляют данные в различных спектральных диапазонах, включая инфракрасный (ИК, IR), что особенно значимо для определения влажности почв и состояния растительности.

Почвы в долине реки Обь, особенно в районе города Нижневартовска, отличаются легким механическим составом, высоким содержанием песка и бедностью органическими веществами [5]. Такие почвы слабо удерживают влагу и подвержены процессам эрозии, особенно в условиях антропогенного воздействия. Под сосновыми лесами, которые распространены на данной территории, гумусовый слой практически отсутствует (табл. 1), что создаёт дополнительные вызовы для рекультивации участков [16] и восстановления почв после завершения работ по добыче полезных ископаемых.

Таблица 1

Характеристики почв долины реки Обь (по [5])

Параметр	Значение
Тип почвы	Песчаные озерно-аллювиального отложения, подзолистые,
Содержание гумуса	Низкое (1-2%)
Степень водопроницаемости	Высокая
Основная растительность	Сосновые леса
Устойчивость к эрозии	Средняя

Песчаные почвы требуют особого подхода при проведении работ по добыче полезных ископаемых, поскольку их структура легко разрушается при воздействии тяжелой техники и строительных работах. При этом крайне важно учитывать природно-климатические условия и особенности геосистем региона и непосредственно района размещения нефтедобывающего предприятия. Ландшафты, окружающие производственные площадки, отличаются низкой способностью к самовосстановлению и самоочищению, что делает их незащищенными от загрязнения отходами нефтедобычи в значительно большей степени [7]. Восстановление таких земель включает использование методов, которые учитывают малое содержание питательных веществ и потребность в стабилизации поверхности.

Добыча нефти и газа в Обь-Иртышском бассейне сопровождается вырубкой лесов, разрушением верхнего слоя почвы и загрязнением водных ресурсов. [12]. Применение данных дистанционного зондирования в связке с геоинформационными системами и технологиями помогает минимизировать указанные последствия путем точного планирования маршрутов прохождения трубопроводов и размещения соответствующей инфраструктуры [3].

При строительстве техногенных объектов в области нефтегазодобычи, их эксплуатации и размещении соответствующих отходов [2] используются различные технологии, и, соответственно, процесс восстановления и формирования почвенно-растительного покрова на техногенных поверхностях обладает особенностями, в зависимости от конкретного вида объекта. Например, на кустовых и разведочных площадках, где верхние слои почвы сняты и складированы в обваловку, восстановление растительности и накопление гумуса происходят намного быстрее и интенсивнее, чем на площадках, образованных путем отсыпки песком.

Строительство объектов для добычи нефти и подъездных дорог к месторождениям приводит к значительному уменьшению площади естественных земель. Изменение гидрологического режима, в свою очередь, может вызвать заболачивание территорий, что способствует развитию гидрофильной растительности [6].

ГИС-технологии используются для оценки воздействия на водные ресурсы, так как осуществляют комплексную обработку информации [4]. Построение гидрологических моделей региона осуществляется на основе использования снимков, из которых радарные и данные в ИК-диапазоне являются наиболее информативными. Радарные данные позволяют создавать цифровые модели рельефа высокой точности, что важно для прогнозирования паводков и оценки степени риска подтоплений. Данные в инфракрасном диапазоне помогают анализировать температуру поверхности и влажность почв, что влияет на формирование стока и водного баланса. Кроме того, применение гидрологических моделей [15] позволяет прогнозировать разливы нефти и их возможное влияние на все водоемы и другие компоненты геосистем Обь-Иртышского бассейна в районах нефтегазодобычи и прохождения трасс нефтепроводов. Это особенно актуально для района города Нижневартовска, где речная сеть играет ключевую роль в поддержании экологического баланса этих территорий. Аналогичное влияние может оказывать применение ГИС-технологий и на остальные компоненты экосистем (табл. 2).

Таблица 2

**Предполагаемый эффект использования ГИС-технологий
на экологическое состояние территории Обь-Иртышского бассейна**

Экологический аспект	Применение ГИС-технологий	Результат
Нарушение почвенного слоя	Анализ данных о структуре и характеристиках почв	Снижение ущерба и планирование мероприятий по рекультивации
Загрязнение водоемов	Моделирование разливов и анализ водного баланса	Предотвращение загрязнений и минимизация рисков
Вырубка лесов	Мониторинг с использованием спутников и дронов	Контроль за незаконной вырубкой и планирование лесовосстановления
Миграция животных	Мониторинг с использованием спутников и дронов	Выявление ареалов миграции распространения животных

По данным [17] использование мультиспектральных снимков Landsat-8 в сочетании с данными полевых исследований позволяет создавать подробные карты почвенного покрова. Инфракрасный диапазон, особенно ближний ИК (NIR) и средний ИК (SWIR), чувствителен к содержанию влаги и органических веществ в почве. Это помогает выявлять участки с низким содержанием гумуса и повышенной эрозионной опасностью [10].

Радарные снимки со спутников Sentinel-1 используются для получения данных о рельефе и структуре поверхности, независимо от погодных условий и освещенности [1]. Это важно в условиях частой облачности, короткой продолжительности дня и полярной ночи. Радарные данные помогают оценивать степень нарушения почвенного покрова и выявлять изменения, связанные с деятельностью человека [8].

В дополнение к спутниковым данным используются материалы съемок с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных мультиспектральными камерами. БПЛА позволяют получать изображения с высоким пространственным разрешением (до нескольких сантиметров на пиксел), что незаменимо для детального мониторинга небольших участков. С их помощью проводится инвентаризация нарушенных территорий, оценка эффективности рекультивационных работ и контроль за восстановлением растительного покрова [13].

В районе Западной Сибири проводились проектные работы [9], направленные на оценку изменений в растительности на нефтедобывающих территориях, с использованием спутниковых данных Terra и Aqua серии EOS, в частности MOD13Q1 16-Day Vegetation Indices (250 м) за период с 2010 по 2016 годы. Анализ значений NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) выявил снижение вегетационной активности на участках

с высокой интенсивностью добычи, что указывает на деградацию почвенного покрова. Результаты исследования подчеркивают негативное воздействие нефтедобычи на растительность и почвы, что может привести к дальнейшим экологическим проблемам в регионе.

Таблица 3

Возможности применения различных типов данных для решения ГИС-задач в Обь-Иртышском бассейне (по [11])

Задача	Тип данных	Преимущества
Анализ структуры почв	Landsat-8 (ИК-диапазон)	Выявление влажности и содержания органики
Создание ЦМР	Sentinel-1 (радарные данные)	Точное моделирование рельефа независимо от погодных условий
Мониторинг растительности	Sentinel-2 (мультиспектральные данные)	Высокая спектральная и пространственная детализация
Детальный анализ участков	БПЛА (мультиспектральные данные)	Высокое разрешение для локальных исследований

Использование конкретных инструментов ГИС, анализирующих спутниковые данные Landsat и Sentinel, а также материалы съемки с БПЛА, значительно повышает эффективность мониторинга и планирования в нефтегазовой отрасли на территории Обь-Иртышского бассейна. Выбор соответствующих типов снимков – инфракрасных – для анализа почв и растительности, радарных – для моделирования рельефа – позволяет решать комплексные задачи по сохранению экосистем и устойчивому природопользованию [14].

Применение ГИС-технологий в северных районах нефтегазодобычи на территории Обь-Иртышского бассейна обуславливает их эффективность в управлении природными ресурсами и охраны окружающей среды. В условиях, когда экологические риски становятся все более актуальными, ГИС-технологии представляют собой незаменимый инструмент для сохранения природных богатств и обеспечения устойчивого природопользования.

Данные спутникового мониторинга, интегрированные с ГИС, предоставляют возможности для тщательного анализа состояния растительного покрова на труднодоступных нефтегазодобывающих территориях.

Дальнейшая интеграция ГИС с данными других источников, таких как метеорологические, гидрологические и почвенные, может существенно обогатить анализ и дать более полное представление о сложных взаимодействиях в экосистемах.

Библиографические ссылки

1. Балдина Е. А., Трошко К. А., Николаев Н. Р. Радиолокационные данные Sentinel-1 и возможности их обработки для дешифрирования форм рельефа острова Котельный // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. М. : Изд-во МИИГАиК, 2016. №. 3. С. 78–85.
2. Имамудинов З. М., Тесленок С. А. Методы и технологии переработки промышленных и твердых бытовых отходов нефтедобывающего предприятия // Актуальные экологические проблемы и экологическая безопасность в современных условиях: Сб. статей II Международной научно-практической конф. Саратов : Изд-во Саратовского гос. ун-та генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2023. С. 176–185.
3. Калинин В. М. Диффузное загрязнение нефтепродуктами малых рек Среднего Приобья // Водное хозяйство России : проблемы, технологии, управление. Екатеринбург : Изд-во РосНИИВХ, 2001. Т. 3. №. 4. С. 384–393.
4. Ковин Р. В., Марков Н. Г. Геоинформационные системы. Томск : Изд-во Томского политехнического ун-та, 2008. 11 с.
5. Коркина Е. А. Почвы и техногенные поверхностные образования нефтегазодобывающего комплекса правобережья Средней Оби : Автореф. дис. канд. географ. наук. Астрахань : Астраханский государственный университет, 2005. 23 с.
6. Коркина Е. А. Способность восстановления почв в зоне интенсивного техногенеза правобережья Средней Оби // Вестник Нижневартовского государственного университета. Нижневартовск : Изд-во Нижневартовского гос. ун-та, 2009. №. 4. С. 54–59.
7. Лютяева А. А., Наумова А. А., Тесленок С. А. Экологические риски при освоении нефтегазовых месторождений в Российской Арктике // Арктика: современные подходы к производственной и экологической безопасности в нефтегазовом секторе. Тюмень : Издательство ТИУ, 2023. С. 95–98.
8. Мезенцева О. В., Бевз В. В. Дистанционные методы выявления процессов деградации почвенного покрова // Московский экономический журнал. М. : ООО «Электронная наука», 2021. №. 8. С. 35–40.
9. Перемитина Т. О., Яценко И. Г. Использование вегетационных индексов NDVI для оценки динамики растительности нефтедобывающих территорий Западной Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь. Новосибирск : Изд-во ФГБОУ ВО «Сибирский гос. ун-т геосистем и технологий», 2018. Т. 2. №. 4. С. 154–163.
10. Рождественский А. В., Водогрецкий В. Е., Копылов А. П. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 448 с.
11. Геоинформационные системы для решения проблем водно-экологической безопасности: опыт на примере Обь-Иртышского бассейна / И. Н. Ротанова [и др.] // Интерэкспо Гео-Сибирь. Новосибирск : Изд-во ФГБОУ ВО «Сибирский гос. ун-т геосистем и технологий», 2011. Т. 1. №. 2. С. 132–137.
12. Скобелев С. А., Чупеев С. С. Загрязнение окружающей среды Западной Сибири продуктами нефтедобычи // Сборник материалов международных научно-практических конференций. М. : ИП Коротких А. А., 2018. С. 243–247.
13. Слюсарь Н. Н., Кортаев В. Н., Куликова Ю. В. Визуальное обследование объектов захоронения отходов с использованием беспилотных летательных аппаратов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического

университета. Прикладная экология. Урбанистика. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2017. № 4. С. 25–36.

14. *Сочава В. Б.* Динамические аспекты картографирования динамических объектов // Картографирование динамики географических явлений и составление прогнозных карт. Иркутск : АН СССР. Сиб. отделение. Ин-т географии Сибири и Дальнего Востока, 1968. 20 с.

15. *Талынева О. Ю.* Гидрологические опасности среднего Приобья в пределах Нижневартовского района // European science : ООО «Олимп». 2016. № 10 (20). С. 38–41.

16. *Чибрик Т. С.* Основы биологической рекультивации: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2002. 172 с.

17. *Ховратович Т. С.* Методы оценки показателей горизонтальной структуры лесов по оптическим данным дистанционного зондирования Земли : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. : МИИГАиК, 2021. 13 с.

ОБСЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРОВ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ Г. МИНСКА КАК ОБЪЕКТОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ

А. П. Романкевич, Р. Д. Савостиков

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, г. Минск, Беларусь, rom.bsu@mail.ru, ricardsavostikov02@gmail.com*

Исследованы этапы, особенности создания и уравнивания нивелирной сети на территории Беларуси за период с начала XIX по начало XX вв. Рассмотрены этапы поисковых работ старинных пунктов и их восстановления.

Ключевые слова: нивелирная сеть; нивелирные реперы; каталог высот; нуль Кронштадтского футштока; нормальные высоты.

OBSERVATION OF LEVELING NETWORK CENTERS OF MINSK AS OBJECTS OF NATIONAL GEODESIC HERITAGE

A. P. Romankevich, R. D. Savostikov

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Belarus,
rom.bsu@mail.ru, ricardsavostikov02@gmail.com*

The stages, peculiarities of creation and equalization of the leveling network on the territory of Belarus for the period from the beginning of XIX to the beginning of XX centuries are studied. The stages of prospecting of ancient points and their restoration are considered.

Keywords: leveling network; leveling points; catalog of heights; zero of the Kronshtadt sea-gauge; normal heights.

Изучение рельефа является одним из важнейших направлений освоения Земли с целью исследования процессов, протекающих на её поверхности и в её недрах. Рельеф играет важную роль в определении фигуры Земли и её внешнего гравитационного поля.

В государстве все определения абсолютных высот объектов и точек местности должны производиться в общей (единой) системе отсчёта высот. Её распространение производится реализацией государственной нивелирной сети, которая закрепляется на местности специальными центрами.

Определение высот в Беларуси относится к началу проведения широкомасштабных работ по созданию геодезических сетей на территории Виленской, Гродненской и Минской губерний [1]. С 1821 г. по инициативе

К. И. Теннера высоты геодезических пунктов измерялись методом тригонометрического нивелирования относительно уреза воды, отмеченного на временном футштоке, оборудованном в Балтийском море. Передача высот производилась на центр сигнала 1 класса «Поланген» (Паланга), расположенного в 1,5 км от береговой линии и далее на остальные пункты геодезической сети [2].

По результатам наблюдений за период с 1825 по 1840 гг. в городах Кронштадте и Таллине М. Ф. Рейнеке вычислил средний уровень Балтийского моря, отметка которого была зафиксирована чертой в устье моста через обводной канал («черта Рейнеке») в г. Кронштадте.

Широкомасштабные геодезические работы по геометрическому нивелированию начались в Российской Империи с 1871 г. Тогда же было принято решение закреплять на местности нивелирные линии постоянными знаками, названными нивелирными марками – реперами.

На территории Беларуси первые нивелирные работы проводились по Смоленско-Витебской и Витебско-Динабургской железным дорогам в период с 1875 по 1877 гг. С 1881 г. выполнялось проложение нивелирных линий по меридиональным направлениям для установления связи Балтийского и Чёрного морей, а также определения превышений между водомерными постами европейских государств.

При нивелировании с целью математической обработки результатов измерений выполняется уравнивание, а информация об уравненных сетях помещается в «каталогах высот пунктов нивелирования». Первое уравнивание нивелирной сети было проведено в 1894 г. под руководством С. Д. Рыльке, по его результатам в этом же году был издан каталог «высот пунктов русской нивелирной сети». Каталог содержал в себе высоты 1090 марок, закреплённых на линиях нивелирных ходов протяжённостью 13 тыс. км [3].

В 1917 году был опубликован «Свод нивелировок железных дорог Европейской России и каталог высот над уровнем моря железнодорожных станций».

15 марта 1919 г. подписан декрет об учреждении Высшего геодезического управления (ВГУ). Эта дата ознаменовала начало нового этапа развития геодезической и картографической деятельности для будущего СССР. С целью развития промышленного производства деятельность Совета народных комиссаров была направлена в первую очередь на обеспечение съёмочным обоснованием крупных городов Советского Союза. В 1920 г. в рамках ВГУ организован Белорусский геодезический округ. В это время Белорусским геодезическим районным управлением ЦОО ВГУ

СССР было проведено нивелирование г. Минска с закреплением центров в фундаментах капитальных строений. Результаты уравнивания были отражены в каталоге «Нивелировка гор. Минска произведенная Бел. Геод. райуправлением ЦОО-ВГУ СССР в 1925 году» (рис. 1).



Рис. 1. Каталог пунктов нивелирования г. Минска

С целью восстановления отечественного геодезического наследия в рамках совместного проекта кафедры геодезии и космоаэрокартографии БГУ с ГП «Белгеодезия» были организованы поисковые работы по обследованию сохранившихся центров нивелирной сети г. Минска. Для реализации данного проекта были использованы сведения из выше указанного каталога, а также архивные материалы, содержащиеся в «История Минска в открытках и фотографиях» [4].

В связи с тем, что в описании месторасположения реперов указывались названия улиц, по состоянию на момент проведения нивелирования, требовалось установить соответствие современных названий улиц названиям, указанных в каталоге. Сопоставление названий проводилось при использовании плана г. Минска (третье издание 1943 года) предоставленного ГП «Белгеодезия». План был использован в качестве картографической основы при составлении Схемы обследования (рис. 2).



Рис. 2. Схема обследования

На схеме приведены названия улиц по состоянию на момент выполнения нивелирования. Улицы, подлежащие обследованию, выделены цветом, предположительное месторасположение искомых реперов даётся в виде соответствующего условного знака, с указанием номера пункта в Каталоге 1925 года. В ходе проведенных исследований обнаружены сохранившиеся реперы № 220 на ул. Советской и № 599 на ул. Комсомольской (рис. 3, 4).



Рис. 3. Нивелирный репер № 220 ВГУ



Рис. 4. Нивелирный репер № 599 ВГУ

Полевые работы по обследованию реперов включали: отыскание центров на местности; осмотр сохранившихся центров, выявление их состояния и проведение работ по восстановлению наружной части пункта; составление обновленного описания местоположения центра.

Для сохранившихся нивелирных пунктов выполнены восстановительные работы по очистке и оформлению их наружного вида.

В настоящее время исследования по данному проекту продолжаются. Предполагается расширить поисковые работы, а в дальнейшем – выполнить определение абсолютных отметок центров сохранившихся пунктов в государственной Балтийской системе высот 1977 года и включить их в единую сеть Республики Беларусь.

Библиографические ссылки

1. Тригонометрическая съёмка губерний: Виленской, Курляндской, Гродненской и Минской. Произведённые ген.-лейт. Теннером с 1816 по 1834 год. Отделение 1. – Санкт-Петербург : Воен. тип., 1843. 629 с. (Зап. Военно-топогр. отд. Гл. штаба; Ч. VIII).

2. Романкевич А. П., Левицкий Е. В. Этапы создания нивелирной сети на территории Беларуси // Материалы I Белорусского географического конгресса : к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апр. 2024 г. [Электронный ресурс]. В 7 ч. Ч. 3. Цифровая реальность в геодезии, картографии и дистанционном зондировании Земли. Проблемы геологии / Белорус. гос. ун-т; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. Минск : БГУ, 2024. С. 156–159.

3. Глушков В. В. История военной картографии в России (XVIII – начало XX в.). Минск : ИДЭЛ, 2007. 528 с.

4. Величко А. М. История Минска в открытках и фотографиях. Минск : Беларусь, 2015. 263 с.

АНАЛИЗ ЗАТОПЛЯЕМОСТИ ПОЙМЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕКИ ЗАПАДНАЯ ДВИНА

В. Л. Сочивко¹⁾, А. Б. Кафтанчикова²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
г. Минск, Беларусь, e-mail: veronika12344321_2020@mail.ru

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
г. Минск, Беларусь, e-mail: abkaft@rambler.ru

В работе отражено влияние открытия гидроэлектростанций на гидрологический режим реки Западная Двина на участке от государственной границы с Российской Федерацией до реки Сосница.

Ключевые слова: гидрологический режим; геоинформационные технологии; ГИС-анализ; русловые процессы.

ANALYSIS OF FLOODING TERRITORIES OF THE WESTERN DVINA RIVER FLOODLAND TERRITORIES

V. L. Sochivko¹⁾, A. B. Kaftancikova²⁾

¹⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, Minsk,
Belarus, e-mail: veronika12344321_2020@mail.ru

²⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, Minsk,
Belarus, e-mail: abkaft@rambler.ru

The work reflects the impact of the opening of hydroelectric power stations on the hydrological regime of the Western Dvina River in the area from the state border with the Russian Federation to the Sosnitsa River.

Keywords: hydrological regime; geographic information technologies; GIS analysis; channel processes.

Принадлежность реки Западная Двина к равнинному типу с преобладанием элементов снегового питания обуславливает общий характер годового хода уровенного режима – высокое весеннее половодье, низкие летне-осенняя межень и зимняя межень, почти ежегодно нарушаемые дождевыми паводками.

Весенний подъем уровней начинается за несколько дней до вскрытия и в среднем приходится на последнюю декаду марта. Ранние даты начала подъема отличаются от средних примерно на 30 дней, поздние – на 15–20 дней.

Наивысшие уровни весеннего половодья наблюдаются в первой половине апреля. В отдельные годы максимальный уровень наблюдался в первой половине марта. Поздние даты пика половодья приходятся на конец апреля – начало мая. Заканчивается половодье обычно в начале июня. Средняя продолжительность половодья составляет 70 – 75 дней. Самое продолжительное половодье (102 дня) наблюдалось в 1989 г. Наименьшая продолжительность половодья составила 45 дней и наблюдалась в 1974 году.

Среднее превышение максимальных уровней над низшим меженным составляет 7,5 – 8,5 м, а в годы с высоким половодьем может повышаться до 13 м. Вытянутая узкая форма бассейна оказывает существенное влияние на характер весеннего половодья. В связи с хорошими путями склонового стока на местности весеннее половодье развивается довольно быстро, суточное приращение уровня составляет от 3,5 до 4,5 м.

После окончания половодья устанавливается летне-осенняя межень, продолжающаяся в среднем 100 – 120 дней. В засушливые годы продолжительность межени увеличивается до 6 – 7 месяцев, а в дождливые составляет 30 – 45 дней. Низшие уровни в период межени чаще всего наблюдаются в августе - сентябре. Летне-осенняя межень почти ежегодно нарушается подъемами уровней от дождей. Амплитуда колебаний уровней может достигать 7 м. Гребни дождевых паводков островершинные, с резкими подъемами и спадами. Во многие годы вследствие осенних дождей происходит плавный подъем уровней воды, достигающий максимума 1,0 над низким уровнем предшествующего периода. Повышение уровня вызывается и ледяными образованиями, не отражающими, однако изменений водности реки. Наибольшие нарушения естественного хода уровня происходят преимущественно в начальный период ледостава от стеснения русла льдом и заторно-зажорных явлений, при этом подпорные уровни не превышают высших уровней весеннего половодья.

Зимняя межень обычно устанавливается в течение декабря. Наиболее раннее начало межени наблюдается в первой половине ноября, наиболее позднее около – середины января. Продолжается зимняя межень в среднем 75–80 дней при наименьшей 23 – 28 дней и наибольшей около 5 месяцев. По сравнению с летне-осенней, зимняя межень выше на 0,4 – 0,6 м.

Низкие зимние уровни наблюдаются преимущественно в декабре-январе. Зимние паводки являются следствием таяния снега во время оттепелей или зимних дождей, наблюдаются они сравнительно редко и, как правило, ниже летне-осенних.

Для работы были предоставлены в качестве исходных данных месячный уровень воды реки Западная Двина на гидропостах в агрогородке Улла, городах Витебск, Сураж.

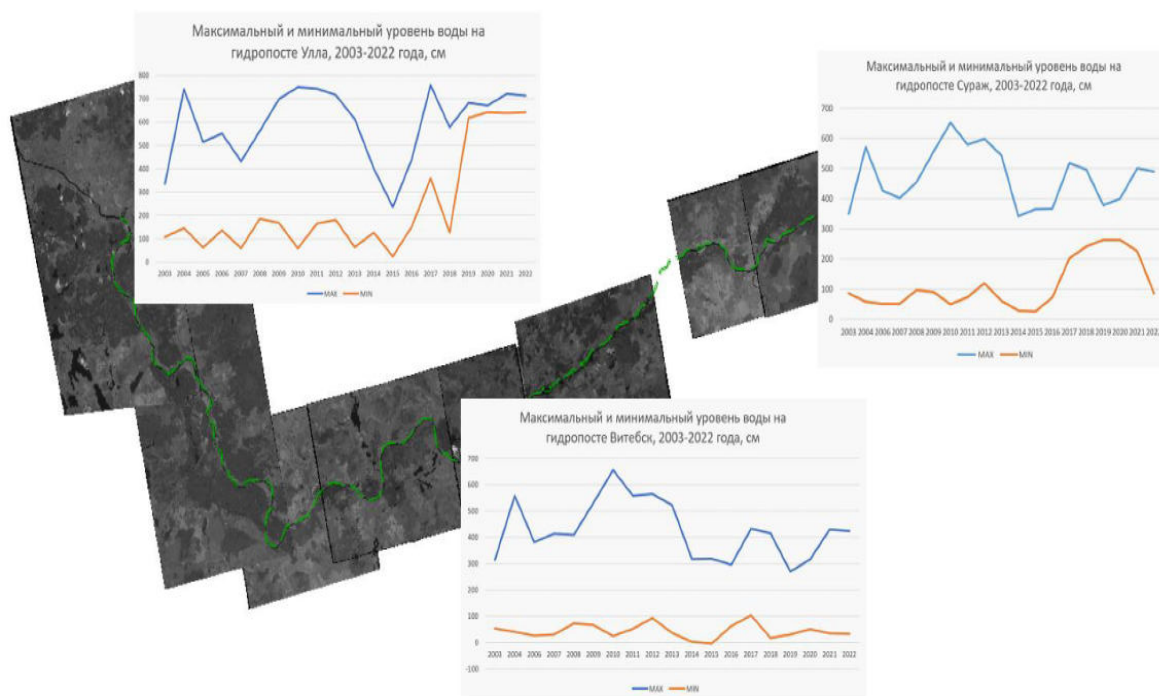


Рис. 1. Графики максимального и минимального среднего уровня воды на гидропостах участка реки Западная Двина, 2003–2022 гг.

Анализируя графики на рисунке 1, можно прийти к выводу, что:

- на изменение среднего уровня воды на гидропосте города Сураж в межень сказывается строительство Витебской ГЭС. Если, например, до строительства ГЭС минимальный средний уровень за каждый год изменялся незначительно, то в межень, когда река бедна водными ресурсами, после введения в эксплуатацию гидроэлектростанции, показатели возросли более чем в 2 раза. Причиной этого является накопление водной мощи в пределах построенной ГЭС.
- в период половодья средний уровень воды на гидропостах Витебска и Суража практически одинаков, что говорит о том, что в этот период задержание воды в пределах Витебской ГЭС не происходит.
- в межень если в Сураже идет накопление воды, то на Витебском гидропосте, который находится уже после гидроэлектростанции, изменений не произошло, показатели сравнимы с прошлыми двумя десятилетиями.
- отдельно можно рассмотреть показатели максимального и минимального среднего уровня воды за период с 2003 по 2022 год на гидропосте

в агрогородке Улла, расположенного перед Полоцкой ГЭС. В межень режим работы Полоцкой ГЭС совпадает с Витебской, о чем свидетельствует увеличения значения в графике минимального уровня воды после введения в работу гидроэлектростанций. В период половодья, можно заметить резкий спад уровня воды с 2013 по 2015 года, совпадающим с началом масштабного строительства сразу двух ГЭС. Причем на первых двух гидростоях в тот же период также заметно падение уровня воды, но не так сильно, как в Улле. Это связано с тем, что в Витебске и Сураже на объем воды в реке оказывало влияние строительство одной ГЭС, тогда как в Улле – сразу двух.

Чтобы произвести комплексный анализ затопляемости прибрежной территории реки Западная Двина, необходимо видеть динамику изменения русла за большое количество времени. Для начала анализа были взяты топографические карты масштаба 1:100000 с состоянием местности 1990 года, а также снимки 2014 и 2023 годов.

В результате должны получиться 3 однотипные пользовательских карты с состоянием реки в разных десятилетиях.

На рисунке 2 можно увидеть оцифрованный участок русла реки за 2014 год. Векторизовались берега реки, так как это более наглядно для дальнейшего анализа изменений, чем площадной условный знак.



Рис. 2. Оцифрованный участок русла реки Западная Двина за 2014 год

На рисунке 3 продемонстрирована динамика работ на Витебской ГЭС с 2014 по 2015 год. В 2014 году русло еще имело свое естественное состояние.



Рис. 3. Динамика работ по возведению Витебской ГЭС за 2014 и 2015 годы

Оцифрованный участок русла реки Западная Двина за 2023 год представлен на рисунке 4.

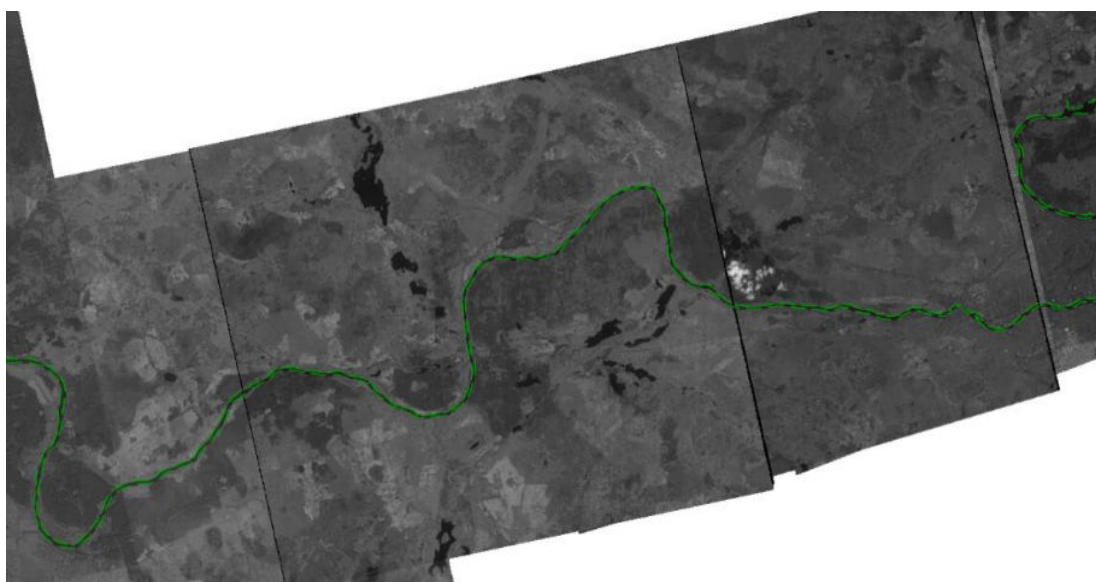


Рис. 4. Оцифрованный участок русла реки Западная Двина за 2023 год

Чтобы оценить изменения, связанные с эксплуатацией ГЭС, на рисунках 5 и 6 представлены участки русел рек перед Витебской и Полоцкой гидроэлектростанциями, соответственно. На рисунке 5 видно, что изменения русла не существенные. Вероятно, это обусловлено расположением данного фрагмента выше Полоцкой ГЭС.

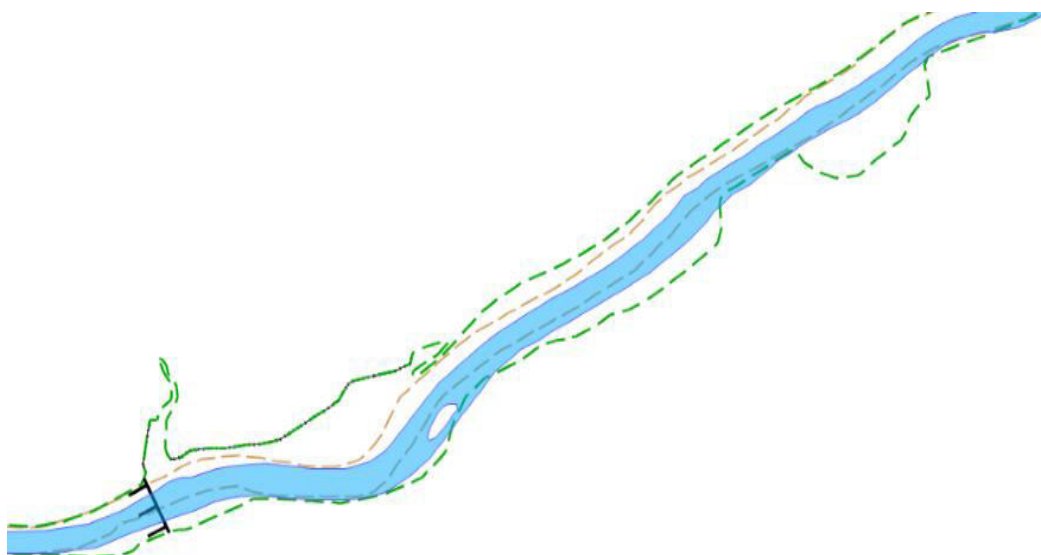


Рис. 5. Динамика изменения русла реки Западная Двина перед Витебской ГЭС, 1990 год (голубой площадной условный знак), с 2014 (жёлтый пунктир) по 2023 год (зеленый пунктир)



Рис. 6. Динамика изменения русла реки Западная Двина перед Полоцкой ГЭС с 2014 (жёлтый пунктир) по 2023 год (зеленый пунктир)

Для визуализации более масштабных изменений в русле реки была взята за основу топографическая карта за 1990 год (см. рис. 7).

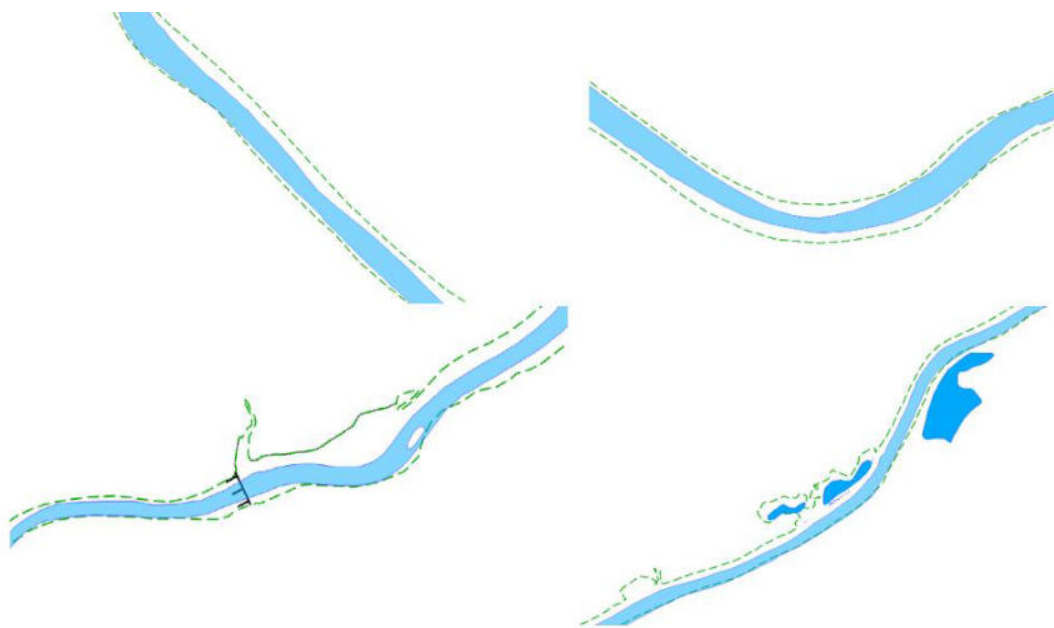


Рис. 7. Динамика изменения русла реки Западная Двина за 1990–2023 годы

Помимо изменений береговых линий русла реки были выявлены изменения в конфигурации и расположении островов, в частности произошло прирастание к берегам разрушенных старых, изменение новых островов или преобразование конфигурации некоторых из оставшихся (см. рис. 8).



Рис. 8. Изменение островов на реке Западная Двина с 2014 (телесная штриховка) по 2023 год (синяя конфигурация)

В рамках работы необходимо было также собрать данные и проанализировать изменения ширины реки Западная Двина на участке от Российской Федерации до реки Сосница, а также площадь всех островов.

ТОЧКИ ПО ТЕЧЕНИЮ РЕКИ	X (СК-42)	Y (СК-42)	Расстояние от границы с Российской Федерации по течению реки, км	Ширина 1990 гг., м	Ширина 2014- 2015 гг., м	Ширина 2023 гг., м	Максимальное изменение ширины меандрирования в точке с 1990-х по 2023 гг., м
1.	6157450.5945748003.607		0	84,861	109,493	104,94	48,854
2.	6154704.8785741688.589		7,14	46,546	107,943	106,568	51,131
3.	6152271.3805737354.804		12,52	91,7	116,563	127,352	44,95
4.	6149332.9385735823.268		15,99	87,561	146,552	148,863	93,042
5.	6151585.2735730059.449		23,6	122,599	147,764	147,127	18,468
6.	6150048.5975723659.631		30,56	172,862	200,748	201,657	26,045
7.	6146420.1925719499.300		36,14	95,856	164,382	168,566	44,674
8.	6142203.3285716780.566		41,34	78,098	190,764	191,674	66,788
9.	6137698.6585711808.213		48,45	102,674	175,834	181,564	60,761
10.	6134147.3445708028.196		53,98	128,562	161,785	436,042	319,452
11.	6132990.9835706095.788		56,14	156,823	221,674	357,902	223,674
12.	6131796.0765704230.192		58,44	104,143	148,143	403,785	203,109
13.	6130143.7645702228.402		61,04	158,144	142,894	526,657	325,737
Витебская ГЭС							
14.	6128679.0405698949.475		64,84	111,154	120,722	125,341	97,807
15.	6125621.1065700152.091		68,23	159,809	141,435	154,637	20,846
16.	6124872.0415703535.090		71,77	109,434	136,856	151,942	30,784
17.	6121071.4675702389.007		76,45	136,933	139,999	143,735	38,873
18.	6120235.0325699918.249		79,15	156,044	132,933	157,907	3,725
19.	6120267.1535696674.013		73,05	117,341	138,989	159,132	48,835
20.	6119786.6215692831.039		77,45	173,856	202,451	190,542	24,566
21.	6119492.3915686992.699		83,67	109,567	132,944	127,085	27,042
22.	6123916.1165682909.458		90,34	134,946	135,236	139,735	6,933
23.	6123578.2015680012.131		94,04	114,093	109,132	110,785	42,143
24.	6120887.7345676205.132		99,56	114,822	127,423	131,774	25,929
25.	6116149.2225674689.014		105,14	125,266	124,963	107,346	38,773
26.	6114158.9965670406.623		122,56	97,241	131,587	133,332	44,231
27.	6114730.7525667296.011		125,98	88,872	128,722	141,241	64,846
28.	6111017.5485662942.953		133,23	109,422	151,735	148,219	22,721
29.	6108638.0135659301.700		137,89	108,341	147,622	182,831	41,224
30.	6109796.9445655562.798		146,13	73,246	129,624	148,241	36,731
31.	6114161.5665654335.770		151,78	134,199	178,51	183,422	24,994
32.	6113885.3245648875.175		157,93	136,209	175,361	189,13	57,301
33.	6117868.3465646090.914		163,23	103,354	161,79	164,267	53,239
34.	6121654.7875644134.094		167,89	141,576	176,884	178,251	38,742
35.	6124110.1285644400.057		169,78	132,247	150,225	187,411	44,621
36.	6127480.2785641525.856		164,97	120,285	157,602	226,921	63,612
37.	6128447.7675639088.504		169,34	190,443	179,184	210,164	33,452
38.	6127531.6725635317.481		175,03	157,274	155,299	208,266	45,214
39.	6131011.0355633394.067		180,35	144,271	166,856	210,233	55,943
40.	6134113.9385630719.017		189,12	133,254	176,286	184,499	43,622
41.	6136616.8185628473.107		195,78	173,364	162,313	192,621	43,764
42.	6140921.0525626186.081		200,04	103,724	150,233	171,934	63,841
43.	6146484.4345627252.503		209,93	198,899	188,924	221,314	54,375

Рис. 9. Данные динамики изменения русла реки по точкам в 1990-е, 2014–2015 и 2023 годы

Анализируя данные из рисунка 9, можно отметить, что:

- средняя ширина русла реки Западная Двина в 1990-х годах до Витебской ГЭС — 110,033 м, а после — 134,809 м. Хотя Витебской ГЭС на тот период не существовало, различия в ширине русла могут быть также по причине естественного увеличения объема воды за счет притоков.

- средняя ширина русла реки Западная Двина в 2014-2015-ых годах до Витебской ГЭС — 156,503 м, а после — 155,508 м. В период с 2013 по 2016 года вблизи Витебска строилась гидроэлектростанция, поэтому ширина русла практически совпадает до и после ГЭС.

- средняя ширина русла реки Западная Двина в 2023-ем году до Витебской ГЭС — 238,669 м, а после — 171,802 м. Именно в 2023-ем году можно отследить влияние ГЭС на реку. Различия ширины в 67 м, свидетельствует,

что перед ГЭС произошла задержка воды, при этом в сравнении с прошлыми годами все равно после гидроэлектростанции ширина реки увеличилась на 37 м по сравнению с 1990-ими годами и на 16 м с 2014-2015-ими годами, что объясняет наличие Полоцкой ГЭС ниже по течению.

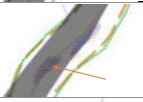
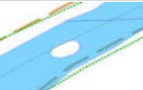
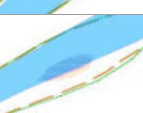
№ острова по течению реки	1990-е	S м²	2014	S м²	2023	S м²	примечание	скриншот
1.	нет	-	есть	2504	есть	2596	был разделен в 2014 году	
2.	нет	-	есть	3215	есть	2898		
3.	есть	60328	есть	40990	есть	40120		
4.	есть	2871	нет	-	нет	-		
5.	нет	-	нет	-	есть	10769	суша как коса, отделяющая реку и водоем	
6.	есть	9485	нет	-	нет	-		
7.	нет	-	нет	-	есть	7251		
8.	нет	-	нет	-	есть	9671		
9.	нет	-	есть	8495	есть	9068		

Рис. 10. Данные динамики изменения островных массивов на реке Западная Двина в 1990-е, 2014 и 2023 годы

Также для более полного анализа влияния Витебской и Полоцкой ГЭС была собрана информация по всем островам на участке от Российской Федерации до впадения в Западную Двину реки Сосница.

На рисунке 10 можно увидеть наличие или отсутствие острова в 1990-ых, 2014–2015-ых и в 2023-ем году, а также их площадь.

Самый крупный остров под номером 3 уменьшился на 1/3 с 1990-ых по 2014–2015 годы. Острова под номером 4 и 6 существовали в 1990-х, но на снимках поздних лет отсутствуют. Острова под номерами 1, 2, 5, 7, 8 и 9 появились приблизительно до 2014–2015-ых годов, но после 1990-ых.

Библиографические ссылки

1. Бассейн Западной Двины (изображение) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/BB:Zapadnaya_Dvina.png - Дата доступа: 07.04.2024.
2. *Гриневич А. Г., Емельянов Ю. Н.* Река Западная Двина. (Природа рек, озер и водохранилищ Белоруссии). Минск, 1989. 91 с.
3. *Моляренко В. Л.* Гидрологические условия Западной Двины в пределах города Витебска (Республика Беларусь). Гомель, 2004. 9 с.
4. *Берлянт А. М.* Картография: учебник для вузов. Минск : Аспект Пресс, 2002. 336 с.
5. Список проектов КБ ГИС Панорама [Электронный ресурс]. URL: <https://help14.gisserver.ru/> (дата обращения: 03.09.2023).
6. Геоинформационная система «Карта 2005». Руководство пользователя. Версия 10.0 / Ногинск : Панорама, 2010. 134 с.
7. ГКНП 05-016-2018 Условные знаки для топографической карты масштаба 1:100 000. Введ. 01.03.2018. Минск : Белгеодезия, 2018.
8. Редакционно-технические указания по созданию топографических карт масштаба 1:100 000. Минск : Белгеодезия, 2013.
9. Редакционно-технические указания по созданию топографических карт масштаба 1:10 000. Минск : Белгеодезия, 2013.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ПРИМЕРЕ Г. БРЕСТА

Г. А. Третьяк¹⁾, А. С. Семенюк²⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, email: geo.tretyakga@bsu.by

²⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, email: geo-semenuk@yandex.ru

В данной работе проведено картографирование обеспеченности населения г. Бреста общественным транспортом. В рамках исследования была построена сетевая модель системы общественного транспорта, проанализирована доступность остановок, разнообразие маршрутов, выгодность положения точек в черте города в транспортной системе. Также определена численность населения, проживающая в различных условиях доступности общественного транспорта, и отмечено изменение эти условий по мере удаления от центра города.

Ключевые слова: картографирование; сетевой анализ; общественный транспорт; сетевая модель.

GEOINFORMATION ANALYSIS OF THE PROVISION OF THE POPULATION WITH PUBLIC TRANSPORT ON THE EXAMPLE OF BREST CITY

G. A. Tretyak¹⁾, A. S. Semenyuk²⁾

¹⁾ Belarusian State University, 4 Nezavisimosti Ave.,
2203030, Belarus, email: geo.tretyakga@bsu.by

²⁾ Belarusian State University, 4 Nezavisimosti Ave.,
2203030, Belarus, email: geo-semenuk@yandex.ru

In this work, mapping of the provision of the population of Brest city with public transport is carried out. As part of the study, a network model of the public transport system was built, the accessibility of stops, the variety of routes, and the advantage of the location of points within the city in the transport system were analyzed. The number of people living in different conditions of public transport accessibility and the change in these conditions as they move away from the city center are also calculated.

Keywords: mapping; network analysis; public transport; network model.

Транспортная обеспеченность – ключевой фактор качества городской среды, тесно связанный с социально-экономическим развитием. Улучшение

доступности рабочих мест, учреждений здравоохранения и образования повышает качество жизни. В Бресте развитие транспортной инфраструктуры – важная задача, влияющая на качество жизни. Динамичная система общественного транспорта постоянно адаптируется к изменениям в городе. Повышенный интерес к исследованиям транспортной обеспеченности с помощью ГИС обусловлен доступностью ГИС, наличием подробных данных (дистанционное зондирование, навигационные системы), и появлением новых пространственных данных. Теперь такие исследования доступны не только государственным, но и частным лицам, что привело к разнообразию методов. Необходима научно обоснованная методика оценки обеспеченности, учитывающая особенности крупномасштабных исследований городов (административное деление, размещение населения, функционирование транспортной системы). Это позволит комплексно решать текущие задачи и стимулировать новые исследования.

Система общественного городского транспорта Бреста типична для областного центра Беларуси. Она состоит из автобусной и троллейбусной сетей (маршрутные такси и другие менее значительные во внутригородских перевозках виды транспорта, такие как поезда, речной транспорт, не учитывались в работе). Троллейбусные маршруты приурочены к главным дорогам города и связывают объекты массового скопления людей. Наиболее густая сеть наблюдается на улице Московской и проспекте Машерова, которые на большей части своей протяжённости обслуживают сразу 5–6 маршрутов троллейбусов. Автобусная сеть гораздо более разветвленная и, помимо крупных районов, затрагивает и малонаселенные. Наиболее насыщен маршрутами центральный квартал. Через него проходит путь более 50 автобусов, а остановка «Газоаппарат», являясь как конечной (преимущественно для автобусов, прибывающих с юга), так и транзитной (для автобусов, прибывающих из северной части города), является частью 38 маршрутов [1].

Для моделирования транспортной сети Бреста в QGIS создана сетевая модель – ориентированный граф, где вес ребер (время в пути) является основным атрибутом. Модель включает отдельные сети для каждого вида транспорта и пешеходную сеть (для учёта времени пешего хода к остановкам и между пересадками).

Основной весовой атрибут – время в пути, рассчитанное по средней скорости транспорта (данные о времени отправления и прибытия). Время ожидания на остановках учтено как среднее значение за день, что создаёт погрешность для маршрутов с низкой частотой движения. В итоге для каждого вида транспорта созданы пространственные слои, характеризующие транспортную сеть и ее взаимодействие с другими видами транспорта. После создания

и заполнения всех необходимых весовых атрибутов, а также атрибутов, отвечающих за направление движения, в программном обеспечении QGIS была сформирована база пространственных данных, характеризующих сеть пассажирского транспорта Бреста (рис. 1).

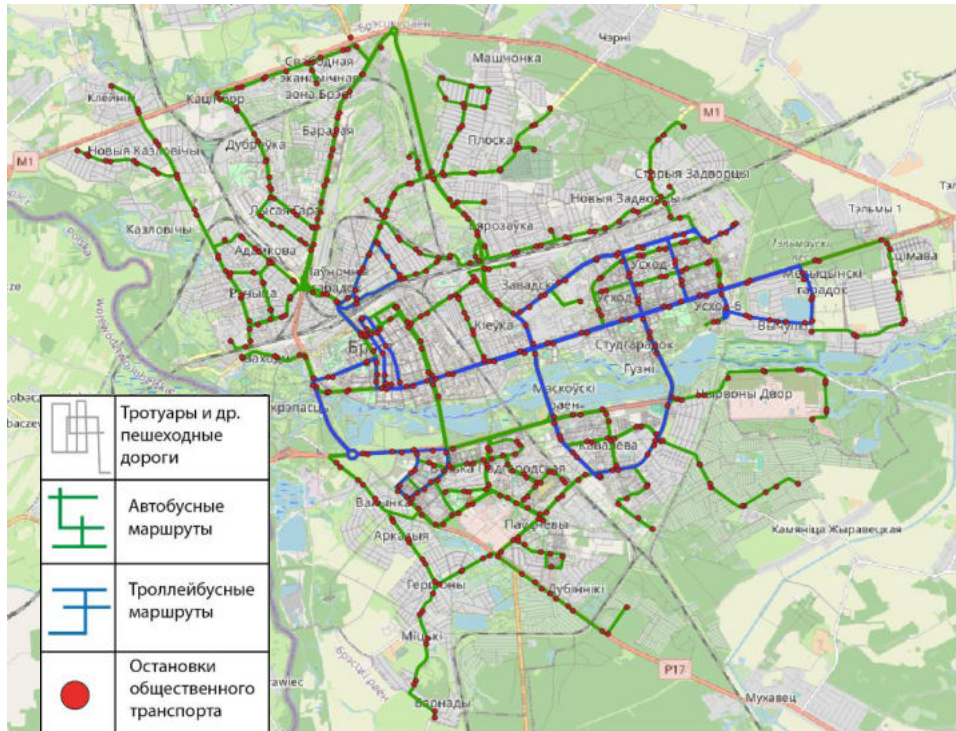


Рис. 1. Схема сетевой модели городского общественного транспорта

Исследование охватывает всю территорию Бреста и частично прилегающие районы. Основным источником данных стал OSM – открытый проект с подробными пространственными данными, откуда был взят граф пешеходной сети, дополненный маршрутами и остановками общественного транспорта [2]. Пешеходные пути определялись по типу дорог (QuickOSM), включая дороги в частном секторе, где пешеходное движение возможно. Неточности в расположении тротуаров не критичны для исследования. Данные о маршрутах общественного транспорта были получены из онлайн-сервисов: сайт КУП «Брестский общественный транспорт» (<https://ap1.brest.by>) [1], сайт *kogda.by* [3] (расписание и средняя скорость), и Яндекс.Карты (только для проверки достоверности модели). Также важным фактором при оценке ситуации в городе по транспортной доступности тех или иных объектов является размещение населения в городе. Области с большим количеством указывают на необходимость сосредоточения там большего количества объектов транспортной инфраструктуры [5].

Сперва необходимо определиться с набором факторов и показателей, которые будут оцениваться и моделироваться в рамках работы. Их можно разделить на 3 группы, характеризующие обеспеченность транспортом с разных

сторон. В первую очередь, необходимо рассмотреть возможность воспользоваться транспортными услугами в принципе, то есть за какое время можно дойти до ближайшей остановки общественного транспорта. Во-вторых, – исследовать разнообразие маршрутов для разных территорий. И в-третьих, – определить выгодность положения каждой части города в системе в целом, учитывая, как взаимодействуют между собой виды транспорта и обеспечивают доступность территории для населения города [4].

Результат картографирования пешеходной доступности ближайшей остановки общественного транспорта представлен на рисунке 2.

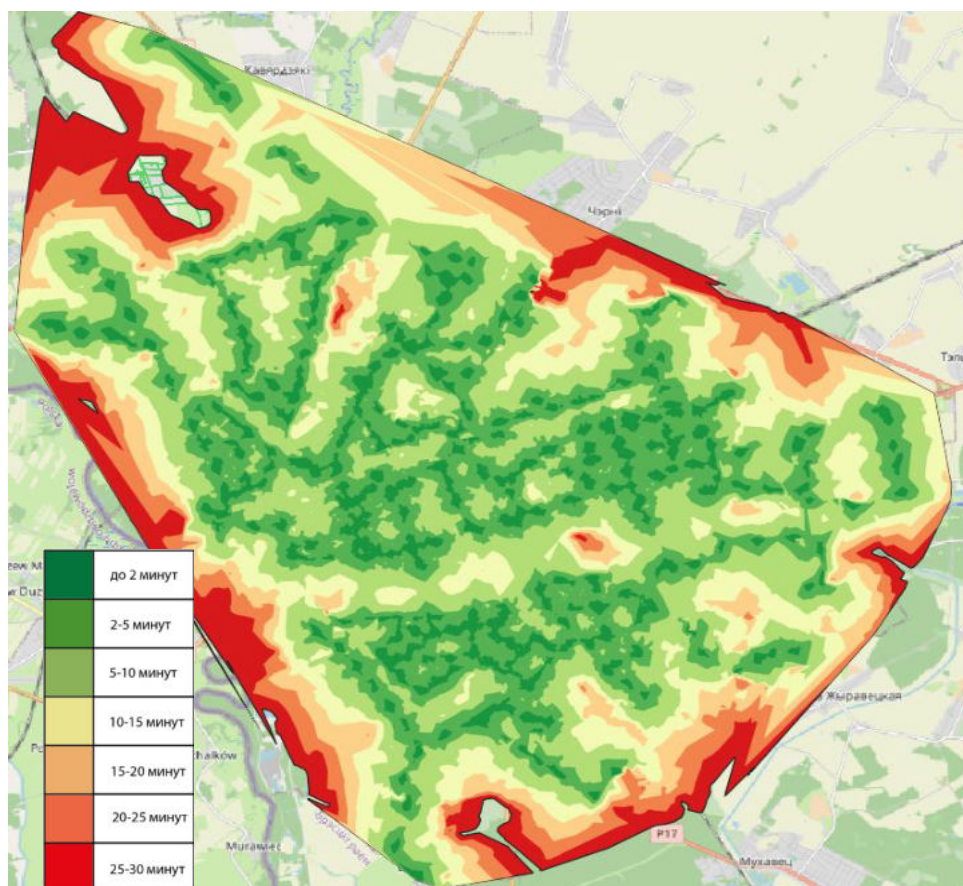


Рис. 2. Пешеходная доступность остановок общественного транспорта

Следующим фактором оценки после доступности транспортных услуг является их качество, которое выражается надежностью и разнообразием – наличие различных вариантов при осуществлении маршрута. Сперва для каждой остановки по информации о числе маршрутов, проходящих через нее, была составлена соответствующая карта. Далее в рамках исследования для оценки вышеназванных характеристик был рассчитан и проанализирован такой показатель, как число маршрутов общественного

транспорта в 15-минутной доступности (рис. 3). Его графическая визуализация позволяет более подробно рассмотреть ситуацию с разнообразием выбора, чем предыдущая карта.

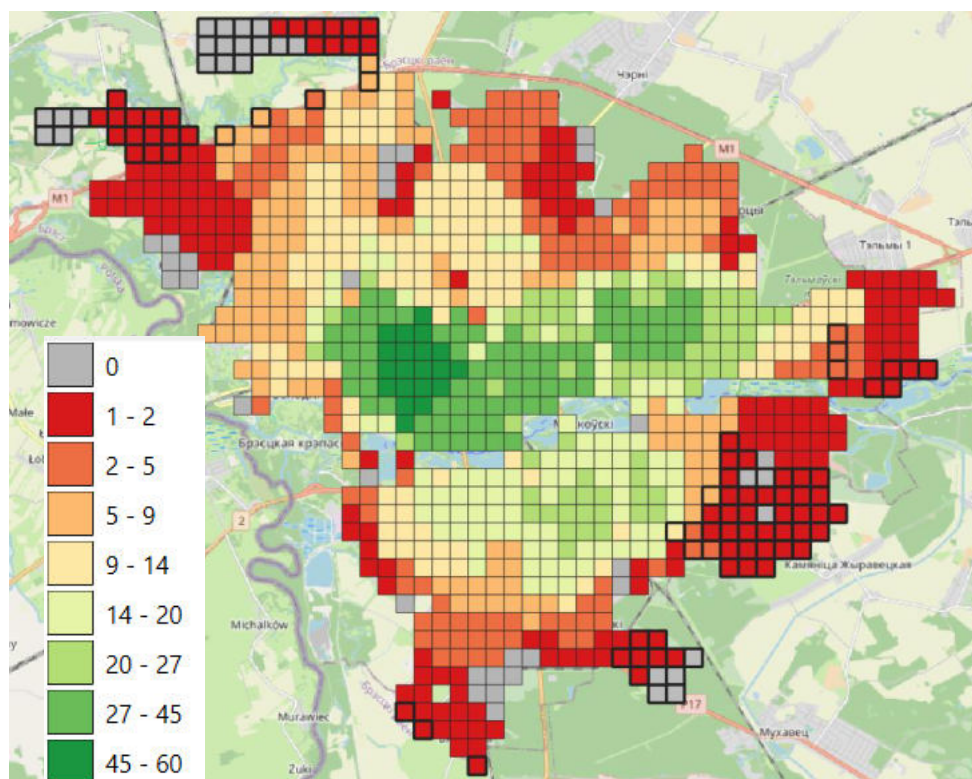


Рис. 3. Количество маршрутов в зоне доступности

Следующей рассматривается такая характеристика, как интегральная транспортная доступность, для того чтобы оценить выгодность расположения различных селитебных территорий в пассажирской транспортной системе города (рис. 4).

Интегральная транспортная доступность учитывает только время доступности и рассчитывается для каждой точки территории как среднее между временем доступности от нее до всех остальных точек территории на общественном транспорте [4].

Анализ полученных моделей и формирование выводов относительно территориальной дифференциации обеспеченности населения общественным транспортом проводится двумя путями:

- через анализ распределения населения города в рамках значений фактора транспортной обеспеченности;
- анализ средних значений для всех селитебных территорий города и выявление кризисных и наиболее хорошо обеспеченных районов [4];

При анализе данного фактора транспортной обеспеченности (рис. 5) можно сделать вывод, что большинство жителей города (82 % или 265 тысяч

человек) проживают в пределах 5-минутной пешей доступности до ближайшего остановочного пункта, а также лишь 2 % жителей (7300 человек) не имеют остановочного пункта в пределах 10-минутной пешей доступности. Таким образом, 98 % жителей города за 10 минут и гораздо быстрее могут добраться до остановочного пункта – минимальное условие, необходимое для пользования каким-либо общественным транспортом, выполнено успешно.

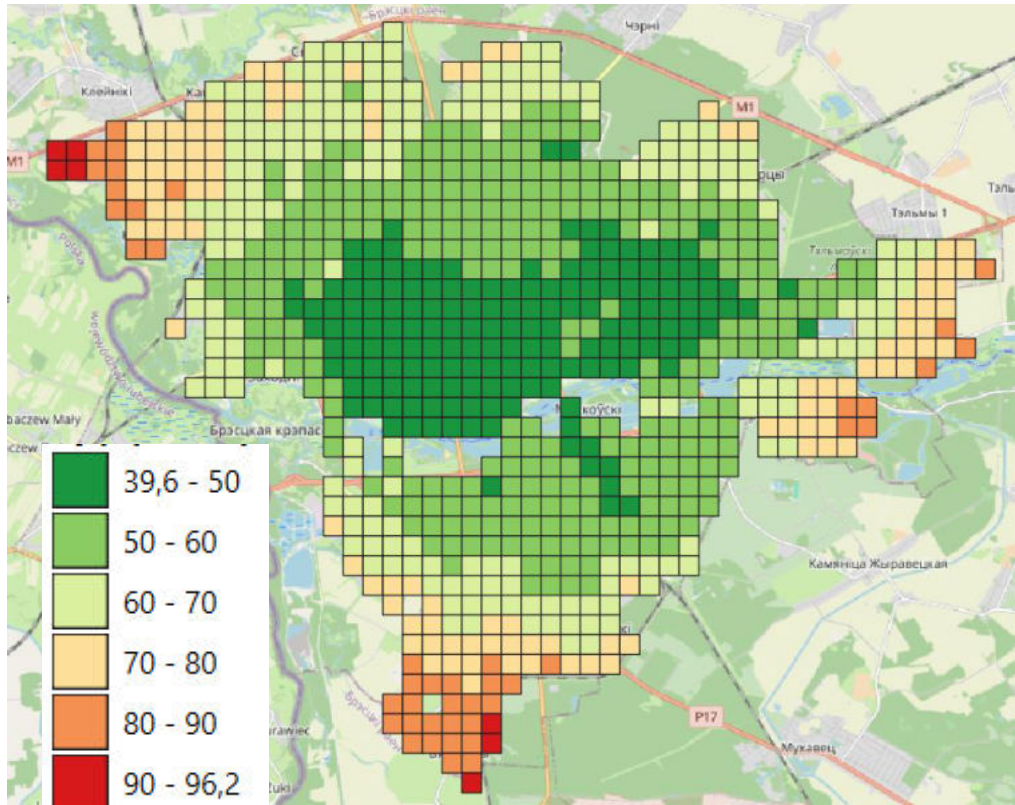


Рис. 4. Интегральная транспортная доступность (минуты)

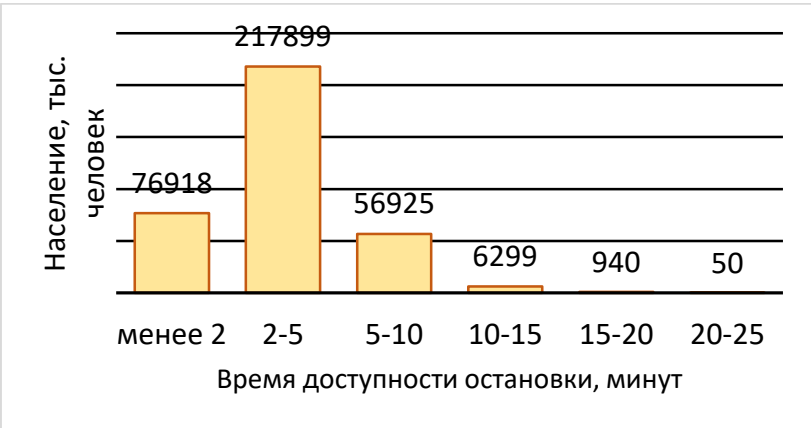


Рис. 5. Распределение населения по зонам доступности остановок общественного транспорта

Среднее время доступа до ближайшей остановки по городу (для населения) составило около 3,8 минуты, что также является достаточно хорошим показателем.

Для анализа следующего фактора – надёжности и разнообразия маршрутов – было применено разбиение города на 800–900 зон размером 369×369 метров. Расчет значений производился для точки в центре каждой из них, и считается, что полученные значения имеют смысл для всей зоны вокруг этой точки. Временной интервал на достижение нужных маршрутов был определён как 15 минут – это время, за которое практически все жители дойдут как минимум до ближайшей остановки, а многие смогут позволить себе выбирать из множества вариантов. График (рис. 6) дает следующую информацию: три из четырёх жителей города за 15 минут могут дойти до остановки/остановок, через которые проходит 15 и более маршрутов. В то же время 25 тысяч человек имеют на выбор не более 5 маршрутов, около тысячи человек за 15 минут вообще не попадут на остановку.

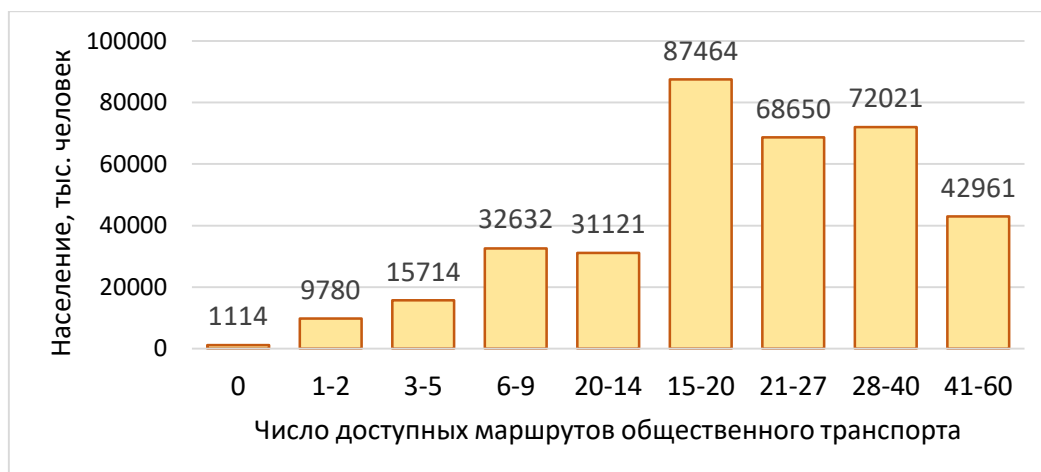


Рис. 6. Распределение населения города в зависимости от числа доступных маршрутов наземного общественного транспорта

Выгодность положения в транспортной системе в целом характеризует интегральная доступность, минимальный ее показатель на территории города – 39 минут – в центральной части города. Максимум наблюдается на периферии в микрорайонах Бернады на юге и Новые Козловичи на северо-западе. Анализируя график (рис. 7), можно определить, что большинство населения (90 %) проживает в зонах с интегральной транспортной доступностью, не превышающей один час, а численность жителей в наименее благоприятных зонах с доступностью более 80 минут составляет лишь 1 %.

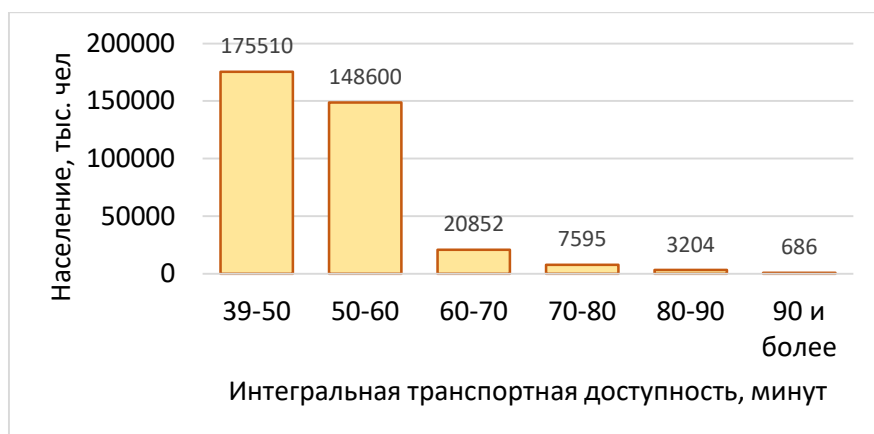


Рис. 7. Распределение населения в зависимости от интегральной транспортной доступности

Полученные данные позволяют сформировать следующие выводы. С имеющимися материалами (сеть пешеходных дорог и маршрутов, а также данные о скорости общественного транспорта и интервалах на маршрутах) можно построить модель сети общественного транспорта города, которая будет достаточно точно описывать реальную. Недостатки ее в том, что не учтены все виды транспорта, а также то, что в реальности мы имеем дело с конкретным временем ожидания транспорта в точное время дня, а не средним за сутки, поэтому на участках, где меньше насыщенность маршрутами, меньше точность сети. Тем не менее можно точно определить, что по всем показателям более 80 % жителей города имеют достаточно комфортные условия для перемещения по городу на общественном транспорте. Худшие характеристики имеют микрорайоны с частной застройкой, которые являются бывшими деревнями, включёнными в состав города. Насыщение этих районов дополнительными маршрутами и остановками экономически невыгодно, поэтому их наличие не может характеризовать систему общественного транспорта Бреста как недостаточно развитую или неэффективную.

Библиографические ссылки

1. Брестский общественный транспорт [Электронный ресурс]. URL: <https://ap1.brest.by> (дата обращения: 10.04.2024).
2. Картографический веб-сервис OpenStreetMap. URL: <http://www.openstreetmap.org/> (дата обращения: 10.04.2024).
3. Расписание автобусов, троллейбусов и трамваев в РБ 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://kogda.by> (дата обращения: 07.04.2024).
4. Сомов Э. В. Геоинформационное картографирование обеспеченности населения общественным транспортом на примере г. Москвы : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.33 / Э. В. Сомов ; МГУ. Москва, 2015. 24 с.
5. Esri. ArcGIS [Электронный ресурс]. URL: <https://www.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=691d632351ec4b0ea5fc639c40a5f027> (дата обращения: 09.04.2024).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

И. Г. Триушенко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220303, г. Минск, Беларусь, geo.schur@bsu.by*

В данной работе исследованы принципы и характеристики систем радиолокационного зондирования. Рассмотрен опыт применения радиолокационных данных в географических исследованиях и картографировании. Осуществлены процессы получения и обработки радиолокационных снимков с их трансформированием в производные радиолокационные изображения.

Ключевые слова: радиолокационная съёмка; применение радиолокационных данных в географических исследованиях и картографировании; методы обработки и создания радиолокационных изображений.

Радиолокационные исследования Земли – давно и успешно развивающаяся область дистанционного зондирования. В настоящее время происходит активное развитие технических средств радиолокации земной поверхности, методов и программного обеспечения обработки радиолокационных изображений.

В последние годы отмечается значительное усиление внимания к дистанционному зондированию Земли в радиодиапазоне. Новые принципы построения сканирующих радиолокационных систем позволили резко повысить их разрешающую способность и приблизить информационные возможности радиолокационных средств наблюдения Земли к оптическим. Далее рассмотрим стандартные этапы обработки амплитудных и поляриметрических радиолокационных данных.

Продукт самого низкого (нулевого) уровня обработки – RAW (радиоголограмма) – «сырые» данные, требующие специальной обработки, называемой фокусировкой. Через архив предоставляются продукты этого уровня для режимов съёмки SM, IW и EW, однако эти данные невозможно использовать для дешифрирования.

К первому уровню обработки относятся продукты SLC (single look complex) и GRD (ground range detected). Продукт уровня SLC представляет собой комплексные радиолокационные данные (которые содержат и амплитуду, и фазу сигнала), представленные в проекции наклонной дальности. Отличительной особенностью данных этого уровня является то, что они могут быть использованы в интерферометрической обработке для получения информации о высотах и смещениях зондируемой поверхности.

Данные SLC могут предоставляться для режимов SM, IW и EW, но в архиве для некоторых регионов этот продукт может и отсутствовать. В силу геометрических особенностей изображений (различного размера пиксела по азимуту и дальности) дешифрирование снимков этого уровня обработки затруднено.

Продукт GRD – амплитудное (амплитуда на РЛ изображении – аналог яркости на снимках видимого диапазона) радиолокационное изображение, трансформированное в проекцию наземной дальности. Следует отметить, что после трансформирования на наземную дальность выходные изображения могут предоставляться с разной детальностью (разным размером пиксела): полной (full resolution), высокой (high resolution) или средней (medium resolution). Такая обработка выполняется для данных, полученных в режимах SM, IW и EW. Данные именно этого уровня – наиболее подходящие для визуального и автоматизированного дешифрирования [3].

Рассмотрим основные этапы, которые обычно применяются для предварительной обработки амплитудных и поляриметрических радиолокационных данных.

Автоматическая корегистрация разновременных снимков. При работе с разновременными снимками (в частности, при многовременной фильтрации, разновременном цветовом синтезе, формировании графиков временных образов объектов и т. д.) требуется их точное геометрическое согласование. Современные программы, предназначенные для обработки данных радиолокационного зондирования, предусматривают возможность проведения автоматического геометрического согласования радиолокационных снимков с точностью до долей пиксела, называемого корегистратией. Она выполняется в несколько этапов: вначале на основе орбитальных данных выполняется приблизительная оценка сдвига одного изображения относительно другого с точностью до десятков пикселей, для более точного совмещения применяются методы кросс-корреляции в скользящих окнах. Результатом корегистрации является серия изображений, в которой все вспомогательные изображения трансформированы в геометрию опорного (рис. 1) [12].

В качестве необязательного этапа возможно выполнить **выделение фрагмента** для сокращения времени обработки снимка.

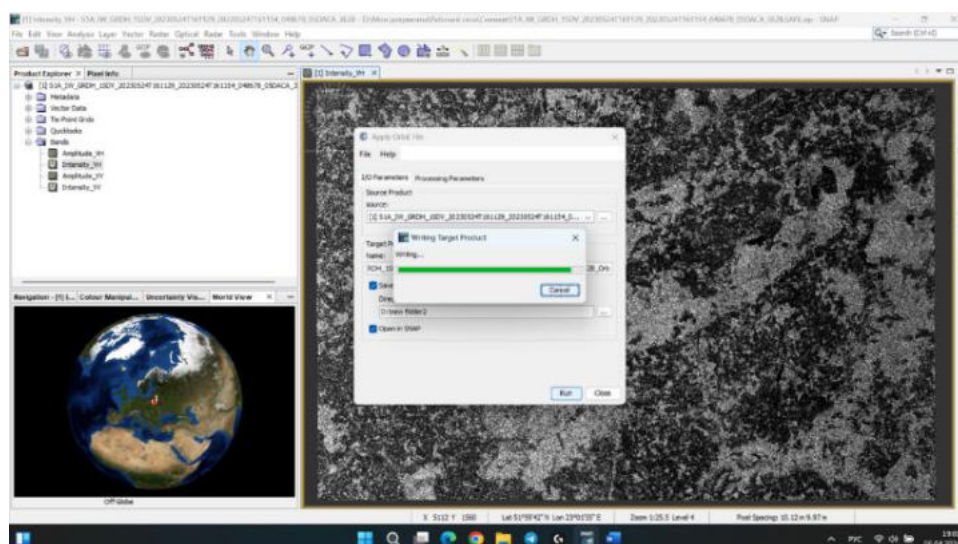


Рис. 1. Процесс применения автоматической корегистрации
разновременных снимков

Удаление тепловых шумов. Тепловые шумы возникают вследствие теплового излучения объектов, окружающих приемную антенну радиолокатора. Спектр этих шумов, являясь практически равномерным вплоть до частот порядка 1013 Гц, далеко выходит за пределы того диапазона частот, который используется в радиолокации. Поэтому такой шум называется «белым шумом» – по аналогии со световыми колебаниями, имеющими широкий спектр. Удаление тепловых шумов обычно выполняется для проведения очень точных расчётов (рис. 2) [4].

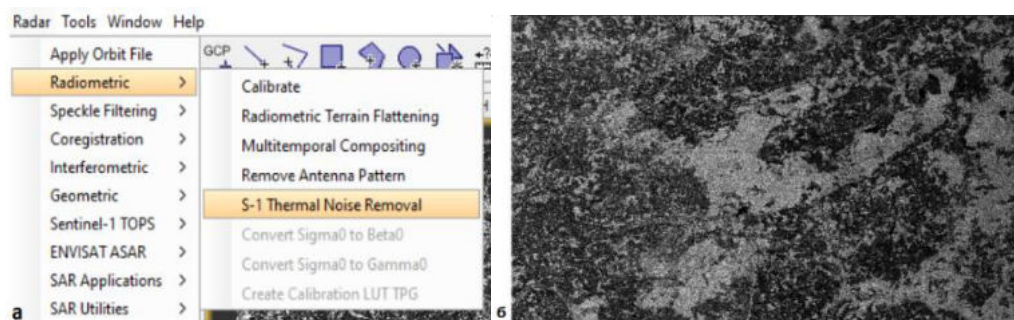


Рис. 2. Процесс удаления тепловых шумов: а – контекстное меню;
б – результат применения фильтра

Радиометрическая калибровка. Для правильной работы с данными РСА сначала они должны быть откалиброваны. Это особенно необходимо при подготовке данных для мозаик, где у вас могут быть несколько продуктов данных на различных углах съемки и относительных уровнях яркости. Калибровка радиометрически исправляет РСА-изображение таким

образом, чтобы значения пикселей действительно представляли значение обратного рассеяния луча радара от отражающей поверхности.

Поправки, применяемые в процессе калибровки, являются специфичными для конкретной миссии, поэтому программное обеспечение автоматически определяет на основе метаданных продукта, какой входной продукт у вас есть и то, какие поправки должны быть применены. Калибровка необходима для последующего использования данных РСА [5].

Подавление спекл-шума. Спекл-шум является неотъемлемым свойством снимков, полученных радиолокаторами с синтезированной апертурой, и образуется из-за когерентного наложения откликов от нескольких объектов в элементе разрешения изображения. Его присутствие затрудняет визуальное восприятие изображений и их автоматизированную обработку. Для снижения уровня спекл-шума на амплитудных изображениях в программных комплексах предусмотрено несколько способов: межэлементное некогерентное накопление и различные виды фильтрации.

Под некогерентным накоплением (англ. multilooking) подразумевается усреднение изображения в окне размером $N \times M$ пикселей с последующим укрупнением элементов изображения. При этом уровень спекл-шума уменьшается, но уменьшается и размер изображения в пикселах, падает детальность изображения в целом. При использовании для картографирования радиолокационного изображения, прошедшего процедуру некогерентного накопления, важно иметь в виду то, что уменьшается возможный масштаб картографирования и увеличивается размер минимального картографируемого объекта [13].

Различные фильтры работают преимущественно в пределах скользящего окна, последовательно перемещающегося на один пиксел по всему снимку. При использовании фильтрации количество пикселей в результирующем изображении остается таким же, как и в исходном. Однако существенное влияние на детальность снимка после фильтрации оказывает размер скользящего окна: окно большого размера хоть и способствует подавлению зернистости, но при этом приводит к сильному размытию границ между объектами, а некоторые объекты и вовсе перестают быть различимыми [6].

В целом, все фильтры амплитудных радиолокационных снимков можно поделить на несколько групп: неадаптивные (Mean, Median и др.), адаптивные (Lee, Frost, Gamma MAP и др.) фильтры одиночных изображений и фильтры многовременных изображений. Фильтр Mean, например, вычисляет среднее арифметическое в скользящем окне и присваивает это значение центральному пикселу окна. Адаптивные фильтры более сложны, подавление шума в них опирается на характер распределения значений пикселей в пределах скользящего окна. Так, фильтр Lee на основе коэффициента вариации значений пикселей в рамках скользящего

окна осуществляет баланс между усреднением и пропуском значения без изменений (рис. 3) [9].

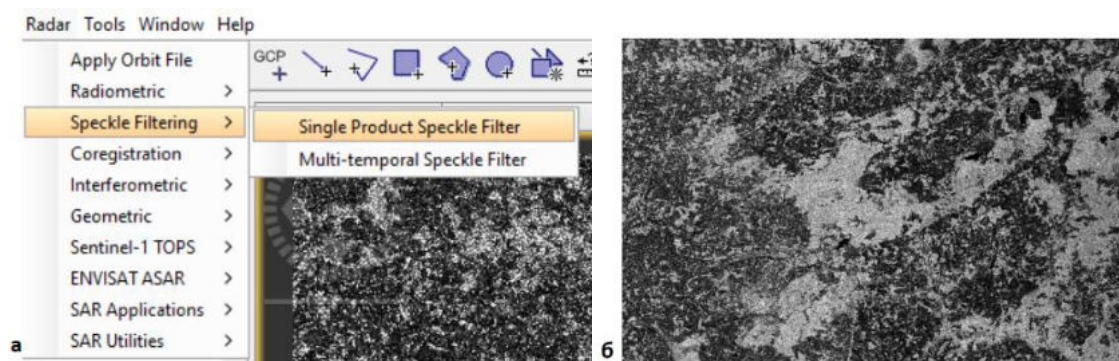


Рис. 3. Пример применения фильтра Lee для подавления спекл-шума:
а – контекстное меню; б – результат применения фильтра

Многовременные фильтры используют серию геометрически согласованных радиолокационных снимков одной и той же территории. При этом проводится не просто усреднение изображений, а на основе всех снимков вычисляется оптимальное весовое выражение для каждого в отдельности. В результате многовременной фильтрации количество выходных изображений совпадает с количеством исходных. В зависимости от объекта и масштаба картографирования необходимо находить компромисс между сглаживанием спекл-шума и сохранением деталей изображения, границ между объектами.

Геокодирование и ортотрансформирование. Под геокодированием и ортотрансформированием подразумевается выполнение координатной привязки изображений. Последняя требует наличия цифровой модели рельефа и особенно востребована для участков с расчленённым рельефом. Как правило, современные программы осуществляют привязку автоматически, используя при этом множество параметров (положение космического аппарата в момент съёмки, параметры его движения, движения зондируемого участка, обусловленные вращением Земли и др.), записанных в сопроводительных файлах. В случаях существенных ошибок в геометрическом положении элементов изображения может потребоваться дополнительная привязка вручную путём набора опорных точек относительно некоторой основы, имеющей высокую точность привязки. Также для радиолокационных данных с ряда спутников спустя некоторое время после съёмки поставляются файлы, содержащие уточнённую информацию о движении космического аппарата, использование которых может привести к достижению более высокой точности привязки снимка (рис. 4) [6].

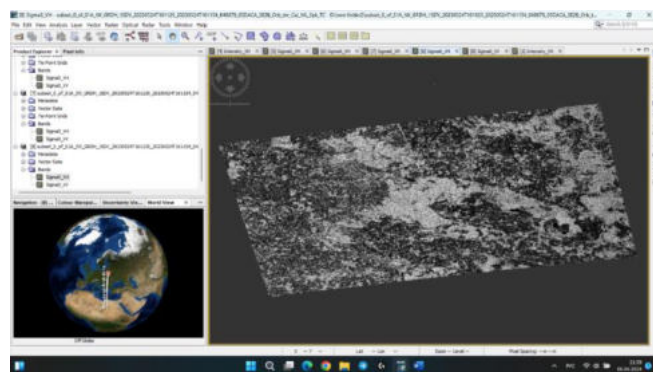


Рис. 4. Результат геокодирования и ортотрансформирования

Корректировка по местности геокодирует изображение, исправляя геометрические искажения РСА с использованием цифровой модели высот (DEM) и производит продукт в картографической проекции [6].

Все описанные выше процедуры (калибровка, фильтрация спекл-шума и др.) являются стандартными для обработки исходных данных радиолокационного зондирования. Однако в зависимости от вида исходных данных, особенностей исследуемой территории и решаемой задачи, предполагаемого метода анализа снимков (визуального или автоматизированного) требуются различные подходы к комбинированию этих этапов. Результаты обработки исходных радиолокационных данных в соответствии с определённой последовательностью называют производными радиолокационными изображениями (рис. 5) [11].

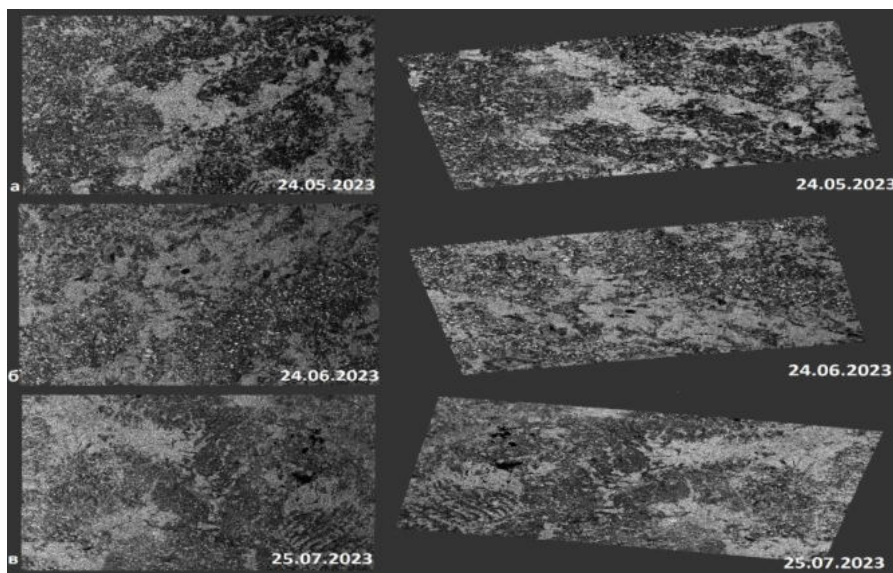


Рис. 5. Результаты обработки исходных радиолокационных данных в программном обеспечении SNAP на территории Беловежской пуши, полученных за периоды:
а – 24.05.2023 г.; б – 24.06.2023 г.; в – 25.07.2023 г.

Особое внимание уделено формированию наглядных производных изображений на основе амплитудных радиолокационных снимков, поляриметрических и интерферометрических данных. На наиболее типичных примерах проиллюстрированы возможности применения материалов радиолокационных съёмок в географических исследованиях и при создании карт.

Важным этапом, отличающим разработанную методику от других по космическим снимкам, является формирование производных изображений со сниженным уровнем спекл-шума, предназначенных для автоматизированного (одноканальные, многоканальные многополяризационные или многовременные изображения после радиометрической калибровки) и визуального дешифрирования (цветные синтезированные многополяризационные и многовременные изображения). Методика включает такие основные этапы, как выбор радиолокационных данных и дополнительных источников; предварительную обработку радиолокационных данных; классификацию производных изображений при разных параметрах с последующим выбором оптимального варианта;

Географические исследования на основе производных радиолокационных изображений наиболее эффективны при их использовании совместно с дополнительными источниками. Роль радиолокационных данных в исследованиях может быть различной в зависимости от исследуемой территории и изучаемой тематики.

Активное развитие радиолокационных космических съемочных систем и появление общедоступных изображений Земли в радиоволновом диапазоне обуславливают актуальность более широкого знакомства с ними географов.

Библиографические ссылки

1. Radiometric Calibration of S-1 Level-1 Products Generated by the S-1 IPF. ESA, 2015 [Electronic resource]. URL: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/S1-Radiometric-Calibration-V1.0> (date of access: 12.10.2024).
2. Sentinel-1 / Copernicus / Observing the Earth / Our Activities/ ESA. [Electronic resource]. URL: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1 (date of access: 13.10.2024).
3. Базовые продукты дистанционного зондирования Земли на основе радиолокационных данных / М. А. Гусев [и др.] // Вестник СибГАУ. 2013. №5 (51). С. 82–85.
4. Базовые продукты зондирования Земли космическими радиолокаторами с синтезированной апертурой / А. В. Дмитриев [и др.] // Исследование Земли из космоса. 2014. №5. С. 83–91.
5. Балдина Е. А., Лабутина И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков : учебник. 2-е изд., переработанное и дополненное. М. : КДУ, Добросвет, 2021. 269 с.

6. Балдина Е. А., Трошко К. А., Николаев Н. Р. Радиолокационные данные Sentinel-1 и возможности их обработки для дешифрирования форм рельефа острова Котельный // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. № 3. С. 78–85.
7. Дистанционное зондирование Земли : учебное пособие / В. М. Владимиров [и др.] ; под общ. ред. В. М. Владимирова. Москва : ИНФА-М; Красноярск : Сиб. фед. ун-т, 2021. 196 с.
8. Захаров А. И., Яковлев О. И., Смирнов В. М. Спутниковый мониторинг Земли : радиолокационное зондирование поверхности. М. : КРАСАНД, 2012. 248 с.
9. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли : основы и методы дистанционных исследований в геологии: Пер. с нем. М. : Мир, 1988. 343 с.
10. Лимонов А. Н., Гаврилова Л. А. Фотограмметрия и дистанционное зондирование : учебник для вузов. М. : Академический проект, 2018. 296 с.
11. Маркин С. Н. Методы подавления спекл-шума в РСА-изображениях // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2008. Вып. 10. С. 220–222.
12. Трошко К. А. Разработка методики использования радиолокационных данных для тематического картографирования : дис. канд. геогр. наук: 25.00.33 / К. А. Трошко ; МГУ им. М. В. Ломоносова. Москва, 2018. 158 с.
13. Шалькевич Ф. Е., Курьянович М. Ф. Тематическое дешифрирование : пособие. Минск : БГУ, 2022. 131 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБОВ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ В ЭТНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

И. С. Фандюхин, И. Е. Сидорина

*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, 199034,
Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9, st106203@student.spbu.ru*

В работе рассматривается применение способов картографического изображения действительности для картографирования этнографических данных Республики Карелия. Разнообразие приёмов картографирования даёт возможность выявлять закономерности и динамику тех или иных процессов и явлений. В работе приводится электронная этнографическая карта Республики Карелия, разработанная с использованием геоинформационной системы QGIS и составленная с применением оптимальных способов картографического изображения.

Ключевые слова: картография; способы картографического изображения действительности; этнический состав населения; этнографическое картографирование; ГИС; Республика Карелия.

USE OF METHODS OF CARTOGRAPHIC REPRESENTATION OF REALITY IN ETHNOGRAPHIC RESEARCH BY EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF KARELIA

I. S. Fandyukhin, I. Y. Sidorina

*Saint Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya nab., St. Petersburg,
199034 Russia, st106203@student.spbu.ru*

The paper considers the application of methods of cartographic representation of reality for mapping ethnographic data of the Republic of Karelia. A variety of mapping techniques makes it possible to identify patterns and dynamics of various processes and phenomena. The paper presents an electronic ethnographic map of the Republic of Karelia, developed using the QGIS geographic information system and compiled using optimal methods of cartographic representation.

Keywords: cartography; methods of cartographic representation of reality; ethnic diversity; ethnic mapping; GIS; the Republic of Karelia.

Территориально-пространственный аспект исследования существенен для многих наук, в том числе, для такой науки, как этнография. Для неё также чрезвычайно важно изучать изменения тех или иных объектов и явлений во времени, выявлять динамику процессов развития.

Необходимость переработки и обобщения значительных объёмов информации в этнографической науке заставляет искать наиболее эффективные методы исследования, одним из которых является картографический метод, применение которого позволяет не только систематизировать полученные результаты, но и анализировать трансформацию этнических процессов в регионе, выявлять закономерности, отслеживать данные процессы в динамике.

Цель исследования состояла в изучении и анализе применения способов картографического изображения действительности в этнографических исследованиях посредством создания электронной этнографической карты на примере Республики Карелия.

Представить себе наглядно этнический состав населения любой страны невозможно без соответствующей этнографической карты [1].

Этнографические карты – это карты народов (этнического расселения), национального состава населения, культурного верования и традиций [2].

Этнографические карты можно разделить на этнические карты, характеризующие расселение народов в прошлом и настоящем, и историко-этнографические карты, отражающие на разные периоды различные стороны жизни народов, характерные черты их традиционной культуры и формы общественного быта [3].

Созданием этнографических карт занимается этнографическое картографирование, задачами которого являются: фиксирование элементов этнической культуры во времени и ландшафте; создание этнографических атласов по определённым разделам этнической культуры (этнографический атлас в данном случае – не только продукт картографического производства, но и источник для будущих научных исследований); историко-этнографическое районирование этнической культуры, которое представляет собой уточнение и определение ареала проживания субэтносов.

Население Республики Карелия имеет сложный этнорелигиозный состав. По данным Всероссийской переписи населения 2002 года, при общей численности населения чуть более 700 тысяч человек, было зафиксировано около 150 национальностей. Бóльшая часть из них — народы, проживающие на территории России. По последним данным, абсолютное большинство населения составляют русские (86,4 %), на втором месте представлены карелы (5,5 %), на третьем – белорусы (2 %), далее – украинцы (1,2 %) и остальные национальности.

Для составления этнографической карты Республики Карелия были использованы данные Всероссийской переписи населения 2020 года по национальному составу и численности населения республики.

На основе имеющихся официальных статистических данных составлена систематизированная таблица национального состава районов/округов Карелии (рис. 1).

Район/национальный район/городской округ/муниципальный округ	Русские	Белорусы	Украинцы	Поморы	Карелы	Финны	Вепсы	Татары	Чуваши	Армяне	Цыгане	другие	Население, тыс. чел.
Петрозаводский городской округ	89	1	1	0	4	1	1	0	0	0	0	3	186
Костомукшский городской округ	88	1	2	0	4	0	0	1	0	0	0	3	24
Беломорский муниципальный округ	91	2	1	1	3	0	0	0	0	0	0	2	13
Калевальский национальный район	63	5	2	0	28	0	0	0	0	0	0	2	6
Кемский район	91	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	4	13
Кондопожский район	91	2	1	0	3	1	0	0	0	0	0	2	31
Лахденпохский район	89	2	2	0	1	0	0	0	1	0	0	5	10
Лоухский район	84	4	1	0	9	0	0	0	0	0	0	2	10
Медвежьегорский национальный район	93	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	3	24
Муезерский район	77	9	2	0	8	1	0	0	1	0	0	2	8
Олонецкий национальный район	55	1	1	0	40	1	0	0	0	0	0	2	19
Питкярантский муниципальный округ	87	3	1	0	4	1	0	1	0	0	0	3	15
Прионежский район	87	1	1	0	2	1	4	0	0	1	0	3	22
Пряжинский национальный район	69	2	1	0	22	2	0	0	0	0	1	2	11
Пудожский район	93	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	14
Сегежский муниципальный округ	94	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	30
Сортавальский район	90	3	1	0	2	0	0	0	0	0	0	3	21
Суоярвский муниципальный округ	82	6	2	0	6	1	0	0	0	0	0	2	13

Рис. 1. Данные национального состава Республики Карелия (на 2020 г.)

В связи с тем, что русские составляют абсолютное большинство населения практически во всех районах/округах республики, для большей наглядности результатов в графическом представлении на будущей карте доли представителей иных национальностей были пересчитаны за вычетом русского населения (рис. 2).

Район/национальный район/городской округ/муниципальный округ	Белорусы	Украинцы	Поморы	Карелы	Финны	Вепсы	Татары	Чуваши	Армяне	Цыгане	другие
Петрозаводский городской округ	9	9	0	36	9	9	0	0	0	0	27
Костомукшский городской округ	9	18	0	36	0	0	9	0	0	0	27
Беломорский муниципальный округ	22	11	11	33	0	0	0	0	0	0	22
Калевальский национальный район	14	5	0	76	0	0	0	0	0	0	5
Кемский район	22	11	0	22	0	0	0	0	0	0	44
Кондопожский район	22	11	0	33	11	0	0	0	0	0	22
Лахденпохский район	18	18	0	9	0	0	0	9	0	0	45
Лоухский район	25	6	0	56	0	0	0	0	0	0	13
Медвежьегорский национальный район	14	14	0	29	0	0	0	0	0	0	43
Муезерский район	39	9	0	35	4	0	0	4	0	0	9
Олонецкий национальный район	2	2	0	89	2	0	0	0	0	0	4
Питкярантский муниципальный округ	23	8	0	31	8	0	8	0	0	0	23
Прионежский район	8	8	0	15	8	31	0	0	8	0	23
Пряжинский национальный район	7	3	0	73	7	0	0	0	0	3	7
Пудожский район	43	14	0	14	0	0	0	0	0	0	29
Сегежский муниципальный округ	33	17	0	17	0	0	0	0	0	0	33
Сортавальский район	33	11	0	22	0	0	0	0	0	0	33
Суоярвский муниципальный округ	35	12	0	35	6	0	0	0	0	0	12

Рис. 2. Данные национального состава Республики Карелия (за вычетом русского населения)

Для составления этнографической карты в ГИС была создана электронная картографическая основа на территорию Республики Карелия средствами программы QGIS. Масштаб карты – 1:3 500 000. Система координат карты: WGS-84. Проекция – равнопромежуточная коническая, вычисленная по параметрам референц-эллипсоида Красовского 1940 года. Центральный меридиан – 34° в. д.

Разработанная электронная картографическая основа отображает ситуацию на момент проведения последней Всероссийской переписи населения в 2020 году (рис. 3).

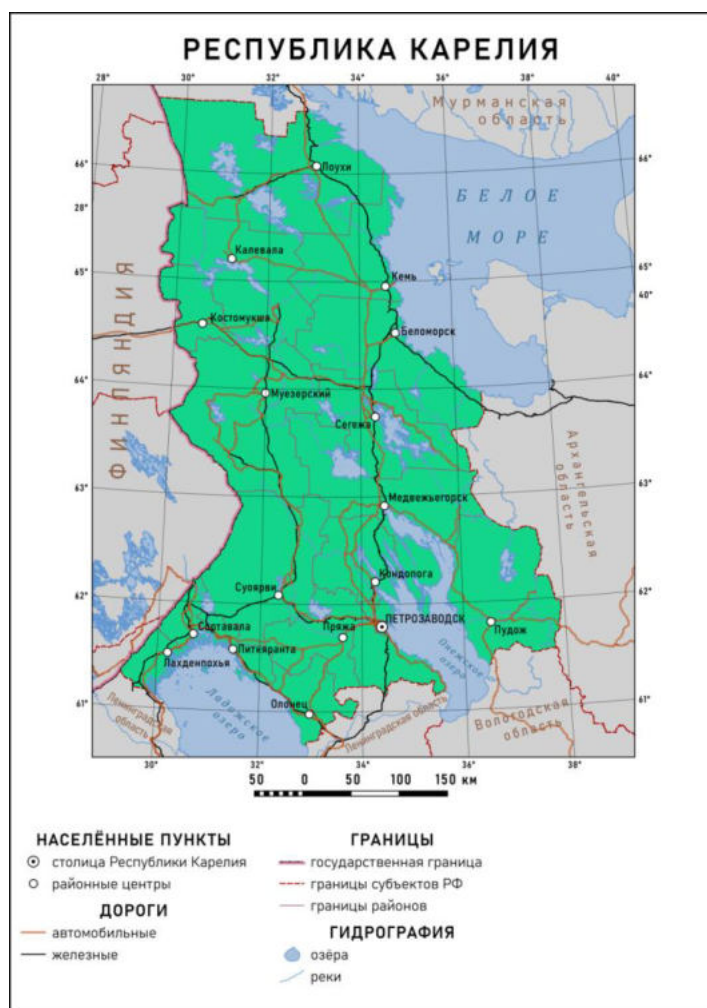


Рис. 3. Электронная картографическая основа на территорию Республики Карелия

На основе изученной информации и, в соответствии с целью исследования, для создания этнографической карты Республики Карелия было принято решение использовать способ картодиаграмм, как наиболее оптимальный.

Рассмотрены и проанализированы следующие виды картодиаграмм: столбчатая, квадратная и круговая диаграммы.

К достоинствам столбчатой диаграммы стоит отнести простоту сравнения процентных долей разных национальностей благодаря их взаимному расположению (рис. 4).

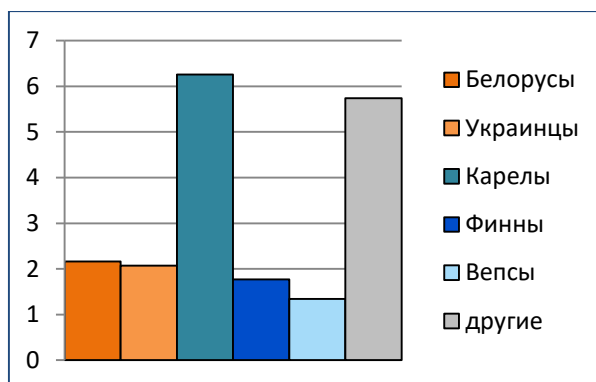


Рис. 4. Столбчатая диаграмма национального состава Петрозаводского городского округа

Недостатком использования столбчатой диаграммы в условиях национальной ситуации в отдельных районах/округах Республики Карелия является значительное превышение одних столбцов над другими – например, осязаемое преобладание карел относительно других национальностей, особенно в Олонецком национальном районе, где карелы составляют 40 % населения (рис. 5).

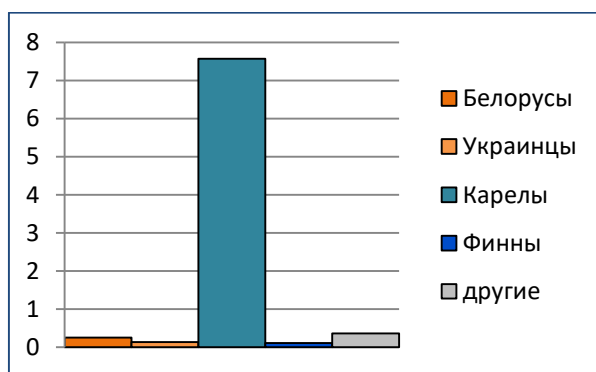


Рис. 5. Столбчатая диаграмма национального состава Олонецкого национального района

Квадратная диаграмма нечасто используется для создания этнических карт, однако является довольно наглядной и удобной как для визуального восприятия, так и для сравнения имеющихся показателей (рис. 6).

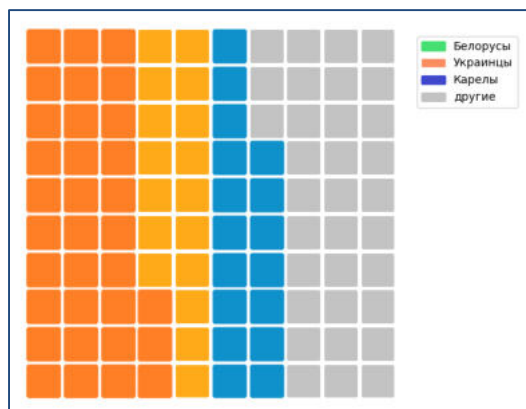


Рис. 6. Квадратная диаграмма национального состава Сегежского района

В то же время она обладает в ряде случаев некоторыми недостатками. Алгоритм создания такой диаграммы является более трудоёмким по сравнению со столбчатой и круговой диаграммами. Кроме того, при незначительной этнической мозаичности, когда данные без проблем воспринимаются и при помощи других диаграмм, квадратная диаграмма является избыточной и её использование не имеет смысла.

Очевидным достоинством круговой диаграммы является наглядность (особенно при пересчёте данных за вычетом русского населения) (рис. 7).

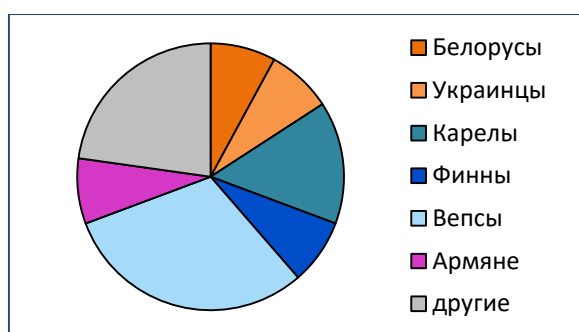


Рис. 7. Круговая диаграмма национального состава Прионежского района

Кроме того, допускается совместное использование круговой и кольцевой диаграмм для отражения дополнительных или недостающих показателей (например, поскольку на основной диаграмме представлено соотношение национальностей без учёта русского населения, справедливо добавить кольцевую диаграмму по внешней границе основной, отражающую процентное соотношение русских и представителей иных национальностей в том или ином районе/округе (рис. 8).

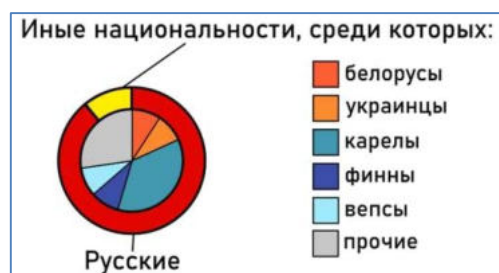


Рис. 8. Круговая диаграмма национального состава Петрозаводского городского округа (с соотношением русского населения и иных национальностей)

По результатам анализа всех представленных ранее вариантов реализации картодиаграмм, а также оценки их преимуществ и недостатков, было принято решение использовать при создании этнографической карты Карелии круговые диаграммы с двумя рядами данных.

Этнографическая карта Республики Карелия была составлена с использованием геоинформационной системы QGIS 3.30, а также табличного редактора Microsoft Office Excel 2007 и векторного графического редактора InkScape (рис. 9).

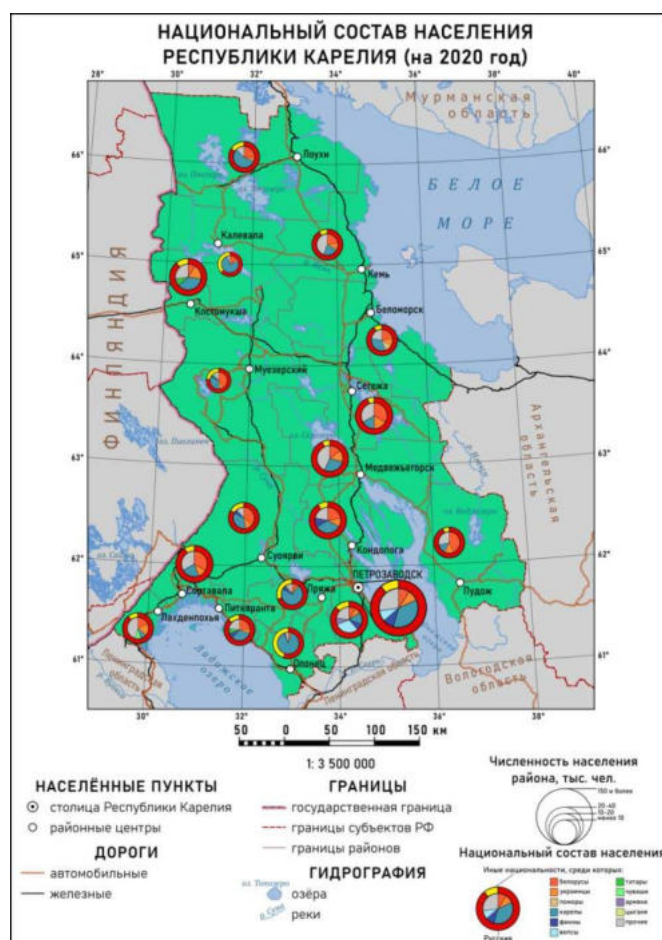


Рис. 9. Этнографическая карта Республики Карелия

Благодаря применённому при создании этнографической карты Карелии способу картодиаграмм, реализованному через круговые диаграммы с двумя рядами данных, можно наиболее наглядно и чётко определить:

- соотношение русского населения и представителей иных национальностей;
- взаимное процентное соотношение представителей иных национальностей;
- численность населения района/округа (по диаметру диаграммы).

Таким образом, это подтверждает преимущества выбранного способа картографического изображения.

Результаты, полученные в ходе исследования, могут быть в дальнейшем использованы для анализа этномиграционных и ассимиляционных процессов в Республике Карелия, оценки региона в данном контексте, а также принятия мер по поддержанию численности населения коренных народов республики и сохранения их культурных традиций.

Библиографические ссылки

1. Кушнер (Кнышев) П. И. Этнические территории и этнические границы. М : 1951. 281 с.
2. Прохорова Е. А. Социально-экономические карты : учебное пособие, электронное издание сетевого распространения [Электронный ресурс]. М. : КДУ, Добросвет, 2018. URL : <https://bookonlime.ru/product/socialno-ekonomicheskie-karty> (дата обращения : 08.02.2024).
3. Брук С. И. Историко-этнографическое картографирование и его современные проблемы // Советская этнография. № 3. 1973. С. 3–18.

ПОНЯТИЕ И ФОРМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Ю. С. Филимонова¹⁾, С. Г. Давыдова^{1,2)}

¹⁾ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», ул. Большая Санкт-Петербургская, 41, 173003, г. Великий Новгород, Россия, email: bardo.julia@gmail.com

²⁾ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации» Новгородский филиал, ул. Германа, 31, 173003, г. Великий Новгород, Россия, email: sv_davidova@mail.ru

В статье рассматриваются особенности территориального планирования, определяется понятие данного процесса, в современной градостроительной деятельности. Раскрываются уровни и подходы к процедуре территориального планирования. Также автор подчеркивает значимость данного процесса для социально-экономического развития территории и необходимость учета региональной специфики, для повышения эффективности использования пространства.

Ключевые слова: геоинформационные системы; территориальное планирование; управление территориями; субъекты; схемы территориального планирования.

THE CONCEPT AND FORMS OF TERRITORIAL PLANNING

Y. S. Filimonova¹⁾, S. G. Davydova^{1,2)}

¹⁾Yaroslav the Wise Novgorod State University, 41 Bolshaya St. Petersburg str., 173003, Veliky Novgorod, Russia, email: bardo.julia@gmail.com

²⁾ Novgorod branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 31 Hermana str., 173003, Veliky Novgorod, Russia, email: sv_davidova@mail.ru

The article examines the features of territorial planning, Defines the concept of this process in modern urban planning. The levels and approaches to the territorial planning procedure are revealed. The author also emphasizes the importance of this process for the socio-economic development of the territory and the need to take into account regional specifics in order to increase the efficiency of space use.

Keywords: geoinformation systems; territorial planning; territorial management; subjects; territorial planning schemes.

Геоинформационные системы (ГИС) представляют собой интегрированные документы для сбора, хранения, анализа, обработки и визуализации пространственных данных. ГИС используются для решения многих задач в различных областях хозяйственной деятельности. В настоящее время ГИС являются неотъемлемой частью процесса территориального планирования (ТП), это дает возможность представить пространственную

информацию в более понятной и удобной форме и позволяет повысить эффективность управления территориями и облегчить принятие решений.

Территориальное планирование является важнейшей функцией государственного управления и приоритетной стратегической задачей местного самоуправления и представляет собой ряд взаимосвязанных мероприятий, направленных на оптимизацию всего процесса прогнозирования.

Планирование территории – это такой процесс, который занимается разработкой мероприятий и планов для эффективного использования земельных ресурсов определенной территории. В современной экономике России это имеет важное значение, поскольку правильное планирование может обеспечить не только рост уровня жизни населения, но и согласовать различные интересы между разными субъектами хозяйствования и населением. Для достижения максимальной эффективности рассматриваемого процесса необходимо учитывать государственные, региональные и муниципальные потребности. Так как именно они формируют правовую основу использования земель и размещения объектов на территории. Это могут быть объекты инфраструктуры – дороги и коммуникации, социальные объекты – школы, детские сады, ФАПы. Качественно выполненные работы по территориальному планированию позволяют достичь наибольшей эффективности при использовании территории в целом и предотвратить конфликты между населением и различными субъектами хозяйствования.

Территориальное планирование – это комплексный процесс, который включает определение потенциала территории, анализ, оценку ее ресурсов и возможностей для развития. Он направлен на создание благоприятных условий для жизни и деятельности населения, развития социальной сферы и экономики, сохранения и улучшения окружающей среды. Одним из инструментов ТП является разработка стратегических планов, которые определяют развитие территории на долгосрочный период. Конечно для обеспечения эффективности этого процесса необходимо учитывать те изменения, которые происходят в экономике и обществе, поэтому краткосрочное и среднесрочное планирование так же являются очень важными.

Схемы территориального планирования на федеральном, региональном и муниципальном уровнях, определяющие размещение линейных объектов различного значения, обычно утверждаются на срок не менее двадцати лет. Если же документ относится к другому типу схем, то он утверждается на срок не менее десяти лет. Генеральные планы населенных пунктов и городских округов также должны быть утверждены на срок не менее двадцати лет, их возможно изменять в течении этого периода действия.

Документ территориального планирования состоит из двух главных компонентов – положения территориального планирования и карты, которая демонстрирует планируемое расположение объектов. Кроме того,

схемы территориального планирования дополняются доказательным материалом в виде текстовых и графических данных. Процесс территориального планирования включает в себя так же разработку градостроительных нормативов. Нормативы градостроительного проектирования – это расчетные показатели, определяющие минимальный уровень удовлетворения потребностей населения.

Нормативы также устанавливают максимально допустимые расстояния, с которых население должно иметь доступ к необходимым объектам, что обеспечивает приемлемые условия жизни жителей РФ. Значения нормативов включает в себя широкий спектр факторов и показателей.

Территориальное планирование следует рассматривать как механизм обеспечения эффективного и устойчивого социально-экономического развития территории путем последовательного обновления пространственной конфигурации конкретной территории на основе сложившихся демографических, экономических, социальных, культурных и иных общественно значимых связей.

Территориальное планирование является важным компонентом управления территорией с точки зрения создания благоприятной среды для населения. Такая среда включает в себя экологическую безопасность, занятость и социальную инфраструктуру, а также обустроенные места для отдыха. Без территориального планирования этот процесс не сможет осуществляться эффективно. Территориальные планы являются основой для формулирования стратегий регионального развития, а так же являются индикатором последствий бесхозяйственности и могут указывать на необходимость уточнения или изменения стратегического направления развития территории. Так же ТП является постоянным способом мониторинга и контроля социально-экономического развития и предупреждает возникновение опасных территориальных дисбалансов в региональной экономике.

Схемы территориального планирования также создают возможность для оптимизации использования земельных ресурсов и благоустройства городских территорий. Одним из главных преимуществ данного вида документации является то, что она обладает законодательной силой и официально утверждается на уровне государства. Это гарантирует выполнение норм и требований, установленных в схемах территориального планирования, и обеспечивает единый подход в решении градостроительных вопросов. Таким образом, схемы территориального планирования являются важными инструментами для определения стратегии развития территории, управления градостроительными процессами и создания благоприятных условий для жизни и деятельности населения. Кроме того, схема должна учитывать связи и взаимодействия между регионами и соответствовать национальным стратегиям и целям развития.

Для составления схемы территориального планирования субъекта РФ требуется специально разработанные карты для конкретной территории, на

которую направлено регулирование. Эти карты содержат информацию о границах муниципальных образований городских округов, муниципальных районов и поселений, а также о капитальных объектах, территориях и зонах, которые оказывают влияние на определение планируемого размещения объектов регионального значения. Карты представляют необходимый инструмент для достижения целей планирования, обеспечивая объективную информацию о территории, ее особенностях и потенциале развития. На стадии территориального планирования используется карты с масштабом от 1:100 000 до 1:500 000, в зависимости от области применения и размера территории. Особое внимание уделяется информационным блокам, содержащим информацию о современном состоянии ландшафта территории, включая данные о природной структуре ландшафта, его характере и степени нарушений, вызванных различными видами хозяйственной деятельности и фактическим землепользованием.

Основной целью проектного решения по территориальному планированию является усиление его положительных черт и компенсация отрицательных.

Важно отметить, что территориальное планирование должно быть уникальным для каждой территории, учитывая ее специфику, потребности и потенциал. Кроме того, планирование должно проводиться в тесном взаимодействии с населением, экспертами и заинтересованными сторонами, чтобы обеспечить максимальную открытость и прозрачность процесса.

Только таким образом можно создать благоприятные условия для устойчивого развития территории и обеспечения качества жизни населения. Пространственный план должен определить, какие действия можно осуществить в настоящее время, а какие – в будущем, чтобы достичь поставленных целей. Документ территориального планирования должен служить основой для выбора полезных действий на этапе подготовки, а также быть результатом выбора полезных действий в качестве утвержденного документа, исключая действия, которые могут ухудшить состояние территории в будущем.

Библиографические ссылки

1. *Груздев В. М.* Территориальное планирование. Теоретические аспекты и методология пространственной организации территории : учеб. пос. для вузов Н. Новгород: ННГАСУ, 2014. 146 с.

2. Территориальное планирование как основа управления развитием территорий : учеб. пособие / О. В. Тараканов, Н. А. Киселева, М. С. Акимова; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю. П. Скачкова. Пенза : ПГУАС, 2014. 124 с.

ПОСТРОЕНИЕ ГИС-КАРТЫ ДЛЯ УКАЗАНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СКВАЖИН ПРОЕКТА «ГРЕНЛАНДСКИЙ ЛЕДЯНОЙ ЩИТ» (GISP)

Д. М. Фролов

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Ленинские горы, 1, 119991, г. Москва, Россия, frolov@geogr.msu.ru*

В работе была поставлена задача построения ГИС-карты для указания местоположения скважин проекта «Гренландский ледяной щит» (GISP). В результате была построена такая ГИС-карта для указания местоположения скважин проекта «Гренландский ледяной щит» (GISP) для проведения корреляции с соляной геохронологией.

Ключевые слова: GIS-карта; местоположение скважин; проект «Гренландский ледяной щит» (GISP).

COMPILING A GIS MAP TO INDICATE THE LOCATION OF WELLS OF THE GREENLAND ICE SHEET PROJECT (GISP)

D. M. Frolov

*Lomonosov Moscow State University, Leninskie gory, 1,
119991, Moscow, Russia, frolov@geogr.msu.ru*

In the work, the task was set to compile a GIS map to indicate the location of wells of the Greenland Ice Sheet project (GISP). As a result, such a GIS map was compiled to indicate the location of wells of the Greenland Ice Sheet Project (GISP) to correlate with solar geochronology.

Keywords: GIS map; location of wells; Greenland Ice Sheet Project (GISP).

В работе была поставлена задача построения ГИС-карты для указания местоположения скважин проекта «Гренландский ледяной щит» (GISP) [1-16] для проведения корреляции с соляной геохронологией. GISP финансировался Национальным научным фондом (NSF) и был признан основной научной инициативой NSF в Арктике в конце 1970-х и начале 1980-х годов. GISP был десятилетним проектом, в котором участвовали ученые и финансирующие организации из Дании, Швейцарии и Соединенных Штатов. Помимо NSF, финансирование было предоставлено Швейцарским национальным научным фондом и Датской комиссией по научным исследованиям в Гренландии.

Предварительные полевые работы по GISP начались в 1971 году на месторождении Dye 3, где был извлечен керн глубиной 372 м и диаметром 10,2 см. После этого были проведены ежегодные полевые экспедиции для бурения кернов средней глубины в различных местах ледникового покрова (см. таблицу ниже). В 1974 году на станции Milcent был получен керн глубиной 398 м, а на станции Crete – керн глубиной 405 м. После решения различных логистических и инженерных проблем, связанных с разработкой более совершенной буровой установки, летом 1979 года началось бурение коренных пород на Dye 3. В первый год была пробурена скважина диаметром 18 см и обсажена на глубину 80 м. Отбор керна продолжался еще два сезона, и 10 августа 1981 года коренная порода была обнаружена на глубине 2037 м.

Результаты, полученные с помощью GISP, внесли значительный вклад в интерпретацию истории Гренландского ледникового щита, климатической истории Земли и продемонстрировали важность климатических данных, хранящихся в ледяных щитах.

Описание исследуемых скважин

Год	Местоположение	Координаты	Тип бурения	Диаметр, см	Глубина, м
1971	Dye 3	65 deg. 11 min. N, 43 deg. 49 min. W	Thermal (US)	10,2	372
1972	North Site	75 deg. 46 min. N, 42 deg. 27 min. W	SIPRE (US)	7,6	15
	Crete	71 deg. 07 min. N, 37 deg. 19 min. W	SIPRE (US)	7,6	15
1973	Milcent	70 deg. 18 min. N, 45 deg. 35 min. W	Thermal (US)	12,4	398
	Dye 2	66 deg. 23 min. N, 46 deg. 11 min. W	Shallow (Swiss)	7,6	50
1974	Crete	71 deg. 07 min. N, 37 deg. 19 min. W	Thermal (US)	12,4	405
	Dye 2	66 deg. 23 min. N, 46 deg. 11 min. W	Shallow (US)	10,2	101
	Summit	71 deg. 17 min. N, 37 deg. 56 min. W	Shallow (Swiss)	7,6	31

Окончание таблицы

Год	Местоположение	Координаты	Тип бурения	Диаметр, см	Глубина, м
1975	Dye 3	65 deg. 11 min. N, 43 deg. 49 min. W	Shallow (Swiss)	7,6	95
	South Dome	63 deg. 33 min. N, 44 deg. 36 min. W	Shallow (Swiss)	7,6	80
	H. Tausen	82 deg. 30 min. N, 38 deg. 20 min. W	Shallow (Swiss)	7,6	60
1976	Dye 3	65 deg. 11 min. N, 43 deg. 49 min. W	Wireline (US)	10,2	93
	H. Tausen	82 deg. 30 min. N, 38 deg. 20 min. W	Shallow (Dane)	7,6	50
1977	Cp. Century	77 deg. 10 min. N, 61 deg. 08 min. W	Shallow (Dane)	7,6	100
	Dye 2	66 deg. 23 min. N, 46 deg. 11 min. W	Shallow (US)	7,6	84
	N. Central	74 deg. 37 min. N, 39 deg. 36 min. W	Shallow (Dane)	7,6	100
	Camp III	69 deg. 43 min. N, 50 deg. 08 min. W	Shallow (Swiss)	7,6	49
1978	Dye 3	65 deg. 11 min. N, 43 deg. 49 min. W	Shallow (US)	10,2	90
	Camp III	69 deg. 43 min. N, 50 deg. 08 min. W	Shallow (Swiss)	7,6	80
1979	Dye 3	65 deg. 11 min. N, 43 deg. 49 min. W	Thermal (US)		80
	Dye 3	65 deg. 11 min. N, 43 deg. 49 min. W	Elec.mech. (Dane)	10,2	80-225
1980	Dye 3	65 deg. 11 min. N, 43 deg. 49 min. W	Elec.mech. (Dane)	10,2	225-901
1981	Dye 3	65 deg. 11 min. N, 43 deg. 49 min. W	Elec.mech. (Dane)	10,2	901-2037



ГИС-карта для указания местоположения скважин проекта
«Гренландский ледяной щит» (GISP) для проведения корреляции
с соляной геохронологией

Работа была выполнена в соответствии с госбюджетными темами Географического факультета МГУ «Опасность и риск природных процессов и явлений» (121051300175-4) и «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» (121051100164-0).

Библиографические ссылки

1. Paleoclimatology [Electronic resource] // NOAA : site. URL: <https://www.ncsl.noaa.gov/products/paleoclimatology> (date of access: 01.11.2024).
2. Fisher D. A., Koerner R. M., Reeh N. Holocene Climatic Records from Agassiz Ice Cap, Ellesmere Island, NWT, Canada // *The Holocene*. 1995. Vol. 5, No. 1. P. 19–24.
3. Fisher D. A., Koerner R. M. Signal and Noise in Four Ice-Core Records from the Agassiz Ice Cap, Ellesmere Island, Canada: Details of the Last Millennium for stable isotopes, melt and solid conductivity // *The Holocene*. 1994. Vol. 4, No. 1. P. 113–120.
4. Fisher D. A. A study of two O-18 records from Devon Ice cap, Canada, and comparison of them to Camp Century O-18 record. Greenland, Ph.D. thesis, Univ. of Copenhagen, 1976. 278 p.
5. Fisher D. A., Koerner R. M. Some aspects of climatic change in the High Arctic during the Holocene as deduced from ice cores // Abstracts. Quaternary Climatic Change Symposium. York University, Toronto, 1979. Quaternary Paleoclimate ; W.C. Mahaney, ed. GeoAbstracts, 1980. P. 349–371.
6. Fisher D.A. Comparison of 100,000 years of oxygen isotope and insoluble impurity profiles from the Devon Island and Camp Century ice cores // *Quaternary Research*. 1979. No. 11. P. 299–304.
7. Fisher D. A., Koerner R. M., Paterson W. S. B. Effect of wind scouring on climatic records from icecore oxygen isotope profiles // *Nature*. 1983. No. 301. P. 205–209.

8. *Dansgaard W., Johnsen S. J., Moller J.* One thousand centuries of climatic record from Camp Century on the Greenland ice sheet // *Science*. 1969. No. 166. P. 377–381.
9. *Hansen L. B., and Langway C. C. Jr.* Deep core drilling in ice and core analysis at Camp Century, Greenland, 1961–1966 // *CRREL Spec. Report* 126. 1966. No. 5. P. 207–208.
10. *Johnsen, S. J., Dansgaard W., Clausen H. B.* Climatic oscillations 1200–2000 A.D. // *Nature*. 1970. No. 227. P. 482–483.
11. *Johnsen, S. J., Dansgaard W., Clausen H. B.* Oxygen isotope profiles through the Antarctic and Greenland ice sheets // *Nature*. 1972. No. 235. P. 429–434.
12. *Langway C. C. Jr., Oeschger H., Dansgaard W.* Greenland ice core: geophysics, geochemistry, and the environment // *Geophysical monograph*, 33. Washington, D.C., American Geophysical Union, 1985. 118 p.
13. *Clausen H. B., Gundestrup N. S., Johnsen S. J.* Glaciological investigations in the Crete area, Central Greenland: A search for a new deep-drilling site // *Annals of Glaciology*. 1988. No. 10. P. 10–15.
14. *Dansgaard W., Johnsen S. J., Reeh N.* Climatic changes, Norsemen and modern man // *Nature*. 1975. No. 255. P. 24–28.

СОЗДАНИЕ WEB-АТЛАСА «ИЗУЧЕНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

П. Д. Ханкевич, А. Б. Кафтанчикова

*Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16,
220006, г. Минск, Беларусь*

В работе рассмотрены теория создания web-атласа «Изучение Земли из космоса» и процесс создания макета страниц данного картографического произведения. Установлены и изучены этапы создания web-карт, формирования web-атласа и требования к нему. Осуществлён процесс разработки списка карт в атласе. Проведено описание работы по созданию макета страниц и компоновки карт.

Ключевые слова: web-атлас; география; карта; аэрокосмические снимки; атлас.

CREATION OF WEB-ATLAS "STUDY OF THE EARTH FROM SPACE"

P. D. Khankevich, A. B. Kaftanchikova

Belarusian State University, Leningradskaya St., 16, 220006, Minsk, Belarus

The paper deals with the theory of creating web-atlas "Studying the Earth from Space" and the process of creating the page layout of this cartographic work. The stages of web-maps creation, web-atlas formation and requirements to it are established and studied. The process of developing the list of maps in the atlas has been realized. The description of the work of creating the layout of pages and the layout of maps is carried out.

Keywords: web-atlas; geography; map; aerospace images; atlas.

Разработка макета компоновки – это процесс создания плана, определяющего расположение элементов на странице веб-атласа. Цель – оптимальное распределение информации и графических компонентов для удобства восприятия. Начинается с выделения ключевых элементов, таких как заголовки, навигация и текстовый контент

Затем разрабатывается структура страницы, обеспечивающая логичное и последовательное взаимодействие компонентов. Важным аспектом является создание интуитивно понятного интерфейса, который упрощает поиск информации. Это может включать разделение на секции, использование табов и выпадающих списков, а также привлекательные интерфейсные элементы.

При проектировании необходимо учитывать адаптивность для разных устройств, включая мобильные гаджеты и ПК, с применением медиазапросов и адаптивного дизайна. Также важен внешний вид: дизайн должен быть современным и соответствовать стилю платформы, включая выбор цветов, шрифтов и графики.

Таким образом, разработка макета веб-страницы определяет её визуальное и структурное оформление, что влияет на удобство использования и восприятие информации пользователем. Определение масштабных рядов, т.е. выделение групп масштабов для создания карт, является важной задачей проектирования математической основы атласа. Масштабы аэрокосмических снимков могут значительно различаться в зависимости от типа средства наблюдения и цели съёмки. Вот несколько распространённых масштабов:

1. Масштаб мира: Снимки, полученные с помощью спутников, могут представлять всю поверхность Земли. Например, масштаб может быть 1:100 000 000, что означает, что 1 см на карте соответствует 1 000 000 м в реальности.

2. Региональные масштабы: Аэрокосмические снимки могут охватывать города, области или регионы с масштабом от 1:5 000 до 1:50 000, где 1 см на карте соответствует 50 000 см в реальности.

3. Детальные масштабы: для получения подробных снимков конкретных объектов или территорий масштаб может быть от 1:500 до 1:5 000 или выше, показывая детали.

В разработанных макетах для веб-атласа, предназначенного для учебных заведений, должны быть представлены снимки и карты различных масштабов. Это необходимо для большей детализации объектов (например, космические снимки в масштабе 1:1 000 000-1:10 000 000 помогут распознать территорию: реки, озёра, дороги), а также для сравнения снимков, что может быть дополнительным заданием. Что касается карт, дополняющих аэрокосмические снимки, их масштаб зависит от назначения. Мелкомасштабная карта подойдёт для сравнения с снимком и может быть использована в качестве дополнительного задания.

Компоновка карт атласа — это процесс организации и распределения карт на страницах атласа с целью создания логической и эстетически приятной структуры. Он включает размещение отдельных аэрокосмических снимков, карт, их сопровождающих элементов и другой дополнительной информации на странице (рис. 1).



Рис. 1. Пример компоновки карты атласа в разделе «Содержание»

При компоновке карт атласа будут учитываться следующие аспекты:

1. Цель атласа: данный атлас создаётся для повышения научно-методического уровня преподавания географии, повышения интереса и знаний школьников в изучении географии.

2. Организация контента: атлас будет состоять из отдельных блоков. Каждый блок подразделяется на разделы в зависимости от тематики блока. Компоновка блоков будет разработана в соответствии с программой по учебному предмету «география» для общеобразовательных школ 2024–2025 годов.

3. Масштаб и размеры: для удобного использования и наглядности всех объектов предлагается размещать 1-2 крупных аэрофотоснимков на странице и дополнительный картографический материал либо в подходящем размере, либо используя электронные источники (ссылки, QR-коды) (рис. 2).

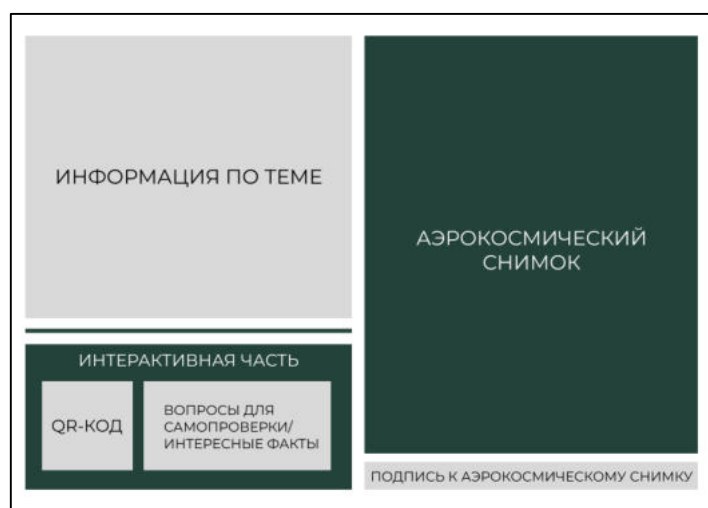


Рис. 2. Пример расположения одного аэрокосмического снимка на странице атласа

4. Баланс и пропорции: на ряду с основным текстом и изображениями, картами немаловажно разместить все элементы страницы в удобном порядке.

Руководствуясь правилами F- и Z-паттернов и диаграммой Гутенберга (рис. 3), наиболее логичным будет разместить главные элементы страницы в областях первичной зрительной области и области с высоким потенциалом.



Рис. 3. Система чтения по паттернам и диаграмме Гутенберга

Паттерны же помогают нам понять направление зрения и обработки информации человеком, что помогает нам размещать текст и иллюстрации в наиболее выигрышном положении.

Установление соответствующих отступов и полей, в свою очередь, создаёт эстетически приятный вид.

5. Расположение дополнительных элементов: помимо основных иллюстраций важное место занимают название, легенда, дополнительный текст и интерактивные источники. Все элементы должны быть связаны между собой и обеспечивать удобство использования. Часть дополнительных заданий, вопросов и интерактивная часть размещены в заключительной части страницы и отделены от основной части текста — всё это сделано для лёгкого ориентирования между основной и дополнительными частями информации.

6. Цветовая схема и типографика: в качестве основного цвета макета был выбран зелёный цвет (рис. 4) и его оттенки (на основе социального опроса было выявлено, что география у большинства людей ассоциируется с зелёным цветом, так как если генерализировать земной шар и территорию распределения всего живого на нём, выделяется зелёный цвет). Так же данный цвет, с психологической точки зрения, успокаивает смотрящего и настраивает на продуктивную работу, что станет хорошим дополнением в изучении данного атласа.

Выбор шрифтов (рис. 5) также основывается на восприимчивости человеческого глаза. Так как текст должен быть легко читаем, то на страницах он представлен в разном размере (рис. 6) и начертании, однако стилистика шрифта соблюдается одинаковая, для удобства и создания единой концепции текста.

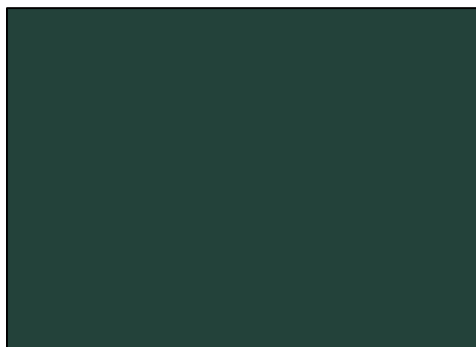


Рис. 4. Основной выбранный цвет для дизайна макета атласа

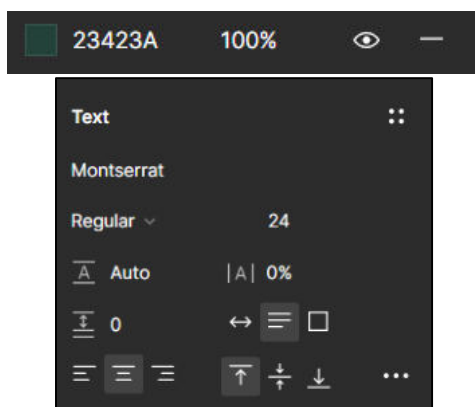


Рис. 5. Шрифт, используемый в макете атласа



Рис. 6. Пример использования выбранного шрифта в макете

Математические принципы, лежащие в основе создания и исследования WEB-карт, играют ключевую роль в их разработке и анализе. Эти принципы включают важные элементы:

Процесс проекции карты преобразует трёхмерную реальность земной поверхности в двумерную плоскость. Существует множество проекций, каждая с собственными особенностями: некоторые сохраняют форму географических объектов (равноугольные проекции), другие — площади. Выбор проекции зависит от задач картографического изображения и требований проекта.

Системы координат определяют местоположение объектов на карте. Широко распространены географические координаты широты и долготы

для глобального позиционирования, а для более точных измерений используются проекционные координаты, выраженные в метрических единицах.

Геодезические формулы вычисляют расстояния, направления и другие параметры между точками, учитывая изгибы Земли для точных геопространственных расчётов.

В процессе работы с картографическими данными в онлайн-атласе применяются методы, такие как геокодирование и анализ путей, что делает использование WEB-атласа функциональным и удобным.

Чтобы представить информацию о местоположении, важно учитывать выбор проекции карты, систему координат и геодезические расчёты, что подчёркивает значимость математической точности и осмысления пространственных данных. Эти элементы позволяют разработчикам создавать WEB-атласы, которые не только привлекают внимание, но и служат полезным инструментом для пользователей. Оптимальная математическая основа гарантирует точность представления объектов на карте и геоинформационные расчёты, делая WEB-атласы надёжным инструментом для навигации, обработки геоданных, анализа и пространственного моделирования.

Система условных знаков карт атласа представляет собой набор символов и обозначений, используемых для передачи информации о различных объектах и явлениях на географических и тематических картах. Эти символы помогают читателю карты легко и быстро интерпретировать представленные данные.

Существует несколько методов классификации условных знаков в картографии, но обычно они группируются по типам или категориям объектов. Вот несколько примеров часто используемых условных знаков на картах атласа:

1. Гидрографические объекты: реки, озера, моря, заливы. Они могут быть обозначены линиями различной толщины и цвета.

2. Горы и рельеф: горные хребты, пики, плато. Здесь используются символы, показывающие контуры и высоту горных объектов.

3. Населённые пункты: города, деревни, посёлки. Обычно они отмечены точками разного размера в зависимости от важности населённого пункта.

4. Транспортная инфраструктура: дороги, железные дороги, аэропорты. Здесь используются различные типы линий и символов для показа разных видов транспорта.

5. Границы и политические объекты: государственные границы, регионы, административные единицы. Эти знаки часто обозначаются линиями разных типов и цветов.

6. Тематические объекты: природные заповедники, туристические места, исторические памятники, музеи и т.д. Здесь используются специальные символы, отражающие конкретные объекты или их характеристики.

Каждый атлас может иметь свою систему условных знаков, которая может немного отличаться от других атласов. Поэтому важно ознакомиться с легендой и описанием условных знаков для каждого конкретного атласа, чтобы правильно интерпретировать представленные на карте данные.

Оформление карт атласа — это процесс создания эстетически привлекательного и информативного продукта, который сочетает несколько карт на одной странице или в одной книге. Этот процесс включает важные этапы, такие как дизайн страниц, расположение карт, выбор шрифтов и цветовой гаммы, создание легенды и подписей.

Ниже приведены ключевые аспекты оформления карт атласа:

1. Дизайн страниц: включает создание единого дизайна для всех страниц атласа. Разработка согласованного стиля, который облегчает чтение и восприятие информации на карте (рис. 7). Важно логически разместить заголовки, легенду, подписи и другие элементы дизайна, чтобы они не мешали восприятию данных.

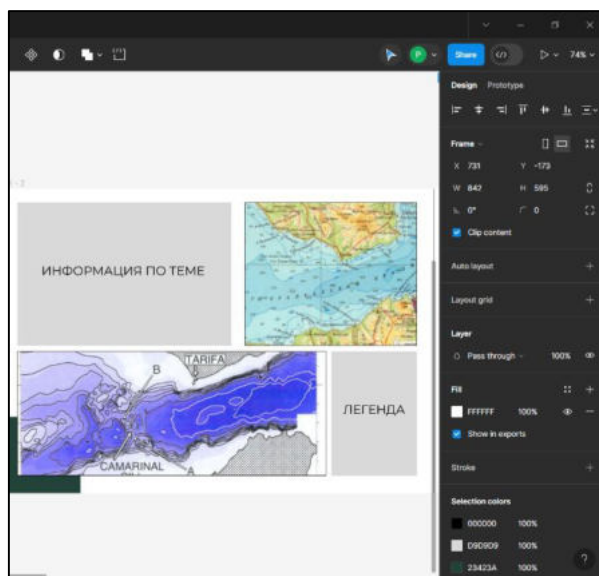


Рис. 7. Пример размещения дополнительной информации на странице атласа

2. Расположение карт: выбор удобного и логичного расположения карт на странице атласа. Рассматривается возможность размещения нескольких карт на одной странице для увеличения информации и сокращения количества страниц. Организация карт должна быть доступной и не создавать путаницы для читателя.

3. Выбор шрифтов и цветовой гаммы: использование читаемых шрифтов для заголовков, подписей, легенды и текстовых блоков. Размер и стиль шрифта должны обеспечивать удобное чтение на разных масштабах. Определение согласованной и эстетически приятной цветовой гаммы.

4. Создание легенды и подписей: каждая карта должна иметь легенду, объясняющую условные знаки и обозначения. Легенда должна быть понятной и легко воспринимаемой. Подписи к ключевым объектам обеспечивают полную информацию на картах.

5. Уровни детализации карт: определение уровней детализации для различных масштабов карт. Некоторые карты могут показывать общую информацию, в то время как другие — более детализированные данные о специфических областях.

Оформление карт атласа — это сложный и творческий процесс, требующий внимания к деталям и понимания потребностей пользователей. Следуя принципам хорошего дизайна и учитывая функциональные и эстетические аспекты, можно создать информативные и привлекательные карты для широкой аудитории.

Библиографические ссылки

1. Zagrebin G. I., Krylov S. A. The definition of scale series for atlas maps depending on the density of mapped objects. Abstr. Int. Cartogr. Assoc., 2019. 423 p.
2. Lobben K., Patton D. K. Design Guidelines for Digital Atlases. Michigan, Cartographic perspectives, 2003. 12 p.
3. Берлянт А. М. Картография. М. : Аспект-Пресс, 2002. 336 с.
4. Билич Ю. С., Васмут А. С. Проектирование и составление карт : учебник для вузов. М. : Недра, 1984. 364 с.
5. Востокова А. В., Кошель С. М., Ушакова Л. А. Оформление карт. Компьютерный дизайн : учебник / под ред. А. В. Востоковой. М. : Аспект Пресс, 2002. 288с.
6. Загребин Г. И. Разработка теоретических основ и методологии автоматизированного создания атласных структур. М. : МИИГАиК, 2019. 229 с.
7. Копелевич О. В., Вазюля С. В., Салинг И. В. Электронный атлас «Биооптические характеристики морей России по данным спутниковых сканеров цвета 1998–2014 гг.». М. : Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, 2015. 12 с.
8. Лисицкий Д. Н. Геоинформатика. Новосибирск : Изд-во СПГУ, 2012. 115 с.
9. Салищев К. А. Картоведение. М. : Изд-во МГУ, 1990. 408 с.

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ И ГИС-КАРТОГРАФИРОВАНИЕ УЛИЧНЫХ ПЛОЩАДОК СЕТИ КАФЕ (НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА БРЕСТА)

З. И. Хрипунова¹⁾, С. М. Токарчук²⁾

¹⁾Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, бул. Космонавтов, 21, 224016, г. Брест, Беларусь, zlatakhripunova@gmail.com

²⁾Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, бул. Космонавтов, 21, 224016, г. Брест, Беларусь, svetlana.m.tokarchuk@mail.ru

В работе приведены возможности использования облачной платформы картографирования ArcGIS Online для изучения основных характеристик и особенностей размещения уличных площадок кафе в пределах центральной части города Бреста. Для инвентаризации уличных площадок использовались мобильные программы для сбора полевых данных. ГИС-картографирование рассматривается на примере использования редактора легенды.

Ключевые слова: город; Брест; кафе; уличные площадки; инвентаризация; ГИС-картографирование; редактор легенды.

INVENTORY AND GIS MAPPING OF STREET AREAS OF A CAFE CHAIN (BASED ON THE EXAMPLE OF THE CENTRAL PART OF BREST CITY)

Z. I. Khripunova¹⁾, S. M. Tokarchuk²⁾

¹⁾A. S. Pushkin Brest State University, 21, Cosmonauts Blvd, 224016, Brest, Belarus, zlatakhripunova@gmail.com;

²⁾A. S. Pushkin Brest State University, 21, Cosmonauts Blvd, 224016, Brest, Belarus, svetlana.m.tokarchuk@mail.ru

The paper presents the possibilities of using the ArcGIS Online cloud mapping platform to study the main characteristics and features of the placement of outdoor cafes within the central part of the city of Brest. Mobile software was used to collect field data to inventory outdoor spaces. GIS mapping is discussed using the legend editor as an example.

Keywords: city; Brest; cafe; street areas; inventory; GIS mapping; legend editor.

Заведения общественного питания становятся всё более значимой темой для исследований благодаря их важному социальному значению, заключающемуся в удовлетворении потребностей людей в питании и общении [1, 2]. При этом уличным площадкам заведений общественного питания уделяется меньше внимания. Таким образом, в настоящей работе представлен опыт инвентаризации и ГИС-картографирования данных об

основных характеристиках уличных площадок сети кафе в пределах центральной части города Бреста. Работа выполнена с использованием мобильной формы для сбора полевых данных и конструктора легенды облачной платформы картографирования ArcGIS Online. Исследование проводилось в несколько этапов с применением ГИС-технологий.

Этап 1. Составление базы данных уличных площадок сети кафе, располагающихся в центре города на основании интернет-источников. Проведение полевого этапа исследования. Составление интерактивной картографической базы данных.

На первом этапе исследования были изучены данные об общем списке кафе, располагающиеся в открытых интернет-источниках, в частности в мобильных приложениях «Google карты» и «Яндекс карты».

Согласно собранным данным, в центральной части города Бреста располагается 55 кафе. На основании полевых исследований был подкорректирован список существующих на настоящий момент кафе, а также выявлено, что уличными площадками обладают 34 заведения.

При проведении полевого этапа исследования использовалась программа для сбора полевых данных *Survey 123*. С использованием этого приложения была создана анкета (рис. 1), которая заполнялась непосредственно во время сбора данных.

Рис. 1. Фрагмент мобильной анкеты

В результате заполнения мобильной анкеты автоматически была сформирована карта размещения исследуемых уличных площадок в пределах центральной части города Бреста с привязанной к ней таблицей – базой данных (рис. 2).

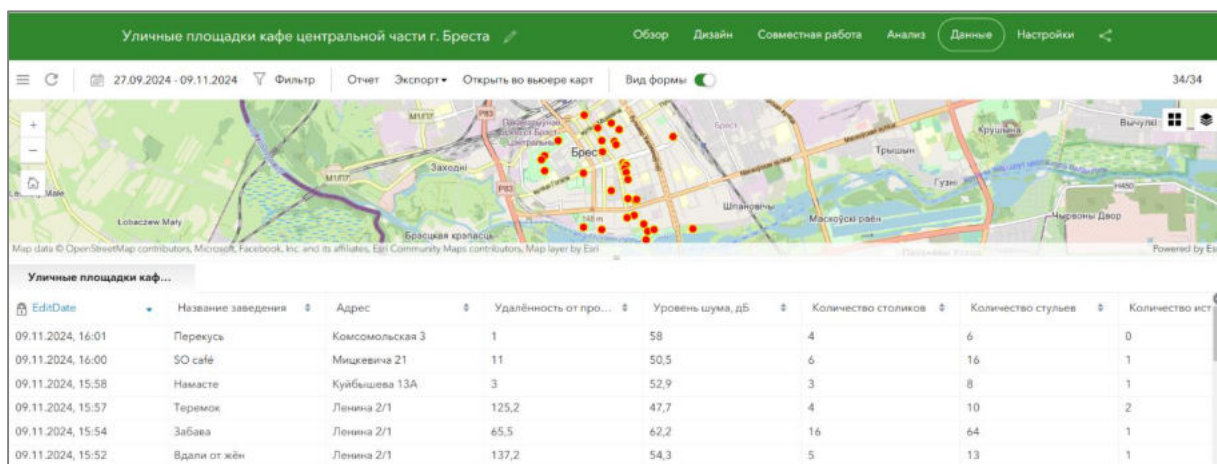


Рис. 2. Интерактивная база данных «Уличные площадки кафе центральной части г. Бреста»

Этап 2. Оцифровка границ центральной части города Бреста. Анализ особенностей размещения уличных площадок кафе.

На сформированной на первом этапе исследования карте размещения уличных площадок кафе центральной части Бреста была оцифрована граница части микрорайона «Центр» (рис. 3). При этом в ходе исследования было выяснено, что исследуемые кафе сконцентрированы только в определённой области микрорайона, в связи с чем была оцифрована только граница данной его части.



Рис. 3. Размещение уличных площадок кафе в центральной части города Бреста

С использованием представленной базы данных, а также возможностей мобильного приложения *Survey 123* была реализована серия тематических диаграмм и картосхем, которые отображают особенности уличных

площадок кафе микрорайона. Также для всех интерактивных карт было настроено всплывающее окно, названия слоев и легенды, карта-подложка *Openstreetmap* с большой степенью прозрачности, для отдельных карт также настроены подписи.

Дополнительно при проведении полевого исследования были сделаны фотографии изученных площадок, которые могут использоваться для дальнейших аналитических и описательных исследований (рис. 4).

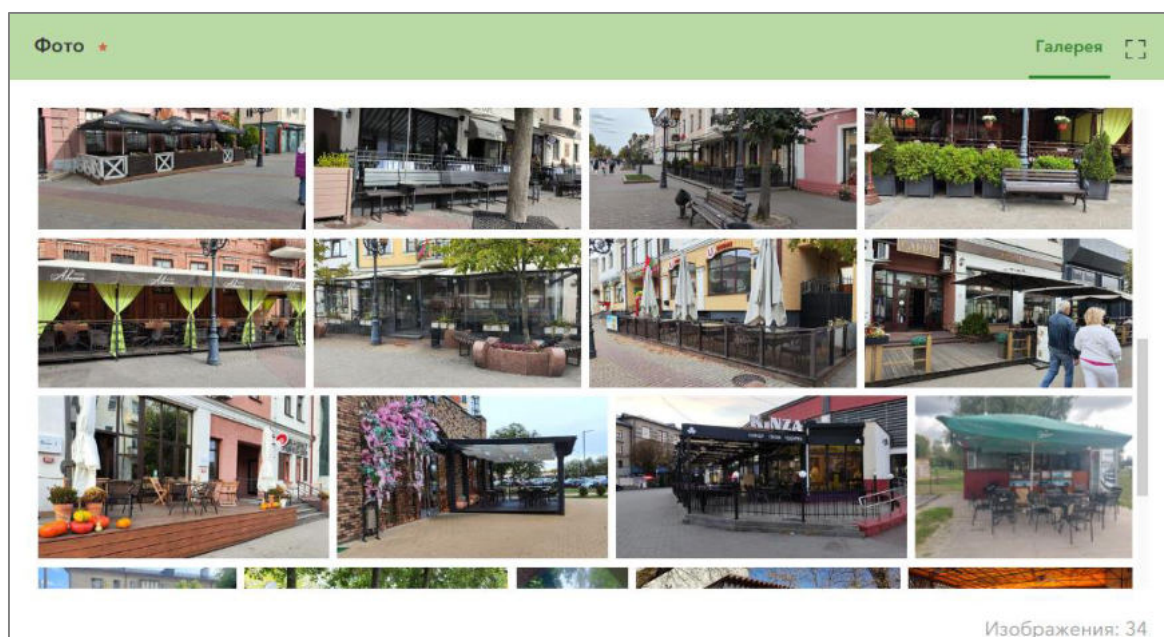


Рис. 4. Галерея фотографий площадок

Этап 3. Создание тематических веб-карт с использованием редактора легенды.

Геоинформационное содержание созданной картографической базы данных заключается в разных формах собранной информации. В частности, информация представлена в виде числовых и символьных полей, полей «рейтинг», картографического поля «местоположение» и т. д.

В результате на основании созданной картографической базы данных были выполнены серии интерактивных карт с использованием различных типов легенды картографического выювера Map Viewer ArcGIS Online для точечных объектов. Методика использования редактора легенды для создания тематических карт точечных объектов описана в [3].

С использованием типа легенды «Карта интенсивности» была создана условная карта «Плотность размещения уличных площадок кафе» (рис. 5). Карты интенсивности используются при картографировании местоположений точечных объектов, однако только при условии достаточно большого количества объектов на карте. Такие карты используют своеобразную «горящую» цветовую линейку, где наибольшие скопления точек

могут отражаться как наиболее темным, так и светлым цветом, и являются достаточно эффектными.

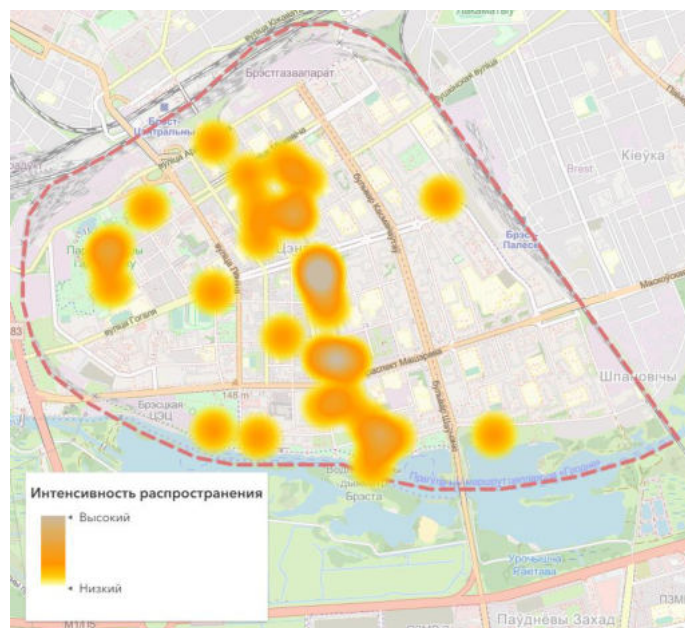


Рис. 5. Интенсивность размещения уличных площадок кафе

С использованием типа легенды «Числа и количества: цвет (Градуйрованные цвета)» была построена карта «Количество деревьев» (рис. 6). Для создания данной карты использовался специальный векторный маркер «ель». Данный маркер в зависимости от количества деревьев в пределах уличной площадки был окрашен в разные оттенки зеленого цвета, для контура использовался коричневый цвет. Следует обратить внимание, что символ, отображающий площадки, в пределах которых деревья отсутствуют, не только создан с использованием серого фона, но и контур этого значка утолщённый, что подчеркивает и выделяет данные площадки на карте.

С использованием типа легенды «Числа и количества: размер (Градуйрованные символы)» была построена карта «Удаленность уличных площадок от дороги». Созданная таким образом карта с пропорциональными символами использует интуитивно-понятную логику, основанную на том, что чем больше символ – тем больше значение. Следует отметить, что редактор легенды Map Viewer ArcGIS Online дает возможность использовать самые разные градуированные символы (в виде кружков, квадратов, ромбов, пунсонов, смайлов и др.). Таким образом, для данной карты, с учетом ее содержания был выбран символ «боковая стрелка» (рис. 7).

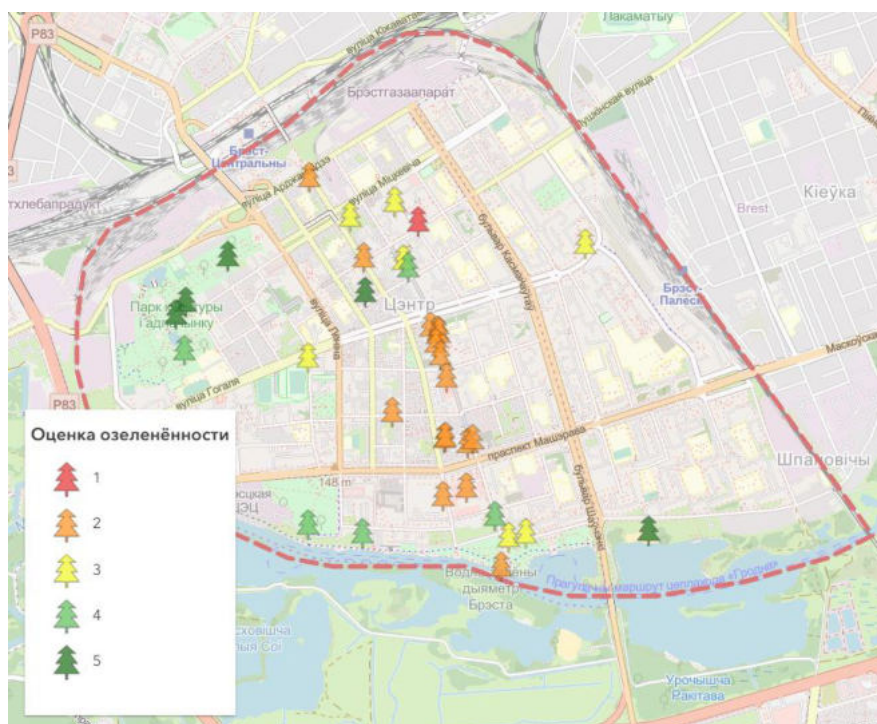


Рис. 6. Количество деревьев в пределах уличных площадок кафе

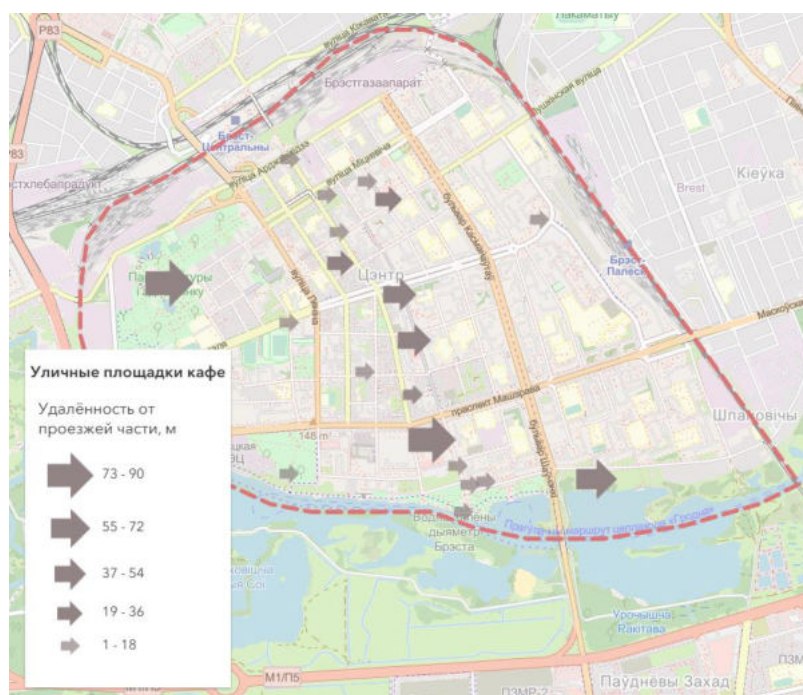


Рис. 7. Удаленность уличных площадок от проезжей части

С использованием типа легенды «Типы (Уникальный символ)» была создана веб-карта «Уровень шума в пределах уличных площадок» (рис. 8) на основании двух значений (ниже ПДК и выше ПДК). Веб-карта, отобра-

жающая данную характеристику, создана вручную с настройкой двух характеристик: в качестве маркера был выбран значок «смайлик», а в качестве цвета – зеленый и красный цвета. Таким образом, уличные площадки, в пределах которых уровень шума был ниже ПДК, отображались зеленым улыбающимся смайлом, а выше ПДК – красным грустным.

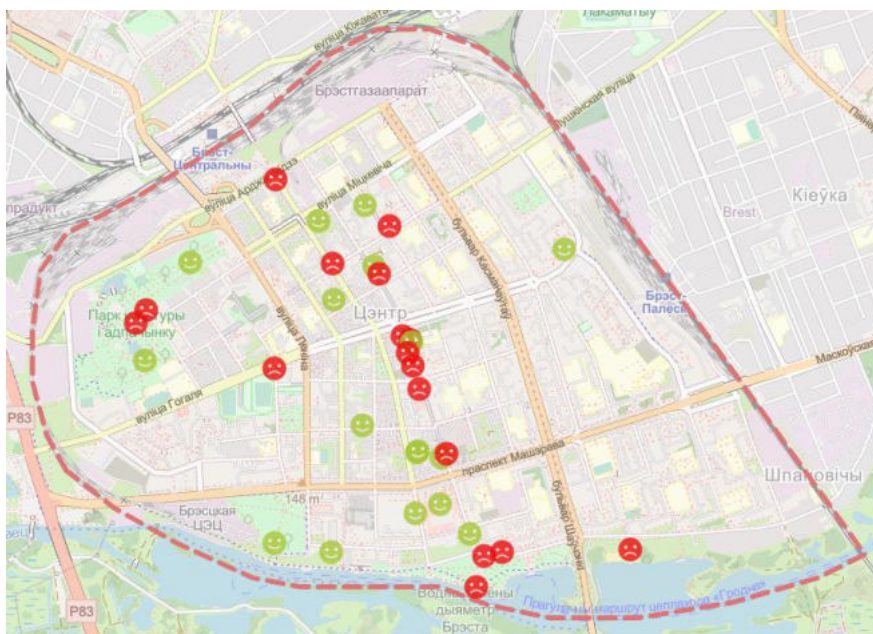


Рис. 8. Уровень шума в пределах уличных площадок

Таким образом, выполненная работа показывает возможности использования мобильных форм для сбора полевых данных и редактора легенды любой ГИС-программы для проведения аналитического исследования на примере изучения объектов общественного питания. Создание оценочных карт и картосхем позволяет производить их анализ и отмечать самые различные закономерности распространения городских объектов, а также их основные характеристики.

Библиографические ссылки

1. Пасынкова Ю. А., Янковская Ю. С. Типология градостроительного размещения объектов общественного питания // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. № 4. С. 76–80.
2. Тубол Т. П., Ковтун Т. П. Анализ дислокации сети предприятий общественного питания по городу Владивостоку // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. 2009. № 4. С. 49–57.
3. Токарчук С. М. Применение редактора легенды в целях ГИС-анализа качества городской среды (на примере изучения детских площадок центральной части города Бреста) // Вестник Псковского государственного университета. Серия : Естественные и физико-математические науки. 2024. Т. 17, № 1. С. 44–58.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗАРЕГУЛИРОВАННОСТИ СТОКА РЕКИ ЗАПАДНАЯ ДВИНА НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПО МАТЕРИАЛАМ ДЗЗ

А. В. Шкабара¹⁾, А. Б. Кафтанчикова²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
г. Минск, Беларусь, e-mail: anyarti.11@mail.ru

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
г. Минск, Беларусь, e-mail: abkaft@rambler.ru

В работе отражена зависимость количества и размеров островов, определяющих их формирование реки Западная Двина, а также влияния ГЭС на острова и сток реки.

Ключевые слова: сток реки; геоинформационные технологии; речной массив; русловые процессы.

ANALYSIS OF THE CONSEQUENCES OF FLOW REGULATION THE WESTERN DVINA RIVERS ON CHANNEL PROCESSES ACCORDING TO MATERIALS OF RES

A. V. Shkabara¹⁾, A. B. Kaftanchikova²⁾

¹⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, Minsk,
Belarus, e-mail: anyarti.11@mail.ru

²⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, Minsk,
Belarus, e-mail: abkaft@rambler.ru

The work reflects the dependence of the number and size of islands that define their banks of the Western Dvina River, as well as the influence of hydroelectric power stations on the islands and the river flow.

Keywords: river flow; geographic information technologies; river massif; riverbed processes.

Настоящая работа посвящена анализу зарегулирования стока реки на зависимость количества и размеров островов восточной части Балтийского моря реки Западная Двина в пределах территории Беларуси от реки Сосница вниз по течению под руководством старшего преподавателя кафедры геодезии и к космоаэрокартографии Кафтанчиковой А. Б.

Западная Двина берет свое начало из оз. Корякино на Валдайской возвышенности и пересекает территории трех государств – России, Беларуси и Лат-

вии. На территорию Беларуси приходится среднее течение реки, протяженность выработанной долины составляет примерно 328 км, площадь водосборного бассейна – 33,2 тыс. км².

Река Западная Двина – одна из наиболее значительных рек Беларуси, которая по водности уступает лишь Днепру. Вытекает из озера Корякино, в 14 километрах юго-западнее городского поселка Пено Тверской области (Россия), впадает в Рижский залив Балтийского моря у города Рига (Латвия).

Регулирование стока – искусственное целенаправленное перераспределение во времени речного стока в соответствии с требованиями потребления, который отражается в увеличении или уменьшении стока по сравнению с естественным режимом в определённые периоды.

Регулирование стока реки Западная Двина выполняется для управления водными ресурсами и предотвращения потенциальных негативных последствий, связанных с водными потоками. Построение Полоцкой и Витебской ГЭС помогает контролировать уровень воды в реке, предотвращать наводнения, особенно в районах с густонаселёнными территориями и сельскохозяйственными угодьями. Регулирование реки приводит к изменению уровня воды в реках, что влияет на форму и размер островов. Некоторые острова могут исчезнуть или, наоборот, появиться новые.

Острова – важнейший морфологический элемент разветвленного русла, определяющий рассредоточение потока по рукавам, особенности перестроения рукавов и всего русла в зависимости от их конфигурации, размеров и положения на реке. Отличаясь в этом отношении большим разнообразием, а также количеством и взаимным расположением, они характеризуют морфодинамический тип русла. В условиях свободного развития русловых деформаций, будучи аккумулятивными аллювиальными образованиями, и постоянно подвергаясь воздействию потока, острова постоянно изменяются, размываются, наращиваются, смещаются, объединяются, причленяются к береговой пойме, создавая, вместе с бывшими рукавами или протоками, обсохшими и заросшими, ее ложбинно-островной рельеф. При размыве островов со стороны оголовков в русло поступает значительное количество наносов, которые, аккумулируясь в их ухвостьях или рукавах ниже по течению, способствуют формированию перекатов. Возле островов возможно образование заторов льда во время ледохода, также оказывающих воздействие на развитие разветвлений.

Исследования островов представляют немалый интерес. Вследствие их небольшого размера, замкнутости территории, особенностей микроклимата и влияния ГЭС на островах создаются особые условия.

Образованию островов в реке способствуют:

- с одной стороны, увеличение её водности и ширины, поскольку в этом случае повышается вероятность возникновения в потоке нескольких динамических осей и зон между ними, где начинается накопление наносов;
- с другой стороны, заметное уменьшение транспортирующей способности — падение скоростей течения и уменьшение уклона потока, например при выходе реки из горного массива на равнину, при впадении реки в водоём и образовании дельты и т. д.

Как правило, образование острова в русле реки начинается с осерёдка. Осерёдок — наносное отложение в русле реки, не имеющее растительности и не примыкающее к берегу, которое во время высокого уровня воды затапливается, образуя мель, а в межень осыхает, превращаясь в невысокий остров. Со временем на осерёдке появляется растительность, препятствие для потока увеличивается, и он начинает ещё больше аккумулировать наносы в данном месте. Как и осерёдки, речные острова со временем подвержены смещению вниз по течению потока. О таком их свойстве писал ещё в 1857 году действительный член Петербургской академии наук К. М. Бэр на примере волжских островов.

Для сбора и анализа зависимость количества и размеров островов на участок от реки Сосница до Белорусско-Латвийской границе использовались данные с Белорусского космического аппарата. БКА оснащен панхроматической съёмочной системой, позволяющей получать черно-белые снимки с разрешением 2,1 м, и мультиспектральной съёмочной системой для получения снимков с разрешением 10,5 м в четырех спектральных диапазонах. Следующим этапом производилась векторизация островов реки Западная Двина. В качестве исходных данных были взяты панхроматические и мультиспектральные снимки территории бассейна реки Западная Двина, за 2014 и 2023 год разных периодов года.

Для начала исследования в ГИС Панорама создавалась пользовательская векторная карта масштаба 1:100000, как основа. Далее были добавлены космические снимки (рис. 1).

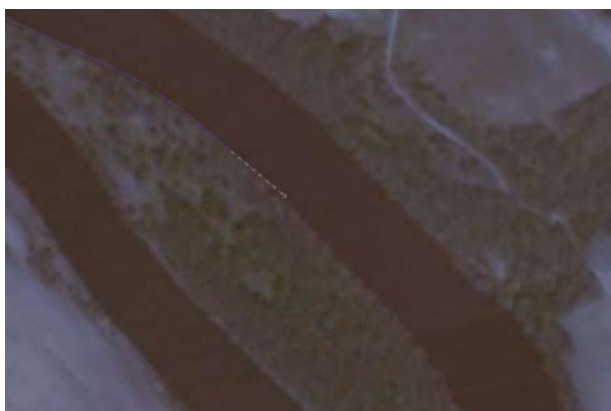


Рис. 1. Процесс векторизации островных массивов

Сравнивая островные массивы в период весеннего половодья 2014 года, было установлено, что остров был затоплен и разделен на две части, так как она оказалась ниже уровня воды. Также было выявлено, что островные массивы в период весеннего половодья были затоплены (рис. 2).

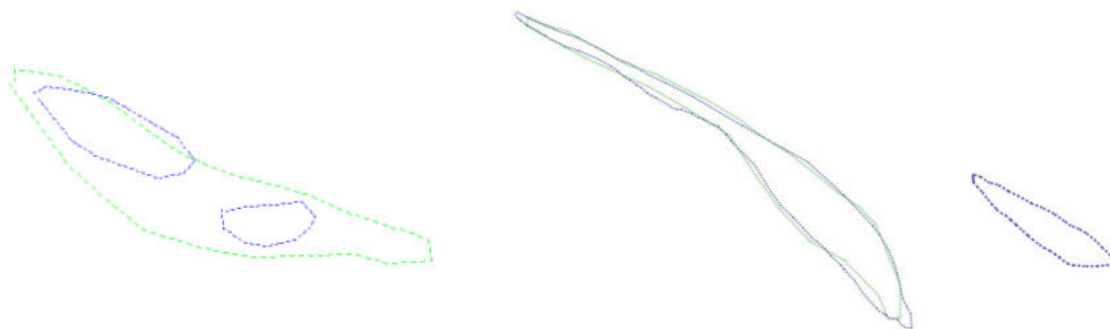


Рис. 2. Затопление и разделение островных массивов реки в период весеннего половодья 2014 г.:

слева: синим цветом обозначены острова в весеннем половодье 2014 г., зеленым – в летне-осенний период 2014 г., справа: синий цвет – межень 2014 г., зеленый – половодье 2014 г.

Такие же изменения были замечены и в 2023 году. Далее сравнивались сезоны весеннего половодья и летне-осеннего 2014 и 2023 г. соответственно. Было замечено, что в 2023 году значительно увеличилось количество островных массивов, а также уменьшилась их площадь в период весеннего половодья по сравнению с 2014 годом (рис. 3).

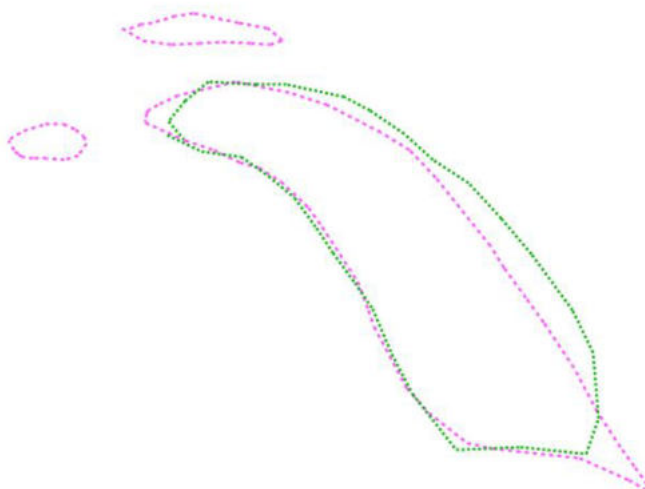


Рис. 3. Пример увеличения количества и уменьшение площади островных массивов: зеленый цвет – половодье 2014 г., розовый – половодье 2023 г.

Развитие руслового процесса от исходной ленточногрядовой формы может происходить или в порядке последовательного перехода к побочному типу процесса и далее – к ограниченному, свободному (незавершенному) меандрированию, или путем перехода непосредственно от ленточногрядового к осередковому типу руслового процесса. Грядовое движение наносов происходит при условии закономерно меняющихся условий транспорта наносов, водности потока и ограничивающих условий. Сравнивая островные массивы летне-осеннего периода 2014 и 2023 годов, такие же изменения, как и в 2014 года (рис. 4).



Рис. 4. Примеры островных массивов 2023 г.: темно-зеленый – межень 2014 г., оранжевый – межень 2023 г.

Регулирование реки привело к изменению уровня воды в реке, что влияет на форму и размер островов. Некоторые острова могут исчезнуть или, наоборот, появиться новые. Для анализа в Microsoft Excel были занесены измерения площади островных массивов (табл.).

Согласно данным таблицы, отражающей размеры островных массивов, видно, что в весенний период половодья, сравнивая 2014 и 2023 годы, общая площадь островов превышает ту, что наблюдается в летне-осенний сезон. Это связано с затоплением островов в период весеннего паводка. Анализируя летне-осенний сезон 2014 и 2023 годов, становится очевидным, что некоторые острова, существовавшие в 2014 году, в 2023 году оказались затопленными, и наоборот. В летне-осенний период 2023 года значительно увеличилось количество затопленных островов по сравнению с 2014 годом, а также появились новые или исчезли некоторые из прежних. К тому же, стоит подчеркнуть, что в течение всего 2014 года существовали определенные островные массивы, которые исчезли к 2023 году. В таблице также наблюдается, что площадь некоторых островов сократилась, в то время как другие, напротив, увеличились.

Измерение площади островных массивов 2014 и 2023 годов

Координаты в СК-42		Площадь, м ²			
		Летне-осенний сезон		Весенний сезон	
X	Y	2014 г.	2023 г.	2014 г.	2023 г.
6158844.154	5586059.670	26232,25	23731,82	24 678,45	22 583,61
6158764.960	5585470.975	-	18 237,47	25 624,61	18 098,57
6159232.905	5581136.525	62 147,62	17138,65 11 227,35	15 338,50	8899,12 17 044,92
6161592.082	5577253.082	178 066,18	172177,43 4 709,59 4 331,40 6 181,30 1 953,22	187 300,22	168 548,03 5 721,28 8 787,94
6161923.827	5575335.670	57 780,46	29 392,41 4 966,35	6 035,91 14 597,26	4 244,73 20 948,99
6167957.667	5570214.846	-	20 394,85	-	-
6171338.531	5568063.740	-	-	107 994,09	128 816,66
6173698.899	5561977.558	46 113,60	29 574,72	37 355,60	29 856,50
6176131.618	5559949.714	246 539,15	212 951,43	240 584,69	212 820,36
6177793.847	5558114.429	32 361,04	16 307,03	-	-
6187507.207	5549763.691	168 179,44	44 035,20	64 158,46	-
6184824.999	5536937.019	99 885,37	79 446,36	62 392,60	-

Основываясь на результатах данной работы, можно сделать следующий вывод: регулирование стока привело к изменению речных островов (появление новых или затопление старых), а также постепенное прирастание островов, развития кос в ухвостьях и объединения за счет отмирания протоков, острова приобретают все большие размеры, и со временем в условиях снижения транспортирующей способности потока образуют островные массивы сложной конфигурации и с размерами, создавая при этом уже более высокий уровень разветвленности.

Библиографические ссылки

1. Витебскэнерго [Электронный ресурс]. 2024. URL: <https://www.vitebsk.energo.by> (дата обращения: 09.10.2024).
2. Все реки [Электронный ресурс]. 2024. URL: <https://vsereki.ru> (дата обращения: 05.03.2024).

3. Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. 2024. URL : <https://pogoda.by> (дата обращения: 05.11.2024).

4. КБ Панорама [Электронный ресурс]. 2024. URL: www.gisinfo.ru (дата обращения: 15.11.2024).

5. *Квач Е. Г.* Особенности гидрологического режима трансграничных водных объектов Республики Беларусь и Российской Федерации // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. Минск : Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 2023. 12 с.

6. Национальный атлас Беларуси. Минск : Белкартография, 2002. 292 с.

7. Новополоцкий городской исполнительный комитет [Электронный ресурс]. 2024. URL : <https://www.novopolotsk.by/ru> (дата обращения: 03.11.2024).

8. *Макаревич А. А., Яротов А. Е.* Речной сток и русловые процессы : пособие. Минск : БГУ, 2019. 115 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМ КООРДИНАТ

Д. В. Шкут¹⁾, И. А. Астрашаб²⁾, А. С. Ивашнёва²⁾

¹⁾ Учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк, Витебская область, email: 21geo.shkut.d@pdu.by

²⁾ Учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк, Витебская область

Одним из наиболее часто используемых инструментов в ГИС, в топографии, геодезии и фотограмметрии является трансформирование систем координат. Для решения задачи трансформирования систем координат существует множество подходов. Цель исследования состоит в выяснении, могут ли методы машинного обучения служить надежной альтернативой для решения задачи трансформирования систем координат.

Ключевые слова: трансформирование; метод наименьших квадратов; нейронная сеть; нормализация.

USING NEURAL NETWORKS TO SOLVE THE PROBLEM OF TRANSFORMING COORDINATE SYSTEMS

D. V. Shkut¹⁾, I. A. Astrashab²⁾, A. S. Ivashneva²⁾

¹⁾ Educational institution "Polotsk State University named after Euphrosyne of Polotsk", st. Blokhina, 29, 211440, Novopolotsk, Vitebsk region, email: 21geo.shkut.d@pdu.by

²⁾ Educational institution "Polotsk State University named after Euphrosyne of Polotsk", st. Blokhina, 29, 211440, Novopolotsk, Vitebsk region.

One of the most commonly used tools in GIS, topography, geodesy and photogrammetry is coordinate system transformation. There are many approaches to solve the problem of coordinate system transformation. The aim of the study is to find out whether machine learning methods can serve as a reliable alternative for solving the problem of coordinate system transformation.

Key words: transformation; least squares method; neural network; normalization.

В данной статье представлены два подхода к решению задачи трансформирования систем координат. Применялся метод наименьших квадратов, также использовались искусственные нейронные сети для решения данной задачи. Тенденции развития нейронных сетей растут с каждым годом. Искусственные нейронные сети (далее ИНС) представляют собой математические модели, построенные по принципу организации и функционирования сетей нервных клеток живого организма.

Существуют множество различных применений нейронных сетей, в том числе и в геодезии, для решения таких задач как преобразование координат, моделирование поверхностей GPS, обнаружение изменений в зеленом покрове и т. д. [1, 2, 3]

Модели ИНС могут быть сформированы с различными архитектурами в зависимости от количества дополнительных слоёв и нейронов, алгоритмов обучения и функции активации. Процесс обучения нейронных сетей связан с такой настройкой ее весов и смещений, чтобы минимизировать функционал, зависящий от ошибок сети, то есть разности между требуемым и реальным сигналом на ее выходе. В качестве такого функционала использована сумма квадратов отличий реальных значений координат и координат, полученных с помощью нейронной сети.

Преимуществами машинного обучения является само адаптирующаяся способность обнаруживать закономерности в наборе данных без учёта существования функциональных взаимосвязей между входными и выходными данными. Методы машинного обучения помогают избежать возможных ошибок оценки параметров, поскольку они не работают с параметрами [4].

Также существуют недостатки машинного обучения. Природа искусственных нейронных сетей «чёрный ящик», на получаемую точность и эффективность вычислений сильно влияет архитектура нейронной сети, которая обычно определяется посредством последовательных шагов проб и ошибок.

Когда существует избыточная система уравнений, то коэффициенты трансформирования можно определить применением метода наименьших квадратов (МНК). На основе наиболее общего из линейных, аффинного преобразования, рассмотрим классический алгоритм метода наименьших квадратов.

Для решения задачи трансформирования систем координат с помощью МНК составляют вектор свободных членов, состоящий из координат точек в новой системе координат и матрицу плана, которая содержит в себе координаты точек в старой системе (1). На основе минимизации суммы квадратов поправок получается вектор неизвестных коэффициентов трансформирования [5, 6],

$$\begin{bmatrix} (X_H)_1 \\ (Y_H)_1 \\ (X_H)_2 \\ (Y_H)_2 \\ \dots \\ (X_H)_n \\ (Y_H)_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (v_H)_1 \\ (v_H)_1 \\ (v_H)_2 \\ (v_H)_2 \\ \dots \\ (v_H)_n \\ (v_H)_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (X_C)_1 & (Y_C)_1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (X_C)_1 & (Y_C)_1 & 0 & 1 \\ (X_C)_2 & (Y_C)_2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (X_C)_2 & (Y_C)_2 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (X_C)_n & (Y_C)_n & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (X_C)_n & (Y_C)_n & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix}$$

где X_H, Y_H, X_C, Y_C – координаты в новой и старой системах, a, b, c, d, e, f – коэффициенты трансформирования на плоскости.

В исследовании для создания искусственной нейронной сети использовался пакет прикладных программ Neural Network Toolbox, функционирующий под управлением ядра системы Matlab [7].

Была применена простая двухслойная нейронная сеть, для первого слоя выбрана сигмоидная функция активации, с количеством нейронов равным десяти, для второго линейная, с количеством нейронов равным двум. Архитектура нейронной сети представлена на рисунке 1.

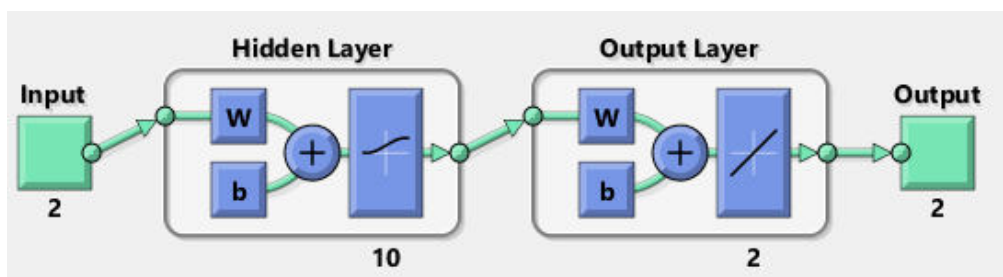


Рис. 1. Архитектура нейронной сети

По четырем выборкам, состоящим из 30, 50, 70 и 100 общих точек, была решена задача трансформирования систем координат методом МНК и были рассчитаны суммы квадратов поправок для основной выборки и тестовой. Также для решения задачи была применена ИНС и так же были получены суммы квадратов поправок для основной выборки и тестовой. Обучение сети производилось по обучающей выборке, так же для оценки работы ИНС создавалась тестовая выборка.

По результатам таблицы можно сделать выводы, что сумма квадратов поправок полученных с помощью МНК для тестовой выборки всегда меньше, чем сумма квадратов поправок полученных с помощью ИНС. Стоит добавить, что при небольшом количестве точек (30 и менее) ИНС может выдавать некорректные результаты, а именно мы получаем очень большую сумму квад-

ратов поправок. Также целью работы было изучить, можно ли увеличивая количество точек достичь того, что бы ИНС выдавала такие же результаты, как и МНК. Показано, что разность между суммой квадратов поправок при МНК и ИНС уменьшается при увеличении точек, но даже при 100 общих точках сумма квадратов поправок у ИНС больше.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Количество общих точек	МНК		Нейронная сеть	
	основная	тестовая	основная	тестовая
	$[v^2], м^2$	$[v^2], м^2$	$[v^2], м^2$	$[v^2], м^2$
30	0,069	0,013	0,055	0,885
50	0,097	0,024	0,108	0,145
70	0,144	0,009	0,178	0,016
100	0,203	0,014	0,217	0,031

При изучении вопроса трансформирования координат с помощью ИНС одним из путей для получения надежных результатов было предложено дополнительное выполнение процедуры нормализации.

Нормализацией данных будет преобразование численных данных в диапазон с крайними значениями в диапазоне $[-1; +1]$. Если количественные данные описаны в одной шкале с разными интервалами, после нормализации их можно сравнивать и оценивать математически. Ниже представлены формулы, применяемые в эксперименте [8].

$$x_n = -1 + \left(2 * \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \right)$$

$$y_n = -1 + \left(2 * \frac{y - \min(y)}{\max(y) - \min(y)} \right)$$

Нормализованные данные были загружены в созданную нейронную сеть, вычислительный эксперимент был проведен шесть раз, на основе одних и тех же смоделированных данных. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Следует отметить, что при увеличении количества общих точек сумма квадратов поправок, получаемые по тестовой выборки ИНС, становится меньше, нежели сумма квадратов поправок метода наименьших квадратов для тестовых выборок. Так же отметим, что, что при небольшом количестве

точек (30 и менее) с нормализацией исходных данных ИНС не выдаёт некорректные результаты. При выполнении нормализации, метод, основанный на машинном обучении, дал лучший результат чем без выполнения процедуры нормализации исходных модельных данных.

Таблица 2

Результаты эксперимента

Количество точек	МНК	ИНС
	$[v^2], \text{ м}^2$	$[v^2], \text{ м}^2$
30	$6.5008 \cdot 10^{-9}$	$1.1305 \cdot 10^{-6}$
		$6.5114 \cdot 10^{-6}$
		$1.9483 \cdot 10^{-7}$
		$1.1877 \cdot 10^{-5}$
		$1.3279 \cdot 10^{-6}$
		0.0003
50	$1.7976 \cdot 10^{-8}$	$1.9913 \cdot 10^{-8}$
		$6.1213 \cdot 10^{-9}$
		$7.2683 \cdot 10^{-9}$
		$5.0203 \cdot 10^{-9}$
		$5.5169 \cdot 10^{-8}$
		$4.2637 \cdot 10^{-9}$
70	$1.6639 \cdot 10^{-8}$	$3.3669 \cdot 10^{-7}$
		$6.4577 \cdot 10^{-9}$
		$9.0210 \cdot 10^{-8}$
		$6.5846 \cdot 10^{-6}$
		$6.5379 \cdot 10^{-9}$
		$2.9856 \cdot 10^{-9}$
100	$2.5690 \cdot 10^{-8}$	$1.9695 \cdot 10^{-9}$
		$3.1071 \cdot 10^{-9}$
		$1.7590 \cdot 10^{-9}$
		$1.8901 \cdot 10^{-9}$
		$2.4204 \cdot 10^{-9}$
		$1.9993 \cdot 10^{-9}$

После проведения исследования можно сделать вывод, что трансформирование систем координат с помощью ИНС, созданной с подобной архитектурой, не может являться альтернативой МНК. Для повышения надежности и качества данного способа необходимо менять, дорабатывать архитектуру ИНС.

Библиографические ссылки

1. *Kavzoglu T., Saka M. H.* Modelling local GPS/Levelling geoid undulations using artificial neural networks // *Journal of Geodesy*. 2005. P. 520–529.
2. *Tierra A., Romero R.* Planes coordinates transformation between PSAD56 to SIRGAS using a Multilayer Artificial Neural Network // *Geodesy and Cartography*. 2014. Vol. 63, No. 2. P. 199–209.
3. *Madhu Kh., Vikas S.* Green Cover Change Detection using a Modified Adaptive Ensemble of Extreme Learning Machines for North-Western India // *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*. 2018. 9 p.
4. 2D cadastral coordinate transformation using extreme learning machine technique / Y. Y. Ziggah [et al.] // *Geodesy and Cartography*. 2018. P. 321–343.
5. *Ghilani Ch. D., Wolf P. R.* Adjustment computations: spatial data analysis. Hoboken : John Wiley & Sons, Inc., 2006. 632 p.
6. *Михайлович К.* Геодезия (уравнительные вычисления) / пер. с сербско-хорватского С. В. Лебедева, под ред. В. Д. Большакова. М. : Недра, 1984. 448 с.
7. *Сердюк А. А.* Компьютерные системы искусственного интеллекта : конспект лекций (для студентов специальности «Компьютерная инженерия» / сост. А. А. Сердюк. Краматорск : ДГМА, 2017. 52 с
8. *Старовойтов В. В., Голуб Ю. И.* Нормализация данных в машинном обучении. Минск : Национальная академия наук, 2021. С. 83–96.

ГЛОБАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

В. О. Щур, А. П. Романкевич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220303, г. Минск, Беларусь, geo.schur@bsu.by*

В работе дана характеристика глобальных навигационных спутниковых систем. Проведен анализ применения глобальных навигационных спутниковых систем в различных сферах человеческой деятельности. Оценены перспективы развития глобальных навигационных спутниковых систем.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы; искусственный спутник Земли; спутниковые технологии; GPS; ГЛОНАСС; БЕЙДОУ; GALILEO.

С запуском первого искусственного спутника Земли началась новая эпоха в исследовании нашей планеты и космического пространства. В настоящее время основным применением спутниковых технологий является их использование при определении пространственного положения различных объектов, что представляет собой основу для создания и функционирования глобальных навигационных спутниковых систем.

Глобальная навигационная спутниковая система – это комплексная электронно-техническая система, состоящая из совокупности наземного и космического оборудования, предназначенная для определения местоположения, а также параметров движения различных объектов.

Количество глобальных систем позиционирования в мире постоянно растет, а все большее количество стран начинают создавать и разворачивать собственные региональные навигационные спутниковые системы.

История создания глобальных навигационных спутниковых систем берет свое начало с 4 октября 1957 года, когда в СССР был произведен успешный запуск первого в мире искусственного спутника Земли под названием «Спутник-1».

Следующее важное событие в истории глобальных систем позиционирования – старт разработки США в 1958 году первой в мире спутниковой навигационной системы «Транзит».

История же развития отечественных глобальных навигационных систем началась в 1963 году, когда была инициирована разработка первой советской спутниковой радионавигационной системы «Цикада». Уже 27 ноября 1967 года на орбиту был выведен первый навигационный спутник «Космос-192», обеспечивающий в течение всего времени своей активной работы излучение радионавигационного сигнала на частотах 150 и 400 МГц.

На данный момент времени в мире функционируют четыре глобальные навигационные спутниковые системы: GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), БЕЙДОУ (Китай) и GALILEO (Европейский союз). Помимо этого, введены в эксплуатацию такие региональные спутниковые системы, как QZSS (Япония) и IRNSS (Индия) [6].

Глобальные навигационные спутниковые системы строятся на основе использования односторонних методов измерения расстояний.

При реализации такого метода спутниковая радиодальномерная система распадается на две составные части: устанавливаемое на спутнике передающее устройство и находящийся в распоряжении наземного потребителя приемно-вычислительный комплекс [10].

Вместе с тем для достижения постоянного и высокоточного определения местоположения различных объектов в любой точке земной поверхности вне зависимости от погодных условий и времени суток в составе современных глобальных навигационных спутниковых систем функционируют три сегмента: космический сегмент (космическая группировка) с орбитальной группировкой навигационных спутников, сегмент управления, пользовательский сегмент.

Космический сегмент (космическая группировка) – часть глобальной навигационной спутниковой системы, которая состоит из группы навигационных спутников.

Главными функциями космического сегмента являются:

1. формирование и излучение радиосигналов, необходимых для определения местоположения объектов, а также контроля бортовых систем спутника сегментом управления;
2. постоянный контроль времени атомных часов;
3. получение, обработка и сохранность данных от станций сегмента управления [7].

Сегмент управления – подсистема контроля и управления глобальной навигационной спутниковой системы.

Основными задачами, которые решает сегмент управления, являются:

1. наблюдение за траекториями движения спутников, а также их контроль;
2. планирование работы всех элементов спутниковой системы, обработки и обмена данными между ее элементами;
3. контроль и диагностика состояния бортовой аппаратуры космических аппаратов;
4. программное и командное управление полетом спутников и обеспечение функционирования бортовых систем;
5. определение поправок бортовых шкал времени.

Для решения перечисленных и других задач в состав сегмента входят, как правило, следующие элементы:

1. станции слежения;
2. ведущая станция;
3. загружающие станции [8].

Пользовательский сегмент состоит из приемников спутниковых сигналов, предназначенных для приема и обработки сигналов космических аппаратов, расшифровки навигационных сообщений и преобразования полученной информации в значения координат, скорости и времени.

Данная подсистема объединяет в себе все компоненты, позволяющие пользователю спутниковой системы получать информацию о местонахождении пункта наблюдений, показаниях точного времени, а также о скорости и направлении перемещения движущихся объектов [2].

Как правило, типовой навигационный приемник состоит из четырех функциональных частей:

1. антенная система и связанная с ней электроника;
2. радиочастотная часть с контурами слежения;
3. цифровой блок корреляционной обработки;
4. навигационный процессор.

Классифицируют спутниковые приемники по:

1. числу принимаемых спутниковых систем; приемники могут принимать сигналы только одной, двух или даже трех систем;
2. числу принимаемых частот; выделяют одночастотные приемники, принимающие сигналы лишь на частоте L1, и двухчастотные, способные принимать сигналы на частотах L1 и L.

В настоящее время в мире насчитывается более 200 фирм, занимающихся разработкой и производством навигационной аппаратуры потребителей спутниковых систем. Наибольшую известность получили образцы фирм «Trimble», «Garmin» (США), «Furuno» (Япония), «Sersel» (Франция), «НАВИС», «РИРВ» (РФ) [7].

Спутниковые технологии обеспечивают надежное и точное определение координат и времени в любой точке Земли, что позволяет эффективно решать различные задачи, связанные с местопределением, навигацией, а также синхронизацией времени. Помимо этого, у глобальных навигационных спутниковых систем существует целый ряд преимуществ, которые обуславливают востребованность данной технологии в мире:

1. расстояния между определяемыми пунктами могут составлять десятки километров;
2. наблюдения возможны в любую погоду и время;
3. измерения и обработка результатов практически полностью автоматизированы;

4. возможность получения координат геодезических пунктов в реальном масштабе времени и т. д.

Спутниковые системы глобального позиционирования успешно и массово применяются в различных областях хозяйства. Технологии спутниковой навигации используются в картографии и геодезии, сельском и лесном хозяйствах, геологоразведке, гидрометеорологии, транспортной отрасли, при предотвращении и ликвидации чрезвычайных ситуаций, в военном деле, научных исследованиях, в том числе при изучении малодоступных территорий суши и акватории, при проведении горных, а также строительных работ и т. д. [1]

В настоящее время преимущественно идет процесс развития и расширения именно национальных навигационных сетей, систем и рынка аппаратуры пользователей. Вместе с тем уже сейчас назрела такая необходимость унификации технических и организационных решений с переходом на международные базы данных, рациональное перераспределение возможностей национальных сетей и средств, чтобы наилучшим образом реализовать концепцию глобальной навигации.

Однако для реализации в будущем данной идеи существует ряд проблем. Одними из них являются трудности построения эффективных алгоритмов контроля целостности спутниковых навигационных систем. Также есть затруднения, связанные с разрешением помех и искажений измерений при проведении синхронных измерений по сигналам спутников отдельных навигационных систем в рамках мультисистемных спутниковых приемников. Помимо всего, имеются трудности с «несостыковками» национальных подвижных систем координат, которые вызваны регулярным движением континентальных плит [1].

Помимо концепции глобальной навигации, к реализации которой стремятся все существующие на данный момент времени глобальные навигационные системы, можно выделить возможности совершенствования всех существующих систем по следующим ключевым направлениям:

1. Расширение орбитальной группировки путем запуска дополнительных спутников, а также проведение экспериментальных работ по изучению возможностей улучшения точности эфемерид, использования дополнительных частот и видов модуляции сигналов.

2. Модернизация частотно-временного и эфемеридного обеспечения. Прежде всего, для построения усовершенствованной опорной шкалы времени системы требуется использование новых и более точных стандартов частоты как наземным сегментом системы, так и опорными генераторами на борту спутников. Для улучшения точности эфемеридного обеспечения орбитальной группировки разворачиваются дополнительные средства беззапросных радиотехнических измерений и лазерных дальнометров,

также предполагается использование межспутниковых измерений и введение дополнительных радиоканалов для беззапросных дальномерных измерений.

3. Оптимизация частотного плана и выбор рабочих частот для будущих поколений орбитальных космических аппаратов.

4. Выбор спектрально-эффективных видов модуляции сигналов навигационных спутников, которые обеспечивают наилучшую помехозащищенность системы при оптимальном использовании частотного ресурса.

5. Дальнейшее улучшение технического обеспечения и расширение всех структурных сегментов глобальных навигационных спутниковых систем [4].

В заключение можно сказать, что несмотря на долгую историю развития, высокотехнологичность глобальных навигационных спутниковых систем, существует необходимость в их постоянном улучшении, а также решении существующих на данный момент проблем.

Библиографические ссылки

1. Антонович К. М. Тенденции в развитии ГНСС технологий [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-v-razvitiy-gnss-tehnologiy/viewer> (дата обращения: 23.03.2024).

2. Генике А. А., Побединский Г. Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии : учебное издание. М. : Картгеоцентр, 2004. 355 с.

3. Глобальные навигационные спутниковые системы : пособие для студентов фак. радиофизики и компьютерных технологий / С. В. Абламейко, В. А. Саечников, А. А. Спиридонов. Минск : БГУ, 2011. 147 с.

4. Демьянов В. В., Имарова О. Б. Тенденции развития технологий ГНСС и направлений их применения на транспорте [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-tehnologiy-gnss-i-napravleniy-ih-primeneniya-na-transporte/viewer> (дата обращения: 21.03.2024).

5. Загреддинов Р. В. Спутниковые системы позиционирования : конспект лекций. Казань : Каз. федер. ун-т, 2014. 148 с.

6. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения АО ЦНИИмаш / Прикладной потребительский центр ГЛОНАСС [Электронный ресурс]. Королев, 2009. URL: <https://glonass-iac.ru> (дата обращения: 15.03.2024).

7. Кравченко О. В. Системы глобального позиционирования в лесном хозяйстве : курс лекций для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство». Минск : БГТУ, 2018. 60 с.

8. Куприянов А. О. Глобальные навигационные спутниковые системы : учебное пособие. М. : МИИГАиК, 2017. 76 с.

9. Навигация и лоция : учебное издание / В. С. Михайлов, В. Г. Кудрявцев, В. С. Давыдов. Киев, 2009. 618 с.

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В КАРТОГРАФИИ

Я. А. Юревич

*Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16,
220006, г. Минск, Беларусь*

В работе рассмотрены виртуальная и дополненная реальности, их возможности и перспективы применения в картографии. Особое внимание уделено методике внедрения VR и AR в процесс создания картографической продукции, в частности туристских карт. Рассмотрены особенности проектирования, составления, а также оформления и дизайна туристских карт.

Ключевые слова: виртуальная; дополненная; реальности; возможности.

POSSIBILITIES AND PROSPECTS OF USING VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY IN CARTOGRAPHY

Y. A. Yurevich

Belarusian State University, Leningradskaya St., 16, 220006, Minsk, Belarus

The paper considers virtual and augmented reality, their possibilities and prospects of application in cartography. Special attention is paid to the methodology of introducing VR and AR into the process of creating cartographic products, in particular tourist maps. The features of the design, compilation, as well as the design and design of tourist maps are considered.

Keywords: virtual; augmented; reality; possibilities.

Дополненная реальность (AR) и виртуальная реальность (VR) представляют собой передовые технологии, которые изменяют способы взаимодействия с окружающим миром. Виртуальная реальность (VR) – это передовая технология, которая погружает пользователя в полностью виртуальное окружение, создавая ощущение присутствия в другом месте или сцене.

Виртуальная реальность достигается с помощью специальных устройств, таких как VR-очки или шлемы, которые отображают пользователю трехмерные изображения и обеспечивают интерактивное взаимодействие. Основным принцип работы виртуальной реальности заключается в создании обмана чувств, который заставляет мозг воспринимать виртуальное

окружение как реальное. Виртуальная реальность находит применение в различных областях, включая игровую индустрию, образование, медицину, архитектуру и обучение.

Виртуальная реальность в картографии представляет собой инновационный подход к визуализации географической информации. Она позволяет пользователям исследовать местности, не выходя из дома, создавая полноценное виртуальное представление о различных местах на земном шаре. С помощью VR можно создавать трехмерные модели городов, ландшафтов и других географических объектов, позволяя пользователям исследовать их с разных ракурсов и в различных масштабах. Это полезно не только для туризма и образования, но и для планирования городской инфраструктуры, архитектурного проектирования и других областей, где важно иметь наглядное представление о пространственных данных. Виртуальная реальность также имеет потенциал изменить способы планирования и управления ресурсами. С ее помощью можно создавать виртуальные модели городских пространств и тестировать различные сценарии развития городской инфраструктуры, а также оценивать их воздействие на окружающую среду и жизнь горожан.

Одним из примеров применения VR в картографии является создание виртуальных туров по географическим объектам и достопримечательностям, а также виртуальная реальность открывает новые возможности для развития туризма и способов изучения о мировой истории и культурном наследии (рис. 1, 2). Пользователи могут исследовать и погружаться в исследование знаковых мест, такие как культурные памятники, музеи, природные парки, исторические места, чувствуя себя так, будто они находятся там в реальной жизни.



Рис. 1. Пример сайта для виртуальных туров по пустыне Сахара [7]

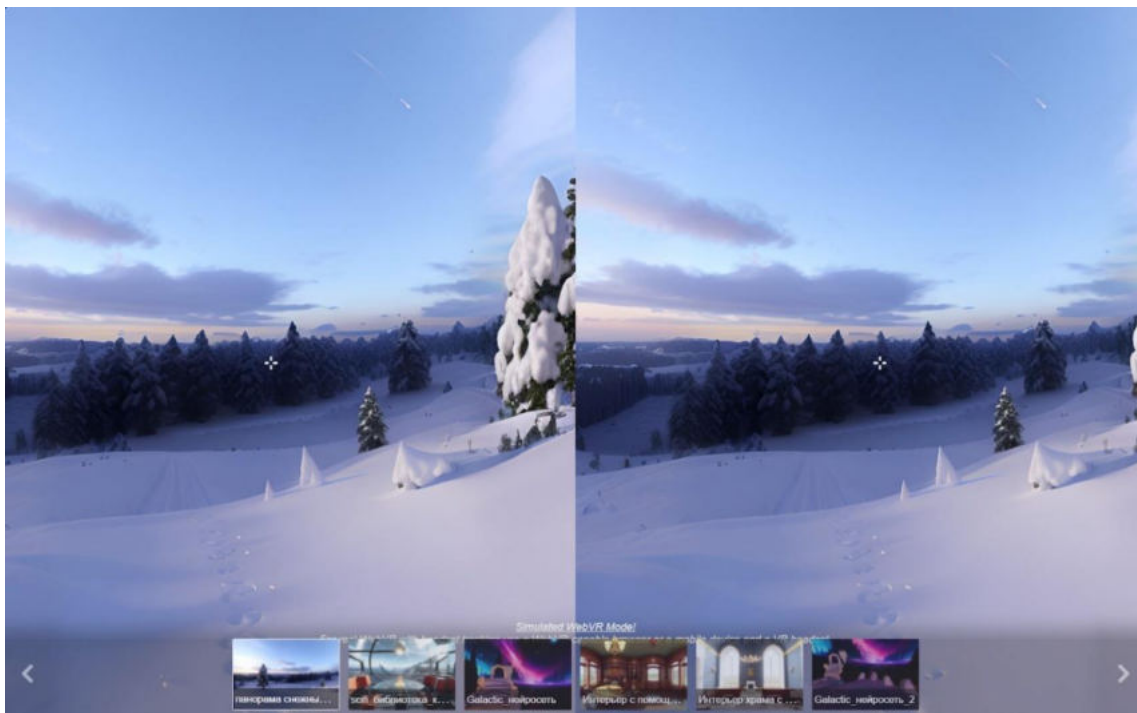


Рис. 2. Пример тура для VR-очков, созданный нейросетью [10]

Дополненная реальность (AR) представляет собой технологию, которая добавляет виртуальные элементы и информацию в реальное окружение пользователя, позволяя взаимодействовать с ними в реальном времени. Основная идея AR заключается в том, чтобы обогащать реальный мир виртуальными объектами, которые могут быть восприняты с помощью устройств, таких как смартфоны, планшеты, AR-очки и прочие гаджеты. Дополненная реальность находит широкое применение в различных областях, включая игровую индустрию, рекламу, туризм, образование, медицину и многое другое. С помощью AR-технологии любое мобильное приложение можно дополнить полезными опциями, например, возможностью измерять размеры и расстояния без реальной рулетки или видеть карту звёзд прямо на небе в режиме реального времени.

В картографии AR позволяет пользователям получать информацию о своем местоположении и окружающей среде в реальном времени, добавляя виртуальные слои данных на изображение мира через устройства, такие как смартфоны или специальные очки. Это может включать в себя навигационные указатели, информацию о достопримечательностях, ресторанах, магазинах и других объектах, а также различные географические данные.

Одним из ключевых шагов при внедрении VR и AR в картографию является разработка специализированных программных и аппаратных приложений. Это включает в себя создание программного обеспечения для визуализации географических данных в виртуальной и дополненной реальности.

Программным обеспечением для данных технологий является SDK. SDK – это основное технологическое программное обеспечение, которое предоставляет разработчикам необходимые инструменты для разработки приложений. Они выполняют важную задачу по объединению реальной информации с цифровым контентом. Преимущества, особенности и возможности используемого SDK (фреймворка) дополненной реальности будут определять функции, которые может включать приложение. Поэтому правильный выбор AR SDK жизненно важен для производительности приложения. А также разработку специальных устройств, таких как очки виртуальной реальности, позволяющих пользователям взаимодействовать с этими данными. Дополнительно к разработке программного обеспечения и аппаратных решений для визуализации географических данных в виртуальной и дополненной реальности, важным шагом является интеграция существующих картографических данных в эти новые среды. Это может включать в себя адаптацию и конвертацию существующих картографических форматов и баз данных в форматы, совместимые с VR и AR, а также разработку методов обработки и обновления данных в режиме реального времени. Кроме того, для эффективного внедрения VR и AR в картографию необходимо провести тестирование и оптимизацию созданных программных и аппаратных решений. Это позволит убедиться в их функциональности, надежности и производительности, а также выявить и исправить возможные проблемы или ограничения.

Важным аспектом эффективного внедрения VR и AR в картографию, является также разработка интерфейсов пользовательского взаимодействия, обеспечивающих удобство и интуитивность работы с картографическими данными в виртуальной и дополненной реальности. Данный шаг подразумевает собой разработку жестового управления, виртуальных контролов и других элементов интерфейса, адаптированных к особенностям VR и AR, что открывает новые возможности для удобной работы с географическими объектами и данными. Взаимодействие с информацией в дополненном или виртуальном пространстве, в свою очередь, способствует возможности воспринимать данные более наглядно и понятно.

Для эффективной работы с VR и AR в картографии необходимо также провести подготовку персонала. Что подразумевает собой - обучение специалистов в области картографии и геоинформационных систем использованию новых технологий, а также развитие навыков работы с программным обеспечением и оборудованием, связанным с VR и AR. А также, важным является обеспечение персонала доступом к необходимому оборудованию и программному обеспечению для работы с виртуальной и дополненной реальностью. Это может включать в себя предоставление специализированных компьютеров, гарнитур виртуальной реальности, а также лицензий на соответ-

ствующее программное обеспечение. Кроме того, VR и AR могут быть использованы для улучшения процесса сбора данных и создания картографической продукции. С их помощью можно проводить виртуальные обследования местности, анализировать геоданные и проводить тестирование различных сценариев развития территорий.

Делая вывод, можно сказать, что методика внедрения виртуальной и дополненной реальности в процесс создания картографической продукции представляет собой важное направление развития современной картографии, позволяющее создавать более информативные, интерактивные и эффективные карты для различных целей и задач. Что также способствует улучшению доступности картографической информации для широкого круга пользователей, включая людей с ограниченными возможностями или особыми потребностями. Благодаря возможности визуализации данных в виртуальной и дополненной реальности, карты становятся более доступными и понятными, что способствует повышению осведомленности о местности, улучшению навигации и обеспечению безопасности пользователей в различных ситуациях, таких как туризм, экспедиции или аварийные ситуации. Таким образом, методика внедрения VR и AR в картографию открывает новые перспективы для развития картографической продукции и содействует совершенствованию визуализации и взаимодействия с географической информацией в цифровом мире.

Библиографические ссылки

1. Аржанов Е. П. Туристские карты в системе картографических произведений // Геодезия и картография. 1990. № 4. С. 37–40.
2. Востокова А. А., Кошель С. М., Ушакова Л. А. Оформление карт. Компьютерный дизайн. М. : Аспект Пресс, 2002. 203 с.
3. Интерфейс Блендер [Электронный ресурс]. – URL: <https://i.stack.imgur.com/APa8W> (дата обращения: 05.04.2024).
4. Интерфейс AutodeskMaya [Электронный ресурс]. URL: <https://fr-images.tuto.net/gallery/47/47208/10482557.jpg> (дата обращения: 07.04.2024).
5. Интерфейс Autodesk 3ds [Электронный ресурс]. URL: <https://techgag.com/wp-content/uploads/2019/04/Autodesk-3ds-Max-2020-with-Arnold-GPU> (дата обращения: 07.04.2024).
6. Прохорова Е. А. Социально-экономические карты : учебное пособие, электронное издание сетевого распространения. М. : КДУ, Добросвет, 2018.
7. Пустыня Сахара. Часть 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.airpano.ru/360photo/algeria-sahara-2/> (дата обращения: 06.04.2024).
8. Как делать карты в дополненной реальности [Электронный ресурс]. URL: <https://medium.com/@urbica/как-делать-карты-в-дополненной-реальности-259d8d592825> (дата обращения: 08.04.2024).

9. Как освоить разработку приложений с AR/VR с нуля [Электронный ресурс]. URL: <https://proglib.io/p/kak-osvoit-razrabotku-prilozheniy-ar-vr-s-nulya-2021-03-25> (дата обращения: 04.04.2024).
10. Нейросетевая визуализация. Виртуальный 3D/360° тур [Электронный ресурс]. URL: <https://truevirtualtours.com/ru/tour/nejrosetevaa-vizualizacia> (дата обращения: 03.04.2024).
11. Виртуальная и дополненная реальность [Электронный ресурс]. URL: <https://developers.sber.ru/help/ar-vr/virtual-augmented-reality> (дата обращения: 03.04.2024).
12. Секреты картографического дизайна, как создать эффективную и привлекательную карту [Электронный ресурс]. URL: <https://mapny.ru/blog/secrets-map-design/> (дата обращения: 05.04.2024).
13. 5 лучших AR SDK для разработки мобильных приложений дополненной реальности [Электронный ресурс]. URL: <https://arvr.media/blog/mishganitto/5-luchshikh-ar-sdk-dlya-razrabotki-mobilnykh-prilozheniy-dopolnennoy-realnosti> (дата обращения: 03.04.2024).
14. Top 10 AR Developer Tools Every Developer Should Know [Electronic resource]. URL: <https://medium.com/echo3d/top-10-ar-developer-tools-every-developer-should-know-32fef1471883> (date of access: 08.04.2024).

ТРЕХМЕРНОЕ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ГЛИН НА ПРИМЕРЕ КАРЬЕРА «ГАЙДУКОВКА»

А. А. Якушев, А. Л. Киндеев

*Белорусский государственный университет, проспект Независимости, 4,
220030, Минск, Беларусь, geo.yakushevAA@bsu.by*

Целью работы является применение геостатистических методов для анализа концентрации полезных ископаемых на этапе разработки месторождения. По данным геологоразведки, с помощью методов геостатистики, были проведены расчёты, концентрации глины по скважине, произведен вариограммный анализ и 3D-интерполяция. Итогом работы стали несколько трёхмерных моделей, отражающих распределение полезного ископаемого на рассматриваемом участке и их соответствующий анализ.

Ключевые слова: скважина; геостатистическое моделирование; вариограммный анализ; эмпирический байесовский кригинг 3D; воксел; изоповерхность.

THREE-DIMENSIONAL GEOSTATISTICAL MODELING OF CLAY RESERVES ON THE EXAMPLE OF «GAIDUKOVKA» QUARRY

A. A. Yakushev, A. L. Kindeev

*Belarusian State University, prospect Nezavisimosti, 4,
220030, Minsk, Belarus, geo.yakushevAA@bsu.by*

The aim of the work is to apply geostatistical methods to analyze the concentration of minerals at the stage of field development. According to geological exploration data, using geostatistical methods, calculations were made, clay concentrations along the well, variogram analysis and 3D interpolation were performed. The result of the work were several three-dimensional models reflecting the distribution of the mineral in the area under consideration and their corresponding analysis.

Keywords: well; geostatistical modeling; variogram analysis; empirical bayesian kriging 3D; voxel; isosurface.

Геостатистика, на сегодняшний момент, одно из самых перспективных направлений статистики, используемое в ГИС. Применение соответствующих методов в геологии связано с анализом пространственных данных, которые часто имеют сложные закономерности распределения. Эти методы помогают изучать природные ресурсы, анализировать геологические структуры и прогнозировать свойства материалов в недоступных местах. Од-

ним из определяющих направлений, хочется отметить визуальную оценку полезных ископаемых на основе данных, собранных при бурении посредством получения 3D моделей, вокселей и изоповерхностей.

Геостатистический анализ позволяет значительно повысить уровень надежности и качество решений, принимаемых на основе использования пространственно распределенной информации.

В качестве исходных данных для проекта использовались результаты выработок, пройденных на месторождении по добыче ленточных глин «Гайдуковка» Молодечненского района, Минской области в 1966–1967 гг., а также включающих в себя: номер скважины, абсолютная отметка (м), глубина скважины (м), состав скважины (с указанием мощности полезного ископаемого в метрах), а также уровни установления и появления грунтовых вод (м). Помимо данных, в среду ГИС также были занесены, предварительно отсканированные, топографические планы с указанием положения скважин в рамках рассматриваемой территории, с привязкой к базовой карте. Дальнейшим шагом было создание точечной базы геоданных с указанием всех вышеперечисленных пунктов (рис. 1).

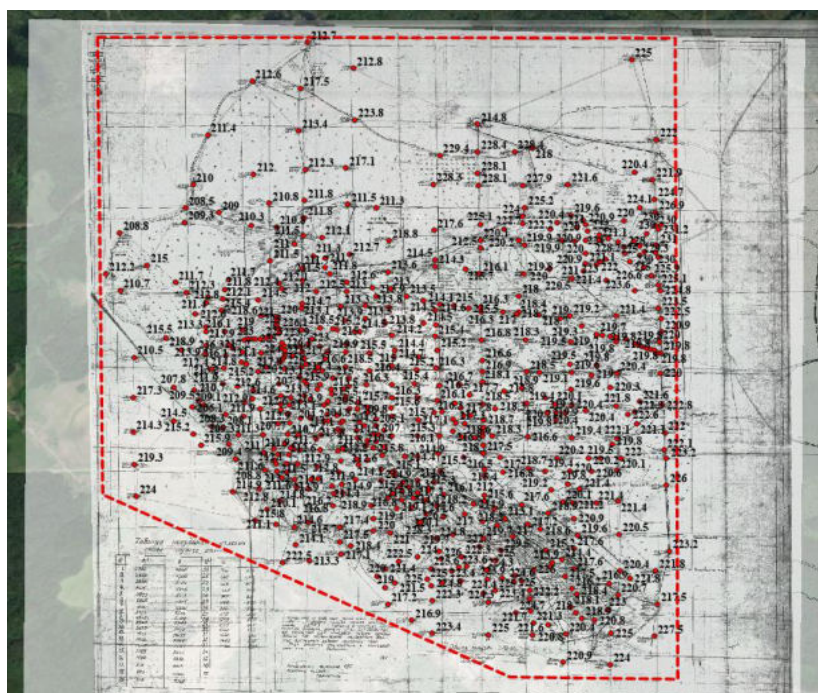


Рис. 1. Точечный слой скважин с указанием абсолютных отметок

В основу трёхмерной интерполяции входит значение трёх координат точки и интерполируемое значение, численно равное отношению мощности глины в скважине к её глубине, выраженное в процентах. Эти данные были внесены в мастер операций геостатистики, была построена и проанализирована вариограмма (рис. 2).

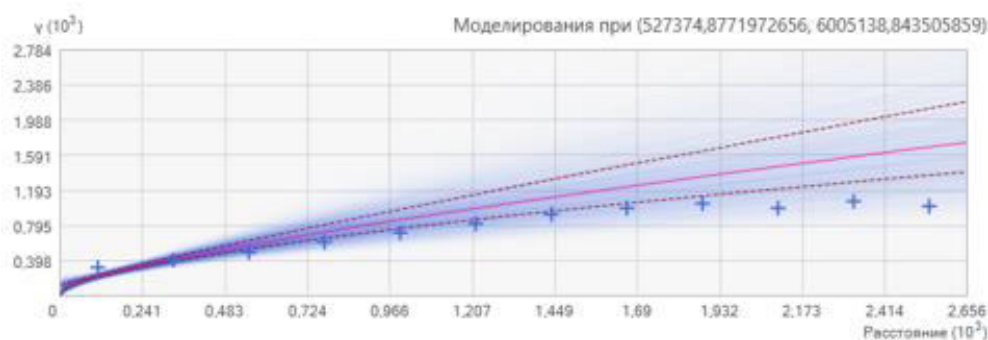


Рис. 2. Полученная вариограмма

Вариограмма в геостатистике, используемой в ГИС, помогает понять, как пространственные данные изменяются и насколько они связаны между собой в зависимости от расстояния. Это один из ключевых инструментов для моделирования и прогнозирования пространственных явлений [1].

В ходе анализа вариограммы можно выделить, что наиболее предпочтительным её типом является степенная, с размером поднабора – 195 и числом моделирований порядка 6000. Максимальное число соседей – 10, минимальное – 5, тип сектора – додэкаэдр. В результате, также были выявлены сведения об ошибках, которые, в нашем случае были в пределах допустимых значений.

Ведомость об ошибках в ходе анализа вариограммы

Тип ошибки	Показатель
Средняя	0,300506898013065
Среднеквадратичная	17,7013279396384
Средняя нормированная	0,008544748310033
Среднеквадратичная нормированная	0,997896195507271
Средняя стандартная ошибка	17,6611263081885

Итогом вариограммы является 3D-модель (рис. 3), построенная по методу эмпирического байесовского кригинга, который используется для прогнозирования значений в пространстве (3D) на основе точечных измерений [2]. Данная модель наглядно отражает показатель концентрации полезного ископаемого в пределах участка.

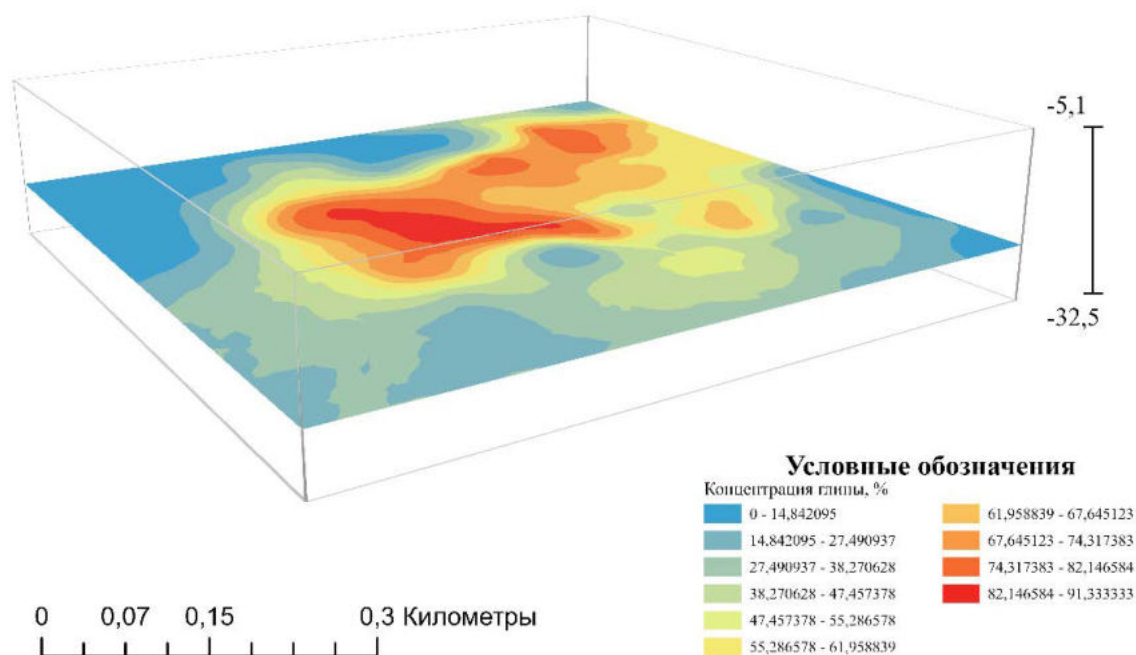


Рис. 3. Трёхмерная геостатистическая модель месторождения

Помимо трёхмерных моделей, те или иные показатели можно визуализировать в виде слоя вокселей или изоповерхностей (рис. 4), предварительно экспортировав в нужный формат исходную модель. Воксели представляют собой минимальный элемент объема, аналог пикселя в 2D-изображении, но в трёхмерном пространстве. Данное суждение справедливо и для понятия изоповерхности, которая представляет собой трёхмерный аналог 2D-изолинии.

В результате проведенного вариограммного анализа, качество которого обусловлено минимальным показателем ошибок, были построены соответствующие 3D-модели с наибольшей точностью интерполяции.

В результате трехмерного моделирования было обнаружено, что основной массив залежей глин (более 70 %) локализован в центральной части территории на глубинах от 8,5 до 22,5 м и, на данный момент, уже выработан. Исходя из полученной модели, перспективным является разработка участков на северо-востоке территории, где концентрации глины колеблется от 75 % и выше, на глубинах от 9 до 22,5 м. В свою очередь, порядка 20 % рассматриваемого участка практически не содержат глинистых отложений – на северо-западе и юго-востоке отведенной территории их доля в породе колеблется от 0 до 5 % по всему профилю.

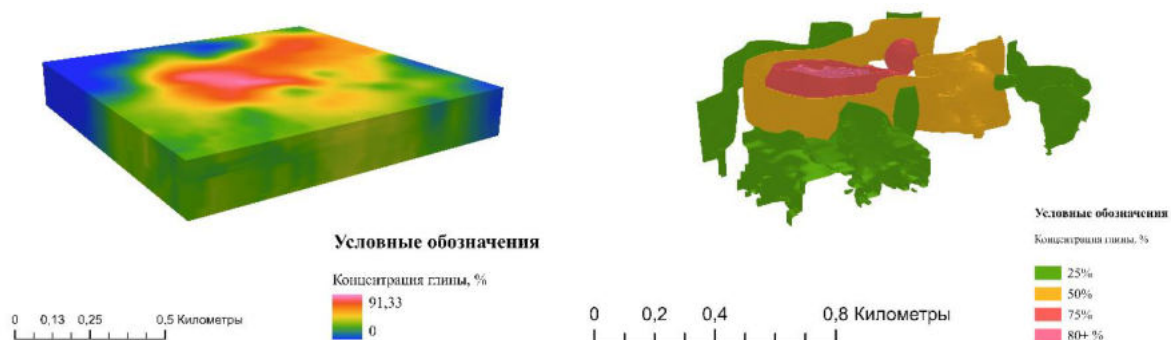


Рис. 4. Слой вокселей (слева), модель изоповерхностей (справа)

Полученные модели в перспективе могут применяться в качестве данных для визуализации при экономическом обосновании проведения геологоразведки и горных работ по добыче для дальнейшего принятия соответствующих решений в данной связи.

Библиографические ссылки

1. Демьянов В. В., Савельева-Трофимова Е. А. Геостатистика: теория и практика / под ред. Р. В. Арутюняна ; Рос. акад. наук, Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики. М. : Наука, 2010. 327 с.
2. Закревский К. Е. Геологическое 3D-моделирование. Нефтяная компания «Роснефть». М. : Маска, 2009. 376 с.

THE IMPACT OF WAR-INDUCED POPULATION MIGRATION ON LAND USE CHANGES IN THE GOVERNORATE OF SWEIDA, SYRIA

O. Morshed

Perm State University Bukireva, 15, 614068, Perm, Russia, www.psu.ru

The war in Syria began in 2011 and has continued until the present time but at a slower pace. The clashes between armed factions led to massive destruction of infrastructure, state facilities, and government departments, which resulted in a state of chaos, insecurity, and instability. Migration began, from unsafe areas to safe areas, including the city of Sweida, which was characterized by peace and security during the war years. A large number of people moved from other governorates to Sweida Governorate, which resulted in great pressure on economic sectors, especially the agricultural sector. This led to the need to cultivate a larger area of agricultural land to fill the agricultural gap. The research aims to show this increase in agricultural land cultivation after the beginning of the war in two years, i.e., from 2013 to 2021, by calculating the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for each year and creating a line graph.

Keywords: land use; crop lands; NDVI; Sweida.

Introduction. The governorate of Sweida is located in southern Syria. It covers an area of 6550 square kilometers [1], and is considered the original homeland of the Druze community in Syria [2].

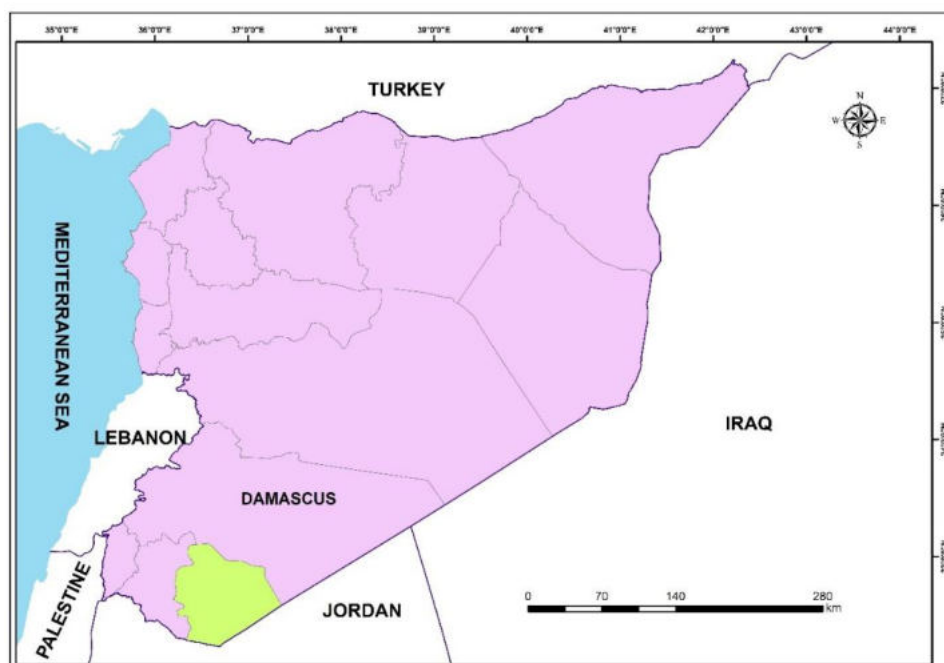


Fig. 1. Location of the governorate

The religious makeup of the province, which consists of approximately 91 % Druze, 6 % Sunni, and 2 % Christian, played a significant role during the years of war [1].

As this province adopted a neutral stance regarding the warring parties, the neutral position taken by the city's residents led to the prevalence of peace and tranquility within the city. This, in turn, resulted in a large influx of displaced people from other Syrian cities experiencing clashes between armed factions [1].

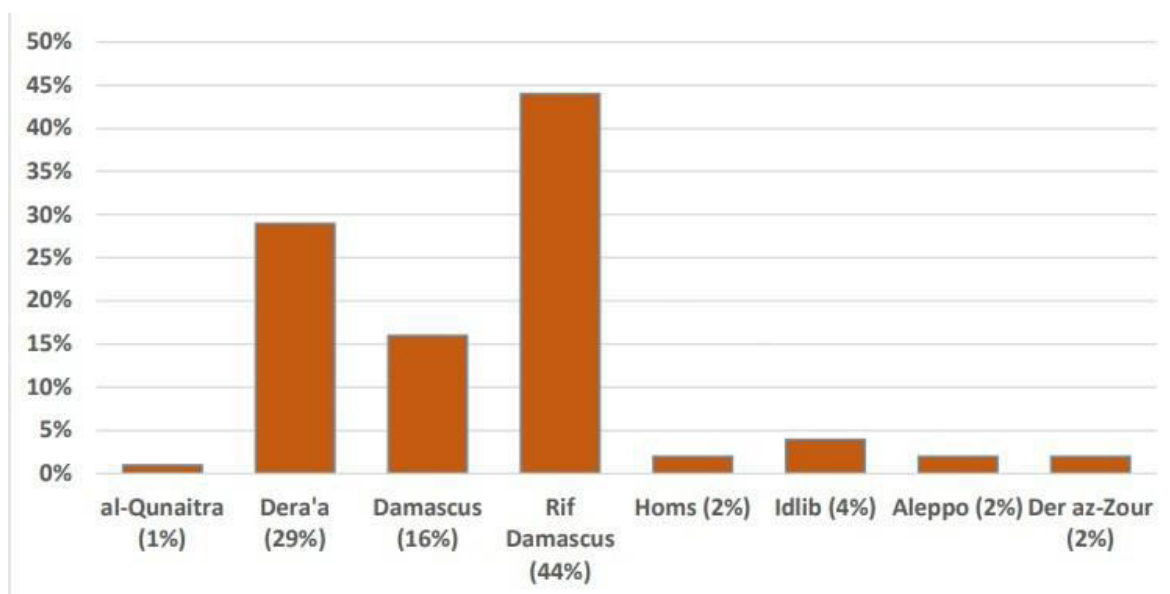


Fig. 2. Displacement Rates from Syrian Provinces to Sweida 15/07/2013

The purpose of the research – based on a long-term series of Landsat images, we determine the changes in vegetation cover in the city of Sweida, which increased significantly in 2013. We attribute this increase in vegetation cover to the influx of a large number of people into the city and an increase in agricultural activities.

The vegetation change index is one of the best indicators for detecting changes in vegetation over different time periods [3].

And it is calculated through the equation:

$$NDVI = (NIR - R) \div (NIR + R)$$

where NIR – near-infrared; R – Red radiation.

The methods used in the research. Starting from 1984 to 2021 satellite image of the city was downloaded from the EOS Land viewer website for the summer months, Summer was chosen because it is the season in which summer vegetables are cultivated, which are the main food source for the population and include tomatoes, potatoes, eggplant, cucumbers, etc. [4].

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated for each year within this time frame. Subsequently, a land cover layer was downloaded from the ESA World Cover 2021 [5]. The specific purpose was to extract layer representing agricultural lands. Agricultural lands were isolated to mitigate the impact of other vegetation covers such as trees and grasses on the analysis.

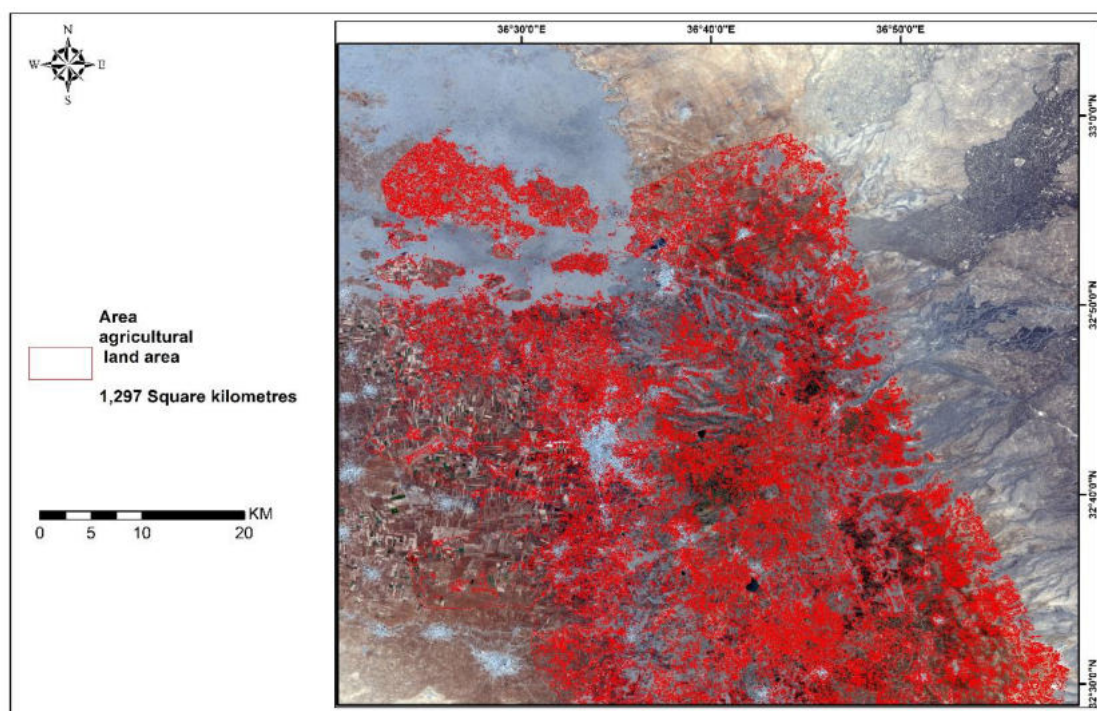


Fig. 3. Agricultural lands in governorate Sweida according to World cover 2021

37 satellite images from Landsat-5 and Landsat-8 were downloaded for the summer season. The earliest image was captured on 3 June, and the latest on 19 August, with some exceptions due to the unavailability of images during certain years or the presence of dense cloud cover. The June was chosen because, during the winter, agricultural lands are cultivated with crops such as wheat, barley, and lentils, primarily relying on rainfall. These crops are harvested in May [6]. After harvesting, summer vegetables are immediately planted, with farmers relying mainly on artesian wells for irrigation. Therefore, summer was selected to distinguish between grain crops and summer vegetables.

Using the Model Builder tool, the average NDVI was calculated for each image and added to a table using the Zonal Statistics as Table tool. Subsequently, the mean values were joined to a shapefile using the Join Field tool. Afterwards, these values were copied to an Excel spreadsheet and visualized as a graph.

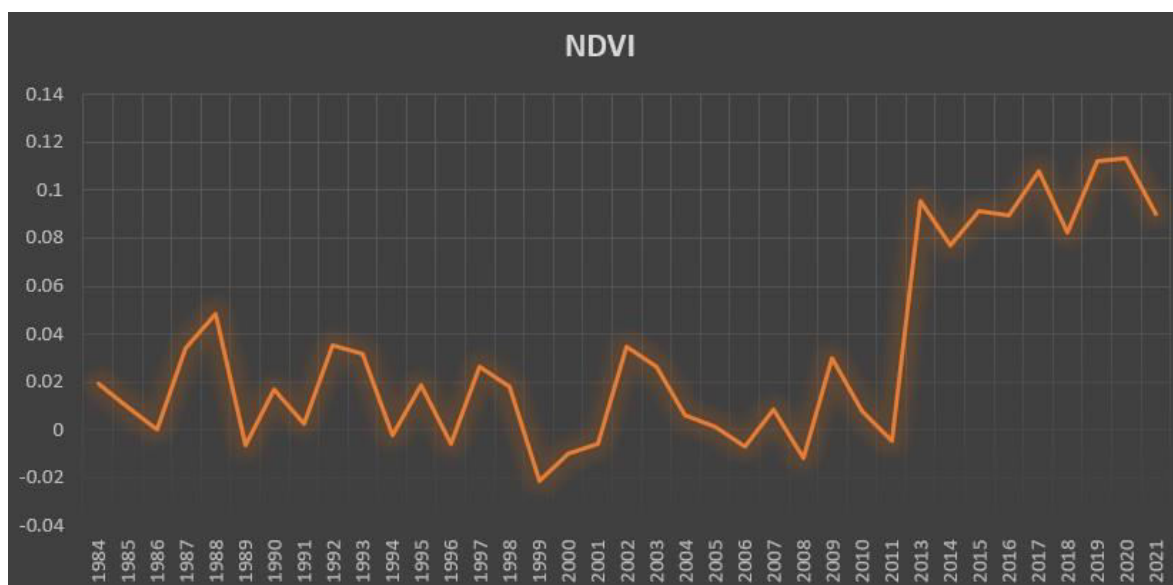


Fig. 4. Changes in Agricultural Crops, 1984 – 2021

Conclusions. We conclude from the graph a sudden rise in 2013, two years after the war, due to the displacement of people to the city and the increase in the area of agricultural land.

There are other factors that affect on land use, the most important of which is the climate, where the vegetation cover can be studied in a specific area and for a specific time period by comparing the vegetation cover with temperature or rainfall, where the percentage of vegetation cover is directly proportional to rainfall and inversely proportional to temperatures within reasonable limits.

References

1. Taim Z. Sweida: Conflict Dynamics and the Role of Civil Society [Electronic resource]. The London School of Economics and Political Science. 2020. P. 37. URL: https://eprints.lse.ac.uk/103144/7/Sweida_Conflict_Dynamics_English_21_Jan_2020_.pdf. (date of access: 02.11.2024).
2. European Union Agency for Asylum Report 2022 Syria: Security situation [Electronic resource]. P. 201. URL: https://coi.euaa.europa.eu/administration/easo/PLib/2022_09_EUAA_COI_Report_Syria_Security_situation.pdf (date of access: 25.10.2024).
3. Llerena S. A. , Kurbatova A. I. Assessment of the seasonal dynamics of the normalized differential vegetation index (NDVI) and ITS correlation with climate predictors in wetlands “La Tembladera” (ECUADOR) [Electronic resource] // Ekosistemy. 2021. Iss. 26. P. 5–11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/assessment-of-the-seasonal-dynamics-of-the-normalized-differential-vegetation-index-ndvi-and-its-correlation-with-climate/viewer> (date of access: 4.11.2024).

4. *Christopher C.* Syrian Agriculture Historical and Environmental Context [Electronic resource]. USAID KNOWLEDGE SERVICES CENTER (KSC). 2014. P. 24. URL: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PBAAC901.pdf. (date of access: 19.10.2024).
5. ESA World Cover 2021 [Electronic resource] // ESA: Site. URL: <https://worldcover2021.esa.int> (date of access: 14.09.2024).
6. Food and Agriculture Organization of the United Nations 2023 [Electronic resource]. GIEWS Country Brief The Syrian Arab Republic. P. 70. URL: https://www.fao.org/giews/countrybrief/country/SYR/pdf_archive/SYR_Archive.pdf. (date of access: 02.11.2024).

A STUDY OF SOIL ORGANIC MATTER CONTENT CHANGE IN MINSK REGION BASED ON GRADIENT BOOSTED TREE CLASSIFIERS

B. Zhao

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, e-mail: geozhao@outlook.com*

Soil organic matter content change in the Minsk region of Belarus was inverted using Sentinel-2A multispectral remote sensing images in conjunction with information on measured soil organic matter content classes. After image preprocessing, characteristic bands were selected by correlation analysis and a multispectral model was constructed using a gradient boosting classifier for the inversion of soil organic matter content in the study area. The study can provide technical support and reference for dynamic monitoring of soil organic matter content.

Keywords: remote sensing; soil; organic matter content, gradient boosting classifier.

Introduction. Soil organic matter (SOM) is an important parameter of soil quality, which can provide various nutrients for agricultural crops and has an important influence on elemental epigenetic geochemical characteristics. As a precious soil resource, the organic matter content of black soil is an important parameter reflecting soil quality [1-2]. In recent years, with the gradual degradation of black soil, the organic matter content of soil has decreased significantly, so it is important to estimate the organic matter content of black soil to reverse the declining trend of the content, which is an important measure for the protection of black soil [3]. The traditional monitoring of soil organic matter is mainly through the collection of a large number of field soil samples and indoor chemical experiments in the monitoring area for inversion, this method is long, time-consuming and labour-intensive, and the accuracy is controlled by the density of the samples, which is difficult to meet the needs of the rapid development of modern agriculture [4]. With the increasing maturity of remote sensing technology, the determination of soil organic matter content through the spectral difference of organic matter content has become an effective means.

The remote sensing inversion of soil organic matter content mainly consists of two research directions: the processing and selection of spectral information and the construction of inversion models. Spectral processing methods such as inverse, logarithmic, and de-complex line transformation are often used, but the selected organic matter characteristic bands vary according to the image data sources. Qu Ran et al. [5] selected Landsat TM images to invert the organic matter content in Fuchuan County, Guangxi Zhuang

Autonomous Region, and found that the organic matter content of the soil had the highest correlation with the DN values of Landsat TM bands 5 and 7. Chen Debao et al.[6] used Landsat 8 remote sensing images to model the organic matter in the black soil area of Nong'an County, and showed that the short-wave infrared B6 band reflectance was the best fitted model. Chen Siming et al. [7] reconstructed the Landsat 7 soil spectra with linear spectral separation, and concluded that the reconstructed spectra could significantly enhance the correlation with soil organic matter content and improve the accuracy of soil organic matter inversion. In previous studies, linear regression and partial least squares regression (PLSR) models have been used for soil organic matter inversion. Dhawale et al. [8] used the PLSR model with the organic matter content of soil samples and the corresponding soil reflectance, and the root-mean-square error (RMSE) of the model did not exceed 2.24%. Ma Chi [9] compared the multiple regression models of different band combinations of Sentinel-2A remote sensing imagery, and the R^2 was greater than 0.7. Currently, correlation analysis is mainly used for the selection of organic matter sensitive bands, and most of the inverse models are fitted linearly. In the present study, we used Sentinel-2A remote sensing images, combined with the measured soil organic matter content in Minsk Region, to study the relationship between the organic matter content of the soil surface and the remote sensing images through Spearman rank correlation analysis, and modelled by Gradient Boosting Classifier, so as to achieve the high-precision and rapid inversion of the soil organic matter on the ground.

Data acquisition and processing. The Minsk Region, located in central Belarus, spans approximately 40,800 square kilometers and includes agricultural land, forests, grasslands, and urban areas. In this paper, based on the data of soil types in Minsk region of Belarus, 500 points were randomly selected as the study area using Python language, where half of the data were used in the training set and the other half in the validation set for accuracy evaluation. The specific study area and sample training set are shown in Figure 1. Sentinel-2A imagery was selected from the study area in March 2024 during a period of bare soil and no snow, with 0 % cloud cover. The image preprocessing includes geometry correction, atmospheric correction, image inlay and image cropping. In order to improve the correlation between soil organic matter and spectral reflectance (R), the remote sensing images were processed by inverse ($1/R$), logarithmic ($\lg R$), power function (R^a), first-order differentiation (FDR), second-order differentiation (SDR) and inverse logarithmic first-order differentiation (FDLR).

Algorithmic principle. Spearman's rank correlation is a non-parametric statistical method used to measure the strength and direction of a monotonic relationship between two variables. Unlike Pearson's correlation, Spearman's method does not assume linearity or normal distribution of the data, making it

suitable for non-linear relationships. The core idea is to rank the raw values of the two variables, X and Y, transforming them into ranks R_i and S_i . The Spearman correlation coefficient, denoted as ρ , is calculated as:

$$\rho = 1 - \frac{6\sum(R_i - S_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

where n is the number of data points, and $(R_i - S_i)^2$ is the squared difference in ranks for each observation.

$\rho=1$: Perfect positive monotonic correlation.

$\rho=-1$: Perfect negative monotonic correlation.

$\rho=0$: No monotonic correlation.

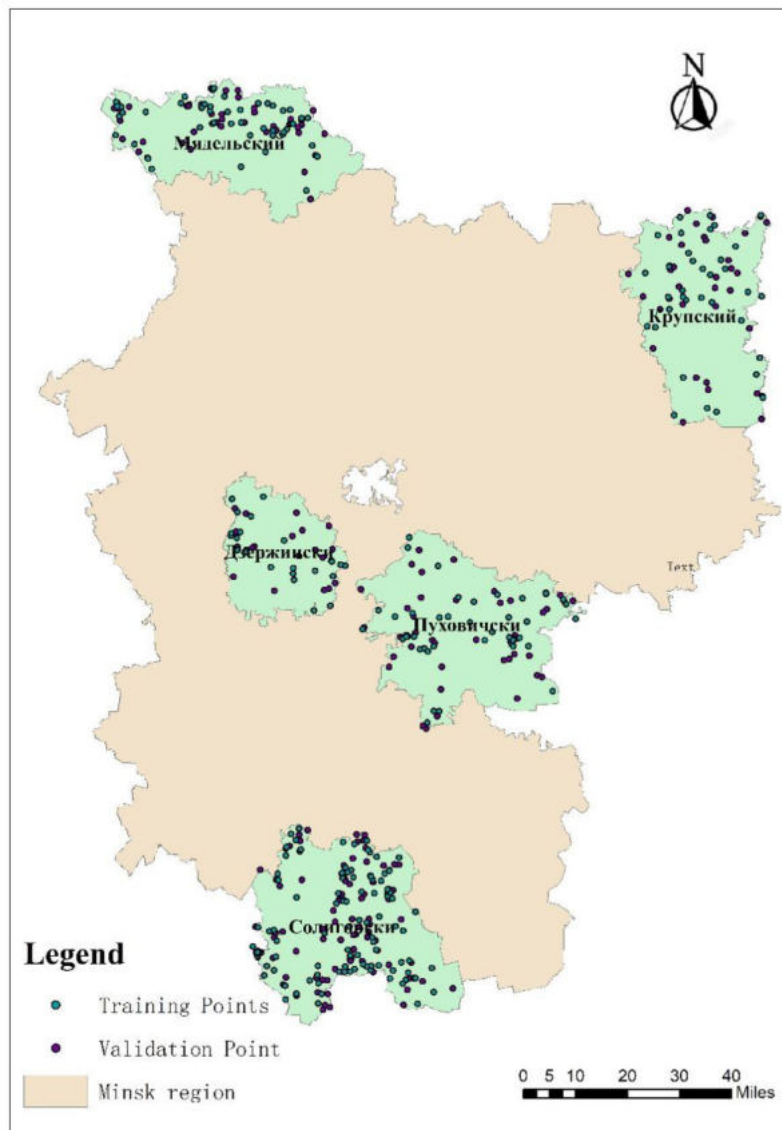


Fig. 1. Study area and sample points

Spearman's rank correlation is robust against outliers since it uses rank values instead of raw data, and it excels in identifying relationships that may not be linear but are monotonic in nature.

Gradient Boosting Classifier(GBC) is a widely used ensemble machine learning algorithm designed to improve the accuracy and robustness of predictive models. It works by combining the outputs of multiple weak learners, typically shallow decision trees, in an iterative manner to create a strong predictive model. The process begins by fitting a simple base model, such as predicting the mean value in regression tasks or the most common class in classification tasks. In subsequent iterations, each new tree is trained to minimize the errors, or residuals, made by the current model. These residuals are treated as pseudo-responses, with the new tree learning how to correct the previous predictions. The model is updated by adding the predictions of the new tree, weighted by a learning rate, to the cumulative prediction. This iterative process is guided by the gradient of a specified loss function, such as log loss for classification or mean squared error for regression. By successively reducing the loss, the GBT classifier achieves higher accuracy with each iteration. The learning rate controls the contribution of each tree, and hyperparameters such as the number of trees, maximum tree depth, and regularization terms help balance model complexity and performance. Gradient Boosting Trees are particularly effective at handling non-linear relationships and complex interactions among features, making them versatile for a wide range of applications. Proper tuning of parameters ensures the model avoids overfitting and generalizes well to unseen data. The ability to optimize arbitrary differentiable loss functions and its inherent robustness make the GBT classifier a cornerstone of modern machine learning.

Inversion of soil organic matter content. The correlation between soil organic matter content and reflectance of Sentinel-2A remote sensing images and their transforms was calculated under SPSS 27. As shown in Fig. 2, organic matter content and spectral reflectance are negatively correlated, but the correlation is not high, and the highest values of correlation coefficients of different mathematical transforms of different bands appear in the FDLR transform, which indicates that this preprocessing method can effectively improve the correlation between reflectance and soil organic matter in Sentinel-2A. The bands that passed the significance tests of the different mathematical transforms were used as the characteristic bands for the inversion, and the transforms with the highest correlation coefficients were combined as a kind of response band reference.

After selecting the feature bands and performing the relevant mathematical transformations, the appropriate band information is selected for classification by Gradient Boosting Classifier. The classifier features are trained as follows,

number Of Trees: 200, shrinkage: 0.1, sampling Rate: 1.0, maxNodes: 16. A training sample of soil organic matter in the study area is obtained after processing in Google Earth Engine using this method. With the training sample as shown in the figure, the result of hierarchical classification of soil organic matter content in the study area has an accuracy of 68 %.

		first derivative	bg	original	power	reciprocal	reciprocal bg	second derivative
B1	Correlation coefficient	0.0183	0.217**	0.217**	0.217**	-0.217**	-0.217**	-0.220**
	Significance p	0.7760	0.0065	0.0065	0.0065	0.0064	0.0064	0.0054
	N	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000
B2	Correlation coefficient	-0.0803	0.231**	0.231**	0.231**	-0.231**	-0.231**	-0.246**
	Significance p	0.2116	0.0028	0.0028	0.0028	0.0027	0.0028	0.0011
	N	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000
B3	Correlation coefficient	-0.130*	0.241**	0.241**	0.241**	-0.240**	-0.241**	-0.258**
	Significance p	0.0431	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0044
	N	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000
B4	Correlation coefficient	-0.0639	0.292**	0.292**	0.292**	-0.292**	-0.292**	-0.296**
	Significance p	0.3208	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0021
	N	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000
B5	Correlation coefficient	-0.0865	0.270**	0.270**	0.270**	-0.271**	-0.270**	-0.307**
	Significance p	0.1779	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0000
	N	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000
B6	Correlation coefficient	-0.0231	0.174**	0.174**	0.174**	-0.174**	-0.174**	-0.207**
	Significance p	0.7193	0.0651	0.0651	0.0651	0.0649	0.0651	0.0116
	N	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000
B7	Correlation coefficient	-0.0773	0.161*	0.161*	0.161*	-0.161*	-0.161*	-0.203**
	Significance p	0.2292	0.0118	0.0118	0.0118	0.0120	0.0120	0.0141
	N	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000
B8	Correlation coefficient	-0.0172	0.199**	0.199**	0.199**	-0.199**	-0.199**	-0.195**
	Significance p	0.7889	0.0178	0.0178	0.0178	0.0183	0.0183	0.0217
	N	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000
B8A	Correlation coefficient	-0.0493	0.189**	0.189**	0.189**	-0.190**	-0.189**	-0.231**
	Significance p	0.4437	0.0298	0.0298	0.0299	0.0290	0.0298	0.0028
	N	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000
B9	Correlation coefficient	-0.0731	0.242**	0.242**	0.242**	-0.242**	-0.242**	-0.236**
	Significance p	0.2550	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0020
	N	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000
B10	Correlation coefficient	0.0467	0.154*	0.154*	0.154*	-0.157*	-0.154*	-0.147*
	Significance p	0.4678	0.0160	0.0160	0.0160	0.0140	0.0160	0.0220
	N	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000
B11	Correlation coefficient	-0.0541	0.322**	0.322**	0.321**	-0.322**	-0.322**	-0.346**
	Significance p	0.4017	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	N	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000
B12	Correlation coefficient	-0.0937	0.304**	0.304**	0.304**	-0.304**	-0.304**	-0.333**
	Significance p	0.1445	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0000
	N	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000	244.0000
** Significant correlation at the 0.01 level (two-tailed).								
* Significant correlation at the 0.05 level (two-tailed).								

Fig. 2. Sentinel 2A bands and their mathematical variant forms with soil organic matter Spearman rank correlation analysis

Conclusion. The reflectance of Sentinel-2A multispectral remote sensing image was transformed by 1/R, lgR, Ra, FDR, SDR and FDLR, and the inversion of soil organic matter was realised by combining different models, which achieved good results. The following conclusions are drawn:

1. The FDLR transformation model of reflectance fits the best when modelling by correlation analysis, and the combination of bands can effectively

improve the modelling accuracy of soil organic matter content in inversion. 2) The multispectral remote sensing image spectra of soil organic matter can be used for the inversion of soil organic matter content in different models.

2. The spectral resolution of multispectral remote sensing images is low, so the linear fitting model cannot accurately estimate the soil organic matter content, and a nonlinear model is needed to effectively fit the spectral information to the organic matter content.

3. Under the Gradient Boosting Classifier, the classification accuracy of soil organic matter content in the study area is 68%, but it shows the potential of this method for classification and extraction, and provides a new direction for the next research on soil organic matter.

References

1. Kong M., Yang S. P. Preliminary research into the disturbed principle of organic material to character of supergene-geochemistry in forest marsh landscape area // *Geophysical and Geochemical Exploration*. 2008. Vol. 32, No. 1. P. 31–32, 74.
2. Rasmussen C., Heckman K., Wieder W. R. Beyond clay: Towards an improved set of variables for predicting soil organic matter content // *Biogeochemistry*. 2018. Vol. 137, No. 5. P. 297–306.
3. Dai H. M., Liu K., Song Y. H. Black soil degradation and intensity in northeast China: Geochemical indication // *Geology and Resources*. 2020. Vol. 29, No. 6. P. 510–517.
4. Liu H. J., Zhang M. W., Yang H. X. Inversion of cultivated soil organic matter content combining multi-spectral remote sensing and random forest algorithm // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 36, No. 10. P. 134–140.
5. Qu R., Zhang Y. Q., Nie Y. H. Inversion of surface soil organic matter content in Fuchuan county based on multi-spectral remote sensing image // *Environment and Sustainable Development*. 2019. Vol. 44, No. 1. P. 154–157.
6. Chen D. B., Chen G. F. Inversion of soil organic matter content in black soil region based on Landsat 8 remote sensing image // *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*. 2020. Vol. 41, No. 6. P. 194–198.
7. Chen S. M., Zou S. Q., Mao Y. L. Inversion of soil organic matter content in wetland using multispectral data based on soil spectral reconstruction // *Spectroscopy and Spectral Analysis*. 2018. Vol. 38, No. 3. P. 912–917.
8. Dhawale N. M., Adamchuk V. I., Prasher S. O. Proximal soil sensing of soil texture and organic matter with a prototype portable mid-infrared spectrometer // *European Journal of Soil Science*. 2015. Vol. 66, No. 4. P. 661–669.
9. Ma C. Inversion of soil organic matter content based on Sentinel-2A remote sensing image // *Northern Horticulture*. 2020. No. 2. P. 94–100.

РАЗДЕЛ II ГИС В УПРАВЛЕНИИ ООПТ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

ГИС В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ

А. А. Артемова¹⁾, Е. К. Ильина²⁾, А. В. Лебедев²⁾

¹⁾ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», Тимирязевская улица, 49, 127434, г. Москва, Российская Федерация, email: alenafox1109@gmail.com

²⁾ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», Тимирязевская улица, 49, 127434, г. Москва, Российская Федерация

Эффективность лесного мониторинга зависит от развитой информационной базы, включающей сведения о состоянии и динамических характеристиках лесной базы, эколого-ресурсном потенциале и условиях роста лесных экосистем. ГИС-технологии позволяют собирать, хранить, обрабатывать, анализировать и отображать на электронных картах разнородные объекты и явления. Это создает необходимые условия для создания кадастров, тематических карт и их дальнейшего использования.

Ключевые слова: лес; ГИС; геоинформационные технологии; лесное хозяйство.

GIS IN FOREST ASSESSMENT

A. A. Artemova¹⁾, E. K. Ilyina²⁾, A. V. Lebedev²⁾

¹⁾ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, 127434, Timiryazevskaya Street, Moscow, Russian Federation, email: alenafox1109@gmail.com

²⁾ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, 127434 Timiryazevskaya Street, Moscow, Russian Federation

The effectiveness of forest monitoring depends on a developed information base, including information on the state and dynamic characteristics of the forest base, the ecological resource potential and the conditions for the growth of forest ecosystems. This creates the necessary conditions for the creation of cadastres, thematic maps and their further use.

Keywords: forest; GIS; geoinformation technologies; forestry.

Леса – стратегические природные ресурсы, играющие важную роль в жизни и социально-экономическом развитии человека. Международные соглашения, участником которых является Россия, требуют перехода к

устойчивому развитию, предполагающему баланс социальных и экономических задач и сохранение природных ресурсов для будущих поколений. Основой устойчивого управления лесами является принцип неистощительного использования, а экономические стратегии управления лесами должны быть согласованы с парадигмой устойчивого развития. Важными условиями реализации стратегии являются совершенствование институциональных, управленческих и экономических механизмов, создание государственно-частных партнерств и формирование эффективной институциональной среды для лесных ресурсов. Географические информационные системы (ГИС) используются в лесоправлении для обработки пространственных и временных данных и принятия решений на основе картографической информации; ГИС – это мощный инструмент для анализа пространственных данных и интеграции информации, способствующий эффективному решению управленческих задач [1-6].

Роль ГИС в лесном секторе. Географические информационные системы в лесном хозяйстве выполняют несколько важных функций, которые значительно улучшают процессы управления лесами [1; 3-4]:

- мониторинг лесов: ГИС можно использовать для отслеживания изменений в лесных экосистемах в режиме реального времени, таких как вырубки, новые очаги пожаров и ущерб от вредителей и болезней. Это позволяет быстро реагировать на изменения и минимизировать ущерб;

- планирование лесопользования: ГИС предоставляет лесопромышленникам мощный инструмент для планирования и организации лесозаготовительных работ, лесных дорог и оптимизации транспортных маршрутов. Таким образом, они могут эффективно использовать ресурсы и снижать затраты на лесозаготовки;

- учет лесных ресурсов: ГИС позволяет вести точный учет лесных ресурсов для количественного определения запасов древесины, биомассы и углерода. Это важно для оценки экономической ценности и экологического состояния лесов;

- анализ данных о лесах: ГИС можно использовать для комплексного анализа лесных данных, включая анализ растительности, почвы, воды и биоразнообразия. Это позволяет лучше понять экологические процессы и принять обоснованные управленческие решения.

ГИС-технологии находят широкое применение в лесном хозяйстве. Вот некоторые конкретные примеры [2; 5-6]:

- картографирование лесов: к примеру, в программном пакете «ЛВПЦ» (леса высокой природоохранной ценности) и «Delyana», ГИС используются для оцифровки лесных ландшафтов и создания интерактивных карт, на которых можно визуализировать расположение участков, дорог, инфраструктуры и границ лесозаготовок (рис. 1);

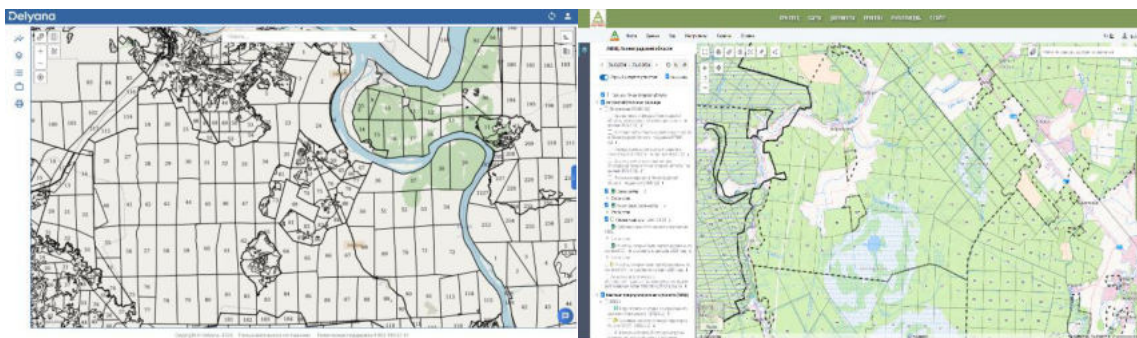


Рис. 1. Программы «Delyana» и «ЛВПЦ»

- учет лесных ресурсов: ГИС позволяют точно учитывать лесные ресурсы и количественно определять запасы древесины, биомассы и углерода. Например, программный пакет «Delyana» позволяет вести точный учет древесины, анализировать запасы леса и прогнозировать будущие урожаи;
- мониторинг пожаров и других чрезвычайных ситуаций: используя данные спутникового слежения и беспилотников, ГИС-системы могут выявлять новые очаги возгорания и прогнозировать их распространение;
- оптимизация лесозаготовительных работ: ГИС можно использовать для оптимизации маршрутов лесозаготовительных машин, минимизации воздействия на окружающую среду и снижения затрат на топливо;
- анализ изменений в лесных экосистемах: ГИС можно использовать для анализа долгосрочных изменений в лесных экосистемах, таких как изменение типов растительности, деградация почв и водного баланса. Это позволяет лучше понять последствия изменения климата и антропогенной деятельности для лесного сектора и разработать стратегии их защиты и восстановления.

Программные средства для реализации идей ГИС-технологий весьма разнообразны и представлены отечественными и зарубежными программными продуктами. В настоящее время существует большое количество программных пакетов и программно-технологических комплексов. Каждая программа может отличаться по многим параметрам. Ниже представлены некоторые из этих технологий [1; 5-6].

«ЛУГИС» – автоматизированная компьютерная ГИС, включающая в себя подсистемы лесоустройства, лесоустройства и лесопользования – ЛУГИС-ЛХ и лесоустройства – WinEKO. В 1988 году эта система была разработана как компьютерная система лесоустройства, лесоустройства и лесопользования Ленинградской и Новгородской областей. Она была утверждена как ГИС поддержки.

«GeoGraph» / «GeoDraw» (разработчик – ЦГИ ИГ РАН) – отечественный векторный редактор местности для цифрового картографирования. Система используется в Восточной Сибири, Поволжье, Байкальском регионе, Вологодской области, Архангельской области и Республике Коми для решения задач организации и ведения лесного хозяйства, лесоустройства на региональном и местном уровне в промышленных масштабах.

«MapInfo» – разработчик геоинформационного программного обеспечения. Продукты компании включают: «MapInfo Professional» – геоинформационная система (ГИС) для сбора, хранения, отображения, редактирования и анализа пространственных данных (рис. 2).

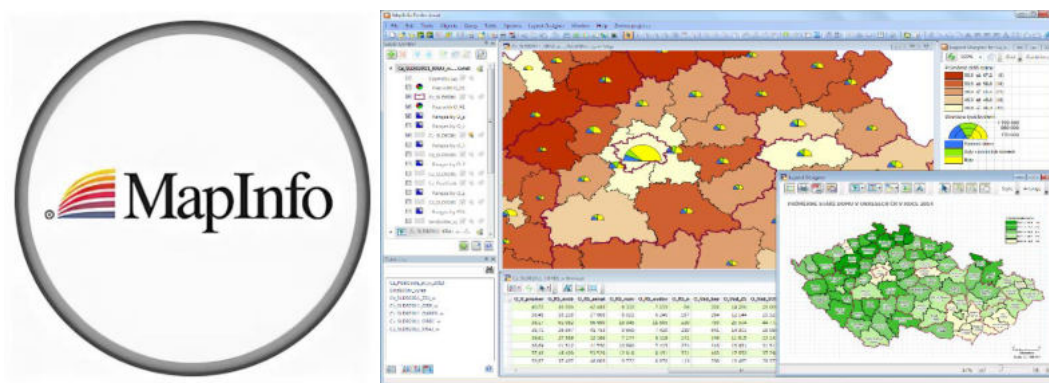


Рис. 2. ГИС «MapInfo»

«MapInfo MapXtreme» –программное обеспечение для создания геоинформационных систем Интернет/Инtranет и настольных ГИС-приложений. «MapInfo Discovery» – простой инструмент для публикации картографических веб-приложений в Интернете. «MapInfo Drivetime» – решение для определения зон доступа транспорта и создания оптимальных маршрутов. Также имеется бесплатный «MapInfo ProViewer», который позволяет делиться картографическими данными с коллегами и клиентами даже без установленной «MapInfo Professional».

ГИС «ТороL-L» состоит из основного продукта «GIS ТороL» (Чехия), выполняющего картографические работы, и программного дополнения «LesIS» (L), обрабатывающего налоговые данные. Обе подсистемы являются независимыми самостоятельными продуктами и могут использоваться как вместе, так и по отдельности.

«ArcGIS» – это набор программных продуктов от американской компании ESRI, мирового лидера на рынке геоинформационных систем (рис. 3).

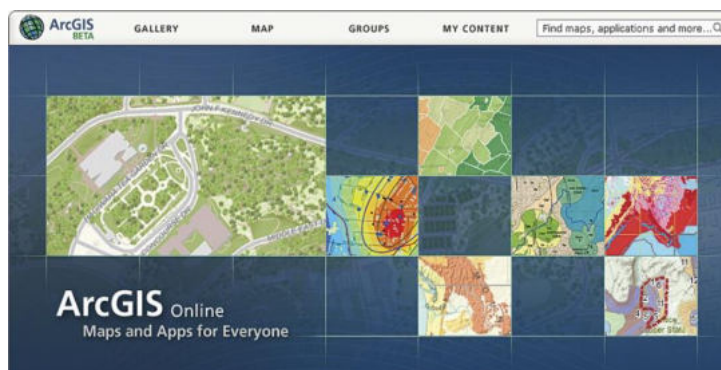


Рис. 3. «ArcGIS» – комплекс геоинформационных программ

«ArcViewGIS» – это мощный, простой в использовании инструмент для обеспечения доступа к географической информации; ArcView предоставляет мощные функциональные возможности для просмотра, исследования, запроса и анализа пространственных данных.

Интеграционный пакет «ArcInfo» – ведущий инструмент для разработки и эксплуатации универсальных ГИС. Он предназначен для создания географических информационных систем и позволяет вводить, обрабатывать, анализировать данные и создавать географические карты с помощью персонального компьютера.

«СУБД-Л» – система управления базами данных лесного хозяйства, является прототипом «СОЛИ-1» (Система обработки лесной информации) и используется в лесном хозяйстве ОАО «Центролеспроект» с 1990 года.

Практическое применение геоинформационных систем (ГИС) в лесном хозяйстве подтверждает их важность для эффективного управления лесами и сохранения экосистем. ГИС предоставляют инструменты для мониторинга лесов, планирования лесопользования и учета ресурсов, способствуя рациональному использованию лесных ресурсов и поддержанию экологического баланса. «ЛУГИС», «GeoGraph», «MapInfo» и другие программные продукты обеспечивают комплексный анализ данных и принятие обоснованных управленческих решений.

Использование ГИС-технологий для мониторинга таких чрезвычайных ситуаций, как лесные пожары и изменения в экосистемах, позволит быстро реагировать на угрозы в условиях меняющегося климата. Интеграция ГИС в лесное хозяйство повышает эффективность природопользования, способствует охране окружающей среды и закладывает основу для устойчивого развития лесных экосистем. Дальнейшие исследования и применение передовых ГИС-технологий помогут улучшить подходы к управлению лесами и обеспечить защиту и восстановление лесных ресурсов для будущих поколений.

Библиографические ссылки

1. *Блохин Д. Ю.* ГИС-технологии в лесном хозяйстве и лесной промышленности // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2006. № 13. С. 14–16.
2. *Голубев А. С., Любимцев А. В.* Применение ГИС в лесном хозяйстве и при планировании лесоводственных исследований // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2011. № 28. С. 34–38.
3. *Гостева Д. Ю., Лебедев А. В.* Использование спутниковых данных для мониторинга санитарного состояния лесов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : материалы XXI Международной научно-технической конференции, Вологда, 5 декабря 2023 года. Вологда: Вологодский государственный университет, 2023. С. 378–380.
4. *Дубенок Н. Н., Лебедев А. В., Гостева Д. Ю.* Динамика показателей земель лесного фонда и санитарного состояния лесов Московской области // Орошаемое земледелие. 2024. № 2 (45). С. 60–67.
5. *Миронова Ю. Н.* Использование геоинформационных систем в лесном хозяйстве и лесной промышленности // Отходы и ресурсы. 2022. Т. 9, № 1.
6. *Сучков Д. К.* Геоинформационные технологии в лесном секторе // Успехи современного естествознания. 2023. № 1. С. 69–73.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ДОН В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

А. Г. Баскакова

*Воронежский государственный университет,
Россия, 394068, г. Воронеж, ул. Хользунова, 40, geoecolog@mail.ru*

Рассматриваются вопросы изучения экологических рисков на территории агро-промышленного региона на основе сочетания статистических методов и пространственного анализа данных. Предложена методика оценки экологических рисков водопользования на примере Воронежской области, с помощью интегрального показателя. Результатом этого анализа является цифровая карта, отображающая 4 уровня рисков водопользования.

Ключевые слова: риски водопользования; антропогенная нагрузка; водные ресурсы; картографирование водных объектов; ГИС в экологии.

MAPPING ENVIRONMENTAL RISKS OF WATER USE ON THE EXAMPLE OF POLLUTION OF THE DON RIVER IN THE VORONEZH REGION

A. G. Baskakova

*Voronezh State University,
Russia, 394068, Voronezh, Kholzunov St., 40, geoecolog@mail.ru*

The article considers the issues of assessing environmental risks in the territory of an agro-industrial region based on a combination of statistical methods and spatial data analysis. A methodology for analyzing environmental risks of water use is proposed using the example of the Voronezh Region using an integral indicator. The result of this analysis is a digital map displaying 4 levels of water use risks.

Keywords: water use risks; anthropogenic load; water resources; mapping of water bodies; GIS in ecology.

Водопотребление в России сравнительно невелико, однако в результате хозяйственной деятельности загрязнено огромное число рек и водоёмов. Воронежская область относится к регионам недостаточно водообеспеченным поверхностными водными ресурсами по сравнению с другими областями ЦЧР [1]. Поэтому важно оценить их с помощью комплексного учета уровня антропогенной нагрузки на территорию, показателей состо-

яния водных объектов и оценки экологического риска для здоровья населения, связанного с качеством хозяйственно-питьевого водопользования с применением геоинформационных методов [2].

Задание: 1. показать качество воды реки Дон в пределах Воронежской области; 2. показать факторы, влияющие на загрязнение водного объекта; 3. составить легенду карты загрязнения поверхностных вод; 4. построить карту загрязнения поверхностных вод.

Содержание любой оценочной карты включает географическую основу и специальную нагрузку, по объему и характеру которой карты оценки качества поверхностных вод могут существенно различаться [3]. В содержании оценочных карт могут сочетаться частные показатели состава поверхностных вод с интегральной оценкой.

В качестве исходных для картографирования материалов были использованы:

1. Слои цифровой топографической карты Воронежской области:
 - 1.1. Гидрографические объекты (реки, озера, водохранилища);
 - 1.2. Административные районы;
 - 1.3. Административные центры;
 - 1.4. Статистические данные на момент выполнения работы.

Создание карты включает несколько этапов.

1. Нанесение на цифровую топографическую основу статистической информации.

Все следующие показатели были привязаны к административным районам области:

- плотность населения;
- распаханность территории;
- плотность населения;
- плотность промышленности;
- животноводческая нагрузка;
- сбросы загрязнённых сточных вод;
- объем отходов ТКО;
- популяционный риск здоровью населения;
- удельный комбинаторный показатель загрязненности воды (УКИЗВ).

2. Создание слоев, ранжирующих водный объект по комплексному индексу загрязненности воды.

К слою гидрографических объектов привязаны статистические данные УКИЗВ и нанесены способом количественного фона соответствующие показатели. Для наглядности отображения вдоль рек строилась буферная зона шириной 3 км, которая была разделена на участки по степени загрязнённости показателя:

- 3а загрязненная;
- 4а грязная;
- 3б очень грязная.

3. Создание слоев, по степени антропогенной нагрузки. Показатели были объединены в следующие группы:

- 1 группа: факторы размещения производства;
- 2 группа: факторы загрязнения водного бассейна;
- 3 группа: факторы риска здоровью человека.

На карте они отражены в виде столбчатых диаграмм. Из-за высоких различий между административным центром г. Воронеж и остальными районами области был применен различный вертикальный масштаб диаграмм:

- для областного центра: 1 см – 1 балл;
- для других районов: 1 см – 0,5 балла.

4. Создание слоев, включающих интегральный показатель рисков водопользования.

Экологические риски водопользования определяются следующими условиями [1]:

- природным гидрохимическим составом вод, который может модифицироваться при техногенных воздействиях (загрязненные стоки, гидротехническое строительство и т.д.);

- воздействием водопользования на прилегающие ландшафты и хозяйственную деятельность населения при различных типах природообустройства и регионального природопользования (сельскохозяйственного, лесопользования вблизи водоемов, водно-рекреационного и т.д.);

- качеством питьевого водоснабжения, которое в определенной степени может быть связано с состоянием поверхностных вод в условиях интенсивных техногенных воздействий на воды.

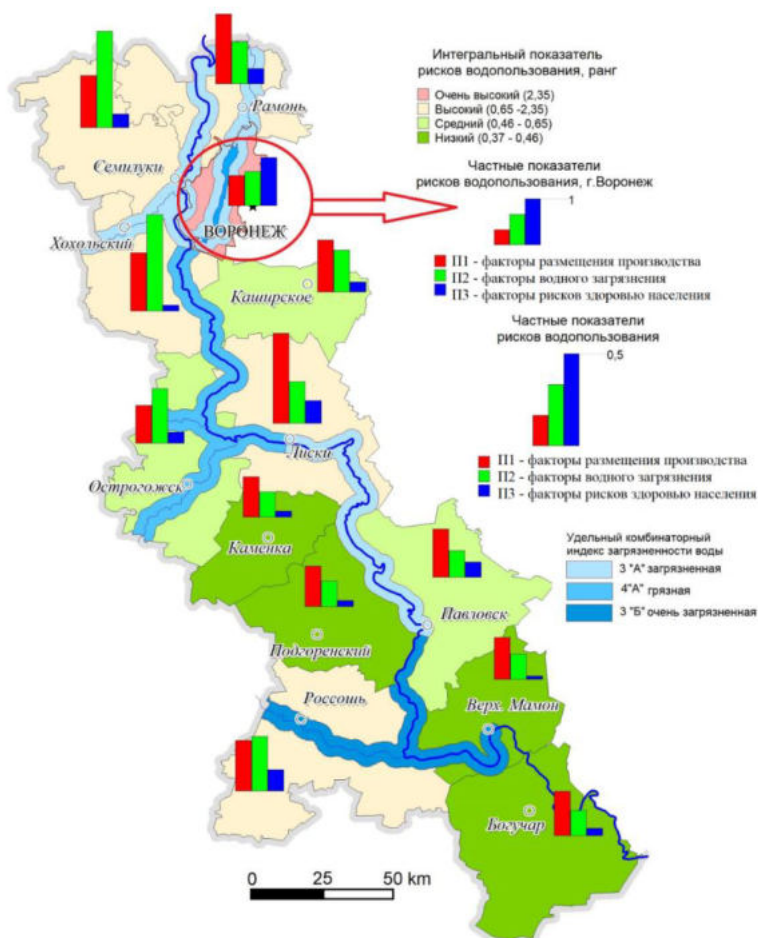
Интегральный показатель привязывался к муниципальным районам, которые примыкают к реке Дон и хозяйство которых оказывает непосредственное влияние на состояние поверхностных водных ресурсов.

Степень остроты риска определялась путем ранжирования методом естественных групп в программе MapInfo Professional 9,0 и было выделено 4 степени риска (табл.) [4].

Интенсивность рисков водопользования

Интенсивность нагрузки, балл			
очень высокий	высокий	средний	низкий
более 2,35	0,65–2,35	0,46–0,65	0,37–0,46

Итоговая карта рисков водопользования отображена на рисунке [2].



Карта экологических рисков на территории Донского бассейна
(картографическая модель)

С учетом роста населения, увеличения потребления воды и изменения климата, необходимо принимать меры для снижения негативного воздействия человеческой деятельности на водные ресурсы и обеспечения их устойчивого использования.

Библиографические ссылки

1. Емельянова В. П., Оленникова Н. Н. К вопросу оценочного картографирования степени загрязненности, качества поверхностных вод // Успехи современного естествознания. 2022. № 7. С. 46–54.
2. Баскакова А. Г., Куропан С. А., Нестеров Ю. А. Оценка экологических рисков водопользования на территории крупного речного бассейна // Региональная гидроэкологическая диагностика : Сборник научных статей. Воронеж : Общество с ограниченной ответственностью "Цифровая полиграфия", 2022. С. 15–30.
3. Ведухина В. Г. Геоинформационное картографирование антропогенной нагрузки на поверхностные воды и водосборные бассейны Алтайского края // Гео-Сибирь. 2005. Т. 4. С. 107–111.
4. Нестеров Ю. А. Цифровые модели геополей: программное обеспечение Vertical Mapper: учебное пособие. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2020. 112 с.

ГИС-МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ В СТРУКТУРЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЗА 40-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД НА ПРИМЕРЕ ОПЫТНОГО УЧАСТКА

А. А. Бенько, А. Л. Киндеев, А. Н. Червань, А. А. Сазонов

*Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16,
220030, г. Минск, Республика Беларусь, bublik.benko@mail.ru*

В работе приведена карта изменения СПП за 40-летний период для опытного участка на территории Белорусского Полесья в Пинском районе. Предложена модификация шкалы морфометрических показателей для более объективной передачи информации о почвенном покрове, а также предложена дальнейшая схема оптимизации земель для сельскохозяйственного использования на основе коэффициента неоднородности.

Ключевые слова: неоднородность; контрастность; мелиорация; деградация почв; агроландшафт.

GIS MODELING OF MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS FOR ASSESSING CHANGES IN SOIL COVER STRUCTURE OVER A 40-YEAR PERIOD USING AN EXAMPLE OF AN EXPERIMENTAL SITE

A. A. Bianco, A. L. Kindeev, A. N. Chervan, A. A. Sazonov

*Belarusian State University, Leningradskaya St., 16,
220030, Minsk, Belarus, bublik.benko@mail.ru*

The paper presents a map of soil cover changes over a 40-year period for an experimental site in the Belarusian Polesie in the district. A modification of the morphometric indicator scale is proposed for a more objective transmission of information on the soil cover, and a further scheme for land optimization for agricultural use is proposed based on the heterogeneity coefficient.

Keywords: heterogeneity; contrast; melioration; soil degradation; agricultural landscape.

В Национальной стратегии адаптации сельского хозяйства к изменению климата в Республике Беларусь [1] определена наиболее уязвимая область страны – территория Белорусского Полесья [2], что определяет первоочередность проведения мониторинга состояния сельскохозяйственных культур в регионе, оценку их продуктивности и формирование здесь современных адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

Ключевым участком выступают земли опытного полигона СПК «Бобрик» в Пинском районе Республики Беларусь на территории Белорусского Полесья. Опытный полигон в 1972 г. состоял из 21 рабочего участка, впоследствии к нему добавились еще 5 и в 2022 г. общее количество достигло 26 рабочих участков (рис. 1).

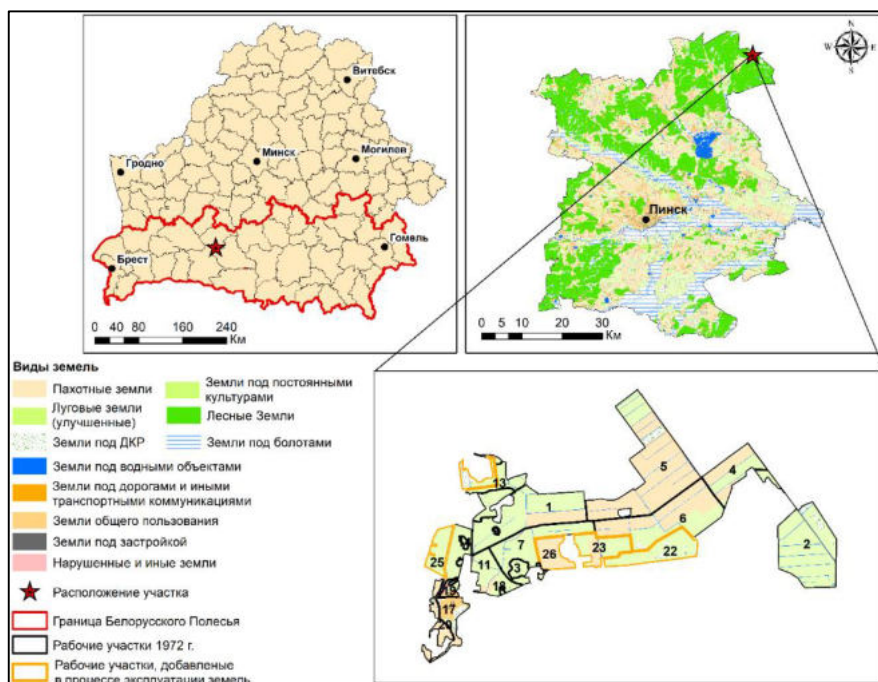


Рис. 1. Расположение исследуемого участка СПК «Бобрик» в Пинском районе Республики Беларусь

Материалами для исследования послужили архивные материалы первого тура почвенно-агрохимического обследования земель 1972 г. перед проведением осушения данной территории и современные данные (2022 г.) земельно-информационной системы Республики Беларусь [3]. Обработка пространственных данных и создание картографического материала проводилась в программном продукте ArcGIS ArcMap 10.7. Расчет морфометрических показателей СПП, включающих в себя коэффициенты сложности (КС) контрастности (КК) и неоднородности (КН), производился автоматизировано с использованием инструментов ModelBuilder [4] на основании определенных Юодисом Ю. К. формул [5]:

$$КС = \frac{KP \times (S - S_{MAX})}{S^2} \quad (1)$$

где – КС – коэффициент сложности; КР – сумма коэффициентов расчленения всех контуров; S – сумма площадей всех контуров, га; S_{max} – площадь наиболее крупного контура, га.

$$КР = \frac{P}{3,54\sqrt{S}} \quad (2)$$

где – КР – коэффициент расчлененности; P – периметр почвенного контура; S – площадь почвенного контура.

$$КК = \frac{ax + by + cz}{20} \quad (3)$$

где – a, b, c – площади почв в процентном отношении от общей площади территории; x, y, z – степень контрастности соответствующих почв по отношению к распространенной.

$$КН = КС \times КК \quad (4)$$

где – КН – коэффициент неоднородности почвенного покрова; КС – коэффициент сложности; КК – коэффициент контрастности.

Так как большинство шкал разработаны еще в 1970–80-х гг., когда карты были более мелкого масштаба, менее точные, измерения площадей и периметров проводились без соблюдения топологических правил. В работе предлагается использовать принцип единообразия метрических величин, а также для измерения площади в формулах использовать гектары. При этом промежуточные значения КР возрастают кратно и для трактовки итоговых результатов предлагается модифицировать имеющиеся шкалы для изучаемой территории умножив диапазоны на 10, что вызвано разным уровнем хозяйственного освоения территории в 1972 и 2022 годах. Таким образом рабочие участки (РУ) со значениями КН менее 50 можно отнести к однородным; от 51 до 100 – слабо неоднородным; 100–200 – средне неоднородным; 201–300 – сильно неоднородным и более 300 – очень сильно неоднородным. КК от 0 до 2 – очень неконтрастные, менее 4 – неконтрастные, от 4 до 6 – малоконтрастные, от 6 до 10 – контрастные, от 10 до 16 – очень контрастные. КС значения менее 15 – оптимальные, от 15 до 30 – допустимые, от 30 до 50 – удовлетворительный, от 50 до 95 – неудовлетворительный, более 95 – критический (рис. 2).

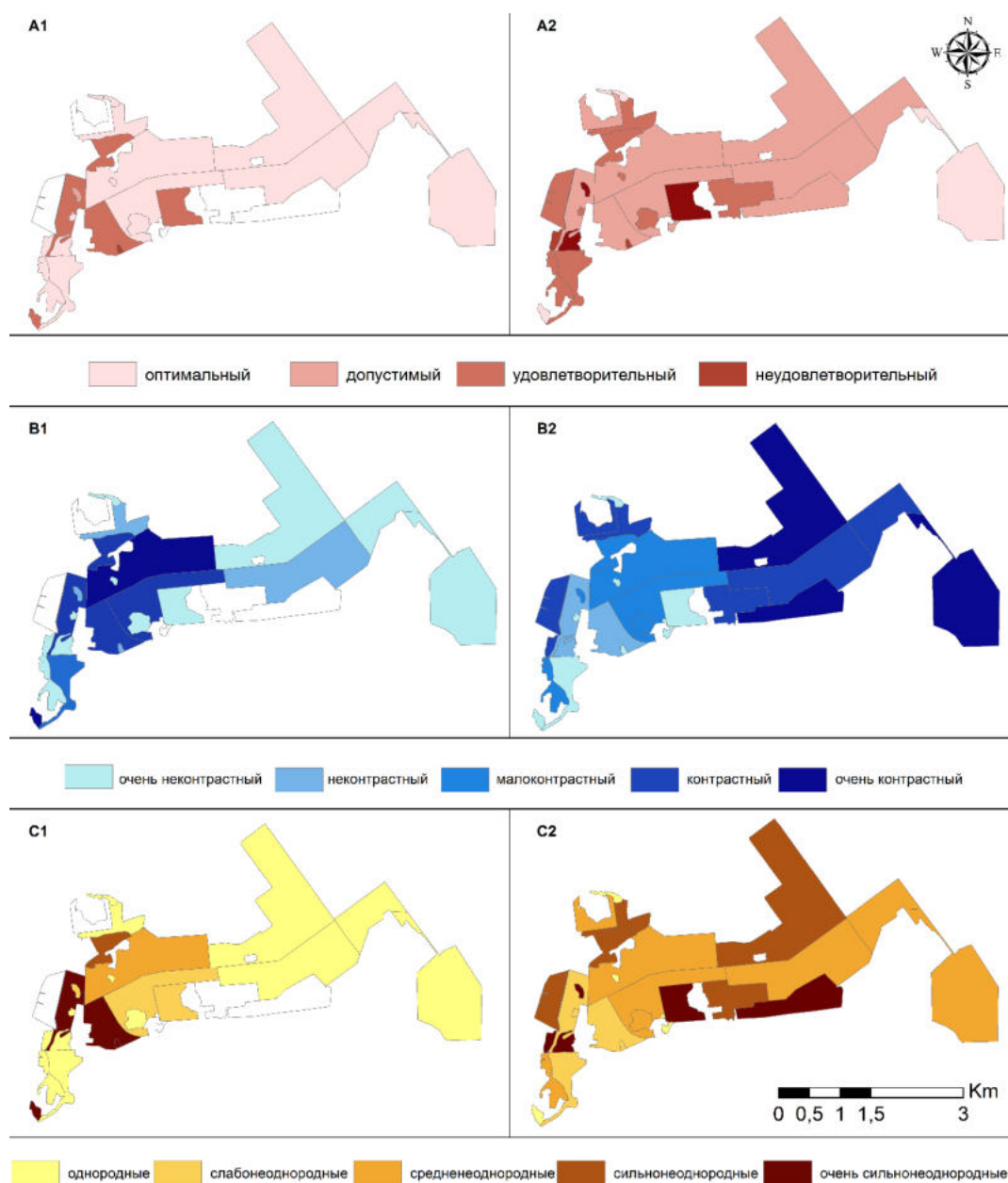


Рис. 2. Карты значений коэффициентов: А – сложности, В – контрастности, С – неоднородности; 1) до проведения мелиорации (1972 г.); 2) современное состояние (2022 г.)

По установленной градации, в 1972 году 64,8 % площади исследуемого участка можно было отнести к территориям с однородной СПП. Доля слабо неоднородных и очень сильно неоднородных РУ равняется 8,47 и 8,66 % соответственно, при этом 2 из 3-х участков с КН более 300 имеют площадь менее 5 га (3,54 у РУ № 21 и 1,11 у № 18) и по 2 почвенных разновидности. На участке № 21 выделяется коэффициент контрастности, который равняется 13,0 – одно из двух самых больших значений для исследуемого хозяйства, как в 1972 г., так и в 2022 г.

За период хозяйственного использования исследуемая территория претерпела разительные изменения в СПП к 2022 г. При незначительном уменьшении площади очень сильно неоднородной СПП (6,86 %) (КН более 300), значительно возросла доля сильно и средне неоднородных РУ (27,7 и 52,1 % соответственно), что вызвано увеличением почвенных разнородностей при уменьшении их площади.

При таком сложившемся к настоящему времени неоднородном почвенном покрове предлагается для исследуемого участка СПК «Бобрик» определить дальнейшую схему оптимизации земель для сельскохозяйственного использования на основе коэффициента неоднородности.

Пахотное использование предлагается на РУ с однородной и слабо неоднородной СПП (КН менее 100).

Большие по площади участки центральной части рекомендуется использовать также под пахотные земли, но с проведением агротехнических мероприятий по улучшению ПП.

Луговые земли с многолетними травами желательно располагать на РУ с КН от 150 до 300.

Пять участков с КН более 300 предлагается вывести из сельскохозяйственного использования.

Однако было решено провести более детальную оценку на уровне элементарных участков и оценить агрохимический потенциал рабочего участка № 22. Полученные результаты показывают, что 40,1 га (77,5 %) имеют высокий АП, которые можно использовать под луга.

Необходима унификация единиц измерения площадей на всех этапах расчетов морфометрических показателей и адаптация качественных градаций к конкретным почвенно-географическим условиям страны и масштабам исследования. Имеющаяся тесная связь компонентов СПП с осушительными мероприятиями существенно влияет на общую структуру системы, что отражается в морфометрических показателях. А также установлено, что для восстановления и рационального использования исследуемого агроценоза только 146 га (13,9 % от площади участка) эффективно использовать в качестве пашни.

Библиографические ссылки

1. Стратегия адаптации сельского хозяйства Республики Беларусь к изменению климата. Минск, 2019.
2. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата / В. Мельник [и др.]. – 2017.
3. Геопортал земельно-информационной системы Республики Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <https://gismap.by/next/> (дата обращения: 22.03.2024).
4. Сазонов А. А., Рудаковский И. А., Пенкрат И. В. Структура почвенного покрова национального парка «Нарочанский» // Территория науки. 2018. № 3. С. 12–18.
5. Юодис Ю. К. О структуре почвенного покрова Литовской ССР // Почвоведение. 1967. № 11. С. 50–55.

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТИ ГОРОДСКИХ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ СТУДЕНЧЕСКОЙ ДЕРЕВНИ, Г. МИНСК)

Е. В. Борботько, А. А. Сазонов

*Белорусский государственный университет, г. Минск, пр. Независимости 4,
email: soilgis.bsu@gmail.com*

В условиях стремительного роста городского населения и урбанизации изучение почвенных ресурсов становится актуальной задачей. Данная работа посвящена оценке электропроводимости почв в Студенческой деревне города Минска, что является важным индикатором их физико-химических свойств и состояния экосистемы в целом. Данные работы наглядно показывают взаимосвязь электропроводности с условиями среды.

Ключевые слова: электропроводимость почвы; температура почвы данного участка; взаимосвязь ЭП и температуры; окружающая среда; городские экосистемы.

ASSESSMENT OF URBAN SOIL ELECTRICAL CONDUCTIVITY (ON THE EXAMPLE OF STUDENT VILLAGE, MINSK)

E. V. Borbotko, A. A. Sazonov

*Belarusian State University, Minsk, 4 Nezavisimosti Ave.,
email: soilgis.bsu@gmail.com*

In the conditions of rapid growth of urban population and urbanization the study of soil resources becomes an urgent task. This work is devoted to the assessment of soil electrical conductivity in the Student Village of Minsk, which is an important indicator of their physical and chemical properties and the state of the ecosystem as a whole. These works clearly show the relationship between electrical conductivity and environmental conditions.

Keywords: soil electrical conductivity; soil temperature of the given site; interrelation of EF and temperature; environment; urban ecosystems.

Электропроводимость почвы (ЭП) — это физико-химический параметр, который характеризует способность почвы проводить электрический ток. Она зависит от содержания в почве растворенных солей, влаги и температуры, и может использоваться как индикатор состояния почвы и ее здоровья [1].

Актуальность исследования обусловлена тем, что электропроводимость почвы является важным индикатором её здоровья и состояния. Анализ электропроводимости, особенно в условиях городской среды, может дать информацию о ее физико-химических свойствах и состоянии экосистемы, а также послужить основанием для разработки соответствующих

мер по восстановлению и улучшению почвенных ресурсов. В Беларуси подобные исследования перспективны в том числе для мониторинга засоления почв [2].

Целью работы является апробирование методики полевых измерений на примере опытного участка Студенческой деревни в г. Минске.

Задачи исследования – измерение и картографирование температуры и электропроводимости городских почв.

Исторически сложилось, что исследователи Западной Европы и США преимущественно измеряют электропроводность, а в России и странах бывшего СНГ – сопротивление. На практике мы можем измерять электрическое сопротивление и проводимость почв и других объектов одинаковыми приборами, так как эти параметры связаны друг с другом уравнением:

$$\text{ЭС} = \frac{1}{ER}$$

где ЭС – электропроводность, а ER – обратно пропорциональная величина ЭС или электрическое сопротивление.

Измерения проводились с помощью кондуктометра Hanna Instruments HI 98331. Диапазон проводимости прибора – 0–4000 мкСм/с, разрешение проводимости – 1 мкСм/см. Нами измерялась температура и электропроводность почвы с глубины до 15 см (рис. 1–2).

Для анализа полученных данных разделим значения по степени на 3 группы:

1. С низкой электропроводностью (менее 0,2 мС/см). Обычно это указывает на хорошую почву с низким содержанием солей и хорошими агрономическими свойствами.

2. С умеренными значениями (0,2–1,0 мС/см). Они считаются приемлемыми для большинства сельскохозяйственных культур.

3. С высокими значениями (более 1,0 мС/см). Могут указывать на возможное загрязнение или проблемы, связанные с засолением.

Сперва стоит рассмотреть температурную карту почв данного участка, так как значения температуры непосредственно влияют на данные электропроводности. Она оказывает влияние на химические реакции в почве, в том числе на растворимость солей и других веществ. Повышение температуры может привести к лучшему растворению питательных веществ, что также может повысить проводимость почвы. Взаимосвязь между температурой и электропроводностью почвы является важным аспектом в изучении почвенных процессов, а также в различных прикладных науках.

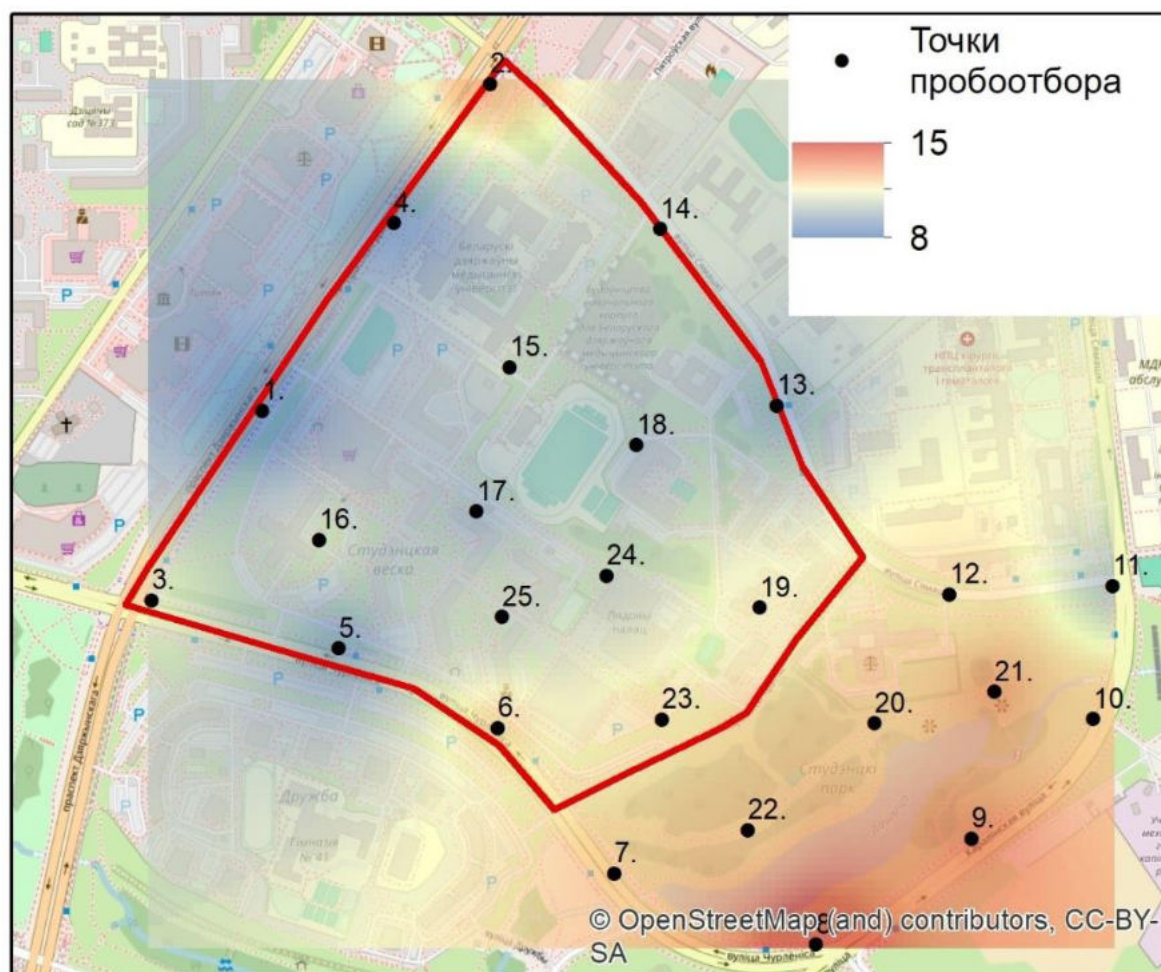


Рис. 1. Температура почвы Студенческой деревни г. Минска, °С

Анализируя данную карту, можем заметить, что наиболее низкие температуры почвы характерны для северной и центральной части участка, но также в северо-восточной части карты в первой точке выклиниваются достаточно высокие температуры почвы. Наиболее низкая температура была зафиксирована в точке 3, которая расположена на проспекте Дзержинского, её значение составило 8,2 °С. Максимальное значение составило 14,9 °С и было измерено в точке 8, которая находится на пересечении улиц Чюрлёниса и Каролинской.

Непосредственно стоит рассмотреть карту электропроводности почв. Заметим, что в точке 1 было снято самое высокое значение – 0,57 См/м. Такой высокий показатель можно объяснить тем, что точка расположена очень близко к пересечению дорог – проспекта Дзержинского и улицы Семашко, где наблюдается высокий трафик.

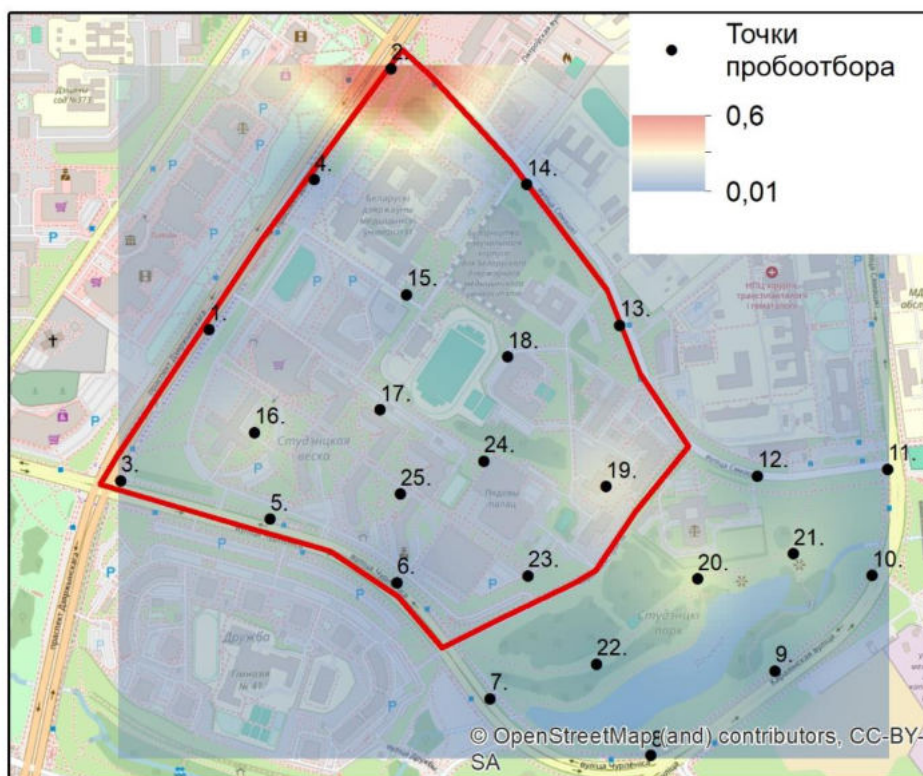


Рис. 2. Карта электропроводимости почвы Студенческой деревни г. Минска, мСм/м

Наименьшее значение было отмечено в точке 9, которая расположена вдоль неоживлённой улицы и вблизи парка, оно составило 0,01 См/м. Для всего участка работы характерна низкая электропроводимость, за исключением точки 1, для неё будет характерна умеренная ЭП.

Проанализировав полученные данные, мы можем выделить следующие закономерности. Так, на некоторых участках при увеличении температуры почвы наблюдается увеличение ее электропроводности. Это связано с тем, что при повышении температуры увеличивается энергия движения молекул и ионов в почве, что приводит к более активному переносу электрического тока. Это доказывает, что, сравнив карты, можно заметить, что точки с наименьшей температурой находятся вблизи точек с наименьшей электропроводностью.

Также, чем ближе мы будем спускаться к озеру, тем выше будет становится показатель электропроводности почвы. Поскольку вода является хорошим проводником, содержание влаги в почве также оказывает значительное влияние на электропроводность. Теплая почва обычно содержит больше воды, особенно после дождей или орошения. Влага увеличивает количество ионов, свободно перемещающихся в почве, что в свою очередь увеличивает ее электропроводность.

Важно сказать, что в течение года, в зависимости от температуры, электропроводность почвы может изменяться. Так, зимой, когда температура снижается, электропроводность может уменьшаться, следовательно, самые низкие значения могут наблюдаться в холодное время года.

Эта взаимосвязь может быть использована для мониторинга состояния почвы и прогнозирования её свойств, а также для понимания процессов, происходящих в экосистемах.

В заключение стоит сказать, что в Беларуси исследования ЭП почв всё чаще используются наряду с общепринятыми физико-химическими методами для решения ряда практических вопросов современного почвоведения и агрохимии.

Важно отметить, что измерение ЭП не заменяет определение агрохимических свойств, но помогает существенно снизить число анализируемых проб, необходимых для полной характеристики пространственной изменчивости почвенного плодородия.

Дополнительные меры, такие как регулярный мониторинг электропроводности, могут помочь в разработке стратегий по восстановлению и поддержанию здоровья городских экосистем.

Библиографические ссылки

1. Субботина М. Г., Батые-Салес Х. Об электропроводности почв в современных исследованиях // Пермский аграрный вестник. 2013. № 3 (3). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-elektroprovodnosti-pochv-v-sovremennyh-issledovaniyah> (дата обращения: 01.12.2024).

2. Шкадун В. В., Угоренко Д. В., Киндеев А. Л. Оценка засоления почв Солигорского горно-промышленного района // ГИС-технологии в науках о Земле : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 15 нояб. 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. Н. Червань (гл. ред.) [и др.]. Минск : БГУ, 2023. С. 356–361.

ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА ООПТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: КОНЦЕПЦИЯ И ДИЗАЙН

Е. К. Головня, А. Б. Кафтанчикова

*Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16,
220030, г. Минск, Республика Беларусь, golovnya.gf@yandex.by*

В работе представлена концепция и дизайн интерактивной карты по особо охраняемым природным территориям (ООПТ) Республики Беларусь. Целью проекта является предоставление наглядного представления о распределении и характеристиках ООПТ, популяризация экологического туризма и повышение экологической осведомленности при помощи интерактивной карты.

Ключевые слова: интерактивная карта; ООПТ; Республика Беларусь; экологический туризм; дизайн; ГИС.

INTERACTIVE MAP OF SPNT OF THE REPUBLIC BELARUS: CONCEPT AND DESIGN

E. K. Golovnia, A. B. Kaftanchikova

*Belarusian State University, Leningradskaya St., 16,
220030, Minsk, Belarus, golovnya.gf@yandex.by*

In the paper the concept and design of an interactive map of specially protected natural territories (SPNTs) of the Republic of Belarus are presented. The aim of the project is to provide a visual representation of the distribution and characteristics of SPNTs, popularisation of eco-tourism and raising environmental awareness with the help of an interactive map.

Keywords: interactive map; SPNTs; Republic of Belarus; ecological tourism; design; GIS.

В современной картографии все большую популярность приобретают интерактивные карты, которые предоставляют пользователям не только географическую информацию, но и возможность взаимодействия с ней. Данная работа рассматривает концепцию и дизайн интерактивной карты ООПТ Республики Беларусь с возможностью дальнейшей реализации с использованием современных Web-ГИС-технологий.

Материалами для исследований послужили уже существующие интерактивные карты, на их примере изучались возможности данных картографических продуктов; различные программные картографические сервисы и продукты: ArcGIS, QGIS, Mapbox и ГИС «Панорама», а именно

рассматривались и сравнивались их возможности, чтобы подобрать оптимальный вариант для реализации самой интерактивной карты ООПТ Республики Беларусь. Далее для демонстрации задуманной концепции были подобраны графические сервисы: Figma, Canva, которые помогут адаптировать дизайн под различные виды устройств для просмотра и взаимодействия с будущей интерактивной картой.

В контексте развития информационных технологий мультимедийные карты становятся все более востребованными. Отличаясь от традиционных карт богатством данных и интерактивностью, они позволяют пользователям активно взаимодействовать с информацией, изменяя масштаб, выбирая объекты для получения дополнительной информации и активируя различные слои данных.

Мультимедийные карты предоставляют информацию в режиме реального времени, например, о погоде, движении транспорта или состоянии природных объектов, что особенно важно в ситуациях, требующих оперативного принятия решений. Они могут включать информацию о географических объектах, явлениях, социально-экономических показателях, достопримечательностях и исторических событиях. Использование ярких цветов, символов и анимации делает мультимедийные карты наглядными и удобными для восприятия.

Гибкость мультимедийных карт позволяет пользователям изменять масштаб, фильтровать данные и добавлять дополнительные слои информации. Они находят широкое применение в различных сферах: география, геология, экология, транспорт, туризм, образование. Цифровой формат обеспечивает легкость обновления и распространения.

Мультимасштабные карты позволяют пользователю настраивать уровень детализации в зависимости от его нужд. При создании мультимедийных карт важно правильно выбрать картографическую проекцию, чтобы минимизировать искажения. Существует несколько способов создания интерактивных карт: использование специализированного программного обеспечения, разработка собственного программного обеспечения или интеграция готовых решений [1-8].

Мультимедийные карты представляют собой перспективное направление в развитии картографии, находя широкое применение в различных сферах деятельности.

Перед тем, как приступить к технической реализации мультимедийной карты, необходимо пройти через ряд подготовительных этапов, чтобы обеспечить ее эффективную работу и соответствие поставленным задачам. Первоначально необходимо определиться с целью создания карты,

т. е. понять, какие задачи она должна решать. Это позволит сформулировать требования к картографическому продукту и выбрать подходящие технические средства и инструменты для ее разработки.

Следующим шагом является анализ данных, которые будут использованы для создания карты. Необходимо оценить качество, актуальность и пригодность географической информации, изображений, видео, аудио и других мультимедийных элементов, чтобы обеспечить надежность и точность представляемых данных.

После анализа данных необходимо выбрать подходящее программное обеспечение для создания карты, определить формат данных и технические параметры, которые будут отвечать поставленным целям.

Одним из ключевых этапов является создание концепции и дизайна мультимедийной карты. На этом этапе определяются основные элементы карты, ее структура, цветовая схема, шрифты и другие визуальные аспекты, чтобы обеспечить удобство и наглядность представления информации для пользователя [9-14].

Основной идеей для работы послужила экологическая повестка на 2030 год. А именно расширить осведомленность и популярность среди населения нашей страны об особо охраняемых природных территориях Республики Беларусь.

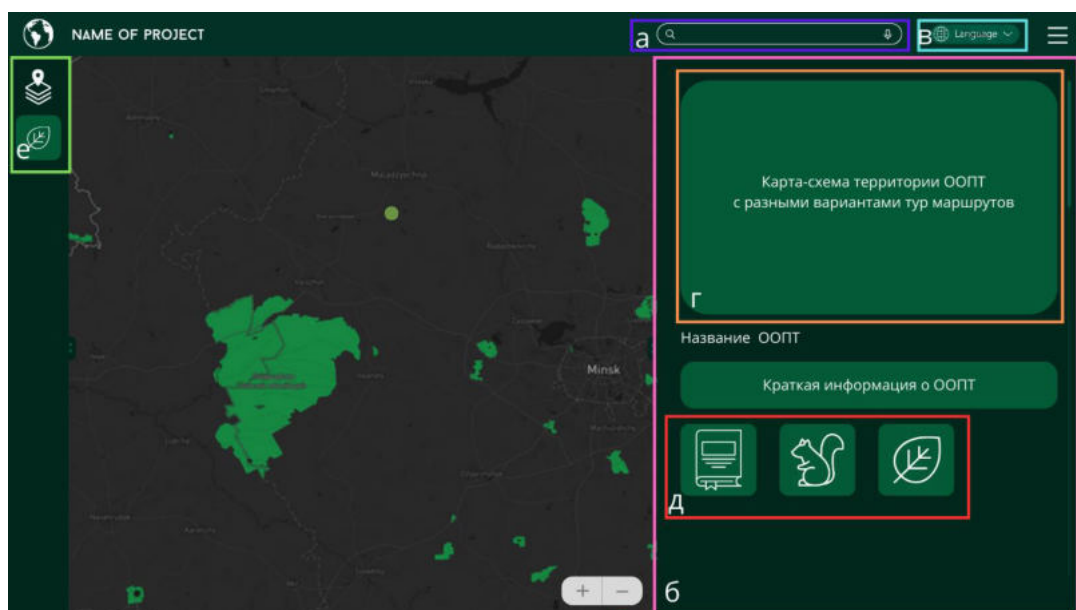
Основная цель – создать наглядное представление о распределении и характеристиках охраняемых природных территорий в Беларуси, включая информацию о национальных парках, заповедниках, природных заказниках, ландшафтных заказниках и других объектах.

Основные задачи карты:

- предоставление информации о биоразнообразии и природных ресурсах;
- популяризация экологического туризма и образование;
- обеспечение доступа к актуальной и достоверной информации;
- повышение осведомленности об охране природы и экологических проблемах.

В процессе создания дизайна будущей мультимедийной карты были задействованы два графических сервиса: Canva и Figma (рисунок).

Выбор цветовой гаммы, включающей белый, серый и зеленый цвета, обеспечивает гармоничный и привлекательный визуальный эффект, отражая тему природы и создавая приятный интерфейс для пользователя.



Дизайн интерактивной карты ООПТ Республики Беларусь

(а – поисковая строка, б – панель для дополнительной информации о ООПТ, в – кнопка выбора языка карты, г – окно для картосхемы объекта, д – кнопки об истории, видах флоры и фауны данного ООПТ, е – панель для выбора слоев карты с необходимым типом информации)

Разработаны две интерактивные панели, которые повышают функциональность карты:

- панель выбора слоев: позволяет пользователю выбрать тип ООПТ (заказники, заповедники, национальные парки) и формировать карту в соответствии с его интересами;
- панель с информацией об объекте: предоставляет сведения о расположении, истории, флоре и фауне конкретной ООПТ. Это позволяет пользователю глубоко ознакомиться с выбранным объектом;

Дизайн карты адаптирован к стандартным мониторам, планшетным компьютерам и смартфонам. Это гарантирует оптимальное отображение и функциональность карты на любом устройстве.

Разработка дизайна мультимедийной карты ООПТ Республики Беларусь является важным шагом в подготовке к технической реализации. Он обеспечивает удобство использования карты и позволяет предоставлять пользователю информацию о ООПТ в наглядном и интерактивном формате. Разработанные концепция и дизайн интерактивной карты ООПТ Республики Беларусь, при дальнейшей реализации, обеспечат удобный общественный доступ к актуальной информации о природном наследии страны, что в свою очередь поможет и далее развивать, а также популяризировать экологический и рекреационный туризм среди населения.

В дальнейшем планируется реализовать функциональные возможности карты, включая интерактивные маршруты и дополнительные мультимедийные материалы, а также возможность предоставить доступ к данной карте через запуск сервиса в WEB-пространстве.

Библиографические ссылки

1. Нацыянальны атлас Беларусі / Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэспублікі Беларусь. Минск: Белкартаграфія, 2002. 292 с.
2. Берлянт А. М. Картография. Москва: Аспект-Пресс, 2002. 336 с.
3. Билич Ю. С., Васмут А. С. Проектирование и составление карт: Учебник для вузов. М.: Недра, 1984. 364 с.
4. Востокова А. В., Кошель С. М., Ушакова Л. А. Оформление карт. Компьютерный дизайн: Учебник / под ред. Востоковой А. В. – М.: Аспект Пресс, 2002. 288 с.
5. Гульмурзаева Р. Е. Особенности и методы создания мультимедийного картографического произведения // Экономика и социум. 2022. № 7 (98). С. 191–197.
6. Зятькова Л. К., Комиссарова Е. В., Колесников А. А. Современные Web-технологии для создания интерактивных мультимедийных картографических произведений // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2012. № 2, ч. 1. С. 95–98.
7. Картавцева Е. Н., Малолетко Е. А. Динамическое картографирование в мультимедийных картографических произведениях // Избранные доклады 68-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск, 2022. С. 789–792.
8. Лисицкий Д. В., Комиссарова Е. В. Новый аналого-цифровой метод формирования и использования картографического отображения геопространства с применением мультимедийных средств // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2020. Т. 26, № 1. С. 361–374.
9. Лисицкий Д. В., Комиссарова Е. В., Колесников А. А. Теоретические основы и особенности мультимедийной картографии // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2017. Т. 22, № 3. С. 72–87.
10. Лисицкий Д. Н. Геоинформатика. Новосибирск: Изд-во СГГУ, 2012. 115 с.
11. Матушкин А. С. Цифровая картография : учебное пособие. – Киров : ВятГУ, 2017. 121 с.
12. Салищев К. А. Картоведение. Москва: Изд-во МГУ, 1990. 408 с.
13. Салищев К. А. Проектирование и составление карт. Москва: Изд-во МГУ, 1978. 240 с.
14. Сущность мультимедийной картографии / Д. В. Лисицкий [и др.] // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 1, ч. 2. С. 31–36.

10 ЛЕТ СТУДЕНЧЕСКИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ В КУРИЛЬСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ (ОСТРОВ КУНАШИР)

М. Ю. Грищенко

*МГУ имени М. В. Ломоносова, географический факультет,
119991, Москва, Ленинские Горы, 1
Государственный природный заповедник «Курильский»,
694500, Сахалинская обл., пос. Южно-Курильск, ул. Заречная, 5
m.gri@geogr.msu.ru*

В статье кратко рассмотрены основные задачи и результаты студенческих географических экспедиций, проходящих на базе Государственного природного заповедника «Курильский» с 2014 года. В экспедиции принимают участие преимущественно студенты географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. В ходе экспедиции участники занимаются детальными полевыми обследованиями местных геосистем, решают задачи крупномасштабного тематического картографирования и создания геоинформационной системы.

Ключевые слова: полевые обследования; крупномасштабное тематическое картографирование; географическая экспедиция; Кунашир.

10 YEARS OF STUDENT GEOGRAPHICAL EXPEDITIONS IN THE KURILSKIY NATURE RESERVE (KUNASHIR ISLAND)

M. Y. Grishchenko

*M. V. Lomonosov MSU, Faculty of Geography, 119991, Moscow, Leninskiye Gory, 1
State nature reserve «Kurilskiy», 694500, Sakhalin oblast, Yuzhno-Kurilsk, Zarechnaya str., 5
m.gri@geogr.msu.ru*

The article briefly reviews the main objectives and results of student geographical expeditions held at the Kurilsky State Nature Reserve since 2014. The expedition is attended mainly by students of the Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University. During the expedition, participants conduct detailed field surveys of local geosystems, solve problems of large-scale thematic mapping and create the geographic information system of the reserve.

Ключевые слова: field survey; large-scale thematic cartography; geographical expedition; Kunashir island.

С 2014 года на базе Государственного природного заповедника «Курильский» проводятся студенческие географические экспедиции, в которых принимают участие преимущественно студенты географического фа-

культета МГУ имени М.В. Ломоносова, а также студенты других факультетов МГУ имени М.В. Ломоносова (факультета почвоведения и геологического факультета) и студенты Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета. Цель экспедиций – формирование базы детальных тематических данных о территории Курильского заповедника и его охранной зоны. Задачи: планирование полевых обследований и сбор детальных тематических данных об изучаемой территории; обработка собранных данных и составление крупномасштабных тематических карт; интеграция данных и карт в геоинформационную среду. Каждый полевой сезон экспедиции предполагает работу на разных ключевых участках заповедника и его охранной зоны и решение более частных географических задач (геоморфологическое картографирование, геоботаническое картографирование, изучение гидрологических объектов и пр.). Специфика природных и социально-экономических условий исследуемой территории ограничивает возможности проведения полевых работ. Участники экспедиции размещаются на объектах заповедника «Курильский» или в условиях полевого палаточного лагеря на его территории.

Студенческие географические экспедиции на базе Государственного природного заповедника «Курильский» по формату организации и по полученным результатам можно условно разделить на 3 экспедиционных этапа. I экспедиционный этап включал полевые сезоны 2014, 2015 и 2016 годов. II экспедиционный этап включал полевые сезоны 2017 и 2018 годов. К III экспедиционному этапу следует отнести полевые сезоны 2019–2024 годов. Рассмотрим основные особенности организации этапов и полученные результаты.

На I экспедиционном этапе (2014–2016 гг.) проведены следующие работы:

1. Топографическая съёмка окрестностей кордона Андреевский, участков эколого-туристических маршрутов «Андреевский водопад» и «Столбовская тропа» и составление планов.

2. Изучение социально-экономических особенностей Кунашира методом «глубинных интервью».

3. Микроклиматические обследования.

4. Изучение почв Кунашира на различных ключевых участках.

5. Изучение проявлений поствулканической активности.

6. Изучение и крупномасштабное картографирование полуострова Весловский.

7. Почвенные, геоморфологические и геоботанические обследования в пределах Алёхинского участка заповедника.

8. Комплексные обследования уникального природного объекта – кальдеры вулкана Головнина, в том числе озёр Горячее и Кипящее.

Основные результаты I экспедиционного этапа:

1. Результаты топографической съёмки использованы при проектировании сооружений на маршрутах.
2. Заложена сеть температурных датчиков и АМС, которая используется и по сей день [1].
3. Собран и обработан материал по проявлениям поствулканической активности [2, 3].
4. Собран и обработан материал по динамике береговой линии полуострова Весловский [4].
5. Составлены крупномасштабные почвенная и ландшафтная карты полуострова Весловский [5]. Сформирована концепция дальнейших комплексных исследований.

Общей чертой сезонов I экспедиционного этапа стало большое количество участников; при этом, результаты, за некоторым исключением, можно охарактеризовать как довольно скромные. В рамках II экспедиционного этапа реализована более узкая локализация работ и проведён конкурс среди потенциальных участников экспедиции. В ходе II экспедиционного этапа продолжено изучение кальдеры вулкана Головнина и начато обследование окрестностей пос. Алёхино. Проведены геоморфологические, геоботанические, почвенные, геохимические, гидрологические обследования. Собраны материалы полевых геоморфологических обследований вулкана Головнина и прилегающего Алёхинского вулканического плато, составлена серия геоморфологических карт [6]. Продолжено развитие сети метеонаблюдений. Составлены почвенные и геоботанические карты.

В ходе II экспедиционного этапа разработан план ежегодных полевых обследований, который затем положен в основу полевых сезонов III экспедиционного этапа. Начала функционировать геоинформационная система заповедника «Курильский». На III экспедиционном этапе значительно расширена география полевых работ. В частности, в рамках III экспедиционного этапа решены следующие задачи:

1. Почвенные и геоботанические обследования ключевых участков на территории Алёхинского и Тятинского участков заповедника. Комплексные ландшафтные описания на ключевых участках.
2. Метеонаблюдения и микроклиматические обследования.
3. Гидролого-гидрохимические обследования крупнейшего на Кунашире озера Песчаное.
4. Гидрологические обследования водотоков.
5. Изучение озера Глухое как типичного лесного озера Кунашира.
6. Съёмка с БПЛА активного рельефообразования (Головинский клиф, полуостров Весловский, побережье от мыса Гиммерлинга до устья р. Ночка) и сольфатарных полей (вулкан Головнина).

7. Составление карты проходимости острова Кунашир.
8. Оценка современного состояния и перспектив использования земель ликвидированного совхоза Дальний.

Основные результаты III экспедиционного этапа:

1. Составлены почвенная [7] и геоботаническая [8] карты части Алёхинского участка заповедника, объединяющие территории работ 2015–2019 гг.

2. Составлены почвенная и геоботаническая карты части Тятинского участка заповедника между реками Тятин и Саратовская [9, 10].

2. Продолжено развитие сети метеонаблюдений, проведены экспериментальные альбедометрические наблюдения, в частности, заложен профиль по южному склону вулкана Тятя.

3. Проведено изучение озера Песчаное; в частности, измерена его наибольшая глубина (23 м), выявлено наличие солонатоводных ракообразных, описаны особенности термического режима [11].

4. Составлено комплексное описание оз. Глухое [12].

5. Составлены почвенная, геоботаническая и ландшафтная карты части Тятинского участка заповедника между реками Саратовская и Рогачёвка [13].

Следует также отметить, что участники экспедиции в разные годы принимали участие в научных исследованиях сторонних организаций на Кунашире, а именно: комплексное изучение памятника природы регионального значения «Вулкан Менделеева» [14]; исследование участков леса, подверженных влиянию короеда-типографа (*Ips typographus*) [15, 16]; изучение распространения на Кунашире европейской норки (*Mustela lutreola*) [17]. Собранные в ходе экспедиции полевые материалы использованы в работах, посвящённых оценке дешифровочных свойств тепловых космических снимков [18, 19].

В 2016 г. экспедиция проходила при частичной финансовой поддержке Русского географического общества (РГО). В 2022–2024 гг. экспедиция проходила как партия экспедиции РГО «Восточный бастион – Курильская гряда».

Наиболее существенные научные результаты экспедиции:

1. Создание сети метеонаблюдений позволило анализировать климатические различия в локальном масштабе.

2. Составлена серия геоморфологических карт острова Кунашир. На основе геоморфологических обследований сделано предположение о существовании Алёхинского вулканического центра.

3. Проведена оценка скорости прирастания полуострова Весловский (1,5 м в год).

4. Ежегодно происходит обнаружение редких видов растений, в т. ч. уникальных для России в целом (магнолия снизу-белая, тис острокопечный, ботрокариум спорный, липа Максимовича, клён японский).

5. Выявлены особенности местного почвообразования и сделаны предположения о необходимости выделения особого «курильского» типа почв.

6. Изучены гидрологические объекты, ранее не охваченные (оз. Глухое) или почти не охваченные (оз. Песчаное) исследованиями.

Библиографические ссылки

1. Грищенко М. Ю., Чернулич К. К. Исследование связи наземных и космических температурных данных на примере островов Врангеля и Кунашир // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2019. Т. 63, № 5. С. 566–575.

2. Грищенко М. Ю., Устюхина А. В. Дешифрирование проявлений поствулканической активности по космическим снимкам и полевым данным (на примере острова Кунашир) // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2017. № 1. С. 45–52.

3. Грищенко М. Ю., Устюхина А. В. Дешифрирование и картографирование проявлений вулканической и поствулканической активности по тепловым космическим снимкам высокого пространственного разрешения // Геодезия и картография. 2019. Т. 80, № 11. С. 56–64.

4. Грищенко М. Ю., Гнеденко А. Е. Дешифрирование и картографирование изменения положения береговой линии южной части острова Кунашир по космическим снимкам сверхвысокого пространственного разрешения // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. № 4. С. 78–83.

5. Грищенко М. Ю., Гаврилова В. И., Карначевский А. М. Изучение и картографирование почв и ландшафтов полуострова Весловский (остров Кунашир, Курильские острова) // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2018. Т. 62, № 1. С. 63–69.

6. Грищенко М. Ю., Шишкин В. С. Создание крупномасштабных и среднемасштабных геоморфологических карт острова Кунашир (Курильские острова) // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2020. Т. 64, № 4. С. 423–434.

7. Грищенко М. Ю., Хлюстова В. В., Изюмникова Е. А. Изучение и картографирование почв южной части охотоморского сектора острова Кунашир, Курильские острова // Геодезия и картография. 2021. № 3. С. 19–27.

8. Грищенко М. Ю., Жданова Е. Ю., Ивлева Т. Ю. Изучение и картографирование растительного покрова южной части острова Кунашир (Курильские острова) в крупном масштабе // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2021. Т. 65, № 6. С. 647–654.

9. Грищенко М. Ю., Мурман А. С., Терехова Д. А. Крупномасштабное исследование и картографирование геосистем северной части о. Кунашир (Курильские острова) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2023. Т. 29. С. 437–451.

10. Грищенко М. Ю., Мурман А. С., Тамаровский И. Е. Комплексные полевые обследования на Тятинском участке заповедника Курильский (остров Кунашир, Курильские острова) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31, № 4. С. 435–446.

11. Grishchenko M. Y., Krylenko V. I., Ozhgikhina V. T. Hydrological surveys of the lake Peschanoe and the Sernovodsky isthmus of Kunashir island (Greater Kuril chain) // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 265. No. 02007.
12. Grishchenko M. Y., Alaverdova A. A., Razaryonova A. D. Comprehensive Hydrological Survey of Glukhoye Lake, a Typical Forest Lake on Kunashir Island (Kuril Islands) // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 407. No. 02004.
13. Grishchenko M. Y., Grigoryan A. G., Aldoshin I. A. Studying and mapping natural complexes of the piedmont plain of the Dokuchaev ridge (Kunashir island, Great Kuril ridge) // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 555. P. 01002.
14. Сабиров Р. Н., Сабирова Н. Д., Кмиторов П. С. Памятник природы "Вулкан Менделеева" на острове Кунашир // Вестник Сахалинского областного краеведческого музея. 2014. № 21. С. 290–318.
15. Пирихалава-Карпова Н. Р., Карпов А. А., Грищенко М. Ю. Исследование участков леса, подверженных влиянию короеда-типографа (*Ips typographus*) в заповеднике Курильский (о. Кунашир) // Лесотехнический журнал. 2020. № 1. С. 50–59.
16. Пирихалава-Карпова Н. Р., Карпов А. А., Козловский Е. Е. Защита еловых лесов от вспышек *Ips typographus* (обзор) // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 4. С. 55–67.
17. Kisleyko A. A., Dinets V., Grishchenko M. Y. The European mink (*Mustela lutreola*) on Kunashir island: confirmed survival 40 years after introduction // Mammal Study. 2022. Vol. 47. P. 155–164.
18. Грищенко М. Ю., Буторина С. А. Исследование возможностей применения тепловых снимков для дешифрирования растительности (на примере островов Беринга и Кунашир) // Материалы Международной конференции "ИнтерКарто. ИнтерГИС" Т. 3. М., 2017. С. 71–81.
19. Грищенко М. Ю., Михайлюкова П. Г. Сопоставление наземных и космических данных для исследования пространственной дифференциации теплового поля природной территории (на примере острова Кунашир, Большая Курильская гряда) // Геодезия и картография. 2022. № 3. С. 35–43.

ПРОГНОЗНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА»

Д. Г. Груммо¹⁾, Н. М. Роговский²⁾

¹⁾Государственное научное учреждение «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,
ул. Академическая 27, 220072, Минск, Беларусь, email: zm.hrurno@gmail.com

²⁾Государственное научное учреждение «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,
ул. Академическая 27, 220072, Минск, Беларусь

В данном исследовании разработан долговременный прогноз развития растительного покрова национального парка «Беловежская пуца» (далее – НП «Беловежская пуца») и оцениваются возможности восстановления климаксовой структуры. В задачи наших исследований входили следующие вопросы: разработать прогноз развития сообществ на длительные интервалы времени; выявить варианты климаксовых и субклимаксовых сообществ, которые способны сформироваться на месте современного растительного покрова; оценить соотношение площадей разных вариантов сообществ в прогнозируемом растительном покрове рассматриваемой ООПТ.

Ключевые слова: прогнозное картографирование; растительный покров; национальный парк «Беловежская пуца»; потенциальная и восстановленная растительность; динамические процессы в растительном покрове.

FORECAST VEGETATION MAPPING USING THE EXAMPLE OF THE NATIONAL PARK «BELOVEZHSKAYA PUSHCHA»

D. G. Grummo¹⁾, N. M. Rogovsky²⁾

¹⁾The State Scientific Institution «V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of The National Academy of Sciences of Belarus», Akademicheskaya st., 27
220072, Minsk, Belarus, e-mail: zm.hrurno@gmail.com

²⁾The State Scientific Institution «V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of The National Academy of Sciences of Belarus», Akademicheskaya st., 27
220072, Minsk, Belarus

In this study, a long-term forecast of the development of the vegetation cover of the National Park «Belovezhskaya Pushcha» has been developed and the possibilities of restoring the climax structure have been assessed. The objectives of our research included the following questions: to develop a forecast of community development for long time intervals; to identify variants of climax and subclimax communities that can form on the site of the current vegetation cover; to assess the ratio of the areas of different variants of communities in the predicted vegetation cover of the protected area under consideration.

Keywords: forecast mapping; vegetation cover; Belovezhskaya Pushcha; potential and restored vegetation; dynamic processes in vegetation cover.

Карты прогнозов могут содержать информацию об изменениях во времени и пространстве. В исследовании наиболее важными представляются 3 типа прогностических карт, которые, в зависимости от содержания, можно определить, как *временные, факторные, комплексные* [1, с. 244–246].

Временные прогнозные карты обычно составляются для потенциальной растительности, которая будет развиваться в конкретных условиях при определённом виде воздействия в пределах ограниченного периода времени (прогноз составляется на срок сохранения типа воздействия 20, 50, 100 лет).

Территория НП «Беловежская пуца» существенно изменена многовековой деятельностью человека. Методы современной фитоценологии и лесоведения позволяют моделировать устойчивую структуру лесных первичных массивов (климаксного типа) и оценить степень отклонения конкретных массивов или их частей от устойчивого состояния [1–5].

В качестве прогнозной модели необходимо составить карту потенциальной растительности национального парка «Беловежская пуца». Логическая схема последовательности научно-исследовательских работ по составлению карты прогнозной растительности состояла из 3 этапов:

1. *Подготовка производных спутниковых, тематических и картографических продуктов.*

В качестве базовой карты для разработки прогноза использовали крупномасштабную (М 1:100 000) карту актуальной растительности, составленную на основе эколого-флористической классификации [6]. Дополнительными материалами служили:

1) карта восстановленной растительности (рис. 1, табл. 1);

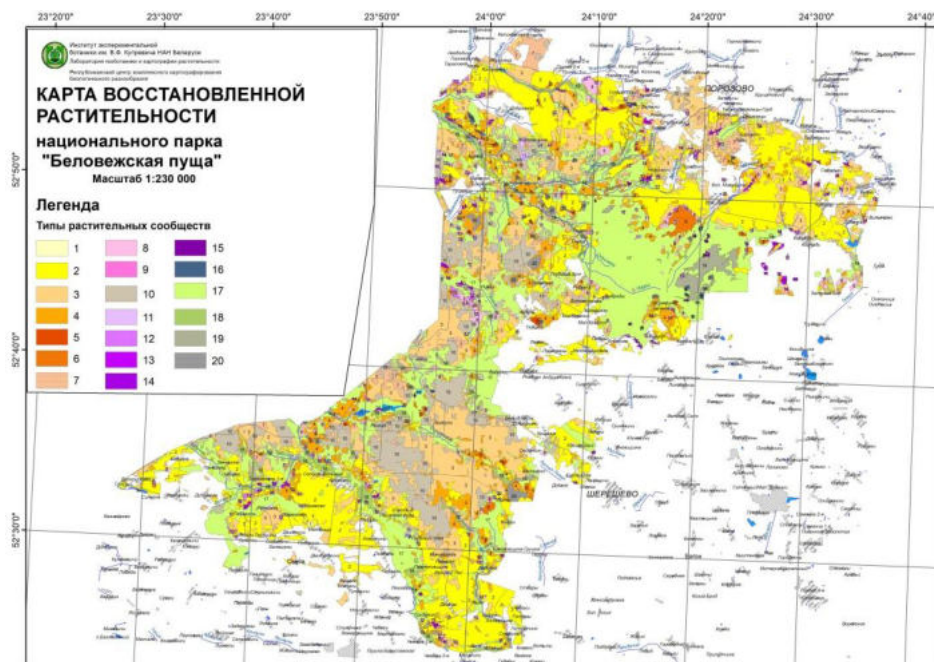


Рис 1. Карта восстановленной растительности НП «Беловежская пуца»

Таблица 1

**Перечень синтаксонов восстановленной, современной и
потенциальной растительности НП «Беловежская пуца»**

№	Наименование
I. ЛЕСНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ	
ХВОЙНЫЕ, ШИРОКОЛИСТВЕННО-ХВОЙНЫЕ ЛЕСА И ВТОРИЧНЫЕ МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА НА ИХ МЕСТЕ	
1	ass. <i>Cladonio rangiferinae</i> - <i>Pinetum sylvestris</i>
2	ass. <i>Peucedano oreoselini</i> - <i>Pinetum sylvestris</i>
2a	Серийные и трансформационные ряды ass. <i>Peucedano oreoselini</i> - <i>Pinetum sylvestris</i>
3	ass. <i>Quercu roboris</i> - <i>Pinetum sylvestris</i>
3a	Серийные и трансформационные ряды ass. <i>Quercu roboris</i> - <i>Pinetum sylvestris</i>
4	ass. <i>Molinio caerulea</i> - <i>Pinetum sylvestris</i>
4a	Серийные и трансформационные ряды ass. <i>Molinio caerulea</i> - <i>Pinetum sylvestris</i>
5	ass. <i>Vaccinio uliginosi</i> - <i>Pinetum sylvestris</i>
5a	Серийные и трансформационные ряды ass. <i>Vaccinio uliginosi</i> - <i>Pinetum sylvestris</i>
6	com. <i>Pinus sylvestris</i> - <i>Carex appropinquata</i> - <i>Sphagnum centrale</i>
7	ass. <i>Quercu roboris</i> - <i>Piceetum abietis</i>
7a	Серийные и трансформационные ряды ass. <i>Quercu roboris</i> - <i>Piceetum abietis</i>
8	ass. <i>Sphagno girgensohnii</i> - <i>Piceetum abietis</i>
8a	Серийные и трансформационные ряды ass. <i>Sphagno girgensohnii</i> - <i>Piceetum abietis</i>
9	ass. <i>Carici remotae</i> - <i>Piceetum abietis</i>
9a	Серийные и трансформационные ряды ass. <i>Carici remotae</i> - <i>Piceetum abietis</i>
УМЕРЕННО-ВЛАЖНЫЕ ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА И ВТОРИЧНЫЕ МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА НА ИХ МЕСТЕ	
10	ass. <i>Tilio cordatae</i> - <i>Carpinetum betuli</i>
10a	Серийные и трансформационные ряды ass. <i>Tilio cordatae</i> - <i>Carpinetum betuli</i>
АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ ПРИУСЛОВЫЕ ЛЕСА	
11	ass. <i>Stellario nemorum</i> - <i>Alnetum glutinosae</i>
12	ass. <i>Circaeo alpinae</i> - <i>Alnetum glutinosae</i>
12a	Серийные и трансформационные ряды ass. <i>Circaeo alpinae</i> - <i>Alnetum glutinosae</i>
ЛИСТВЕННЫЕ БОЛОТНЫЕ ЛЕСА	
13	ass. <i>Carici elongatae</i> - <i>Alnetum glutinosae</i>
13a	Серийные и трансформационные ряды ass. <i>Carici elongatae</i> - <i>Alnetum glutinosae</i>
14	ass. <i>Carici acutiformis</i> - <i>Alnetum glutinosae</i>
15	ass. <i>Thelypterido palustris</i> - <i>Alnetum glutinosae</i>
16	ass. <i>Thelypterido palustris</i> - <i>Betuletum pubescentis</i>
III. БОЛОТНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ	
17	Комплекс коренных ассоциаций MAGNO-CARICION ELATA
17a	Серийные и трансформационные ряды MAGNO-CARICION ELATA
18	Комплекс коренных ассоциаций MAGNO-CARICION GRACILIS
18a	Серийные и трансформационные ряды MAGNO-CARICION GRACILIS
19	Комплекс коренных ассоциаций SPHAGNO-CARICION CANESCENTIS (ass. <i>Sphagno recurvi</i> - <i>Caricetum rostratae</i> + ass. <i>Sphagno recurvi</i> - <i>Caricetum lasiocarpae</i>)
19a	Серийные и трансформационные ряды SPHAGNO-CARICION CANESCENTIS
20	Комплекс коренных ассоциаций SPHAGNION MAGELLANICI
20a	Серийные и трансформационные ряды SPHAGNION MAGELLANICI
ПРОЧИЕ ЗЕМЛИ	
21	Воды
22	Прочие земли

2) карта современной динамики растительного покрова (гибель лесов, зарастание ранее нелесных земель, дигрессионно-демутационные процессы на выбывших из хозяйственного оборота нелесопокрытых землях, с/х освоение территории) [7, с. 93];

3) карта локализации современных антропогенных факторов, времени и степени их проявления [6, с. 25]. Также для разработки прогноза использовали архивные топокарты, почвенные данные.

2. Разработка прогноза динамики растительного покрова. Разработку прогноза основывали на определении их положения в сукцессионно-демутационных рядах.

Анализ литературы и результаты собственных исследований позволили сформулировать основные методологические подходы к составлению прогнозов развития сообществ при условии полного прекращения воздействий человека в ближайшие 100 лет. Прогноз разрабатывался для каждого выдела современной геоботанической карты.

3. Совмещение на платформе ГИС производных спутниковых, тематических и картографических продуктов, составление карты потенциальной растительности (до 2120 г.), статистическая обработка средствами ГИС, формирование выводов заключений.

В результате исследований составлена потенциальная карта растительности Беловежской пуши (рис. 2), легенда карты в табл. 1.

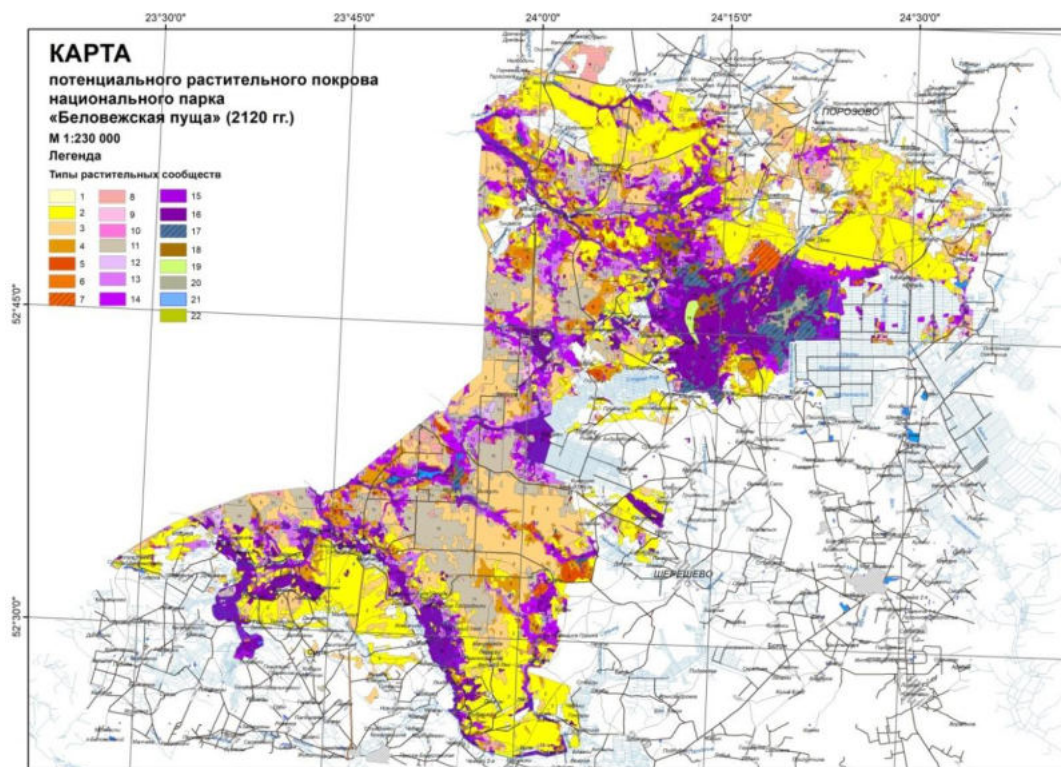


Рис 2. Карта потенциального растительного покрова НП «Беловежская пуца»

В прогнозной структуре растительного покрова выделено 20 вариантов коренных ядерных ассоциаций (лесных – 17, кустарниковых – 1, болотных – 2). Основные направления формирования потенциальной растительности территории при отсутствии антропогенного воздействия являются (рис. 3, табл. 2, 3):

- развитие лесной растительности (+23,6 тыс. га или +15,8 % общей площади национального парка) за счет зарастания ранее нелесных территорий (поймы рек, открытые нелесные болота, бывшие сельскохозяйственные земли и производные суходольные луга);
- среди лесов наиболее активно будет увеличиваться площадь лиственных болотных лесов (+16,8 тыс. га – +11,2 %);
- трансформация фитоценозов открытых низинных и переходных болот (-8,5 тыс. га – -5,7 %) путем перехода в лесной тип;
- сокращение площадей производных (внепойменные луга и прочая антропогенная растительность) растительных сообществ (-13,5 тыс. га – -9,0 %), путем формирования лесных биогеоценозов.

Таблица 2

**Матрица прогноза динамики растительного покрова
НП «Беловежская пуща» (к 2120 г.)**

Коды синтаксонов (текущая ситуация)*	Коды синтаксонов (прогнозная ситуация)*																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	+																			
2		+																		
2a		+																		
3			+																	
3a			+																	
4				+																
4a				+																
5					+															
5a					+															
6							+													
7								+												
7a								+												
8									+											
8a									+											
9										+										
10											+									
10a											+									
11												+								
12													+							
12a													+							
13														+						
13a														+						
14															+					
15																+				
16																	+			

Окончание табл. 2

17																			+			+	+	
17a																			+					
18																			+				+	
18a																		+						
19																				+				+
19a																			+					
20																								
20a																								

*Коды синтаксонов см. в табл. 1



Рис. 3. Восстановленная (1920 г.), современная (2020 г.) и прогнозная (2120 г.) структура растительного покрова национального парка «Беловежская пуща», %

Таблица 3

Восстановленная (1920 г.), современная (2020 г.) и прогнозная (2120 г.) структура растительного покрова НП «Беловежская пуща», %

Растительность	1920	2020	± (2020 /1920)	2120	± (2120 / 2020)
Хвойные, широколиственно-хвойные леса и вторичные мелколиственные леса на их месте	57,3	53,6	-3,7	58,2	4,6
Широколиственные леса и вторичные мелколиственные леса на их месте	10,2	10,2	0	10,2	0
Аллювиальные прирусловые леса	0,8	6,5	5,7	6,5	0
Лиственные болотные леса	1,0	12,7	11,7	23,9	11,2
Кустарниковая растительность	<0,1	1,9	1,9	0,8	-1,1
Болотная растительность	30,7	6,1	-20,5	0,4	-5,7
Луговая растительность		4,2	0	—	-4,2
Антропогенная растительность	<0,1	4,8	4,8	—	-4,8

Библиографические ссылки

1. *Faliński J. B.* Kartografia geobotaniczna : w 3 cz. Warszawa ; Wrocław : PPWK, 1991. Cz. 3 : Kartografia geobotaniczna ogólna i stosowana. 355 s.
2. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность : в 2 кн. / отв. ред. О. В. Смирнова. М. : Наука, 2004. 2 кн.
3. Восточноевропейские широколиственные леса / Р. В. Попадюк [и др.] ; отв. ред. О. В. Смирнова. М. : Наука, 1994. 363 с.
4. *Помаз В. Л., Евстигнеев О. И., Логофет Д. О.* Применение марковских моделей для анализа сукцессионных изменений лесных сообществ // Лесоведение. 1998. № 5. С. 59–66.
5. *Евстигнеев О. И.* Механизмы поддержания биологического разнообразия лесных биогеоценозов : дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.08 / О. И. Евстигнеев. Н. Новгород, 2010. 513 л.
6. Карта растительности национального парка «Беловежская пуща»: опыт создания и практического использования / Д. Г. Груммо [и др.] // Геоботаническое картографирование. 2019. С. 18–38.
7. Груммо Д. Г. Научные основы, методология и результаты пространственного изучения растительного покрова Беларуси с использованием данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. Минск, 2024. Вып. 53. С. 72–113.

ОЦЕНКА УРОВНЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ВАСИЛЕОСТРОВСКОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Е. И. Гусев

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация, st094929@student.spbu.ru*

В статье представлена оценка уровня озеленения Василеостровского района города Санкт-Петербурга по данным дистанционного зондирования Земли и географических информационных систем. С помощью подсчёта нормализованного относительного вегетационного индекса (NDVI) определено, что зеленые насаждения в структуре района занимают 19,91 %, из них 54,68 % относятся к кустарниково-травянистой растительности, 38,47 % к древесно-кустарниковой растительности, 6,85 % к древесной растительности.

Ключевые слова: зеленые насаждения; данные дистанционного зондирования Земли; город; нормализованный относительный вегетационный индекс; озеленение.

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF URBAN GREENING IN THE VASILEOSTROVSKY DISTRICT OF ST. PETERSBURG USING EARTH REMOTE SENSING DATA AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

E. I. Gusev

*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russian Federation,
st094929@student.spbu.ru*

The article presents an assessment of the level of urban greening in the Vasileostrovsky district of St. Petersburg based on data from remote sensing of the Earth and geographical information systems. By calculating the normalized difference vegetation index (NDVI), it was determined that green spaces in the structure of the district occupy 19.91%, of which 54.68% belong to shrubby-herbaceous vegetation, 38.47% to woody-shrubby vegetation, 6.85% to woody vegetation.

Keywords: green spaces; Earth remote sensing data; city; normalized difference vegetation index; urban greening.

Введение. Озеленение городов является важным аспектом для комфортного проживания горожан. Зеленые насаждения позволяют обеспечивать устойчивое развитие городской среды. В ГОСТ 28329-89 «Озеленение городов. Термины и определения» используется термин «зелёные

насаждения», который представляет собой совокупность древесных, кустарниковых и травянистых растений на определенной территории [3]. В контексте городской среды это определение применяется для обозначения зеленых зон, парков, скверов, аллей и других участков, где произрастают растения, способствующие созданию природной среды в городе.

Зеленые насаждения играют ключевую роль в поддержании биологического разнообразия, улучшении качества воздуха, регулировании микроклимата, снижении уровня шумового загрязнения и создании рекреационных возможностей для населения [4]. Развитие современных технологий, особенно дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), предоставляет возможность получения данных в режиме, близком к реальному времени, что способствует своевременному мониторингу зеленых насаждений, находящихся под угрозой негативного воздействия урбанизации.

В качестве эффективного инструмента для оценки уровня озеленения городов предлагается использовать ДЗЗ [5].

Материалы и методы. Для определения качества зеленых насаждений были использованы данные дистанционного зондирования Земли. Это метод получения информации об объекте на определенной территории за конкретный промежуток времени путем анализа данных с помощью космических снимков [6].

В качестве исходного снимка были взяты данные съемки космического аппарата проекта Европейского космического агентства Sentinel-2a, который был создан в рамках проекта глобального мониторинга окружающей среды и безопасности «Copernicus» на 15 июня 2023 г. в административных границах Санкт-Петербурга [10]. Пространственное разрешение снимка составляет 10*10 м на пиксель.

Обработка была проведена в свободной географической информационной системе (ГИС) QGIS. Она включала в себя атмосферную коррекцию методом вычитания темных объектов Dark Object Subtraction (DOS) с помощью плагина Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), подсчет нормализованного относительного вегетационного индекса Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), определение классов изображения, соответствующих состоянию поверхности. Нормализованный относительный вегетационный индекс – это показатель, позволяющий определить количественные характеристики растительности путем измерения разницы между ближним инфракрасным и красным светом. Данный индекс имеет значения в диапазоне [-1; +1], где +1 соответствует густой и здоровой растительности, а значение -1 характеризует водные объекты. Здоровая растительность (хлорофилл) отражает больше ближнего инфракрасного (NIR) и зеленого света по сравнению с другими длинами волн, но при этом поглощает больше красного и синего света. Вычисляется по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра; RED – отражение в красной области спектра [9]. Расчет показателя позволяет распознать зеленые насаждения на снимке, определить состояние растительности и посчитать площади.

Результаты. В рамках исследования определяются все значения для Василеостровского района города Санкт-Петербурга. Общая площадь района составляет 2146,88 га или 21,47 км² [7].

Исходя из значений NDVI, выделено 3 класса состояния растительности:

- 1-й класс – разреженная растительность (с преобладанием кустарниково-травянистой растительности);
- 2-й класс – умеренная растительность (с преобладанием древесно-кустарниковой растительности);
- 3-й класс – густая растительность (с преобладанием древесной растительности) [5].

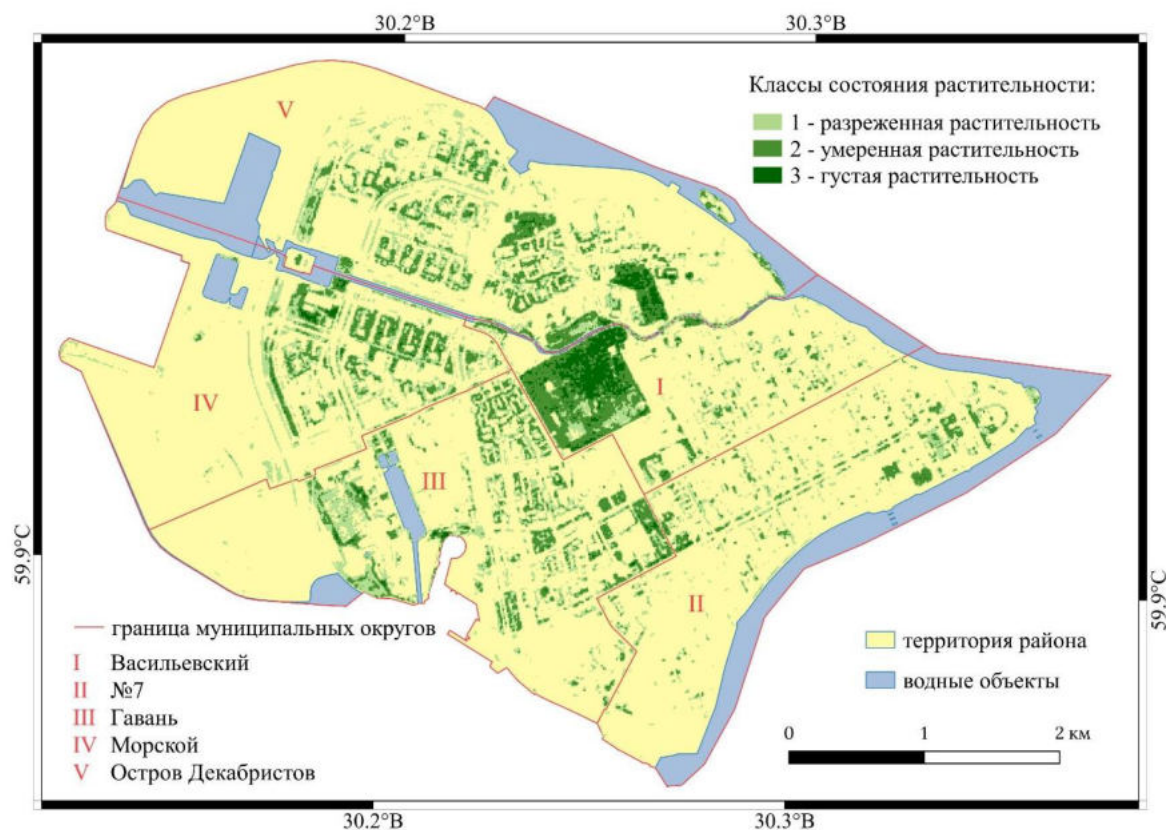
Для каждого из выделенных классов состояния растительности были посчитаны площади и процент в структуре района (таблица). Также составлена карта, отражающая распределение классов (рисунок).

Распределение значений для разных классов Василеостровского района города Санкт-Петербурга в 2023 г.

Классы	Диапазон NDVI	Состояние растительности	Площадь, км ²	Площадь, %
1	0,30 – 0,45	Разреженная растительность	2,34	54,68
2	0,45 – 0,60	Умеренная растительность	1,64	38,47
3	Выше 0,60	Густая растительность	0,29	6,85
Всего			4,28	100

Общая площадь всех зеленых насаждений Василеостровского района составляет 4,28 км² или 19,91%, что для центрального района с плотной исторической застройкой достаточно хороший показатель. Само распределение зеленых насаждений по состоянию растительности сложилось так: к первому классу – разреженная растительность – относится более половины всех зеленых насаждений Василеостровского

района – 54,68 %, ко второму классу – умеренная растительность – относится 38,47%, к третьему классу – густая растительность – относится всего 6,85%.



Карта распределения классов по значениям NDVI на территории Василеостровского района города Санкт-Петербурга

Анализируя карту (рисунок), можно увидеть закономерное распределение озеленения по Василеостровскому району. В муниципальных округах (МО) «Васильевский» и «№7» меньше количество и ниже класс состояния растительности, по причине, что эти округа находятся в старой части города Санкт-Петербурга. Однако есть исключение для МО «Васильевский», там находится самый большой массив зелени, представленный в районе Смоленским кладбищем. В муниципальных округах «Гавань», «Морской», «Остров Декабристов» озеленение распределяется равномерно по всем округам одинаково, потому что застройка данных территорий началась после 30-х годов 20 века, когда стали вводиться нормы озеленения при планировании города. Также в западной части этих МО отсутствует растительный покров, так как данная территория начала формироваться недавно, путем намыва песка со дна Финского залива.

Стоит отметить, что на автоматизированной информационной системе управления градостроительной деятельностью для обеспечения нужд Санкт-Петербурга при Комитете по градостроительству и архитектуре города Санкт-Петербурга отсутствуют данные о зеленых насаждениях в городе [8]. Существует два закона, которые регулируют вопросы, связанные с зелеными насаждениями: «О зеленых насаждениях Санкт-Петербурга» [1] и «О зеленых насаждениях общего пользования» [2]. Первый определяет виды территорий, охрану, инвентаризацию, паспортизацию зеленых насаждений, однако в нем отсутствует перечень о местоположении [1]. Второй содержит адресные сведения зелёных насаждений общего пользования с приблизительными площадями (в га), но при этом никак не отражает состояние растительности [2]. Общий недостаток – это неудобство отображения данных, необходимость создания единой картографической базы, которая лучше всего отразит расположение зеленых зон в городе. Для создания картографической базы можно использовать данные дистанционного зондирования Земли и географических информационных систем.

Выводы. Использование современных технологий в оценки уровня озеленения, таких как данные дистанционного зондирования Земли и географические информационные системы, становится всё актуальнее. Поскольку они позволяют мониторить ситуацию практически в реальном времени, удобнее в использовании, хранении информации. Кроме того, использование таких технологий улучшает планирование территориального развития, способствуя сохранению экологического равновесия и благополучия городской среды.

В качестве результатов было определено, что площадь зеленых насаждений Василеостровского района составляет 19,91%. Более половины из всех зеленых насаждений принадлежат к классу кустарниково-травянистой растительности. Также было определено, что в городе Санкт-Петербурге отсутствует единая база данных о зеленых зонах.

Библиографические ссылки

1. Закон Санкт-Петербурга «О зеленых насаждениях в Санкт-Петербурге» от 23.06.2010 N 396-88 (с изм. на 29.06.2023) [Электронный ресурс]. Электронный фонд правовых и нормативно технических документов «Техэксперт». URL: <https://docs.cntd.ru/document/891832426> (дата обращения: 15.11.2024).

2. Закон Санкт-Петербурга «О зеленых насаждениях общего пользования» от 08.10.2007 N 430-85 (с изм. на 21.12.2023) [Электронный ресурс]. Электронный фонд правовых и нормативно технических документов «Техэксперт» URL: <https://docs.cntd.ru/document/8458668> (дата обращения: 15.11.2024).

3. ГОСТ 28329-89 Озеленение городов. Термины и определения [Электронный ресурс] // Система нормативных документов «МЕГАНОРМ». URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294826/4294826451.htm> (дата обращения: 13.11.2024).
4. Ерохина В. И., Жеребцова Г. П., Вольфтруб Т. И. Озеленение населённых мест : справочник. М. : Стройиздат. 1987. 480 с.
5. Трубина Л. К., Лисакова О. А., Соколов Д. А. Комплексный мониторинг зеленых насаждений городских территорий. Интерэкспо ГЕО-Сибирь : сб. материалов XIX Междунар. науч. конгресс, Новосибирск, 17–19 мая 2023 г., в 8 т. Т. 4. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. Новосибирск : СГУГиТ, 2023. № 2. 222 с.
6. Чандра А. М., Гош С. К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М. : Техносфера, 2008. 312 с.
7. Василеостровский район. Общая информация // Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: https://www.gov.spb.ru/gov/terr/reg_vasileostr/information/ (дата обращения: 13.11.2024).
8. Градостроительный портал Санкт-Петербурга // Сайт Комитета по градостроительству и архитектуре Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: <https://portal.kgainfo.spb.ru/kgamap/> (дата обращения: 15.11.2024).
9. NDVI – теория и практика // Географические информационные системы и дистанционное зондирование «GIS LAB» [Электронный ресурс]. URL: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения: 13.11.2024).
10. Sentinel-2 // Copernicus [Electronic resource]. URL: <https://sentinels.copernicus.eu> (date of access: 13.11.2024).

ГИС-АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ В РЕЗУЛЬТАТЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИМЕРЕ КЛЮЧЕВЫХ УЧАСТКОВ

Ф. С. Гутько¹⁾, А. Л. Киндеев¹⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 2203030, Беларусь, email: gytko.filip12@gmail.com

В настоящем исследовании рассматриваются вопросы анализа изменения пространственной структуры кислотности почв при помощи геостатистических показателей, ее пространственного распределения на пахотных и лесных землях. Изучено влияние антропогенной нагрузки на кислотность почв. Был апробирован новый относительный показатель – вариация на метр.

Ключевые слова: геостатистический анализ; точное земледелие; кислотность почв; сельское хозяйство; экономические издержки; известкование.

GIS ANALYSIS OF CHANGES IN THE SPATIAL STRUCTURE OF SOIL ACIDITY AS A RESULT OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE EXAMPLE OF KEY SITES

F. S. Gutko¹⁾, A. L. Kindeev¹⁾

¹⁾ Belarusian State University, Independence Ave., 4, 2203030, Belarus, email: gytko.filip12@gmail.com

This study examines the issues of analyzing changes in the spatial structure of soil acidity using geostatistical indicators, its spatial distribution on arable and forest lands. The influence of anthropogenic load on soil acidity has been studied. A new relative indicator was tested – variation per meter.

Keywords: geostatistical analysis, precision agriculture, soil acidity, agriculture, economic costs, liming.

Геостатистический анализ неоднородности отдельных свойств почв занимает особое место в современном этапе развития цифровой почвенной картографии. Данный метод используется как основной инструмент прямых методов картографирования почвенного покрова и отдельных его свойств [1]. При этом геостатистика является важной частью в новейших подходах обследования земель в системе точного земледелия [2]. Также это действенный инструмент, применяемый для оценки экологического состояния почв.

Кислотность, с одной стороны, является одним из важнейших свойств почвы, с другой – характеризуется простотой химического анализа. Кислотность почвы – важный экологический фактор, определяющий условия жизнедеятельности почвенных организмов и высших растений, а также аккумуляцию и подвижность загрязнителей в почве (в первую очередь металлов).

Кислотность почвы влияет не только на урожайность, но и на почвообразовательные процессы. От нее зависит эффективность использования удобрений, развитие заболеваний культурных растений. В свою очередь вид растительности также влияет на показатель кислотности.

В зависимости от вида растительного покрова различаются химический состав и характер локализации опада. Почвы под хвойной растительностью при невысокой гумусированности содержат больше фульвокислот и низкомолекулярных соединений, так как в опаде много лигнина, смол и других трудноминерализуемых соединений, которые закисляют почву. В свою очередь, почвы под листовыми породами более гумусированные и имеют менее кислую среду [3].

Также показатель кислотности почв применяется для оценки экологического состояния почв, в том числе как индикатора подвижности тяжелых металлов в почве. Наличие сдвига реакции почвенной среды в сторону подщелачивания является признаком загрязнения почв тяжелыми металлами. В то же время поступление в почву тяжелых металлов связано с попаданием в почву строительного и бытового мусора, золы от сгорания топлива или выбросов промышленных предприятий и транспорта [4].

Для анализа изменения пространственной структуры кислотности почв в результате антропогенного воздействия были заложены 2 опытных участка на лесных и пахотных землях на территории Барановичского района Брестской области.

Участок № 1 (пахотные земли) имеет площадь 20 га, на нем преобладают дерново-подзолистые супесчаные почвы, данный участок используется для выращивания преимущественно зерновых культур, но долгое время на нем размещалось пастбище.

Участок № 2 (лесные земли) имеет площадь 15 га, на нем преобладают дерново-подзолистые супесчаные почвы, также представлены дерново-подзолистые супесчаные временно избыточно увлажненные почвы.

Данные участки имеют различную площадь, исходя из этой особенности, была разработана сетка пробоотбора с шагом в 50 м для участка № 1, в свою очередь для лесного участка точки располагались по нерегулярной сетке со средним расстоянием между точками в 30 м.

На опытном участке № 1 было отобрано 96 почвенных образцов, на участке № 2 – 82 почвенных образца. Отбор проб производился с глубины 0–20 см. для измерения кислотности.

Значения pH_{KCl} были получены в лаборатории потенциометрическим методом. Геоestatистический анализ проводился по стандартной методике: после проверки на нормальность распределения вычленились глобальные тренд [5]. Путем вариограммного анализа определяется оптимальная модель вариограммы для каждого участка, и рассчитываются такие показатели как наггет, порог, ранг и остаточная дисперсия.

Качество вариограммного анализа оценивается по значению средней ошибки прогноза, среднеквадратичной ошибки и среднеквадратической нормированной погрешности, а также по визуальному сходству математической и эмпирической моделей. В связи с тем, что между участками есть различия по площади, для сравнения геоestatистических величин был использовался новый показатель – «вариация на метр».

Известно, что порог вариограммы отражает дисперсию, а ранг – расстояние, исходя из чего, можно рассчитать дисперсию, приходящуюся на одну единицу расстояния. Данный показатель позволяет перейти от сравнения абсолютных величин к относительным, тем самым вынеся за скобки размеры сравниваемых участков [6].

Новый показатель, вместе с классическими параметрами вариограмм приведен в таблице ниже.

Параметры вариограмм ключевых участков

Параметры	Лесной участок	Пахотный участок
N	96	82
$e(r)$	0,356	0,752
$s(r)$	0,126	0,566
$s(r)+e(r)$	0,931	0,642
L, м	31	50
R, м	113	600
D, %	0,01	13,40
M	5,19	5,54
$s(r)+e(r)/R$	0,00824248	0,00107000
ср.кв.откл/R	0,09078809	0,03271085
V/R,%	1,750	0,590

Сразу определяются основные геоestatистические различия участков. В первую очередь стоит отметить, что среднее расстояние между точками (L) участков одной группы отличается не сильно, что позволяет сопоставлять полученные результаты.

Показатель остаточной дисперсии (D) у всех участков менее 13,4 %, что говорит о сильной пространственной взаимозависимости показателей кислотности.

Показатель ранга (R) на лесных землях равен 113 м, а на пашне – 600 м, что говорит о том, что на лесных землях точки перестают коррелировать между собой раньше, чем на пашне. Выделяется Порог ($s(r)+e(r)$) – порядок цифр для лесных земель составляет порядка 0,9, для пахотных – 0,6. Полученные значения нового показателя (V/R) подтверждают описанные выше различия – у лесных земель вариация на метр колеблется в районе 1,8 процентов, у пахотных – 0,6 процента.

Заключительным этапом геостатистического анализа является построение картограмм кислотности почв исследуемых участков при помощи инструментов интерполяции (рис.1).

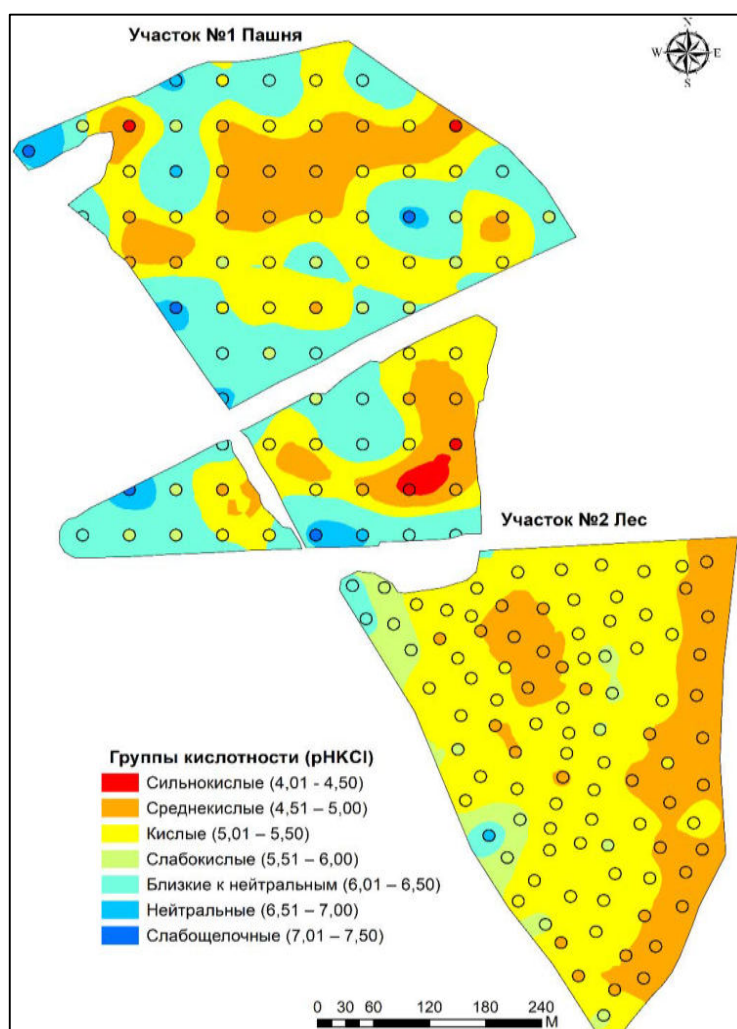


Рис. 1. Картограмма кислотности опытных участков

На пахотных землях значения кислотности имеют широкий диапазон от сильнокислых почв до слабощелочных, но в основном преобладают почвы с кислотностью от среднекислых до близких к нейтральным. На данном участке наблюдается подкисление почв, что связано с тем, что на нем на протяжении 20 лет было пастбище и давно не проводилось известкование. Уменьшение антропогенной нагрузки на данном участке привело к естественному подкислению почв.

Также обнаруженные микроконтура слабощелочных и сильнокислых почв не будут учтены при проведении стандартного агрохимического обследования негативно отразится на урожайности и неэффективным затратам.

На лесных землях неоднородность кислотности обусловлена совокупной гетерогенностью растительности и рельефа. На западной части исследуемого участка преобладают среднекислые почвы, что связано с преобладание в той части леса хвойных пород, преимущественно сосны, что подтверждается спутниковым снимком данного участка зимой (рис. 2).



Рис. 2. Спутниковый снимок участка № 2

В целом на участке № 2 преобладают кислые почвы, которые характерны для лиственных пород, которые там преобладают. Также имеются ареалы слабощелочных и слабокислых почв. Первый расположен на северо-востоке участка – эта территория являлась частью пахотных земель участка № 1, до прокладки до 1980-х годов автомобильной асфальтированной дороги. Также она размещается возле перекрестка, что способствует загрязнению почв как тяжелыми металлами от выхлопа транспорта, так и бытовым мусором, что способствует подщелачиванию почв.

Второй ареал слабощелочных почв размещается в юго-восточной части леса, где при отборе проб были обнаружены следы несанкционированной свалки, которую в последствии ликвидировали. Следовательно, подщелачивание почвы связано с загрязнением данной территории, на что и указывает показатель кислотности.

Результаты данного исследования показывают, что геостатистический анализ позволяет максимально точно и научно обоснованно строить картограммы кислотности почв с помощью инструментов интерполяции. Гис анализ позволяет обнаружить и изучить изменения пространственной структуры кислотности почв в результате антропогенного воздействия, что было доказано на примере ключевых участков. Также геостатистика позволяет улучшить качество и эффективность сельскохозяйственной деятельности, оптимизировать использование ресурсов и повысить урожайность.

Библиографические ссылки

1. *Красильников П. В., Таргульян В. О.* На пути к «новой географии почв» вызовы и решения (обзор) // Почвоведение, 2019, № 2. С. 131–139.
2. *Гутько Ф. С., Киндеев А. Л.* Геостатистический анализ кислотности почвы с учетом экономических издержек при точном земледелии // ГИС-технологии в науках о Земле : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 15 нояб. 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. Н. Червань (гл. ред.) [и др.]. Минск : БГУ, 2023. С. 61–64.
3. География почв Беларуси : учеб. пособие / Н. В. Клебанович [и др.]. Минск: БГУ, 2011.
4. *Метлицкий И. В., Киндеев А. Л., Карпиченко А. А.* Определение степени антропогенной нагрузки на урболандшафты г. Жабинка // Земля Беларусь. 2024. № 3. С. 38–49.
5. *Киндеев А. Л.* Перспективные направления геостатистического анализа и стохастического моделирования с учетом экономических издержек при точном земледелии // Вестник Московского ун-та. Сер 17. Почвоведение. 2022. № 2. С. 59–70.
6. *Киндеев А. Л., Сазонов А. А., Яскельчик В. В.* Геостатистическая интерпретация неоднородности кислотности почвенного покрова основных видов земель Республики Беларусь // Почвенные и земельные ресурсы: традиционные и инновационные подходы к изучению и управлению: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию образования каф. почвоведения и геоинформ. систем БГУ и 85-летию со дня рождения д-ра геогр. наук, проф. В. С. Аношко, Минск, 21–24 сент. 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. Н. Червань (гл. ред.) [и др.]. Минск : БГУ, 2023. С. 395–400.

ОЦЕНКА ПРОТИВОДЕФЛЯЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Ф. С. Гутько, В. Б. Цырибко, Т. М. Серая

*Институт почвоведения и агрохимии, Минск, Беларусь,
email: brissa_secretary@mail.ru*

Проведенные исследования подтвердили разработанную ранее группировку почв по степени дефляционной опасности, согласно которой легкосуглинистые почвы характеризуются как недефляционноопасные, рыхлосупесчаные как слабODEфляционноопасные, а песчаные как сильнодефляционноопасные. Содержание агрегатов крупнее 1 мм в легкосуглинистых почвах варьируется в диапазонах от 69,4 до 82,2 %, в рыхлосупесчаных – от 30,2 до 47,0 %, а в песчаных – от 2,3 до 10,5 %.

Ключевые слова: противодефляционная устойчивость почв; содержания агрегатов крупнее 1 мм; гранулометрический состав почв.

ASSESSMENT OF ANTI-DEFLATION RESISTENSE OF SOILS ARABLE LAND OF THE REPUBLIC OF BELARUS

F. S. Gutko, V. B. Tsyrybka, T. M. Seraya

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Minsk, Belarus,
email: brissa_secretary@mail.ru*

Conducted studies confirmed the previously developed grouping of soils according to the degree of deflationary danger, according to which light loamy soils are characterized as non-deflationary, sandy loam soils as slightly deflationary, and sandy soils as highly deflationary. The content of aggregates larger than 1 mm in light loamy soils varies in the range from 69.4 to 82.2 %, in sandy loam soils - from 30.2 to 47.0 %, and in sandy soils – from 2.3 to 10.5 %.

Keywords: soil anti-deflation stability, content of aggregates larger than 1 mm, soil texture.

Интенсификация земледелия без соответствующего учета природно-ландшафтных условий приводит к усилению процессов деградации почвенного покрова, снижению продуктивности пахотных земель. В Беларуси в условиях нарастающих изменений климата одним из потенциально наиболее опасных видов деградации почв становится дефляция.

Дефляция почвы определяется такими факторами, как тип климата, рельеф территории, особенности почвенного и растительного покрова. Она проявляется в виде повседневной дефляции на открытых незащищенных растительностью массивах и в виде пыльных бурь [1].

Причиной увеличения интенсивности и повторяемости дефляции является рост средней температуры весеннего периода – с 2000 г. по 2023 г. она превышала среднемноголетнее значение 13 раз, в тоже время выпадение осадков ниже нормы отмечалось 9 раз [2].

Дефляция чаще всего возникает весной (апрель-май) и в начале лета (первая декада июня), когда почва распылена обработкой и не защищена растительностью, реже – осенью. Потери почвы в апреле составляют 30 %, в мае – 42, в июне – 24, в сентябре – 4% от общей суммы годовых потерь [3].

Среди свойств почв, влияющих на устойчивость их к дефляции, выделяются гранулометрический состав, структурно-агрегатное состояние, состав поглощенных оснований, соотношение гумуса и карбонатов кальция [1].

Объектами исследований явились дерново-подзолистые легкосуглинистые, рыхлосупесчаные и песчаные почвы. Для определения противодефляционной устойчивости почв проводился отбор ненарушенных почвенных монолитов на двух опытных стационарах – ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области и ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области, а также в ходе маршрутных почвенных исследований на территории Южной почвенно-экологической провинции в весенний период, когда наиболее вероятно проявление дефляционных процессов.

Песчаные и супесчаные почвы наиболее подвержены дефляции. В рамках исследования была составлена картограмма группировки районов по удельному весу дефлированных и дефляционноопасных песчаных и супесчаных почв в составе сельскохозяйственных земель (рис. 1).

Значительный удельный вес в составе сельскохозяйственных земель дефлированные и дефляционноопасные песчаные и супесчаные почвы имеют в Брестской, Гомельской областях, а также в западной и юго-восточной части Минской области и южной части Могилевской области.

В процессе исследований определен ключевой показатель, характеризующий противодефляционную устойчивость почв – содержание агрегатов крупнее 1 мм, исходя из данных сухого просеивания, определяемых по методу Н.И. Саввинова [4]. Выбор этого показателя для характеристики устойчивости к дефляции обусловлен тем, что агрегаты крупнее 1 мм не переносятся в ходе повседневной дефляции, а их отрыв и перенос происходит только в случае экстремального проявления дефляции – пыльных бурь.

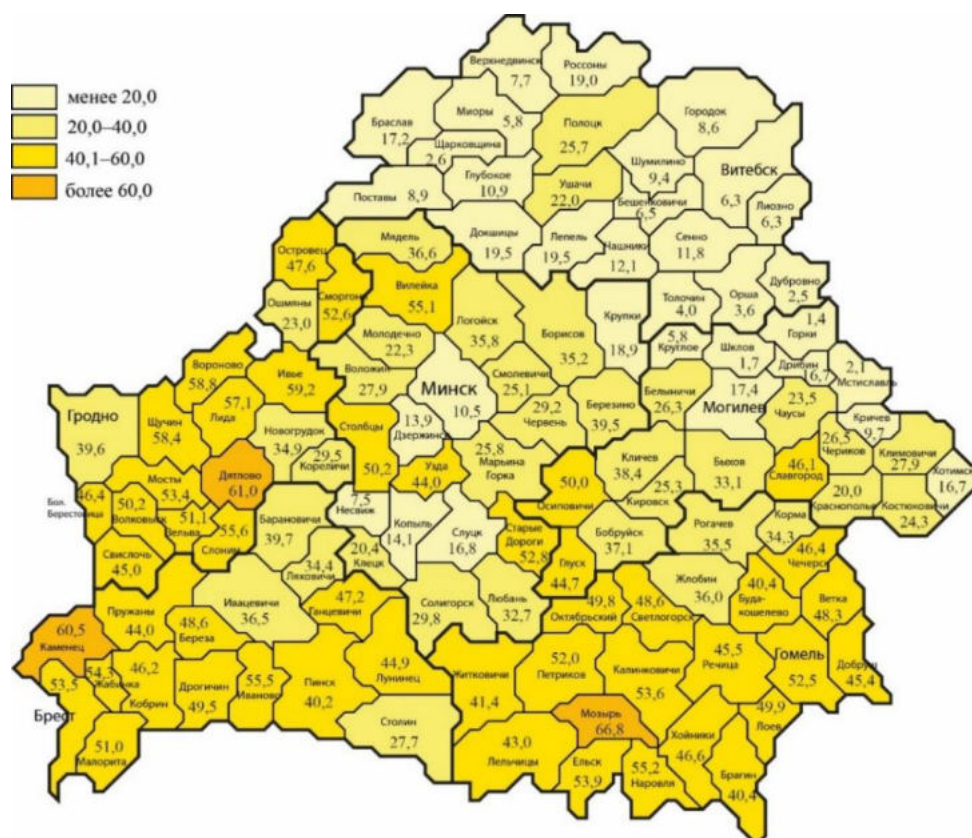


Рис.1. Группировка районов по удельному весу дефлированных и дефляционноопасных песчаных и супесчаных почв в составе сельскохозяйственных земель, %

Результаты проведенных исследований показывают, что устойчивость к дефляции дерново-подзолистых почв значительно изменяется в зависимости от гранулометрического состава (таблица 1).

Таблица 1
Противодефляционная устойчивость дерново-подзолистых почв, %

Почвы	Содержание агрегатов крупнее 1 мм		
	ср. знач.	min	max
Легкосуглинистые	75,4	69,4	82,2
Рыхлосупесчаные	41,3	30,2	47,0
Песчаные	6,2	2,3	10,5

Содержание агрегатов крупнее 1 мм в легкосуглинистых почвах варьируется в диапазонах от 69,4 до 82,2 %, что значительно превосходит значения пороговое значение дефляционной опасности – 50–55 % [5]. Показатели рыхлосупесчаной почвы ниже, более чем в 1,5 раза, доля устойчивой к дефляции фракции менее 50,0 %. Такое значение указывает на ве-

роятность проявления дефляционных процессов. Наихудшая противодефляционная устойчивость на песчаных почвах – максимальное значение доли ветроустойчивых агрегатов составляет 10,5 %.

В целом анализ полученных результатов подтверждает разработанную ранее группировку почв по степени дефляционной опасности [6], согласно которой легкосуглинистые характеризуются как недефляционно-опасные, рыхлосупесчаные как слабдефляционноопасные, а песчаные как сильнодефляционноопасные.

На опытных стационарах в рамках исследований о влиянии заправки соломой на основные показатели плодородия были отобраны почвенные монолиты для установления влияния данной операции на содержание ветроустойчивых почвенных агрегатов.

Структурно-агрегатный анализ показал, что заправка соломой положительно сказывается на величинах показателя противодефляционной устойчивости почв (таблица 2).

Таблица 2

Влияние заправки соломой на противодефляционную устойчивость дерново-подзолистых почв, %

Почва	Вариант	Содержание агрегатов крупнее 1 мм		
		ср. знач.	min	max
Легкосуглинистая	NPK	78,5	74,2	82,8
	солома+ NPK	80,0	79,0	81,0
Рыхлосупесчаная	NPK	35,5	30,2	40,8
	солома+ NPK	43,4	41,9	44,9

На легкосуглинистой почве заправка соломой привело к незначительному росту среднего содержания агрегатов (с 78,5 до 80,0 %), но при этом распределение фракций агрегатов стало более однородным – разница между экстремумами составляет 2,0 %.

Показатели противодефляционной устойчивости на рыхлосупесчаной почве при заправке соломой в 1,2 раза выше в сравнении с внесением минеральных удобрений. Также отмечается гомогенизация содержания агрегатов крупнее 1,0 мм.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили разработанную ранее группировку почв по степени дефляционной опасности, согласно которой легкосуглинистые характеризуются как недефляционно-опасные, рыхлосупесчаные как слабдефляционноопасные, а песчаные как

сильнодефляционноопасные. Содержание агрегатов крупнее 1 мм в легкосуглинистых почвах варьируется в диапазонах от 69,4 до 82,2 %, в рыхлосупесчаных – от 30,2 до 47,0 %, а в песчаных – от 2,3 до 10,5 %.

Библиографические ссылки

1. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. Минск : ИВЦ Минфина, 2017. 170 с.
2. Архивы погоды метеостанций Беларуси [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=33036> (дата обращения: 22.01.2023).
3. Методические указания по прогнозированию водно-эрозионных и дефляционных процессов на обрабатываемых землях Беларуси. Минск : Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2006. 44 с.
4. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М. : Агропромиздат, 1986. 416 с.
5. Волошенкова Т. В., Дридигер В. К., Епифанова Р. Ф. Ветроустойчивость южных карбонатных и обыкновенных черноземов в агролесоландшафтах степной зоны России. // Аграрная наука. 2021. № 354 (11–12). С. 52–60.
6. Формирование почвозащитных комплексов на дефлированных и дефляционноопасных землях : технологический регламент. Минск : И-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2023. 23 с.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФРАГМЕНТАЦИИ ЛАНДШАФТОВ БЕЛАРУСИ

Ю. С. Давидович¹⁾, Е. С. Фруль²⁾, В. М. Яцухно³⁾, В. А. Сипач⁴⁾

¹⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 2203030, Беларусь, email: seg98001@gmail.com;*

²⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 2203030, Беларусь, email: zhenyafrul@yandex.ru*

³⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 2203030, Беларусь, email: yatsukhno@bsu.by;*

⁴⁾ *УП «Геоинформационные системы», ул. Сурганова, 6, 220012, Беларусь, email: slava-sipach@tut.by*

В работе рассматриваются вопросы оценки фрагментации наземных экосистем Беларуси на 4 полимасштабных уровнях (национальном, региональном, субрегиональном и локальном) с использованием разработанного авторами специализированного программного комплекса. Наиболее перспективным и эффективным методом исследования и оценки фрагментации ландшафтов является использование данных дистанционного зондирования Земли как наиболее объективных и оперативных сведений по данному вопросу. Использование инструментов в среде геоинформационных технологий позволяет определить метрические композиционные и конфигурационные показатели, характеризующие степень фрагментации ландшафтов в автоматическом режиме обработки материалов аэрокосмических съемок.

Ключевые слова: фрагментация ландшафтов; программный комплекс; данные дистанционного зондирования Земли.

GEOINFORMATION METHODS FOR ASSESSING FRAGMENTATION OF LANDSCAPES IN BELARUS

Y. S. Davidovich¹⁾, E. S. Frul²⁾, V. M. Yatsukhno³⁾, V. A. Sipach⁴⁾

¹⁾ *Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, 220030, Belarus, email: seg98001@gmail.com;*

²⁾ *Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, 220030, Belarus, email: zhenyafrul@yandex.ru*

³⁾ *Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, 220030, Belarus, email: yatsukhno@bsu.by;*

⁴⁾ *UE «Geoinformation systems», 6 Surganova Street, 220012, Belarus, email: slava-sipach@tut.by*

The paper examines the issues of assessing the fragmentation of terrestrial ecosystems of Belarus at 4 multiscale levels (national, regional, subregional and local) using a specialized software package developed by the authors. The most promising and effective method for studying and assessing landscape fragmentation is the use of Earth remote sensing data as the most objective and timely information on this issue. The use of tools in the environment

of geoinformation technologies allows us to determine metric compositional and configuration indicators characterizing the degree of landscape fragmentation in the automatic mode of processing aerospace survey materials.

Keywords: landscape fragmentation; software package; Earth remote sensing data.

В ходе длительного хозяйственного освоения и использования территории Беларуси, слагающие ее природные ландшафты претерпели значительные структурно-функциональные изменения, выразившиеся, прежде всего, в нарушении цельности и пространственного охвата природных экосистем, уменьшении их биологического и ландшафтного разнообразия [1–4]. К числу существенных негативных последствий этого является чрезмерная фрагментация наземных экосистем, обусловленная расчленением и последующим гетерогенизацией крупных цельных естественных массивов на более мелкие и изолированные их участки. Формирование последних является результатом крупноплощадного агрохозяйственного, в том числе мелиоративного, использования земельного фонда, создания развитой сети и объектов транспортной инфраструктуры, линий электропередач, системы коммуникаций, расширение городских поселений, рекреационных зон, промышленного и гражданского строительства и др.

Фрагментация ландшафтов, обусловленная в первую очередь расчленением их растительного покрова, является принципиально новым фактором естественной динамики природной среды. Фрагментация влечет за собой развитие другого мощного процесса антропогенной трансформации – экотонизации границ природных и антропогенных экосистем, формирования сравнительно широких переходных полос между природными экосистемами и их антропогенными модификациями.

Проблема фрагментации ландшафтов является весьма актуальной и практически востребованной для условий Беларуси вследствие расширения населенных пунктов, дорожной сети, строительства промышленных и инфраструктурных объектов, линий электропередач, нефте- и газопроводов и др.

При выборе территориальных объектов исследования и последующей оценки фрагментации ландшафтов учитывался и был использован полимасштабный подход ее проявления. Главной особенностью указанного подхода является рассмотрение масштабности разных иерархических уровней (национального, регионального, субрегионального и локального) в пределах изучаемой территории.

Для оценки фрагментации естественных экосистем на различных территориальных уровнях авторами был разработан программный комплекс системы оценки фрагментации ландшафтов с применением данных дистанционного зондирования Земли с целью регулирования антропогенных

нагрузок на них и сохранения биоразнообразия экосистем (ПК СОФЛ). ПК СОФЛ состоит из:

- модулей первичной обработки и получения данных ДЗЗ и тематического дешифрирования для построения карт ландшафтов республиканского (национального), регионального, субрегионального и локального территориальных уровней;
- модуля определения информационных метрик (количественных показателей пространственной структуры и конфигурации отдельных изолированных природных экосистем в ландшафтах;
- модуля установления степени фрагментации и составления разномасштабных (1:500 000, 1:200 000, 1:100 000 и 1:50 000) карт.

Перечисленные выше программные модули разработаны на технической базе УП «Геоинформационные системы» и НИЛ экологии ландшафтов БГУ в программных продуктах ArcGIS 10.8 и ArcGIS Pro 3.2 на операционной системе Windows 10 с использованием алгоритмов построения пользовательских инструментов геообработки пространственных данных на основе геомodelей ModelBuilder.

Программный комплекс построения ландшафтных карт национального уровня создает классифицированный вектор фрагментации ландшафтов национального уровня на территорию Беларуси. На первом этапе автоматизировано скачиваются снимки Suomi NPP на два фенологических периода, закрывающие всю территорию Беларуси. Строятся спектральные индексы NDVI, NDWI и NBR и комбинируются в одно изображение с вырезанной облачностью. Далее два комбинированных изображения классифицируются, и выдается вектор, содержащий данные естественных лугов и сельскохозяйственных полей, и вектор лесов. На последнем этапе создается классифицированный вектор на основе сетки на исследуемую территорию.

Программный комплекс построения ландшафтных карт регионального уровня создает классифицированный вектор фрагментации ландшафтов регионального уровня на исследуемую ландшафтную провинцию. На первом этапе автоматизировано скачиваются снимки Landsat-8/9 на два фенологических периода, закрывающие всю исследуемую территорию. Строятся спектральные индексы NDVI, NDWI, NBR, NDTI и комбинируются в одно изображение с вырезанной облачностью. Далее два комбинированных изображения классифицируются и выдается вектор, содержащий данные естественных лугов и сельскохозяйственных полей, и вектор лесов. На последнем этапе создается классифицированный вектор на основе сетки на исследуемую территорию.

Программный комплекс построения ландшафтных карт субрегионального уровня создает классифицированный вектор фрагментации

ландшафтов субрегионального уровня на исследуемый административный район. На первом этапе автоматизировано скачиваются снимки Sentinel 2 на два фенологических периода, закрывающие всю исследуемую территорию. Строятся спектральные индексы NDVI, NDWI, NBR, NDTI и комбинируются в одно изображение с вырезанной облачностью. Далее два комбинированных изображения классифицируются и выдается вектор, содержащий данные естественных лугов и сельскохозяйственных полей, и вектор лесов. На последнем этапе создается классифицированный вектор на основе сетки на исследуемую территорию.

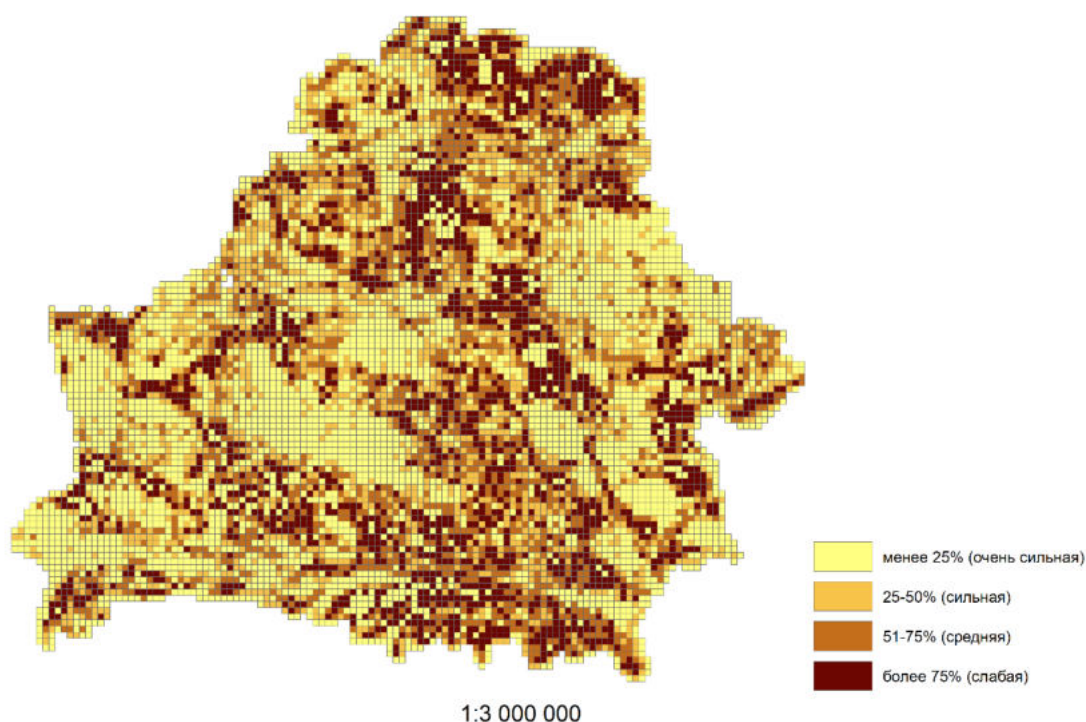
Программный комплекс построения ландшафтных карт локального уровня создает классифицированный вектор фрагментации ландшафтов локального уровня на исследуемый административный район. Согласно данным полей LANDTYPE и LANDCODE входного вектора земельной информационной системы Беларуси (ЗИС) по заданному правилу происходит переклассификация с добавлением полей classname и classvalue, отвечающих за имя и номер класса.

Для количественной характеристики и определения степени фрагментации ландшафтов предлагается применять метрические показатели (индексы): MP – количество патчей каждого вида земель, ед.; PLAND – процент определенного вида земель, %; MPS – средний размер (площадь) фрагмента (патча), км²; PD – плотность фрагмента, ед./км²; LSI – индекс формы; MSI – средний индекс формы; MPAR – отношение периметра к площади; MESH – эффективный размер ячейки, км²; SHEI – индекс равномерности Шеннона. Для оценки фрагментации естественных и лесных экосистем Беларуси была составлена карта масштаба 1:3 000 000 с пространственным разрешением ячейки 5 километров (рис.).

По результатам определения метрик (показателей) фрагментации ландшафтов определяется площадь сокращения экосистем ландшафтов, а также учитываются показатели связности, непрерывности, формы контуров экосистем и их взаиморазмещение, что позволяет с количественной определенностью устанавливать степень фрагментации ландшафтов. Исходя из размера площади сохранившихся природных экосистем в данном масштабе в ландшафтах их можно ранжировать на: очень трансформированные – менее 25 %; сильно – 25–50 %; средне – 50–75 %; слабо трансформированные – более 75 %.

В настоящее время при изучении, оценке и картографировании фрагментации ландшафтов Беларуси наиболее востребованным инструментом выявления пространственного сочетания наземных экосистем являются космические мультиспектральные снимки разного пространственного разрешения. Необходимость их применения объясняется объективностью, масштабом охвата изучаемых территорий и слагающих их ландшафтов, а

также доступностью и возможностью обработки в современных программных продуктах.



Степень фрагментации естественных экосистем Беларуси

Представленные результаты исследований получены при выполнении мероприятия 16 «Разработать систему оценки фрагментации ландшафтов Беларуси с применением данных дистанционного зондирования Земли с целью регулирования антропогенных нагрузок на них и сохранения биоразнообразия экосистем» подпрограммы 6 «Исследование и использование космического пространства в мирных целях» Государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» на 2021–2025 гг.

Библиографические ссылки

1. Гусев А. П. Фрагментация ландшафтного покрова как фактор деградации потенциала самовосстановления геосистем // Весці БДПУ. Серыя 3. 2014. № 1. С. 58–61.
2. Давидович Ю. С., Яцухно В. М. Оценка фрагментации наземных экосистем ландшафтов Беларуси по данным дистанционного зондирования Земли // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г.: в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А.С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. Брест: БрГУ, 2023. Ч. 2. С. 42–45.

3. Давидович Ю. С., Яцухно В. М. Исследование и оценка фрагментации ландшафтов Беларуси с использованием методов дистанционного зондирования // Материалы I Белорусского географического конгресса : к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апр. 2024 г. В 7 ч. Ч. 5. Актуальные проблемы геоэкологии и ландшафтоведения / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. Минск : БГУ, 2024. С. 81–87.

4. Скачкова А. С., Яцухно В. М. Планирование территориальных схем экологических сетей на основе результатов оценки фрагментации и разнообразия ландшафтов // Земля Беларуси. 2016. № 4. С. 25–29.

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА БРЕСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНЫХ ГИС

А. А. Игнатчук¹⁾, А. В. Нестерович²⁾, О. В. Токарчук³⁾

¹⁾Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, бул. Космонавтов,
21, 224016, г. Брест, Беларусь, angelokbrest@gmail.com

²⁾Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, бул. Космонавтов,
21, 224016, г. Брест, Беларусь, alinanesterovich18@gmail.com

³⁾Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, бул. Космонавтов,
21, 224016, г. Брест, Беларусь, oleg.v.tokarchuk@mail.ru

В настоящей работе приводится пример использования мобильных ГИС для полевых исследований экологического каркаса города. Для выполнения инвентаризации объектов экологического каркаса города использовалось приложение для полевого сбора данных Survey123. На базе приложения было создано несколько опросов, которые позволяют проводить инвентаризацию разных объектов в пределах нескольких ландшафтно-рекреационных территорий города Бреста.

Ключевые слова: Брест; экологический каркас; ГИС-технологии; ГИС-анализ.

INVENTORY OF ELEMENTS OF ECOLOGICAL FRAME OF BREST USING GIS

A. A. Ignatchuk¹⁾, A. V. Nesterovich²⁾, O. V. Tokarchuk³⁾

¹⁾A. S. Pushkin Brest State University, 21, Cosmonauts Blvd, 224016, Brest, Belarus,
angelokbrest@gmail.com

²⁾A. S. Pushkin Brest State University, 21, Cosmonauts Blvd, 224016, Brest, Belarus,
alinanesterovich18@gmail.com

³⁾A. S. Pushkin Brest State University, 21, Cosmonauts Blvd, 224016, Brest, Belarus,
oleg.v.tokarchuk@mail.ru

This paper provides an example of the use of mobile GIS for field research of the ecological framework of the city. To perform the inventory of the objects of the ecological framework of the city, an application for the left-hand data collection Survey123 was used. Several surveys have been created on the basis of the application, which allow for an inventory of various objects within several landscape and recreational territories of the city of Brest.

Keywords: Brest; ecological frame; GIS-technologies; GIS-analysis.

Экологический каркас города – это вся совокупность урбанизированных геосистем (природного и антропогенного происхождения), выполняющих специфические функции по поддержанию экологического равновесия

и отличающихся: информативностью природных комплексов; способностью существенно влиять на экологические параметры среды; исключительностью природно-ресурсного потенциала [2]. Изучение экологического каркаса города представляет собой очень популярное направление в современных геоэкологических исследованиях с использованием ГИС-технологий. Анализ литературы дает возможность выделить несколько направлений, вокруг которых концентрируются исследования экологического каркаса городов: (1) ландшафтные исследования и территориальное планирование, оценка зеленых зон; (2) экосистемные услуги зеленого каркаса города; (3) качество жизни в условиях городской среды; (4) экологический каркас города как инструмент адаптации к изменениям климата; (5) восприятие городскими жителями зеленых зон города, их ценности, а также вовлечение общественности в управление зеленым каркасом города; (6) ГИС-картографирование и ГИС-анализ экологического каркаса [1].

В настоящей работе приводится пример использования мобильных ГИС для полевых исследований экологического каркаса города. Алгоритмы использования программных продуктов рассматривались на примере прохождения студентами специальности «Урбанология и сити-менеджмент» учебной ландшафтной практики, а также выполнения студенческого гранта Министерства образования «Разработка многоцелевой интерактивной геоинформационной системы экологического каркаса города и алгоритмов ее практического применения (на примере гг. Брест и Жабинка)».

Для выполнения инвентаризации объектов экологического каркаса города использовалось приложение для полевого сбора данных Survey123. Это мобильное приложение, где можно собирать данные о любых объектах, заполняя формы на мобильном устройстве. Собранные данные аккумулируются в облаке: веб-карты можно использовать, чтобы визуализировать, анализировать и предоставлять общий доступ к результатам вашей полевой работы.

На базе приложения было создано несколько опросов, которые позволяют проводить инвентаризацию разных объектов в пределах нескольких ландшафтно-рекреационных территорий города Бреста.

Во-первых, был создан опрос для изучения растений Сада непрерывного цветения БрГУ имени А.С. Пушкина. Для создания опроса использовались самые разные типы полей: текст, число, выбор одного или нескольких вариантов ответа, карта, рейтинг. Для растений Сада были собраны следующие сведения: вид, местоположение, фотография, царство, семейство, отдел, род, форма растения, высота, фенофаза, родина, оценка и некоторые другие (рис. 1).

Вид*
Напишите полное название вида.
Например "Рододендрон гибридный", "Береза повислая"

Местоположение*
Укажите как можно более точное местоположение растения

Фотография
Добавьте две фотографии растения:
1) фотография **полного вида** растения
2) фотография растения (листьев, цветов) **крупным планом**
Выберите на телефоне формат 3:4 при создании фотографий
Фотографии крупного плана выполнять в альбомном расположении телефона. Фотографии крупного плана (для не очень высоких растений)

Систематика ✓

Царство*
☒ Растения

Отдел*
Укажите отдел растений

☐ Цветковые
☐ Хвойные
☐ Папоротниковидные
☐ Плауновые

Класс*
Укажите класс растений

☐ Однодольные
☐ Двудольные
☐ Хвойные

Форма растения*

☐ деревцо
☐ кустарник
☐ кустарничек
☐ трава

Высота*
Укажите высоту растения в **сантиметрах**

Фенофаза*
Выберите вариант, который соответствует фенофазе растения в **настоящий момент**

☐ прорастает
☐ росток
☐ вегетирует
☐ бутонизация

Рис. 1. Фрагмент опроса «Сад непрерывного цветения. Июль»

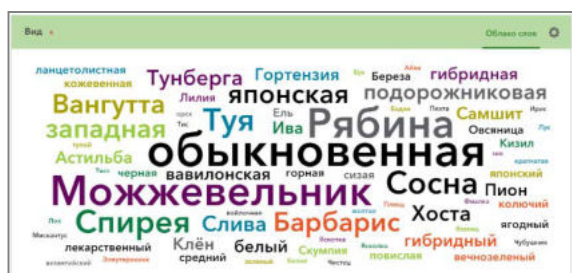
Следует отметить, что интерфейс программы позволяет сразу получать данные для анализа. Эти данные могут быть представлены в виде карты, таблицы, галереи фотографий, столбчатой, линейной или круговой диаграммы, облака слов. Также к графикам и иллюстрациям имеется возможность включения статистических данных (рис. 2).

Во-вторых, были созданы опросы для сбора данных о деревьях наиболее значимых ландшафтно-рекреационных территорий города Бреста: Городского сада, Парка тысячелетия, Площади Свободы и др.

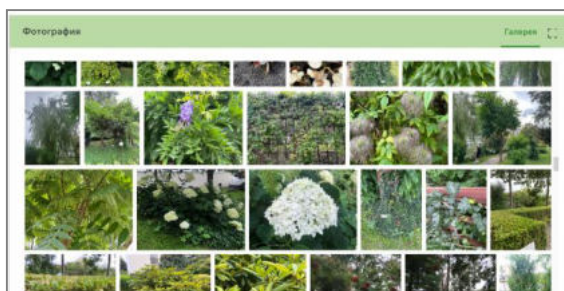
Во время заполнения опросов была сформирована интерактивная картографическая база данных, которая включает местоположение дерева, фотографии, а также категории, к которому относится дерево по высоте, диаметру ствола и жизненности.

В дальнейшем на основании заполненной базы данных возможно создание разных типов интерактивных карт. В данной работе приводится пример выполнения карт с использованием двух инструментов.

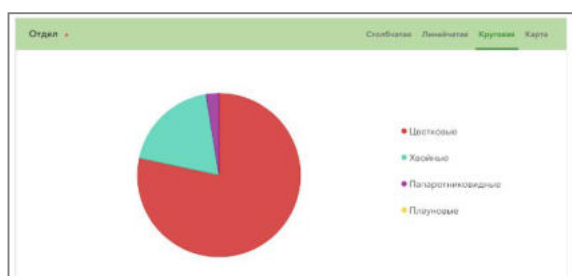
Во-первых, это тематические веб-карты, построенные с использованием редактора легенды [3], которые отображают классификацию деревьев по разным характеристикам.



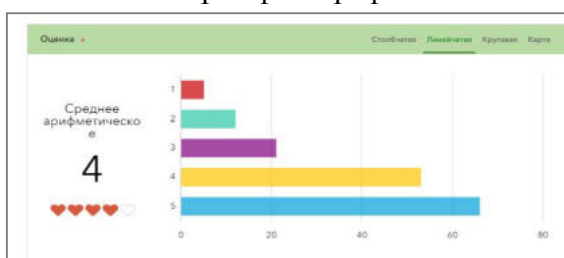
Облако слов



Галерея фотографий



Круговая диаграмма



Линейная диаграмма

Ответы	Количество	Проценты
роетки	0	0%
роетки/роетки	13	8,28%
роетки/роетки	8	5,1%
роетки/роетки	18	11,46%
роетки/роетки	25	15,92%
роетки/роетки	40	25,48%
роетки/роетки/роетки	19	12,1%
роетки/роетки/роетки	13	8,38%
роетки/роетки/роетки	5	3,22%
роетки/роетки/роетки	17	10,84%

Статистическая таблица



Карта

Рис. 2. Элементы раздела «Анализ»

В частности, с использованием типа легенды «Числа и количества: цвет (Градуированные цвета)» была построена карта высоты деревьев. Для создания данной карты использовался специальный векторный маркер «ель». Данный маркер в зависимости от высоты дерева (менее 2 метров; 2-4 метра; более 4 метров) был закрашен в разные оттенки зеленого цвета, для контура использовался желто-коричневый цвет (рис. 3). С использованием типа легенды «Типы (Уникальный символ)» была создана веб-карта «Жизненность (состояние) деревьев» (рис. 4) на основании трех категориальных значений (низкая, средняя и полная жизненность). Веб-карта, отображающая данную характеристику, создана вручную с использованием двух маркеров («грустный» и «улыбающийся» смайлик) и трех контрастных цветов, подобранных по принципу «светофора».



Рис. 3. Веб-карта «Высота деревьев» (Тип легенды «Числа и количества: цвет (Градуированные цвета)»)



Рис. 4. Веб-карта «Жизненность деревьев» (Тип легенды «Цвет и размер»)

Во-вторых, это аналитические веб-карты, созданные с использованием инструмента «Агрегирование данных». С помощью данных карт возможно провести ГИС-анализ особенностей расположения деревьев.

В данном инструменте используется два способа:

1) кластеризация, когда происходит агрегирование точек в кластеры пропорционального размера, отображающиеся как единый символ, который динамически изменяется в зависимости от масштаба карты (рис. 5);

2) биннинг, где данные агрегируются в predetermined ячейки, отображая точечные данные в виде полигонального слоя с регулярной сеткой и показывают плотность точек в географическом пространстве (рис. 6).



Рис. 5. Веб-карта агрегирования: кластеризация

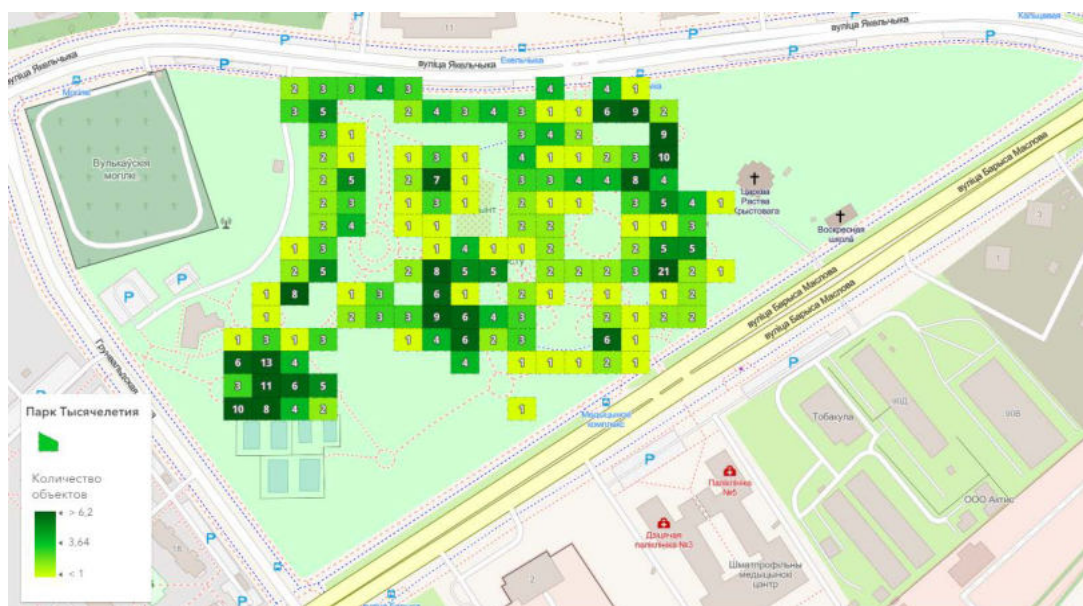


Рис. 6. Веб-карта агрегирования: биннинг

Заключение. Таким образом, мобильные формы для сбора полевых данных могут использоваться не только на первом этапе исследования (сбор данных), но и для анализа полученных данных, в том числе непосредственного. Интерактивные картографические базы данных, которые создаются автоматически при заполнении формы, служат основой для создания тематически и аналитических карт.

Библиографические ссылки

1. Курлович Д. М., Усова И. П., Сысоева В. А. Картографо-геоинформационное обеспечение разработки планов зеленого градостроительства в Республике Беларусь // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27, № 1. С. 151–164.
2. Пономарев А. А., Байбаков Э. И., Рубцов В. А. Экологический каркас: анализ понятий // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2012. Т. 154, № 3. С. 228–238.
3. Токарчук С. М. Применение редактора легенды в целях ГИС-анализа качества городской среды (на примере изучения детских площадок центральной части города Бреста) // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2024. Т. 17, № 1. С. 44–58.

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ВЫРУБОК

К. Я. Лис¹⁾, Д. А. Кислицын²⁾

¹⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, email: lis.lis-karina@yandex.ru*

²⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, email: dimas_13082000@mail.ru*

В статье изложены прикладные аспекты использования спектрального индекса VARI и его разницы за 5-летний период, а также индекса NDVI для картографирования сплошных рубок в рамках сельсоветов Лоевского района Гомельской области на основе космических снимков Sentinel-2. Для повышения уровня точности использованы геометрические критерии, учитывающие соотношения периметра и площади векторных контуров.

Ключевые слова: спектральные индексы; лесные вырубки; геоинформационное картографирование; Лоевский район; геометрические критерии.

APPLIED ASPECTS OF USING SPECTRAL INDICES FOR MAPPING FOREST CUTTINGS

K. Y. Lis¹⁾, D. A. Kislitsyn²⁾

¹⁾ *Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Belarus, email: lis.lis-karina@yandex.ru*

²⁾ *Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Belarus, email: dimas_13082000@mail.ru*

The paper presents applied aspects of using the VARI spectral index and its difference over a 5-year period, as well as the NDVI index for mapping forest cuttings within the selsoviets of Loev district of Gomel region based on Sentinel-2 space images. To improve the accuracy level, geometric criteria were used, taking into account the ratios of perimeter and area of vector contours.

Keywords: spectral indices; forest cuttings; geoinformation mapping; Loev district; geometric criteria.

Многие государственные и частные лесохозяйственные организации и агентства сегодня используют геопространственные технологии, такие как ГИС (геоинформационные системы) и спутниковые снимки для анализа, оценки и управление лесными ресурсами.

Для картографирования лесных вырубок необходимы методы получения, анализа и отображения пространственной информации своевременным и экономически эффективным способом.

Таким образом, разработка и совершенствование методики картографирования лесных вырубок на основе расчета спектральных индексов является актуальным направлением исследования.

Цель исследования – картографирование и анализ пространственного распределения сплошных рубок на территории Лоевского района, на основе расчета спектральных индексов.

Исследуемая территория представлена Лоевским районом Гомельской области, общая площадь которого составляет 1039,31 км². Космические снимки Sentinel-2 с уровнем обработки L2A (даты съемки: 26.05.2018 г. и 20.05.2023 г.) и векторные полигональные слои типов землепользования и границ сельсоветов, которые получены на основе OpenStreetMap, использованы в качестве исходных данных.

Следует отметить, что идентификация и картографирование лесных вырубок может основываться не только на анализе спектральных индексов [1], но и на результатах автоматизированного дешифрирования космических снимков [2]. Для расчета спектральных индексов VARI и NDVI выполнено синтезирование космических снимков на основе каналов NIR, Red, Green, Blue, пространственное разрешение которых составляет 10 м. Использование функции «Изображение – Индексы» в ArcGIS Pro позволяет автоматизировать процесс создания индексных изображений.

Вычисление разницы индекса устойчивости к видимой атмосфере (VARI) выполнено на основе использования инструмента «Калькулятор растра» и является основным этапом для анализа изменения уровня вегетации в конце мая за период с 2018 по 2023 гг. Сплошные рубки характеризуются значением индекса VARI менее 0 на основе снимка Sentinel-2 за 20 мая 2023 г. и показателем его разницы (dVARI) менее -0,05, что свидетельствует об уменьшении индекса VARI в 2023 г. по сравнению с 2018 г. Следует отметить, что снижение уровня вегетации характерно не только для лесных вырубок, но и для некоторых контуров пахотных земель, где произошла смена сельскохозяйственных культур в рамках севооборотов.

Пространственное пересечение растров, соответствующих индексным критериям (VARI, dVARI), и растрового слоя лесных земель, основанного на данных из OpenStreetMap, необходимо для учета информации об индексных критериях только в рамках лесных экосистем. Минимальная площадь контуров сплошных рубок, которая может достоверно идентифицироваться на основе космических снимков Sentinel-2, составляет 0,25 га, поэтому участки с меньшей площадью удалены путем применения ин-

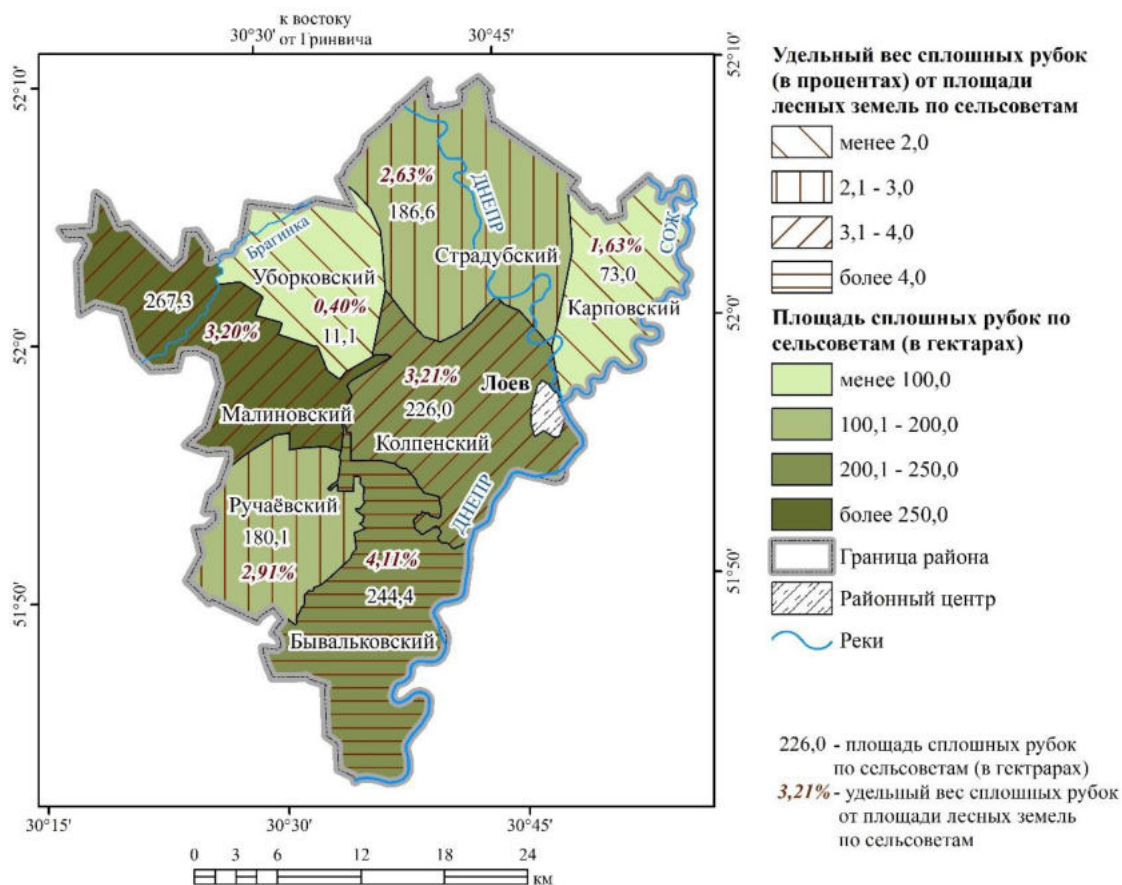
струментов «Группировка» и «Извлечь по атрибутам». Затем проведена генерализация полученных контуров и выполнена их конвертация в векторный формат. Заполнение небольших участков внутри крупных полигональных объектов и геометрическая генерализация векторного слоя основаны на применении различных инструментов в среде ArcGIS.

Следует отметить, что использование индекса VARI и его разницы позволяет учесть спектральные каналы только видимого диапазона [3], поэтому дополнительное применение индекса NDVI улучшает степень достоверности за счет анализа спектральной яркости в ближнем инфракрасном канале. Так, небольшие контуры, расположенные в пределах закустаренной поймы, а также отдельные участки вырубок, которые были проведены до 2018 года, ошибочно идентифицированы как сплошные рубки при использовании индексных критериев VARI и dVARI. Расчет средних и максимальных значений индекса NDVI (по данным снимка Sentinel-2 за 20 мая 2023 г.) в рамках каждого векторного контура выполнен с помощью инструмента «Зональная статистика в таблицу». Для контуров сплошных рубок средние значения NDVI не превышают 0,31, а максимальные значения NDVI составляют менее 0,44.

Использование геометрических критериев позволит минимизировать количество ошибочно идентифицированных контуров, которые не относятся к сплошным рубкам, а представляют собой новые широкие просеки или наиболее крупные полосы выборочных рубок. Анализ формы контуров выполнен на основе двух геометрических критериев: первый – отношение периметра к площади, умноженное на 100; а второй – отношение периметра к площади, которая взята в квадратный корень. Для сплошных рубок не характерна вытянутая форма, поэтому значения первого и второго геометрических критериев для контуров данного класса объектов составляют менее 6,5 и менее 5,0 соответственно. Выделенные участки сплошных рубок должны одновременно соответствовать двум геометрическим критериям. Затем выполняется экспорт выбранных контуров в новый класс пространственных объектов, что необходимо для анализа распределения сплошных рубок в рамках сельсоветов Лоевского района.

Общая площадь сплошных рубок на территории Лоевского района, полученная на основе представленной методики, составила 1188,5 га. Удельный вес сплошных рубок от общей площади лесных земель для исследуемой территории составляет 2,84 %.

Большая часть сельсоветов Лоевского района характеризуется высокой площадью сплошных рубок (более 175,0 га). Сплошные рубки имеют существенный диапазон по общей площади контуров: от 11,1 до 267,3 га, что обусловлено уровнем лесистости территории (рисунок).



Карта пространственного распределения сплошных рубок по сельсоветам Лоевского района за период с 2018 по 2023 гг.

Наибольшая площадь сплошных рубок характерна для Малиновского сельсовета, расположенного в западной части территории исследования. Наименьшая площадь характерна для Уборковского сельсовета на северо-западе Лоевского района.

В среднем по сельсоветам сплошные рубки составляют около 2,58 % от площади лесных земель, а в рамках исследуемой территории данный показатель варьируется от 0,40 % до 4,11 % для Уборковского и Бывальковского сельсоветов соответственно. Для 5 сельсоветов, имеющих площадь сплошных рубок более 100,0 га, удельный вес вырубок от общей площади лесных земель составляет от 2,63 % до 4,11 %. Удельный вес сплошных рубок от общей площади лесных земель зависит от ряда факторов таких как степень лесистости территории, площадь и степень распространения лесных вырубок.

Таким образом, для картографирования лесных вырубок использован индекс VARI и его разница (dVARI) за 5-летний период, рассчитанные на основе космических снимков Sentinel-2. Повышение уровня точности вы-

полнено на основе индекса NDVI, который улучшил степень достоверности за счет анализа спектральной яркости в ближнем инфракрасном канале. Применение геометрических критериев позволило устранить погрешности, связанные с идентификацией участков выборочных рубок, которые не являются сплошными. Степень достоверности при идентификации сплошных рубок превысила 85 %.

Библиографические ссылки

1. *Тарасов А. В.* Применение оперативного картографирования при ведении лесохозяйственной деятельности // Географический вестник. 2019. №3 (50). С. 134–145.
2. *Сидельник Н. Я., Пушкин А. А., Ковалевский С. В.* Тематическое дешифрирование поврежденных лесных насаждений по данным дистанционного зондирования с использованием ГИС-технологий // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2017. № 49. С. 42–46.
3. Галерея индексов ArcGIS Pro [Электронный ресурс]. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/data/imagery/indices-gallery.htm> (дата обращения: 10.10.2024).

ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ «CWSI» QGIS ДЛЯ РАСЧЕТА ИНДЕКСА ВОДНОГО СТРЕССА РАСТЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА СПАССКОГО РАЙОНА РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В. В. Литвиненко¹⁾, И. Ю. Агеев²⁾, Г. В. Кручинин³⁾, С. К. Павлов⁴⁾

¹⁾Московский педагогический государственный университет (МПГУ),
ул. Малая Пироговская, 1, стр. 1, 119435, г. Москва, Россия,
email: vl.litv7@mail.ru

^{2),3),4)}Московский педагогический государственный университет (МПГУ),
ул. Малая Пироговская, 1, стр. 1, 119435, г. Москва, Россия

В статье приводятся результаты апробации применения модуля «CWSI» программы QGIS для расчета индекса водного стресса растений на основе данных ДЗЗ на примере участка Спасского района Рязанской области РФ. На основе снимков КА Landsat 9, производится расчет индекса CWSI, анализ полученных данных и сопоставление их с результатами наземных измерений, проведенных авторами в тот же период.

Ключевые слова: водный стресс растений; модуль «CWSI»; ДЗЗ; QGIS; Спасский район; Рязанская область; Россия; климатические факторы.

APPLICATION OF THE "CWSI" QGIS MODULE FOR CALCULATING THE INDEX OF WATER STRESS OF PLANTS ON THE EXAMPLE OF THE SITE OF THE SPASSKY DISTRICT OF THE RYAZAN REGION

V. V. Litvinenko¹⁾, I. Y. Ageev²⁾, G. V. Kruchinin³⁾, S. K. Pavlov⁴⁾

¹⁾ Moscow Pedagogical State University (MPGU), Malaya Pirogovskaya str., 1, building 1, 119435, Moscow, Russia, email: vl.litv7@mail.ru

^{2),3),4)} Moscow Pedagogical State University (MPGU), Malaya Pirogovskaya str., 1, building 1, 119435, Moscow, Russia

The article presents the results of testing the application of the "CWSI" module of the QGIS program for calculating the water stress index of plants based on remote sensing data, using the example of the site of the Spassky district of the Rязан region of the Russian Federation. Based on the images of the Landsat 9 spacecraft, the CSI index is calculated, the data obtained is analyzed and compared with the results of ground measurements carried out by the authors in the same period.

Keywords: water stress of plants; CWSI module; remote sensing; QGIS; Spassky district; Ryazan region; Russia; climatic factors.

Известно, что в настоящее время климат планеты активно изменяется. В связи с этим в центральной части Европейской территории России (ЕТР)

второй год наблюдается аномально жаркий и сухой сентябрь, который практически сравнялся с летними месяцами по метеорологическим характеристикам. Во второй половине сентября, по данным Гидрометцентра РФ, во многих регионах ЕТР, в том числе и в Рязанской области наблюдалась атмосферная, а в некоторых районах и почвенная засуха, чему способствует и характер почв района – преобладающие песчаные и супесчаные почвы на водно-ледниковых и озерно-аллювиальных песках. Все это, безусловно, оказывает влияние на лимитирующие факторы среды обитаний растений, в том числе на обеспечение влагой и процессы транспирации. Оценка обеспеченности водой растений может быть представлена величиной индекса водного стресса растений (Crop Water Stress Index (CWSI)).

Целью работы является апробация модуля «CWSI» программы QGIS для расчета индекса водного стресса растений.

Для этого были поставлены следующие задачи:

- выбор экспериментального участка Спасского района;
- обработка сцен КА Landsat 9 для последующего расчета;
- расчет температуры дневной поверхности в градусах Цельсия;
- расчет индекса водного стресса в модуле «CWSI»;
- анализ полученных результатов и сопоставление их с наблюдаемыми условиями на территории.

Спасский муниципальный район, один из двадцати пяти муниципальных районов Рязанской области России, расположен к востоку – северо-востоку от областного центра г. Рязани. Площадь района составляет 268370 га. Протяженность района с севера на юг – 80 км, а с востока на запад – 50 километров. Административный центр района – г. Спасск-Рязанский (рис. 1).

Широтная протяженность и расположение его у границы двух природных зон отразились на характере природно-хозяйственного развития района. Характерной особенностью являются различия в специфике хозяйственного использования территории между северной и южной частями. Север района покрыт преимущественно лесами, имеет меньшую плотность населения и степень хозяйственного освоения. Помимо этого, в северной части частично расположены две крупные ООПТ – Окский государственный природный биосферный заповедник и Мещерский национальный парк, что также оказывает влияние на хозяйственную деятельность. Южная (и отчасти центральная) части района в большей степени хозяйственно освоены. Большие пространства отведены под поля и распаханые, здесь расположены наиболее крупные населенные пункты и основные сельскохозяйственные и промышленные предприятия района.

В связи с относительно большой протяженностью района с севера на юг (80 км) в нём закономерно изменяются метеорологические параметры, в том числе среднегодовое количество осадков, изменяющееся с 538 мм на севере до 468 мм на юге (по данным метеостанций, метеoarхива сайта ООО «Расписание погоды» [1]). Изучаемый экспериментальный участок площадью 62 км² расположен к западу-юго-западу от г. Спасска, на границе между Спасским и Рязанским районами. Данный участок был выбран авторами в связи с расположением на относительно компактной территории различных биоценозов, а также нескольких крупных сельскохозяйственных полей, находящихся в разной стадии обработки (см. рис.1).

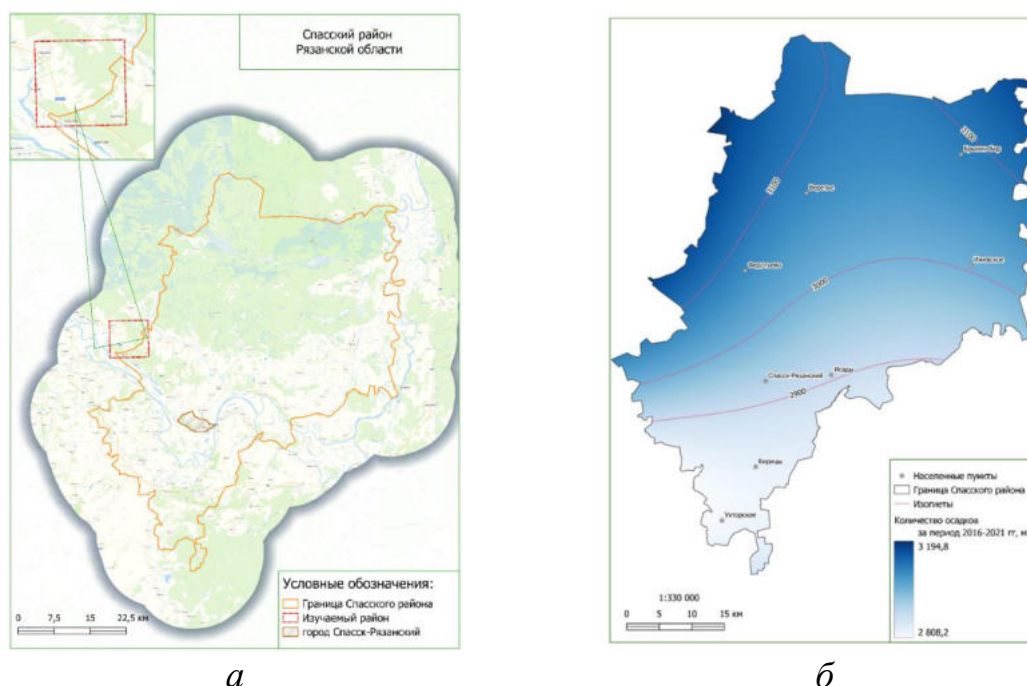


Рис. 1. Карта-схемы границы Спасского района и расположение относительно неё изучаемого участка – а, пространственное распределение количества осадков за период 6 лет, по данным метеoarхива – б. Географическая основа – «Яндекс карты». Составлено по: [2]

Водный стресс растений наблюдается в период атмосферной и/или почвенной засухи, когда растениям недостаточно воды, чтобы восстановить потери при транспирации. Кратковременный водный стресс приводит к потере влаги растением и, как следствие, к увяданию. Длительный стресс приводит к приостановке роста и в конечном счёте к гибели растения [2].

Индекс водного стресса растений CWSI (Crop Water Stress Index) рассчитывается по разнице между измеренной температурой растений и вычисленными возможными пределами температур, когда растительность полностью обеспечена водой и в случае полного отсутствия доступной влаги [2].

В качестве исходных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) были использованы снимки космического аппарата (далее КА) Landsat 9, размещенные в открытом доступе на сайте Геологической службы США [3], два из одиннадцати спектральных каналов (B10 и B11) КА регистрируют тепловое длинноволновое инфракрасное излучение планеты в диапазоне длин волн электромагнитного спектра 10,3–12,5 мкм (10300–12500 нм). Пространственное разрешение сцен в этих каналах составляет 100 м/пиксель. Время пролета спутника над изучаемой территорией – 11:16 Мск. Временная повторность съемки – 16 дней.

Для расчета индекса CWSI были выбраны две сцены (уровня обработки L1), полученные весной, 21 мая, и осенью, 26 сентября 2024 года, май был выбран в связи с высокой вегетационной активностью растений в этот период, а 26 сентября в связи максимумом засушливого периода, наблюдавшегося в Спасском районе, а также проведением там авторами полевых измерений, синхронизированных с прохождением КА Landsat 9 над изучаемой территорией. Все расчеты были проведены в программе QGIS. Пересчет температуры в °C был выполнен с использованием алгоритма, представленного в публикации [4].

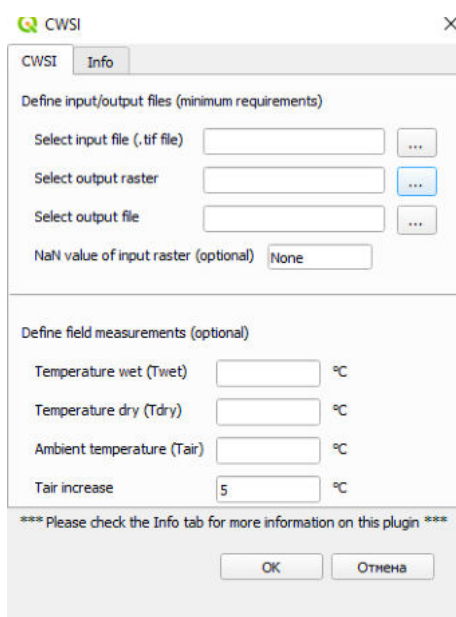


Рис. 2. Интерфейс модуля «CWSI».
Источник: [5]

Модуль «CWSI», предназначенный для расчета индекса водного стресса растений на основе снимков ДЗЗ и данных наземных измерений, разработал Florian Ellsäßer [5]. Текущая версия модуля в программе QGIS – 1.4., добавлена в репозиторий ГИС 15 февраля 2023 года. Интерфейс

программы, представленный на рисунке 2, состоит из двух частей – в первой части расположены настройки, связанные с указанием сцены космического снимка, на основе которого будет произведен расчет и определены пути вывода результатов расчета. Вторая часть служит для введения дополнительных данных наземных измерений и предназначена автором для повышения точности расчета индекса. Формула расчета индекса представлена в публикации [6].

На рисунке 3 представлен снимок КА Landsat 9 исследуемой территории, полученный 26 сентября 2024 года, в синтезе «искусственных» цветов (ближний инфракрасный, красный и зеленый каналы). Основной полигон наземных измерений обозначен цифрой 1.

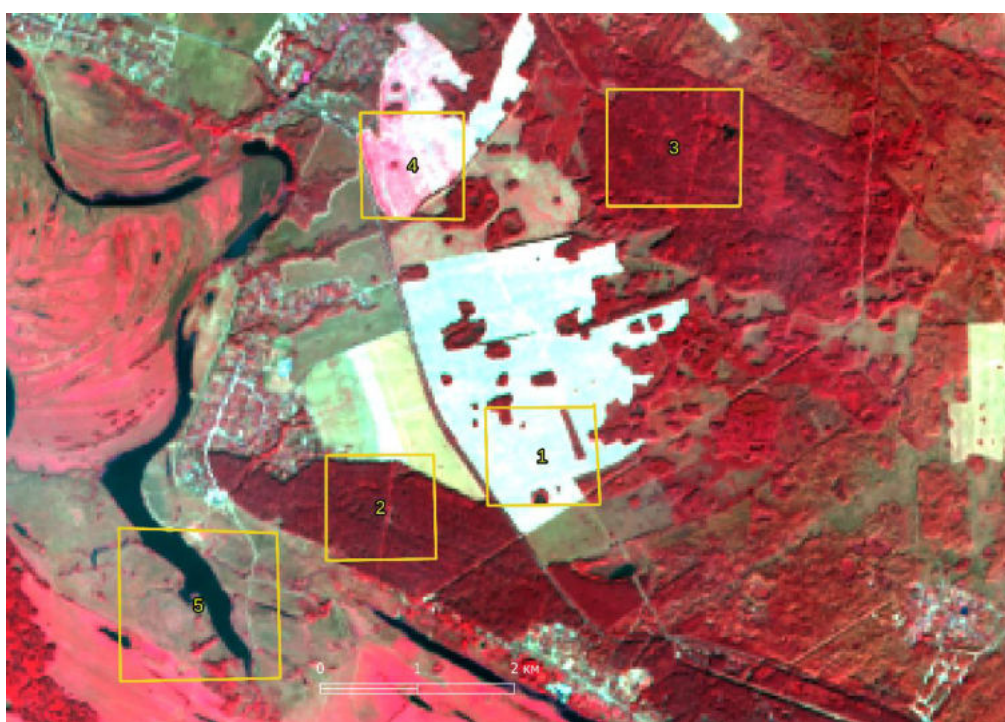


Рис. 3. Цветосинтезированный снимок Landsat 9 («искусственные» цвета) экспериментального участка, сентябрь 2024 г. Желтыми рамками и цифрами обозначены полигоны с основными биоценозами: 1 – открытая почва на пашне; 2 – участок хвойного леса; 3 – смешанный лес; 4 – посевы с/х культур; 5 – долина р. Ока со старичными озерами

Для расчета индекса водного стресса в вышеназванном модуле были использованы сцены снимков как без дополнительной обработки, так и с перерасчетом температуры в градусы Цельсия. На рисунке 4 представлена визуализация расчета температуры дневной поверхности изучаемого участка на период 21 мая и 26 сентября (в $^{\circ}\text{C}$), а ниже (рис. 5) – наземный тепловизионный снимок (длина волны 8–12 мкм) пашни (полигон 1), выполненный авторами 26 сентября 2024 года.

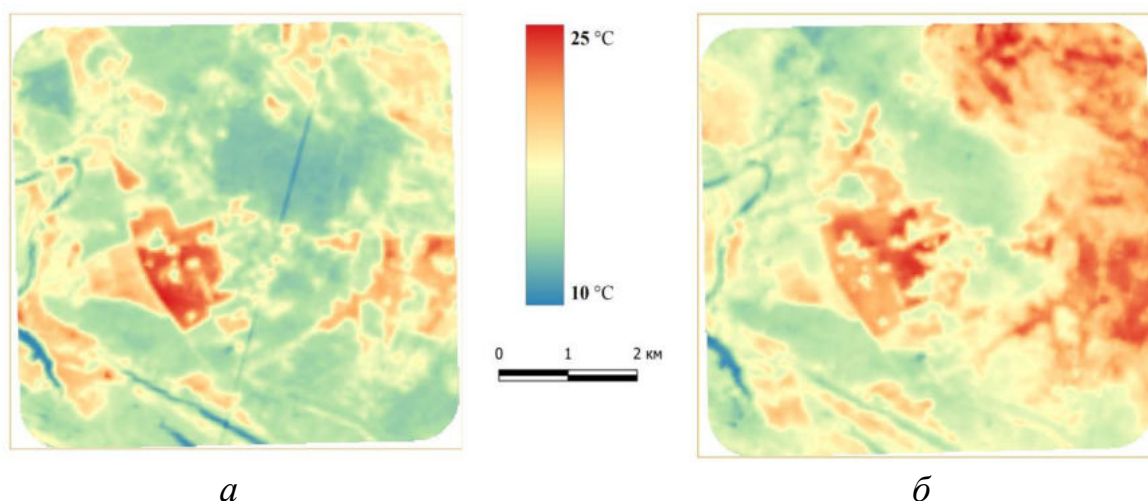


Рис. 4. Визуализация распределения температуры (°C) дневной поверхности по снимкам 21 мая (а) и 26 сентября (б)

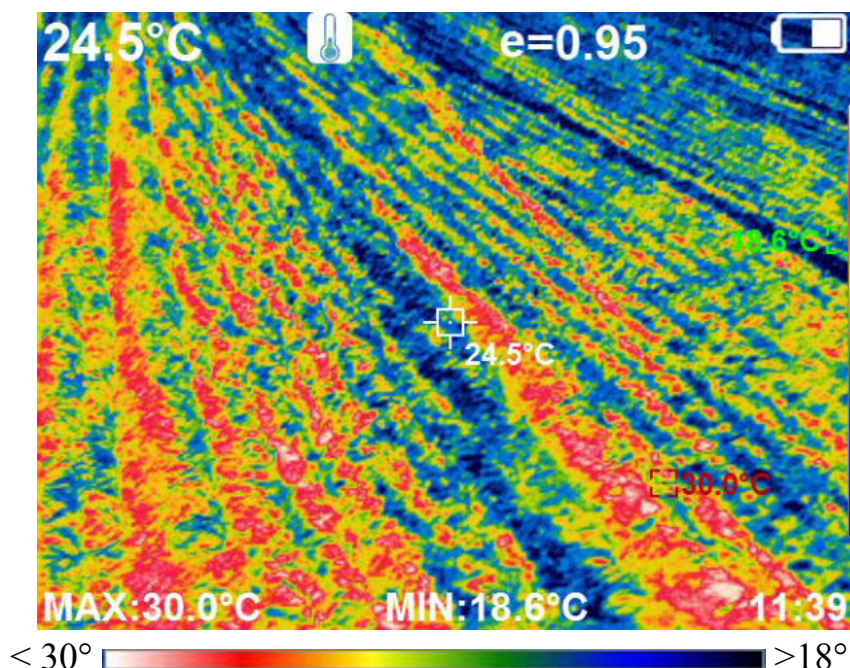


Рис. 5. Тепловизионный снимок участка пашни (полигон 1) изучаемого района. 26.09.2024

Расчет индекса в модуле прост, не требует много времени и ввода большого объема данных. На рисунке 6 показаны результаты расчета индекса для мая и сентября соответственно. Индекс CWSI может принимать значения от 1 до 0, где единице соответствует максимальный водный стресс растений, а нулю – его полное отсутствие. Сопоставление значений индекса с реально наблюдаемыми условиями на земле показало высокую корреляцию между ними.

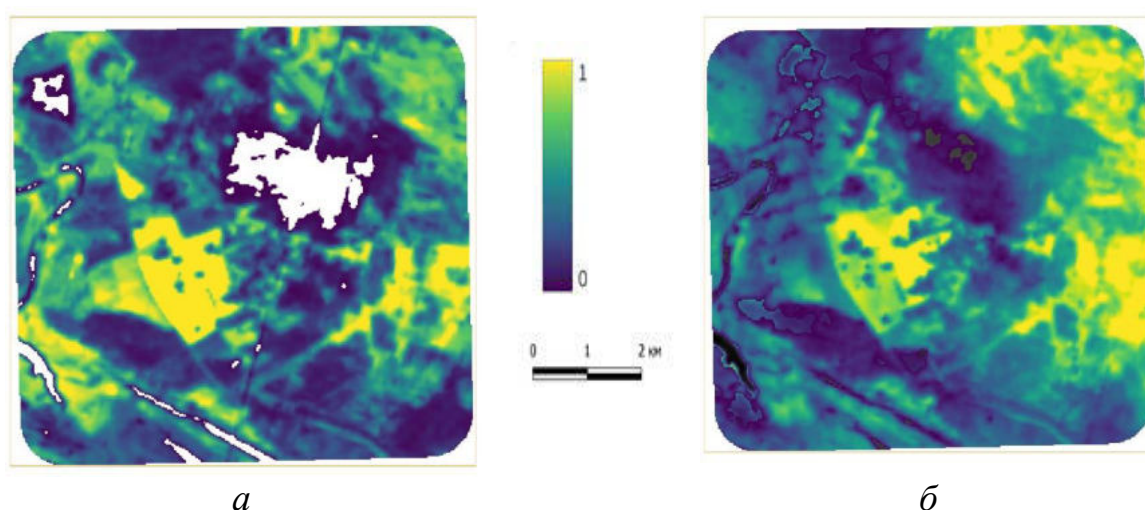


Рис. 6. Пространственное распределение рассчитанного индекса водного стресса растений 21 мая (а) и 26 сентября (б), канал 10

Путем сравнения было установлено, что результаты расчета индекса по каналам 10 и 11 КА Landsat 9 практически идентичны. Также не является обязательным перерасчет значений сцен космических снимков в градусы Цельсия. В последующем в программе QGIS по двум изображениям, представленным на рис. 6, была проведена фильтрация пикселей, соответствующая высокому индексу водного стресса (выше 0,5), и рассчитана площадь территории, соответствующая проекции этих пикселей на поверхность (табл. 1).

Таблица 1

Площадь территории, соответствующая индексу CWSI больше 0,5

	Дата снимка	Площадь, км ²	Процент от общей площади экспериментального участка
1	21.05.2024	39,08	63
2	26.09.2024	20,95	34

Для сравнения в таблице 2 приведены средние величины индекса по каждому из рассматриваемых полигонов (см. рис. 3).

Выводы:

1. Индекс водного стресса растений, рассчитанный в модуле «CWSI» на основе сцен космических снимков, в результате сопоставления с наблюдаемыми реальными условиями на изучаемой территории показывает, в целом, корректные значения и может быть рекомендован авторами статьи для практического применения в с/х.

2. Использование модуля значительно упрощает расчет индекса и позволяет производить расчет пользователям, незнакомым с подобными индексами.

Таблица 2

Средний индекс CWSI в полигонах

Номер полигона	Усредненная величина индекса CWSI	
	21 мая	26 сентября
1	0,9	0,8
2	0,09	0,04
3	0,02	0,06
4	0,4	0,25
5	0,1	0,02

3. Для использования модуля не обязательно производить пересчет температуры в градусы Цельсия.

4. Вместе с тем применение модуля для расчета индекса растений, произрастающих в естественных условиях, а также эффективность использования в нем данных наземных измерений температуры с целью повышения качества и точности расчета, по мнению авторов, потребует в будущем дополнительных исследований.

Библиографические ссылки

1. (ООО) "Расписание Погоды", метеоархив [Электронный ресурс]. URL: https://rp5.ru/Погода_в_мире (дата обращения: 25.11.2024).
2. Доброхотов А. В., Козырева Л. В. Определение поливной нормы посевов с использованием индекса CWSI // Орошаемое земледелие. 2022. № 2 (37). С. 64–67.
3. Сайт Геологической службы США [Электронный ресурс]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 18.11.2024).
4. Esri CIS. Блоги «Космический термометр» [Электронный ресурс]. URL: <https://blogs.esri-cis.com/2014/08/15/remote-sensing-raster-calculator/> (дата обращения: 18.11.2024).
5. Ellsäßer F. QGIS3 CWSI Plugin version 1.2. 2021. [Electronic resource]. URL: <https://plugins.qgis.org/plugins/cwsi/> (date of access: 17.11.2024).
6. Jones H. G. Plants and microclimate, 2nd ed. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 1992. 396 p.

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЧВ С ПОМОЩЬЮ ЭМПИРИЧЕСКОГО БАЙЕСОВСКОГО КРИГИНГА

Ю. А. Мацель, А. Л. Киндеев

*Белорусский государственный университет, 220030, Республика Беларусь, Минск,
ул. Ленинградская, д. 16*

В данной статье апробирована интерполяция значений обменной кислотности почвы с помощью эмпирического байесовского кригинга. Полученная трехмерная модель распределения кислотности опытного участка на территории ГПУ «Беловежская пушча» была проверена методом перекрестной проверки. По результатам проверки была доказана высокая точность построенной трехмерной модели.

Ключевые слова: байесовский кригинг; распределение кислотности; трехмерное моделирование.

THREE-DIMENSIONAL SOIL MODELING USING EMPIRICAL BAYESIAN KRIGING

Yu. Matsel, A. Kindeev

Belarusian State University, 220030, Republic of Belarus, Minsk, Leningradskaya St., 16

This article tests the interpolation of exchangeable soil acidity values using empirical Bayesian kriging. The resulting three-dimensional model of acidity distribution of the experimental plot on the territory of the Belovezhskaya Pushcha State Nature Reserve was tested using the cross-validation method. The results of the test proved the high accuracy of the constructed three-dimensional model.

Keywords: Bayesian kriging; acidity distribution; three-dimensional modeling.

Почвы особо охраняемых территорий до сих пор остаются недостаточно изученными, особенно это касается почв под лесными массивами. Геохимические процессы, распределение элементов, кислотность почв ООПТ напрямую влияют на растительность, часть которой относится к краснокнижной. Большая часть Беловежской пушчи относится к одному из старейших лесных массивов Европы [1]. Изучение почв данной территории способствует сохранению разнообразия её флоры [2].

Развитие технологий позволяет использовать новые инструменты для исследования кислотности почвы. В отличие от инструментов интерполяции обратно взвешенных расстояний и сплайна, которые являются детерминированными методами интерполяции, геостатистические методы основываются на статистических моделях, включающих автокорреляцию

[3]. В результате этого геостатистические методы не только имеют возможность создавать поверхность прогнозируемых значений, но также предоставляют некоторые измерения достоверности или точности прогнозируемых значений.

Одной из достаточно новых разновидностей кригинга является трехмерный эмпирический байесовский кригинг (EBK, 3D Empirical Bayesian kriging), который также учитывает z-значение. Данный вид кригинга автоматизирует наиболее трудоемкие аспекты построения корректной модели кригинга. Другие методы кригинга в модуле Geostatistical Analyst требуют ручного изменения параметров для достижения точных результатов, в то время как метод ЭБК автоматически вычисляет эти параметры путем разбиения данных на поднаборы и моделирования данных [4].

Объектом исследования является распределение кислотности почв опытного участка. На территории данного национального парка в 2023 году были отобраны пробы из почвенных разрезов (рис. 1).

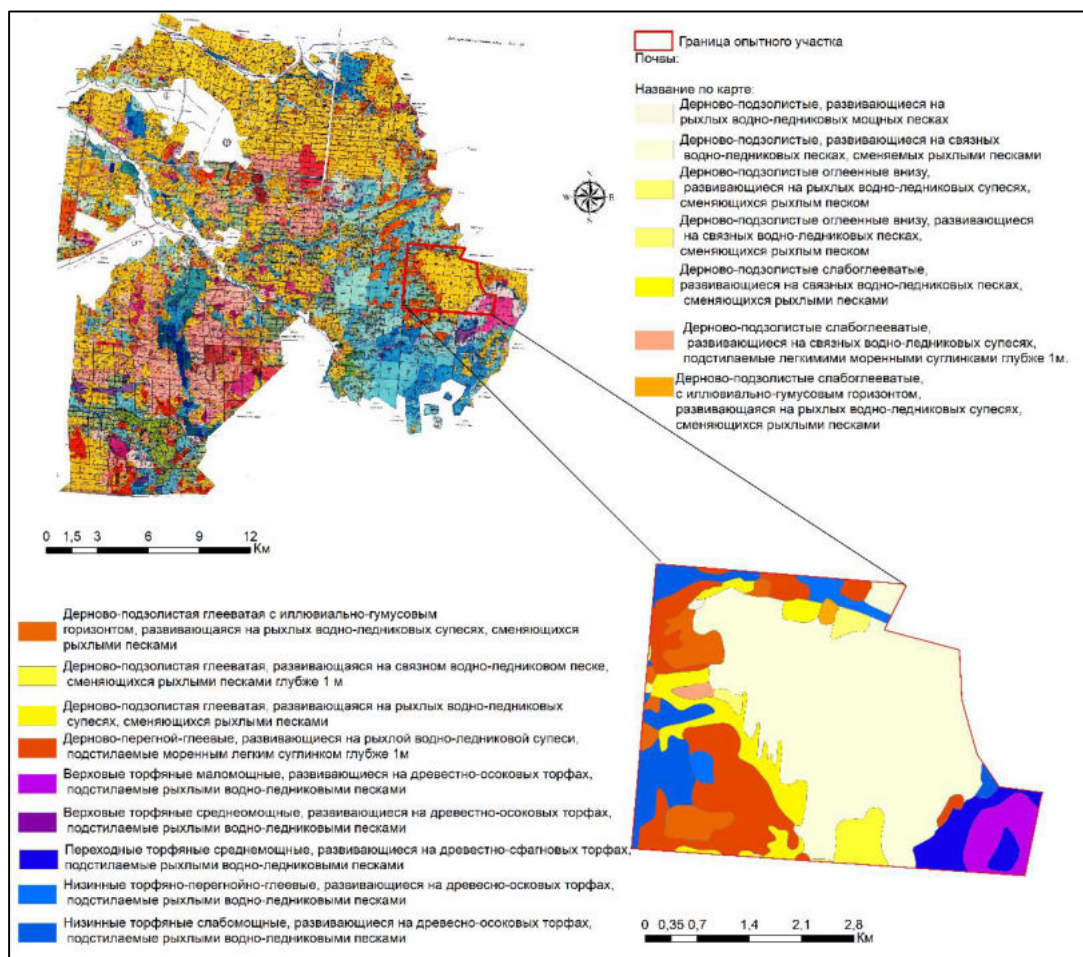


Рис. 1. Карта почв опытного участка в Беловежской пушче

На большей части территории преобладают дерново-подзолистые почвы, развивающиеся на рыхлых и связных водно-ледниковых песках. На западе почвенный покров преимущественно представлен дерново-подзолистыми глееватыми и глеевыми почвами. В юго-восточной части располагается верховое болото с торфяными среднетощими почвами, развивающимися на древесно-осоковых торфах.

Всего было заложено 15 разрезов, описывающих все почвы, представленные на карте. Отбор образцов проводился с каждого почвенного горизонта.

Далее была определена обменная кислотность каждого образца с помощью рН-метра рН-150М с использованием солевой вытяжки.

На основании полученных данных были составлены картограммы горизонтального распределения кислотности.

При построении трехмерной модели распределения кислотности была следующая последовательность действий: 1) создание точечного shp-файла, где точки соответствуют разрезам, а в таблице атрибутов представлены поля рН и z; 2) интерполяция полученных значений с помощью инструмента «Эмпирический байесовский кригинг»; 3) Экспорт полученной модели в NetCDF.

Аналогичным образом была создана модель стандартных ошибок. Проверка точности была выполнена с помощью перекрестной проверки (рис. 2).

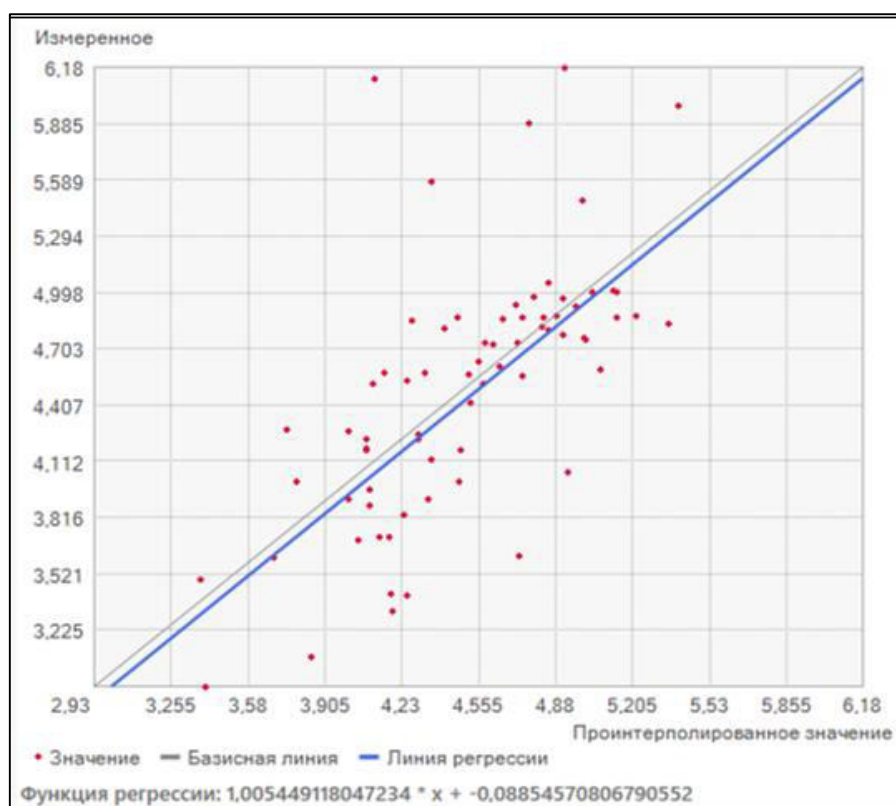


Рис 2. Перекрестная проверка

Средняя и средняя нормированная ошибки стремятся к нулю (-0.004 и -0.0009 соответственно), что указывает на крайне малое смещение модели. Значение среднеквадратичной ошибки (0.5) указывает, насколько в среднем прогнозируемые значения pH отличаются от измеренных. Значение среднеквадратичной нормированной ошибки (1.008) приближается к идеальному (1), а средняя стандартная ошибка (0.48) примерно совпадает со среднеквадратичной ошибкой. Это говорит о том, что вариабельность прогнозирования оценивается корректно. В пределах интервала 90/95 процентов оба значения (87.32 и 97.18) приближаются к идеальным 90 и 95, что указывает на согласованность между прогнозируемыми значениями и неопределенностью прогнозов.

В результате моделирования были получены трехмерные модели пространственного распределения кислотности почв (рис. 3) и среднеквадратичной ошибки (рис. 4).

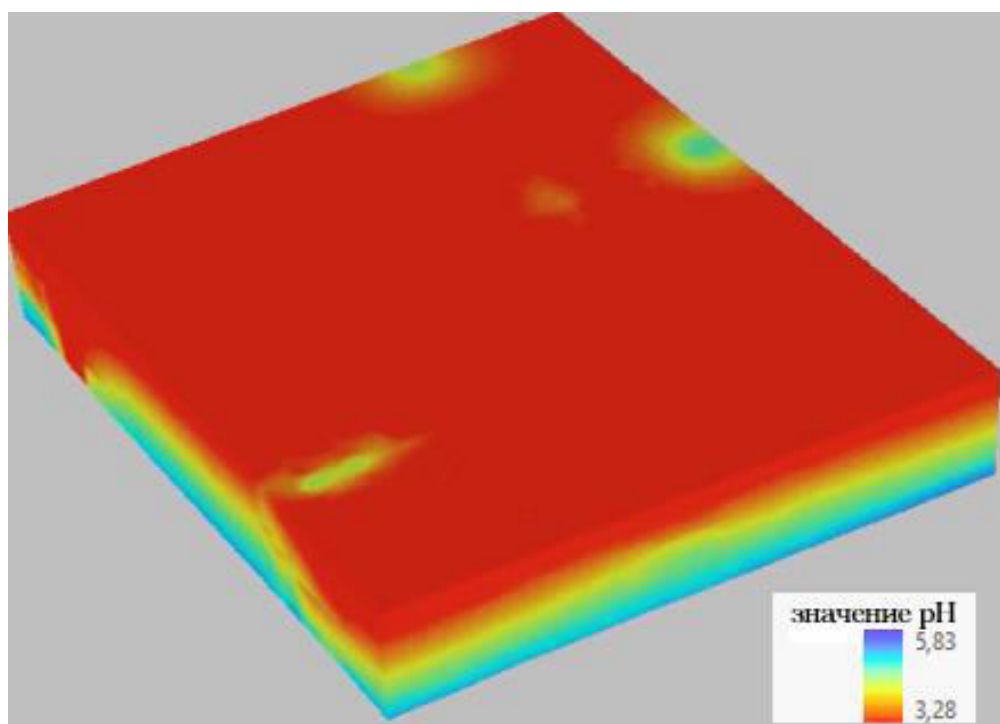


Рис. 3. Трехмерная модель распределения pH

Практически на всем участке сохраняется тенденция к снижению кислотности с увеличением глубины, что связано с нивелированием внешних факторов подкисления почвы, таких как хвойный опад, и близким уровнем грунтовых вод, подщелачивающих нижележащие почвенные горизонты. Стоит отметить выброс в северо-западной части участка, где на поверхности сохраняется кислотность, близкая к нейтральной, что вызвано лесным пожаром на данной территории.

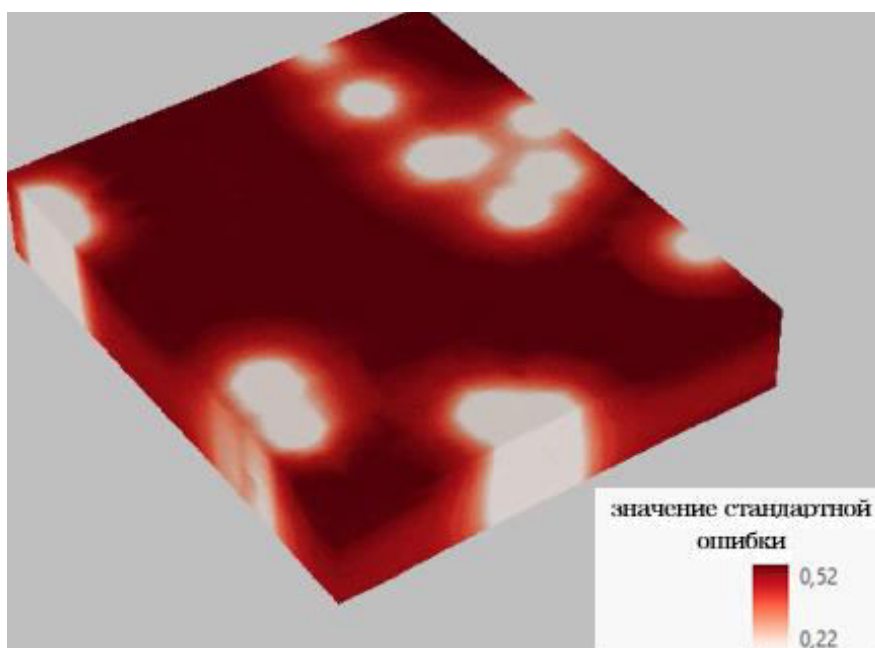


Рис. 4. Трехмерная модель стандартной ошибки показателя pH

В ходе проведения исследования можно сформулировать ряд выводов:

1) Трехмерный кригинг позволяет построить модели с учетом всей выборки на всех глубинах, на которых отобраны образцы, в то время как построение карт по отдельным глубинам учитывает только автокорреляционные связи между отдельными выборками на определенной глубине.

2) Точность данной модели достаточно высока. Значение стандартных ошибок увеличивается по мере удаления от скопления разрезов, что хорошо демонстрирует трехмерная модель распределения стандартных ошибок.

3) Кислотность почв снижается с глубиной. Это обусловлено преобладанием хвойных пород деревьев, которые способствуют процессу подкисления почвы.

Библиографические ссылки

1. Научное обоснование плана управления Национальным парком «Беловежская пуща» (заключительный) / Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси; научный руководитель Ермохин М.В. 2021. 147 с.

2. Роговский Н. М., Груммо Д. Г. Геопространственное моделирование биоразнообразия на примере национального парка «Беловежская пуща» / Вестник Тульского Государственного университета. 2023. С. 325–339.

3. Клебанович, Н. В., Киндеев А. Л., Сазонов А. А. Геоestatистический анализ при картографировании пространственной неоднородности влажности и кислотности почв // Геосферные исследования, 2021. № 3. С. 80–91.

4. ArcGIS Pro [Электронный ресурс] Что такое Эмпирический байесовский кригинг 3D? URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/what-is-empirical-bayesian-kriging-3d-.htm> (дата обращения: 15.11.2024).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ: КЕЙС О. КИЛЬПОЛА В «ЛАДОЖСКИХ ШХЕРАХ»

Е. Е. Могилёва, Е. А. Парахина

*Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы,
ул. Миклухо-Маклая, 6, 117198, г. Москва, Россия, information@rudn.ru*

В данной статье рассматривается возможность применения геоинформационных систем для мониторинга состояния особо охраняемых территорий на примере о. Кильпола национального парка «Ладожские шхеры». В результате проведен расчет вегетационного индекса по спутниковым снимкам и выявлены зоны, где растительность исчезла.

Ключевые слова: дистанционное зондирование; мониторинг; зеленые насаждения; NDVI.

THE USE OF GEOINFORMATION SYSTEMS FOR MONITORING PROTECTED NATURAL AREAS: CASE OF KILPOLA ISLAND IN "LADOGA SKERRIES"

Е. Е. Mogileva, Е. А. Parakhina

*The Peoples Friendship University of Russia, Miklukho-Maklaya str., 6,
117198, Moscow, Russia, information@rudn.ru*

This article discusses the possibility of using geoinformation systems to monitor the state of specially protected areas on the example of the island of Kilpola of the Ladoga Skerries National Park. As a result, the vegetation index was calculated from satellite images and areas where vegetation has disappeared were identified.

Keywords: remote sensing; monitoring; green spaces; NDVI.

Особо охраняемые природные территории представляют собой важный элемент устойчивого управления природопользованием. Для сохранения экологического равновесия необходим мониторинг таких территорий. Для эффективного управления природными ресурсами и сохранения всех компонентов экосистемы необходимо внедрение инновационных подходов и технологий. Геоинформационные системы (ГИС) становятся одним из ключевых инструментов в этой сфере, позволяя не только собирать и анализировать пространственные данные, но и визуализировать изменения в экосистемах.

Остров Кильпола располагается на территории национального парка «Ладожские шхеры», он представляет собой уникальную природную территорию, которая подвержена антропогенному воздействию ввиду наличия частной собственности в границах ООПТ. Данный остров является интересным объектом наблюдения и в то же время достаточно сложным для деятельности национального парка [1]. Так как парк был создан в 2017 году, то его территория расположилась уже на существующих границах частных владений, на данный момент земли острова разграничены – как территориями национального парка, так и владениями местных жителей.

В условиях данной ситуации мониторинг состояния экосистем представляет собой значительную сложность, поскольку выявление проблем на острове и определение причин их возникновения затруднены.

Доступным методом для отслеживания состояния экосистем является использование ГИС, которое позволяет без полевых наблюдений оценить территорию национального парка, отследить динамику изменений, выявить нарушения и предпринять необходимые меры.

В данной работе в качестве инструмента для изучения качества растительности и площади распространения зеленых насаждений был использован метод дистанционного зондирования Земли. Наиболее популярным из всех растительных индексов является NDVI (Normalized difference vegetation index) – индекс, который определяет степень озелененности территории, то есть количество растительности, присутствующей на данной территории и ее на основе данных, полученных со спутниковых снимков Земли. Этот растительный индекс рассчитывается как отношение разницы между отражением в ближней инфракрасной зоне спектра и отражением в красной зоне спектра к их сумме [2]. Уравнение для расчета имеет следующую формулу:

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)},$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра; RED – отражение в красной области спектра [2].

NDVI – это безразмерный показатель, его значения варьируются от +1,0 до -1,0. Высокие значения означают хорошее состояние растительности в то время, как низкие показатели свидетельствуют о деградации растительного покрова. Данные были получены из архивов Геологической службы США (USGS) [3]. Для обработки изображений и расчета значений индекса использовалась компьютерная программа QGIS. Построенные карты зеленых насаждений представлены на (рис. 1). Проведен расчет индекса: в 2015 году $NDVI = 0,37$, в 2024 году $NDVI = 0,376$. На картах можно

увидеть, что территорий, окрашенных в темно-зеленый цвет больше, соответственно состояние растительности не ухудшается.

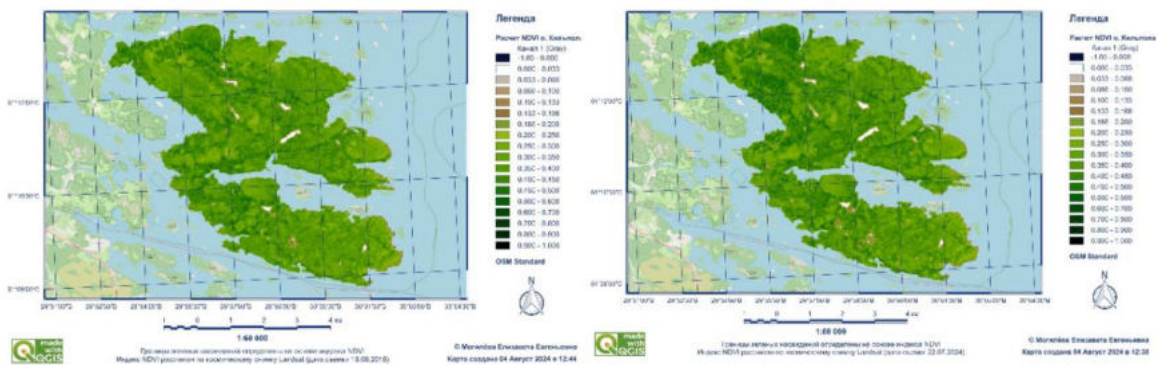


Рис. 1. Карта зеленых насаждений о. Кильпола 2015 г. (слева) и 2024 г. (справа)

Для того чтобы оценить, как изменилась площадь растительности, где она вообще могла исчезнуть – построена карта изменения площади зеленых насаждений (рис. 2).

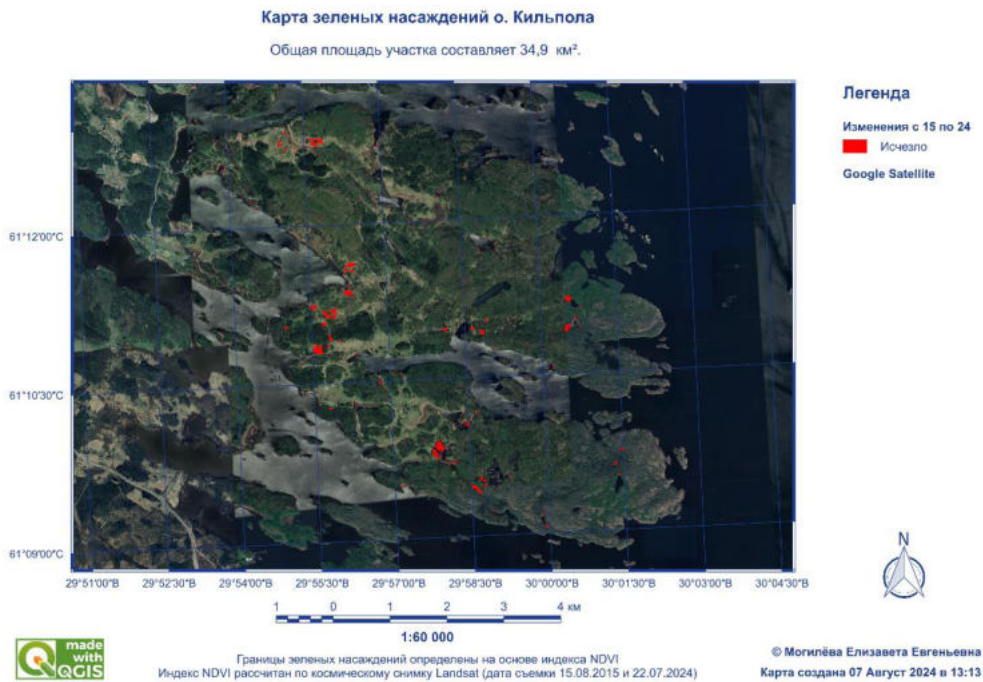


Рис. 2. Карта изменения площади зеленых насаждений с 2015 по 2024 год

В период с 2015 года по 2024 год можно увидеть, что в некоторых частях острова растительность исчезла. Это может быть связано с застройкой или вырубкой деревьев. Растительность играет важную роль в поддер-

жании экосистемного баланса и ее сокращение ведет к потере местообитаний для этих организмов, что может привести к исчезновению видов и снижению биологического разнообразия [4].

Таким образом, руководство национального парка может использовать геоинформационные системы для того, чтобы отслеживать состояние зеленых насаждений, проводить мониторинг, выявлять незаконные постройки, вырубки. Эти технологии обеспечивают эффективное управление территорией, способствуя сохранению природных ресурсов и поддержанию экосистемного баланса. Применение геоинформационных систем открывает новые возможности для быстрого реагирования на экологические угрозы и принятия обоснованных решений в сфере охраны окружающей среды. Благодаря дистанционным практикам экспертам необязательно проводить полевые исследования, которые требуют много времени и сил. Это не только ускоряет процесс мониторинга, но и снижает затраты на исследования. Более того, удалённые методы позволяют осуществлять анализ больших объемов информации, что увеличивает точность и достоверность результатов.

Библиографические ссылки

1. Национальный парк «Ладожские шхеры» [Электронный ресурс]. URL: <https://parkladoga.ru/> (дата обращения: 10.10.2024).
2. NDVI: теория и практика [Электронный ресурс] // сайт. URL: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения: 12.10.2024).
3. Сайт геологической службы США [Электронный ресурс] URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 12.10.2024).
4. Спутниковые технологии в охране биоразнообразия природно-заповедных территорий / А. И. Сахацкий [и др.] // Геоматика. 2012. № 3. С. 51–57.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДООХРАННЫЕ ЗОНЫ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ БРАСЛАВСКОГО РАЙОНА

А. М. Пухальская¹⁾, Е. Ю. Лутохина¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, email: angelina61147@gmail.com

В ходе работы был рассмотрен вопрос влияния антропогенной нагрузки на водоохраные зоны. Как итог работы была построена картограмм «Влияние антропогенной нагрузки на водоохраные зоны в пределах Браславского района», которая показала, что для преобладающего количества водных объектов и их водоохраных зон характерен оптимальный уровень антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: водоохранная зона; прибрежная полоса; антропогенная нагрузка; водные объекты.

APPLICATION OF THE METHOD OF THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC LOAD ON WATER PROTECTION ZONES BY THE EXAMPLE OF THE TERRITORY OF THE BRASLAV DISTRICT

A. M. Pukhalskaya¹⁾, E. Y. Lutokhina¹⁾

¹⁾Belarusian State University, Independence Ave., 4, 2203030, Belarus,
email: angelina61147@gmail.com

During the work, the issue of the influence of anthropogenic load on water protection zones was considered. As a result of the work, a cartogram “The influence of anthropogenic load on water protection zones within the Braslav region” was constructed, which showed that the prevailing number of water bodies and their water protection zones are characterized by an optimal level of anthropogenic load.

Keywords: water protection zone; coastal strip; anthropogenic load; water bodies.

Антропогенная нагрузка – степень прямого или косвенного воздействия человека и его хозяйствования на окружающую природу или на отдельные ее экологические компоненты и элементы [7].

Антропогенная нагрузка может быть оценена как количественный показатель [6]. Для оценки влияния антропогенной нагрузки на водоохраные зоны была выбранная методика, проводимая в несколько этапов, описанная ниже [5].

Перед расчетом показателей антропогенной нагрузки необходимо удостовериться в точности границ водоохраных зон и прибрежных полос,

для корректировки или установления границ которых проводится оценка водных объектов, которая осуществляется в следующем порядке.

На первом этапе проводится оценка текущего состояния водных объектов, определяется их статус в соответствии с классификацией водных объектов, определенных статьями 1 и 5 Водного кодекса Республики Беларусь [3], после чего принимается решение о необходимых действиях в отношении каждого водного объекта по установлению границ водоохранных территорий в соответствии с проектом.

С применением цифровой модели рельефа масштабом 1:10000, определяются водосборы водных объектов и территории, с которых потенциально возможен поверхностный сток в исследуемые водные объекты. При наличии водоохранных зон и прибрежных полос проводится анализ планово-картографических материалов с ранее утвержденными границами. Границы водоохранных зон и прибрежных полос, подлежащие корректировке, также определяются по информации из слоя «Serv» ЗИС. Первоначально определенные границы водосборов при необходимости коррелируются с закрепленными законодательно требованиями к минимальным размерам водоохранной зоны и прибрежной полосы: для малых рек и водоемов 500 м и 50 м соответственно [3].

Ширина водоохранной зоны корректируется в зависимости от длины пути, на котором происходит инфильтрация поверхностного стока. В первую очередь на инфильтрацию поверхностного стока оказывает влияние почвенного покрова. Чем более рыхлая и оструктуренная почва, тем выше её водопроницаемость, а соответственно и коэффициент фильтрации.

Также на основе составленной карты уклонов земной поверхности учитывается эрозионный потенциал исследуемой территории. При обратном или нулевом уклоне ширина водоохранных зон и прибрежных полос устанавливается с минимальными размерами, определенными в Водном кодексе [3], при уклоне более 3 градусов – должна быть увеличена с целью предупреждения развития эрозионно-опасных процессов. Для расчета показателей уклона используется цифровая модель рельефа.

Характер растительного покрова учитывается исходя из способности растительность способствовать инфильтрации поверхностного стока, противостоять развитию эрозионных форм. При наличии информации о делении лесных земель на кварталы и выдела, границы водоохранных зон и прибрежных полос корректируются с учетом предоставленных материалов (лесоустроительных проектов).

На территориях, подвергшихся значительным антропогенным преобразованиям, границы водоохранной зоны и прибрежной полосы корректируются с учётом хозяйственного использования земель, застройки, источников загрязнения водотоков.

Расчет антропогенной нагрузки проводится на водоохранную территорию, ее степень определяется характером землепользования, наличием дорожно-транспортной сети и источников загрязнения природных вод. В отсутствие утвержденных методик определения антропогенной нагрузки для ее оценки применялась авторская методика, разработанная в НИЛ экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики БГУ, в основе которой лежит методика взвешенных баллов [5].

В соответствии с методикой рассчитывается средневзвешенный балл антропогенной нагрузки (АН) для водоохранной территории водных объектов. Расчет производится по формуле:

$$\frac{\sum_{i=1}^n AN_i \times F_i}{\sum_{i=1}^n F_i}$$

где AN_i – балл антропогенной нагрузки для каждого вида угодий, F_i – площадь, занимаемая каждым видом угодий в составе водоохранной зоны.

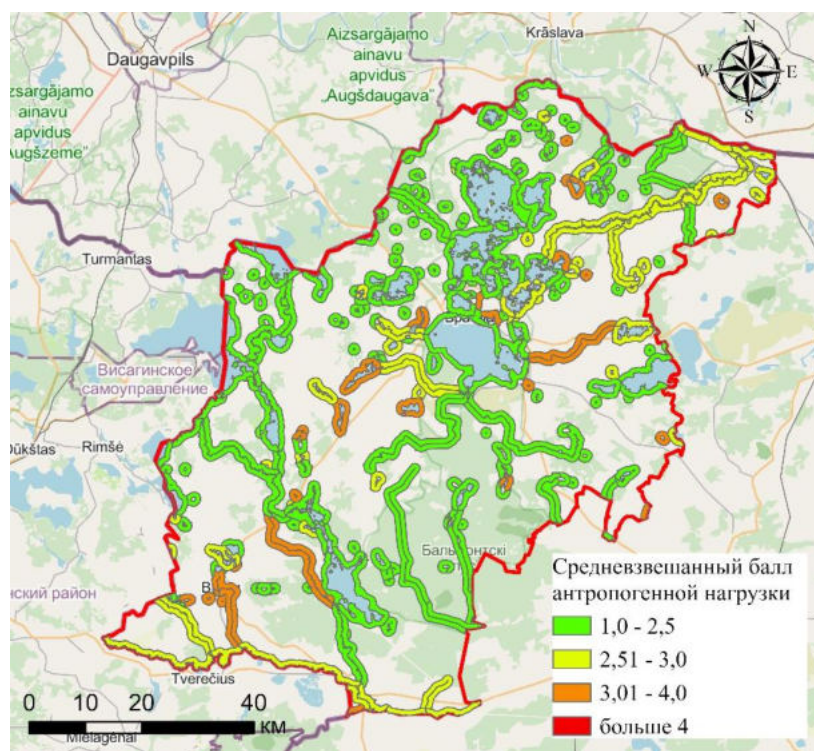
Максимальный балл присваивается нарушенным, неиспользуемым землям, землям под застройкой, дорогами, свалкам и захоронениям. Минимальный – лесным землям, болотам и землям под водными объектами.

Принята следующая интерпретация средневзвешенных баллов АН:

- менее 2,5 – оптимальный уровень антропогенной нагрузки;
- от 2,5 до 3,0 – средний уровень антропогенной нагрузки;
- от 3,0 до 4,0 – значительный уровень антропогенной нагрузки;
- более 4,0 – высокий уровень антропогенной нагрузки.

По методике, описанной выше, была построена картограмма «Влияние антропогенной нагрузки на водоохранные зоны в пределах Браславского района» (рисунок).

После получения первичных показателей делается их анализ и на его основе необходимые изменения границ водоохранных территорий в проекте. При высоких и значительных показателях уровня антропогенной нагрузки границы водоохранной зоны и прибрежной полосы должны быть изменены за счет увеличения доли территорий с низкими значениями уровня антропогенной нагрузки, что позволит снивелировать значения до приемлемых показателей для водного объекта в целом.



Картограмма «Влияние антропогенной нагрузки на водоохранные зоны в пределах Браславского района»

По результатам построения картограммы видно, что на преобладающее количество водных объектов и проектов их водоохраных зон оказывается оптимальный уровень антропогенной нагрузки, что указывает на актуальность выбранной ширины для водоохранной зоны. Однако, для таких рек, как Друйка (расположенная на северо-востоке рассматриваемого района), Окуневка (в центре района), Дисна, протекающая по южной границе Браславского района, и некоторых озер (Видзовское, Неспиш и т. п.) характерен средний уровень антропогенной нагрузки 2,51–3,0 (желтый цвет). Также на территории Браславского района есть некоторое количество водных объектов, которым соответствует значительный уровень антропогенной нагрузки (оз. Даубле, р. Маруга, р. Усвица и др.), что указывает на необходимую корректировку ширины водоохранной зоны.

Библиографические ссылки

1. Блакітны скарб Беларусі: рэкі, азёры, вадасховішчы, турысцкі патэнцыял водных аб'ектаў. Мінск : Беларуская энцыклапедыя, 2007. С. 480.
2. Власов Б. П. Антропогенная трансформация озер Беларуси: геоэкологическое состояние, изменение, прогноз. Минск : БГУ, 2004. С. 207.
3. Водный Кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <https://kodeksy-bel.com/> (дата обращения: 15.11.2024).

4. *Занкевич Д. Л., Власов Б. П.* Анализ антропогенной нагрузки на водохранилище Лошанское // Весткі з УВА. 2023. С. 17–24.
5. *Савич-Шемят О. Г., Томина Н. М., Аницук Ю. П.* Оценка антропогенной преобразованности водосборов малых рек г. Минска // Минск : Институт природопользования НАН Беларуси, 2010. С. 74–80 [Электронный ресурс]. URL: <https://drazhnya.wordpress.com/> (дата обращения: 15.11.2024).
6. *Рыбкина Д. И.* Оценка антропогенной нагрузки на водные ресурсы и эффективность их использования: обзор методологических подходов // Антропогенная трансформация природной среды, 2023. С. 55–66.
7. СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства : введ. в действие 15.08.1997. М. : Госстрой России, 1997. 35 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ ДЛЯ АНАЛИЗА ДДЗ НА ПРИМЕРЕ ООПТ

А. А. Рауш, Е. Д. Амосов

*Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16, 220030, г. Минск,
Беларусь, geo@bsu.by*

В ходе работы был использован инструмент «Метод главных компонент» для выделения различных инвариантов территорий двух ООПТ: республиканского заказника «Бабиновичский» и местного заказника «Осинторфский». Результатом работы выступили картографические материалы частных и общих инвариантов на основе анализа снимков Landsat 4-5, 8-9, на основе которых можно наблюдать различные изменения исследуемой территории.

Ключевые слова: инвариант; ООПТ; дисперсия; метод главных компонент; спектр; ландшафт; диапазон; ДДЗ; Landsat.

APPLICATION OF THE PRINCIPAL COMPONENT METHOD FOR REMOTE SENSING ANALYSIS ON THE EXAMPLE OF PROTECTED AREAS

A. A. Raush, E. D. Amosov

Belarusian State University, Leningradskaya str., 16, 220030, Minsk, Belarus, geo@bsu.by

In the course of the work the "Principal component method" tool was used to identify various invariants of the territories of two protected areas: "Babinovichi" and "Osintorfsky". The result of the work were cartographic materials of particular and general invariants based on the analysis of Landsat images 4-5, 8-9, on the basis of which various changes in the studied territory can be observed.

Keywords: invariant; protected area; dispersion; principal component method; spectrum; landscape; range; RSD; Landsat.

Появление новых средств измерения свойств ландшафта, таких как ДДЗ, позволило применить к анализу его функционирования методический подход, основой которого является представление о ландшафте как о сложной динамической системе. Согласно теории динамических систем, состояние системы – есть положение ее элементов в пространстве признаков в момент времени, а собственно «динамическая система» – процесс смены этих состояний. Объем данных мультиспектральной съемки позволяет оперировать уже целыми сериями измерений отраженной солнечной радиации в различных спектральных диапазонах. Результат одного такого измерения – набор функциональных

переменных, отражающих процессы преобразования солнечной энергии растительным покровом. Располагая набором состояний, мы получаем возможность «отследить» траекторию как отдельных элементов системы, так и всей системы в целом.

Территория исследования – заказник местного значения «Осинторфский» и республиканский заказник «Бабиновичский» с прилегающими территориями.

Значительную часть Осинторфского заказника занимают торфяники и затопленные карьеры бывших торфопеработок, хвойные и лиственные леса, несколько естественных озёр. Говоря о Бабиновичском заказнике, известно, что леса занимают 90 % его территории. Лесная растительность представлена формациями сосновых (20 %), еловых (19 %), осиновых, черно- и сероольховых (14 %), березовых (32 %) лесов. Гидрографическая сеть заказника представлена верховьями рек Черница, Лучоса, Верхита, Узмейка и многочисленными лесными ручьями, а также озерами Зеленское и Ситнянское.

Площадь Осинторфского заказника – 4017,3 га, Бабиновичского – 11 514,72 га.

В качестве исходных данных были использованы безоблачные сцены Landsat-4, 5, 8, 9 для исследуемой территории. В результате используются все основные каналы (синий (0.45–0.52 μm), зелёный (0.52–0.60 μm), красный (0.63–0.69 μm), ближний инфракрасный (2.08–2.35 μm) и два коротковолновых ИК (0.76–0.90 μm), (1.55–1.75 μm)) для 9 сцен: 1985, 1991, 1996, 2000, 2005, 2009, 2016, 2018 и 2024 года (рис. 1).

Метод главных компонент был использован для анализа временных рядов данных. Этот метод позволяет: уменьшить размерность данных без потери ключевой информации; выделить основные факторы, влияющие на изменения территории; визуализировать изменения через пространственную интерпретацию инвариантов (главных компонент). Далее объяснения методики будут описаны на основе полученных инвариантов.

Общий инвариант (рис. 2) был получен в результате загрузки растровых изображений выбранных спектров за весь период наблюдений в инструмент «Метод главных компонент» в среде ArcGIS Pro. На рис. 2 отображён общий инвариант по первым трём компонентам дисперсии. Ими выступили: яркость (56,82 %); влажность (9,64 %); фотосинтез (5,31 %). График распределения дисперсии компонентов можно наблюдать на рисунке 3, а также в таблице (распределение дисперсии по различным компонентам). С помощью общего инварианта можно наблюдать изменение территорий исследуемых ООПТ, а также прилегающей территории. Основываясь на различных компонентах дисперсии, можно наблюдать различные дешифровочные признаки.

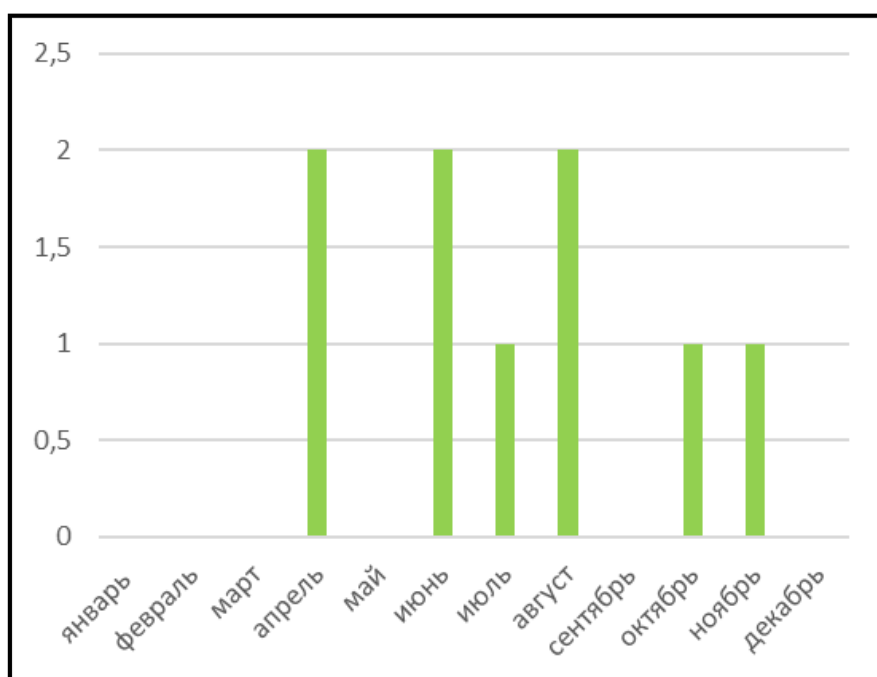


Рис. 1. Диаграмма распределения используемых снимков по месяцам года

Кроме общего инварианта, нами были получены частные инварианты по 6 каналам за каждый выбранный год исследования. При просмотре данных инвариантов в некоторых частях снимков наблюдаются изменения территории, что также отображено на общем инварианте при подробном его изучении. Помимо частных инвариантов по годам, были сделаны инварианты по различным используемым каналам за все годы. Примером могут послужить рисунки 4 и 5.

На основе частных инвариантов, созданных по группировке снимков с одинаковыми спектральными каналами, можно проследить отражаемость различных частей спектра от разных поверхностей, а также более детально рассмотреть изменения территории по отдельным признакам.

Также были получены частные инварианты, созданные из снимков определённых сезонов года (рис. 6, 7, 8).

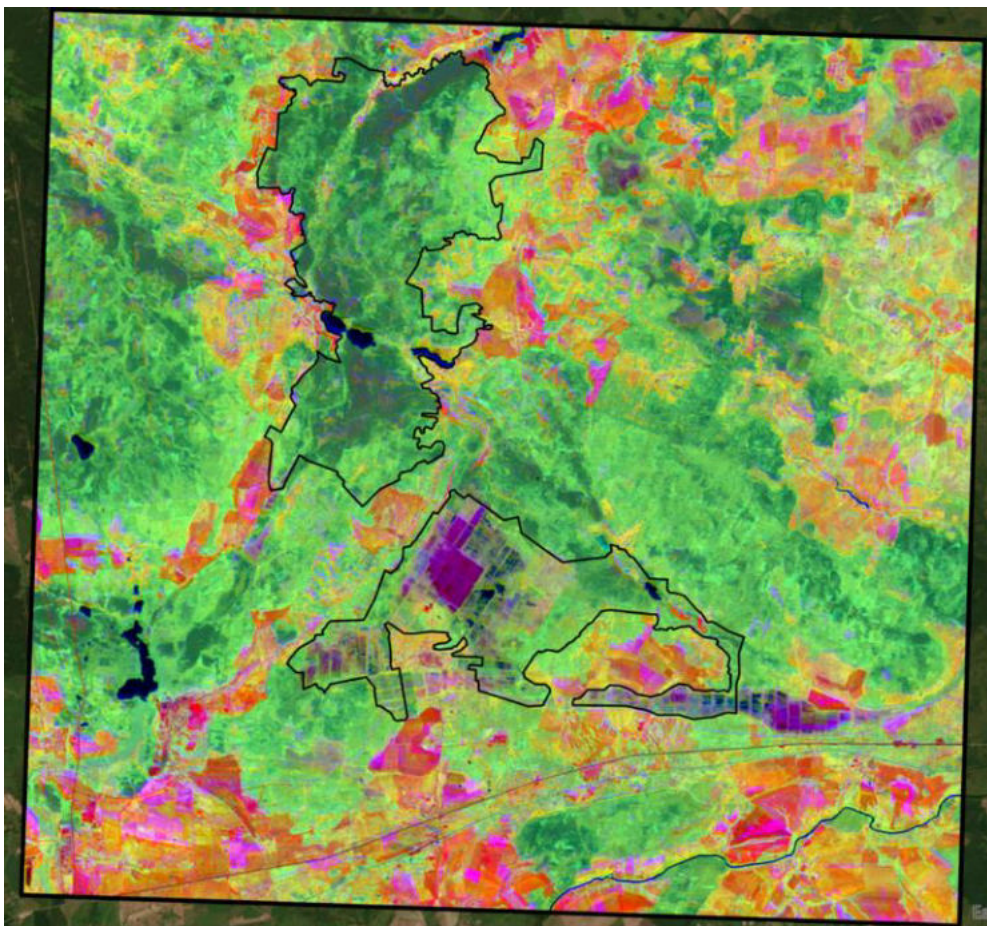


Рис. 2. Общий инвариант первых трёх компонент дисперсии по выделенным каналам за 1985–2024 гг.

Распределение дисперсии по различным компонентам

№ компонента	Дисперсия, %
1	56,82
2	9,64
3	5,31
4	3,61
5	3,45
6	2,74
7	2,63
8	2,15
9	2,05
10	1,67
11	1,64
12	1,53
13	1,18
14	1,04
...	...
52	0,0002

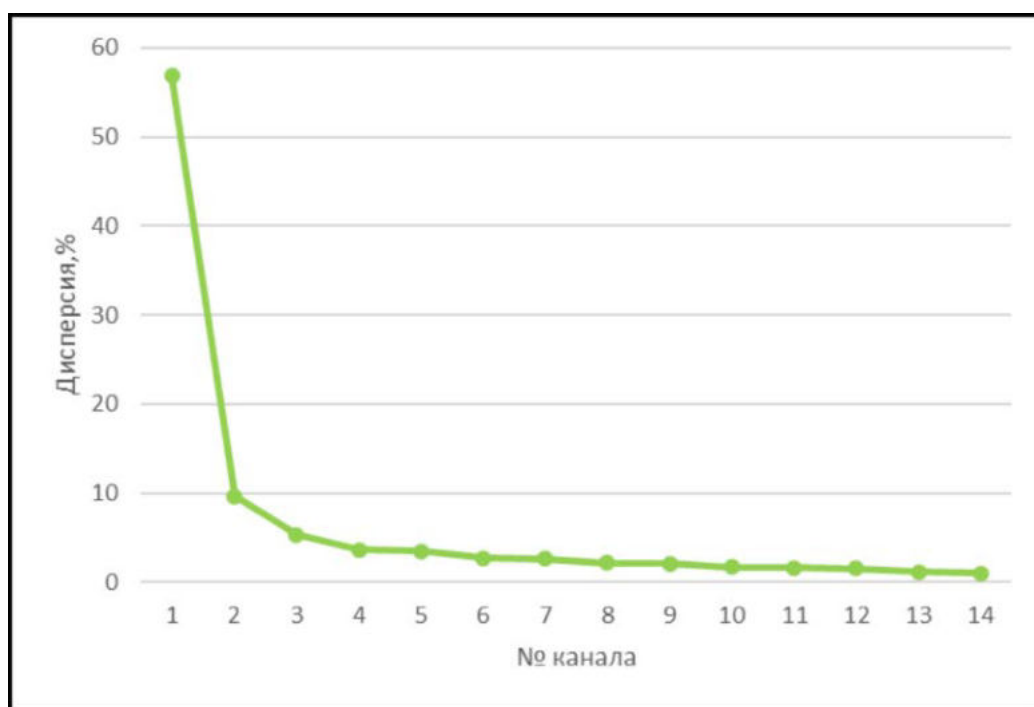


Рис. 3. График распределения дисперсии компонентов общего инварианта

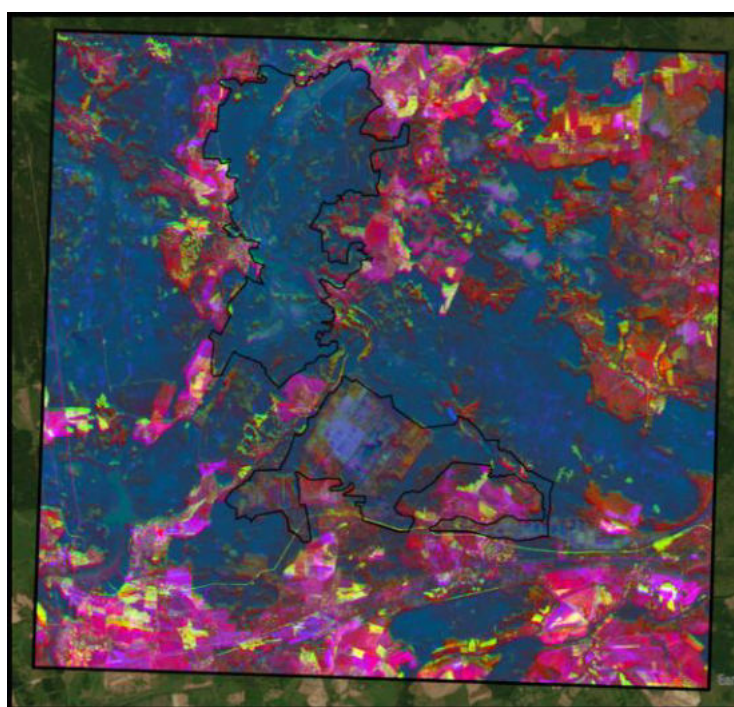


Рис. 4. Частный инвариант по красному каналу спектра за 1985–2024 гг.

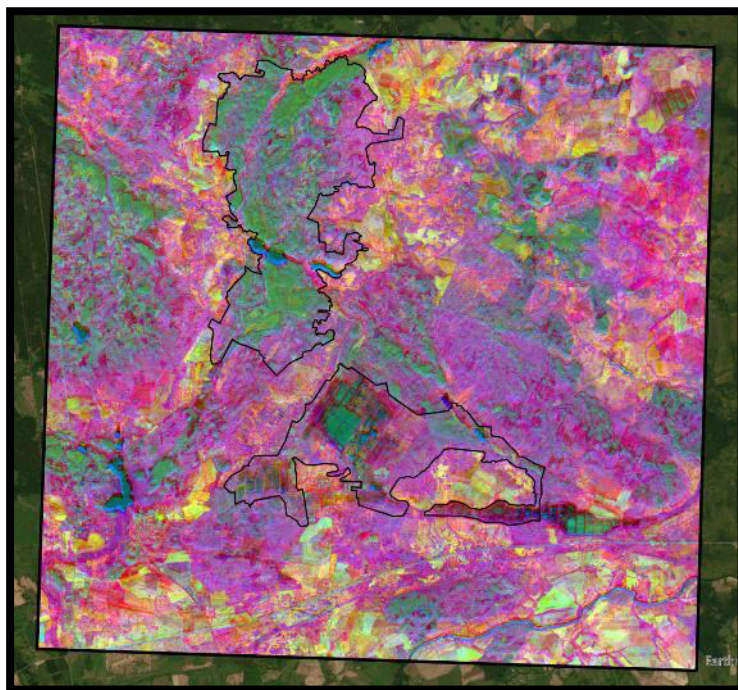


Рис. 5. Частный инвариант по первому коротковолновому инфракрасному каналу (0.76–0.90 μm)

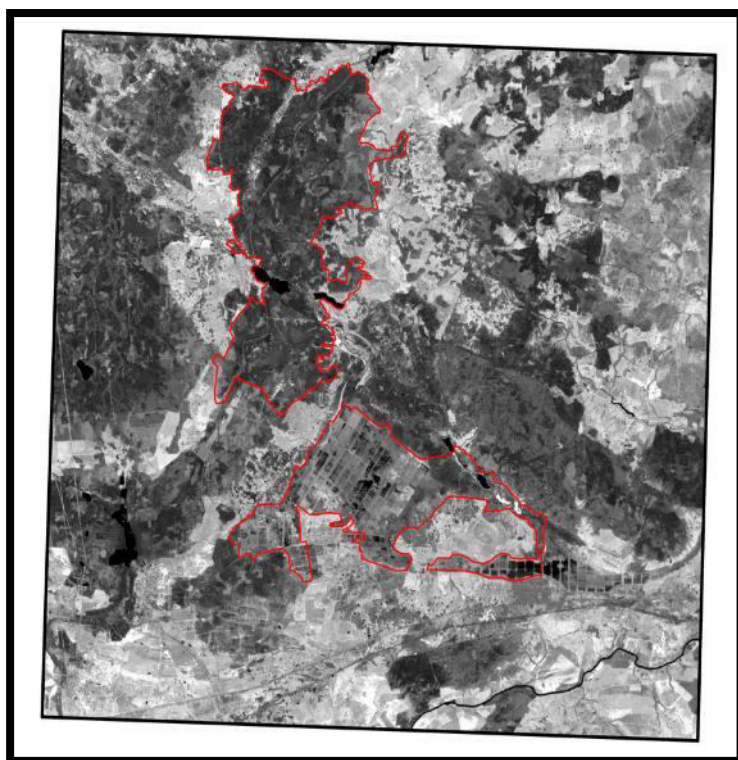


Рис. 6. Частный инвариант, созданный исключительно по весенним снимкам

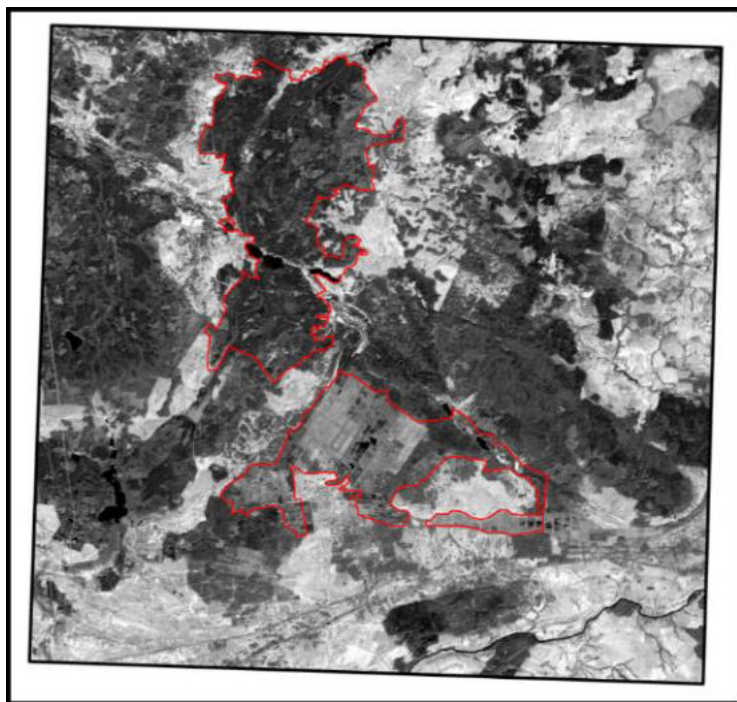


Рис. 7. Частный инвариант, созданный исключительно по летним снимкам

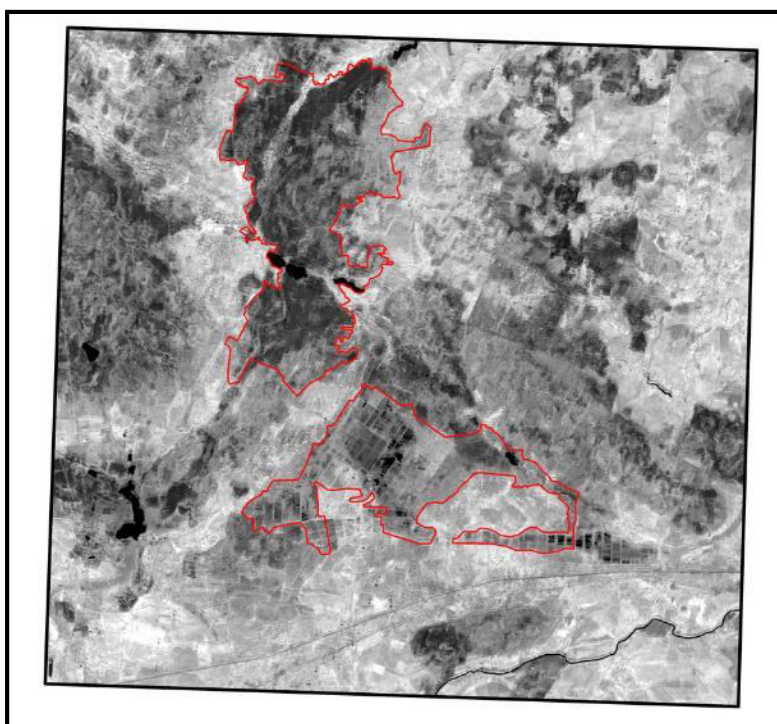


Рис. 8. Частный инвариант, созданный исключительно по осенним снимкам

На примере сезонных инвариантов можно наблюдать изменение зелёного покрова территории, начиная от вида использования поля и заканчивая породным составом деревьев, что проявляется особенно явно на осеннем инварианте (хвойные деревья значительно выделяются).

Таким образом, применение метода главных компонент к данным ДЗЗ позволило:

- выделить ключевые факторы, влияющие на изменения ландшафтов ООПТ;
- создать предпосылки для реализации эффективных инструментов мониторинга динамики территории;
- предложить подходы для интерпретации изменений, применимые в природоохранной практике и управлении территориями.

Данная методика может быть расширена и использована для создания более детализированных ландшафтных карт, а также для принятия решений в сельском хозяйстве, лесном и водном хозяйстве.

Библиографические ссылки

1. Ландшафтные инварианты – параметры порядка динамической системы / А. С. Байбар [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87. № 3. С. 370–390.
2. Ландшафтные инварианты на основе данных дистанционного зондирования и цифровой модели рельефа / М. Ю. Пузаченко [и др.] // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения. 2023. С. 55–58.
3. Определение пространственно-временных инвариантных состояний ландшафтного покрова (на примере Центрально-Лесного заповедника и прилегающей территории) / А. С. Байбар [и др.] // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения. 2023. С. 72–75.

ТРАНСФОРМАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ДИНАМИКА ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА NDVI И EVI В ПРЕДЕЛАХ ВОДОСБОРА КАПСЕЛЬСКОЙ БУХТЫ (КРЫМСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

А. И. Репецкая¹⁾, В. А. Табунщик²⁾, А. А. Никифорова³⁾

¹⁾ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», проспект Академика Вернадского, 4, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, РФ, email: cfuv@crimeaedu.ru.

^{2), 3)} Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», проспект Нахимова, д. 2, 299011, Россия, г. Севастополь, РФ: email: ibss@ibss-ras.ru, nikiforova_a@ibss-ras.ru

Капсельская бухта расположена в юго-восточной части Крымского полуострова, где настоящее время активно развивается строительство в рамках инфраструктурного развития образовательного комплекса «Арт-кластер “Таврида”». В связи с этим необходимо проводить исследования наземных экосистем. В работе был проведен анализ трансформации растительного покрова и динамики вегетационного индекса NDVI на территории водосбора Капсельской Бухты.

Ключевые слова: Капсельская бухта; вегетационный индекс NDVI; динамика растительности; геоинформационные системы.

VEGETATION TRANSFORMATION AND DYNAMICS OF VEGETATION INDEX NDVI AND EVI WITHIN THE WATERSHED AREA OF KAPSELSKAYA BAY (CRIMEAN PENINSULA)

A. I. Repetskaya¹⁾, V. A. Tabunshchik²⁾, A. A. Nikiforova³⁾

¹⁾ V. I. Vernadsky Crimean Federal University

^{2,3)} A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS

Kapselskaya Bay is located in the south-eastern part of the Crimean Peninsula, where construction is currently under active development as part of the infrastructural development of the educational complex «Art-Cluster ‘Tavrida’». In this regard, it is necessary to conduct studies of terrestrial ecosystems. The paper analyzed the transformation of vegetation cover and dynamics of vegetation index NDVI on the territory of the Kapselskaya Bay watershed.

Keywords: Kapselskaya Bay; NDVI; vegetation dynamics; geoinformation systems.

Растительность является важным фактором, связывающим атмосферу, воду, почву и биологические функции, а также она играет особую

роль в реагировании на изменение климата и устойчивом развитии региональных экономик. Деятельность человека также вносит значительный вклад в динамику растительности, и с каждым годом это влияние еще более усиливается [1]. В последнее время наземные экосистемы становятся все более чувствительными к изменениям климата и деятельности человека, поэтому анализ динамики растительности и ее реакции на климатические переменные и деятельность человека имеет особое значение для поддержания устойчивости экосистемы.

Вегетационные индексы точно отражают информацию о растительном покрове Земли и обычно используются в качестве ключевых индикаторов изменения растительного покрова, а также важны для изучения гидрологических, экологических и климатических изменений. Будучи важным компонентом наземной экосистемы, нормализованный разностный индекс растительности (NDVI) может быть использован для исследования состояния и развития растительности, пространственного распределения и фенологической фазы, а также реакции на воздействия. В настоящее время большинство ученых используют вегетационный индекс NDVI для оценки состояния растительности, и этот индекс может отражать временные и пространственные изменения в растительности [2].

Район исследования представляет собой водосбор Капсельской бухты (часто именуемый в различных источниках как Капсельская бухта, а иногда урочище Капсель) – участок побережья, расположен в восточной части Судакской бухты Чёрного моря и простирается от мыса Алчак до мыса Рыбачий (полуостров Меганом). В целом исследовательский район вытянут с юго-востока на северо-запад на 8,2 км. Северная и северо-восточная границы проходят по водоразделу от горы Манжил-Кая (499 м н. ур. м.) до горы Меганом (358 м). На востоке водораздел замыкается по локальному водоразделу полуострова Меганом. На западе водораздел проходит от вершины Манжил-Кая до мыса Алчак, через вешину Алчак-Кая (157 м). Южная и юго-западная граница проходит по побережью Чёрного моря (Капсельской бухты), состоит из нескольких мелких бухточек и заливов. Протяженность Капсельской бухты составляет по берегу – 6,5 км. Бухта расположена между двумя особо охраняемыми природными территориями регионального значения Республики Крым: с запада граничит с заповедным урочищем «Алчак-Кая», а с востока – с памятником природы «Полуостров Меганом». Географическое положение района исследования показано на (рис. 1). Стоит отметить, что в Капсельской бухте располагается «Арт – кластер “Таврида”» – полноценный образовательный комплекс для молодежи. Академия «Меганом» — составная часть

крупнейшего в России Арт-кластера «Таврида», который позиционируется как первый в мире молодежно-просветительский курорт, направленный на выявление и поддержку талантливой молодежи в России

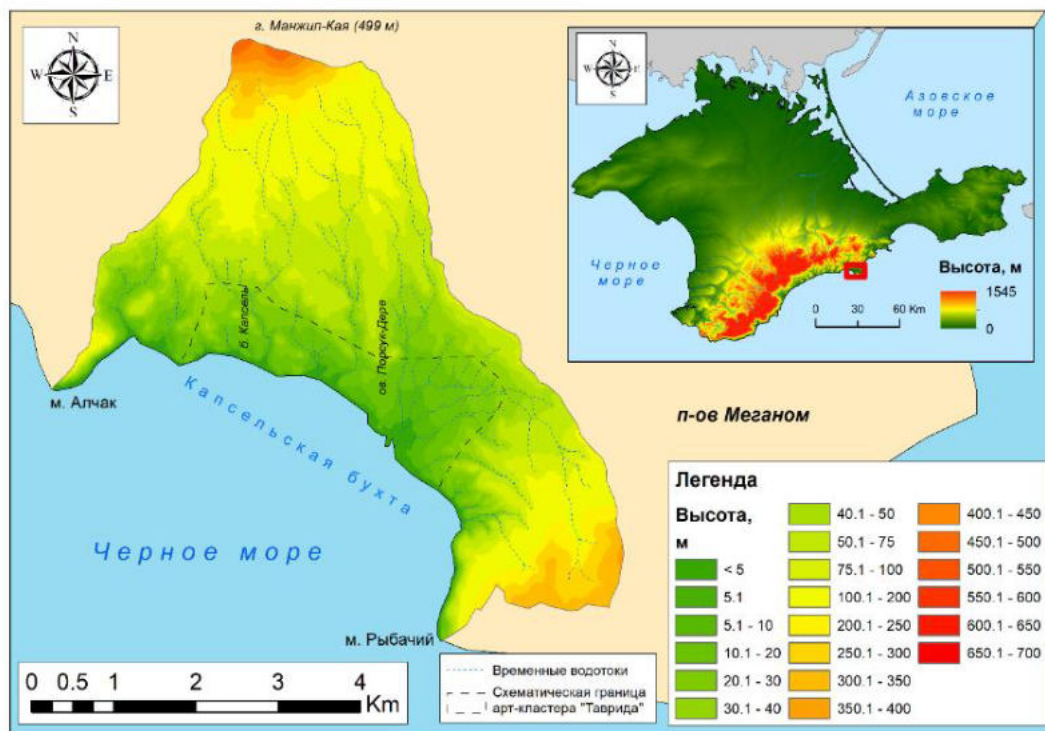


Рис. 1. Географическое положение водосбора Капсельской Бухты (Крымский полуостров) и Арт-кластера «Таврида»

Методика исследования состояла в использовании данных космического спутника MODIS и платформы облачных вычислений Google Earth Engine. Для территории Крымского полуострова имеется большое количество работ посвященных анализу данных о изменении вегетационных индексов для различных целей [3, 4, 5]. Однако в последние годы расчет значений вегетационных индексов существенно облегчился в силу использования платформы облачных вычислений Google Earth Engine, которая позволяет не загружать огромные массивы данных, а сразу производить вычисления на серверах [6, 7].

Главным преимуществом вегетационного индекса NDVI является легкость его получения. Большой пространственный охват позволяет проводить мониторинг различных по площади территорий, как малых, так и больших. NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющим спектральные каналы в красном (0,55-0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75–1,0 мкм).

Для анализа были получены среднегодовые значения NDVI за 2000–2024 гг. (в 2024 году анализировались только 10 месяцев) с пространственным разрешением 500 м/пиксель, показано на рисунке 2.



Рис. 2. Положение пикселей изображения, выбранных в качестве единиц операционно-территориального анализа.

В результате исследования получены средние и максимальные значения вегетационного индекса NDVI в пределах водосбора Капсельской Бухты (Крымский полуостров), показано на рисунке 3.

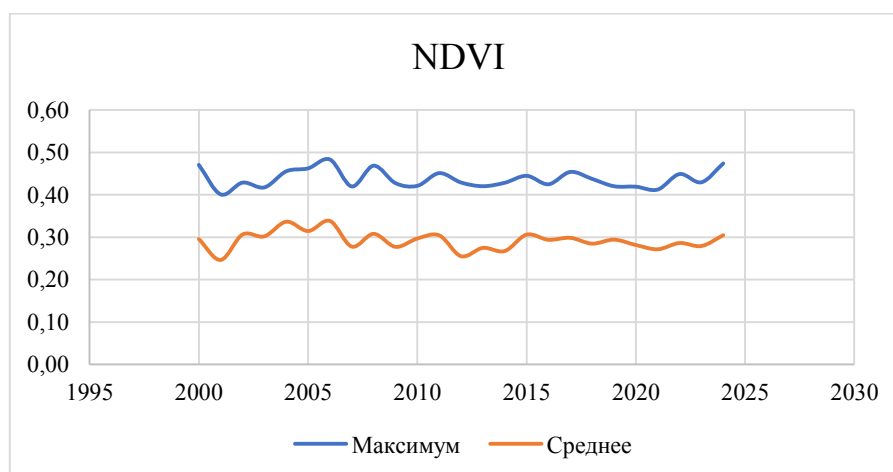


Рис. 3. Максимальные и средние значения вегетационного индекса NDVI в пределах территории водосбора Капсельской Бухты (Крымский полуостров)

Максимальные значения вегетационного индекса NDVI зафиксированы в 2000 г., 2006 г., 2008 г., 2024 г., а минимальные – в 2021 г., 2023 г., 2007 г., 2010 г.

Дополнительно, для анализа пространственно-временной неоднородности распределения количества зеленой фитомассы, были отобраны три участка, один из которых расположен в лесном массиве на северной границе водораздела, а два других – в районе Арт-кластера «Таврида». В результате анализа значений NDVI в пределах ячейки 500*500 м (рис. 4) было установлено, что в районе строительства и функционирования Арт-кластера «Таврида» наблюдается тенденция к сокращению количества зеленой фитомассы, в отличие от территорий с непреобразованной стабильно покрытым растительным покровом.

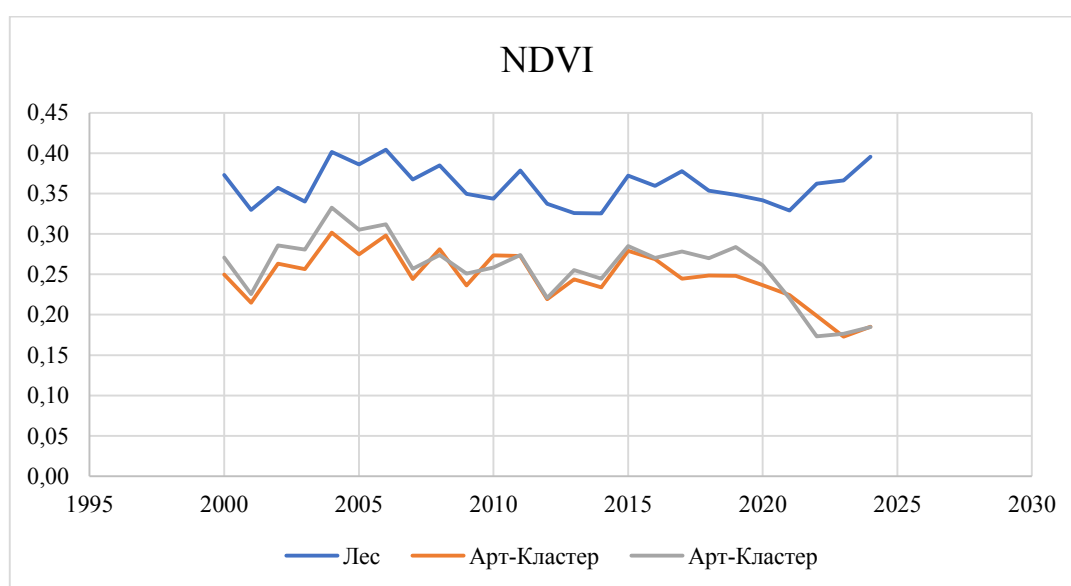


Рис. 4. Средние значения вегетационного индекса NDVI

На фоне растущих преимуществ правильного ландшафтного дизайна и планирования, существует потребность в том, чтобы человек находился в достойной, хорошо организованной и эстетически приятной среде. Арт-кластера «Таврида» ведет активную застройку близлежащих земель, занимается улучшением не только инфраструктуры, но и рекреационных ресурсов, облагораживая местные пляжи. В связи с этим необходимо проводить комплексные работы по озеленению территории Арт-кластера «Таврида» и компенсировать рост снижающегося количества зеленой фитомассы.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FZEG-2024-0006 «Формирование устойчивой системы зеленых насаждений Арт-кластера «Таврида» (Юго-Восточный Крым)».

Библиографические ссылки

1. Effects of climate change and anthropogenic activity on the vegetation greening in the Liaohe River Basin of northeastern China / L. Zhu [et al.] // *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 148. P. 110105.
2. Динамика трендов NDVI растительности Западной Сибири в условиях климатических изменений (по спутниковым данным) / И. Ю. Ботвич [и др.] // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии*. 2023. Т. 16, № 2. С. 244-251.
3. Папитецкий В. С., Дунаева Е. А. Использование спутниковых сервисов для сельскохозяйственного мониторинга // *Таврический вестник аграрной науки*. 2017. № 3 (11). С. 117–123.
4. Оценка уровня озеленения г. Севастополя по данным дистанционного зондирования Земли / Е. С. Каширина [и др.] // *Системы контроля окружающей среды*. 2020. № 2 (40). С. 108–116.
5. *Tabunshchik V. A.* The distribution of the values of the NDVI on the territory of the Razdolnensky district of the Republic of Crimea in January – June 2018 // *Геополитика и экогеодинамика регионов*. 2019. Vol. 5 (15), No. 2. P. 225–242.
6. Spatial variations of LST and NDVI in Muzaffarpur district, Bihar using Google Earth Engine (GEE) during 1990–2020 / Bh. Sajan [et al.] // *Journal of Agrometeorology*. 2023. Vol. 25, No. 2. P. 262–267.
7. *Yihui Ya., Lin Zh.* Spatial-temporal variation of NDVI and its climatic response in Li River Basin based on GEE // *Applied and Computational Engineering*. 2024. Vol. 59, No. 1. P. 118–125.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРНОЙ СИТУАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ МЕТЕОДАНЫХ

Н. М. Роговский

Государственное научное учреждение «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси», ул. Академическая 27, 220072, Минск, Беларусь, e-mail: nikita.rogovski.03@gmail.com

Вопрос оперативного мониторинга пожарной опасности является довольно актуальным для Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, где природные условия и труднодоступность очагов пожаров зачастую позволяют распространяться огню на большие площади, принося ущерб природным экосистемам и подвергая заповедник и граничащие с ним территории вторичному загрязнению радионуклидами. В данной работе рассмотрен подход к созданию модели определения уровня пожарной опасности заповедника.

Ключевые слова: пожарная опасность; классы пожароустойчивости; оперативный мониторинг; спутниковые метеоданные; Полесский государственный радиационно-экологический заповедник.

MODELING OF THE FIRE SITUATION IN THE TERRITORY OF THE POLESKY STATE RADIOECOLOGICAL RESERVE USING SATELLITE METEOROLOGICAL DATA

N. M. Rogovsky

The State Scientific Institution «V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of The National Academy of Sciences of Belarus», Akademicheskaya st., 27 220072, Minsk, Belarus, e-mail: nikita.rogovski.03@gmail.com

The issue of operational monitoring of pyrological hazard is quite relevant for the Polesky State Radioecological Reserve, where natural conditions and the inaccessibility of fire sources often allow fire to spread over large areas, causing damage to natural ecosystems and exposing the reserve and adjacent territories to secondary contamination with radionuclides. This paper examines an approach to creating a model for determining the level of pyrological hazard in a reserve area.

Keywords: pyrological hazard; fire resistance classes; operational monitoring; satellite weather data; Polesky State Radioecological Reserve.

Для территории заповедника довольно распространённым видом негативного воздействия на природные экосистемы являются пожары, площадь прохождения которых оценивается в 14,8 тыс. га, начиная с 2001 года [1].

Составление прогнозной модели пожарной опасности было решено проводить на основе значений метеорологических показателей и базовой геопространственной информации о долгосрочном прогнозе пожарной ситуации в природных экосистемах. Интегральным показателем был определён индекс FWI (Fire Weather Index) системы CWFIS [2]. Данная канадская система основана на получаемых погодных показателях с метеостанций, которые преобразуются в коды влажности в различных слоях почвы, и в дальнейшем – в индекс FWI.

Ввиду пограничного положения заповедника данные с метеостанций соседней страны получить не представляется возможным, ввиду чего целесообразно использовать ежедневные метеорологические данные со спутников ERA-5-Land Daily, GLDAS-2.1 [3, 4].

После произведённых расчётов индекса погодной пожарной опасности производится его интерполяция по значениям индекса по пикселям и, в дальнейшем, формируется карта пожарной ситуации. Однако в разработанном подходе производится пересчёт индекса по классам пожароустойчивости растительности. Все операции производятся на базе платформы облачных вычислений Google Earth Engine [5]. В результате всех операций максимальное достижимое разрешение данных равняется 11,3 км на пиксель, поэтому оценка пожарной обстановки становится довольно грубой (рис. 1).



Рис. 1. Пример расчёта значения FWI для территории ПГРЭЗ на основе спутниковых метео данных

Для усовершенствования алгоритма определения уровня пожарной опасности было решено использовать критерий пожароустойчивости растительных сообществ ПГРЭЗ. С этой целью необходимо построение базовой карты долгосрочного прогноза пожарной ситуации на основе данных о структуре растительного покрова, лесоводственно-таксационных показателях лесопокрываемых земель, близости к мелиоративной сети и степени нарушенности торфяников (рис. 2).

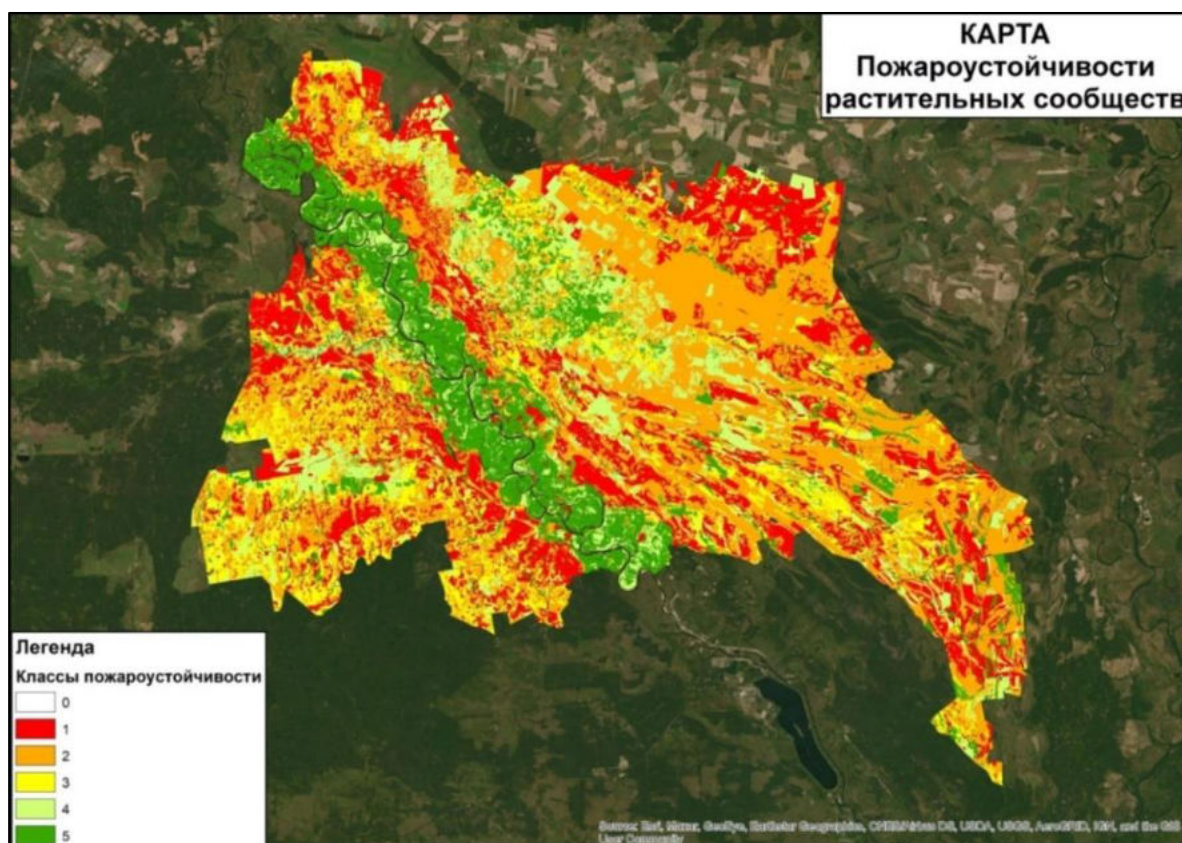


Рис. 2. Карта пожароустойчивости растительности ПГРЭЗ

Для разбиения на классы пожароустойчивости использовался подход, представленный в литературе [6–8]. Значения поправочных коэффициентов в зависимости от класса пожарной опасности варьируются от 0,8 до 1,2, где наименьшее значение соответствует 5-му классу, а наибольшее – 1-му. К выделению граничных значений классов применялся подход, использующийся в Глобальной системе информации о природных пожарах [9]. Произведя пересчёт индекса, формируется объективная картина пожарной ситуации на основе пространственных данных долгосрочного прогноза пожарной опасности (рис. 3).

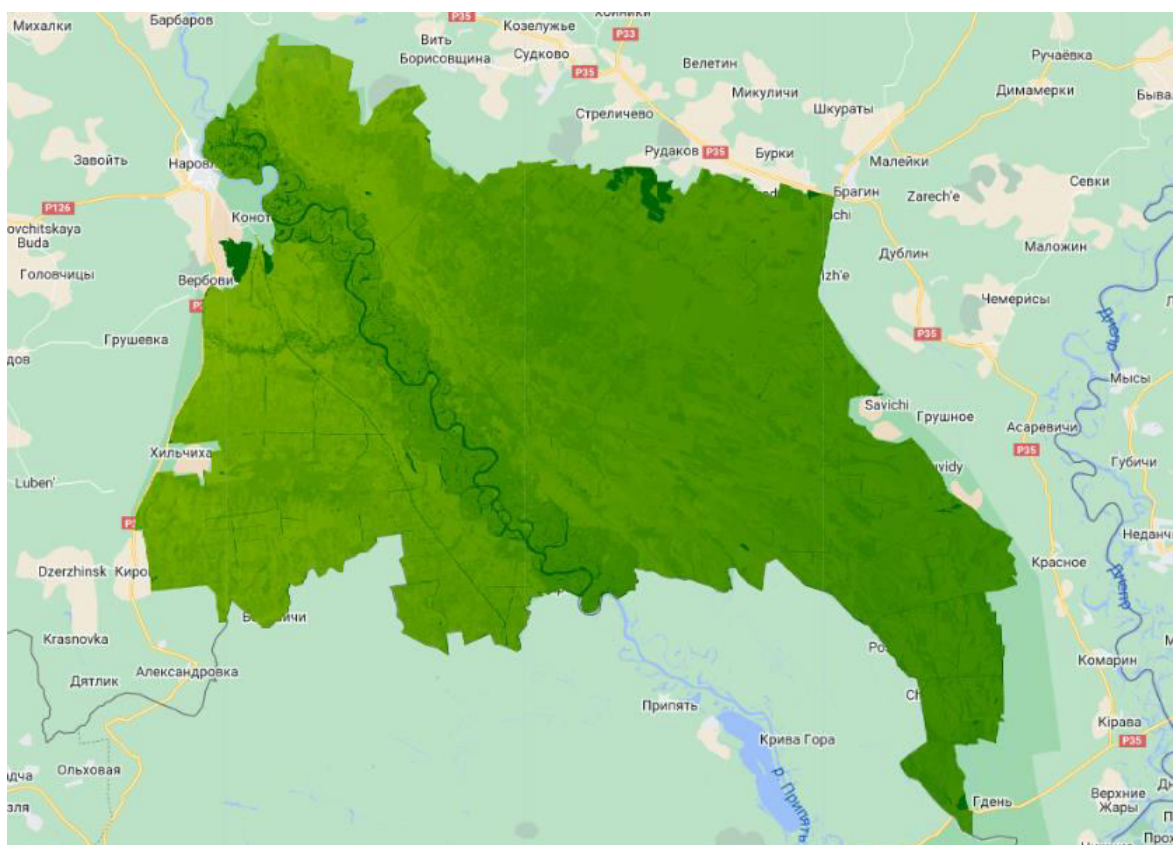


Рис. 3. Адаптированный индекс FWI на территорию ПГРЭЗ

На базе платформы Google Earth Engine была построена модель, использующая метеорологические показатели в качестве основы для расчётов. Вместе с этим, получаемый растр не соответствует той пространственной точности прогноза, которая необходима для оценки пожарной обстановки. Для этого была использована классификация растительности по уровню пожароустойчивости, в результате чего каждый выдел имеет приуроченность к определённому классу и коэффициент для дальнейшего пересчёта индекса FWI.

Библиографические ссылки

1. MOD14A1.061: Terra Thermal Anomalies & Fire Daily Global 1km [Electronic resource]. URL: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod14a1v061/> (date of access: 13.10.2024).
2. Canadian Forest Fire Weather Index [Electronic resource]. URL: <https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/maps/fw?type=fwi/> (date of access: 13.10.2024).
3. ERA5-Land hourly averaged data from 1950 to present [Electronic resource]. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land> (date of access: 13.10.2024).
4. The Global Land Data Assimilation System / M. Rodell [et al.] // Bull. of the Amer. Meteor. Soc. 2004. Vol. 85, No 3. P. 381–394.

5. Google Earth Engine [Electronic resource]. URL: <https://earthengine.google.com/> (date of access: 13.10.2024).

6. *Груммо Д. Г., Русецкий С. Г.* Опыт применения космической съемки высокого разрешения для определения пожароопасности торфяных болот // Проблемы лесоведения и лесоводства : сборник научных трудов ИЛ НАН Беларуси. Вып. 75. 2015. С. 534–551.

7. Комплексное картографирование природной среды побережья Финского залива (район Лужской губы) / Е. А. Волкова [и др.]. Санкт-Петербург : Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова Рос. акад. наук [и др.], 2001. 139 с.

8. Справочное руководство по ликвидации лесных и торфяных пожаров / сост. А. М. Сегодник [и др.]. Гродно : Гродненское областное управление МЧС Республики Беларусь, 2012. 160 с.

9. Fire Danger Classes [Electronic resource]. URL: <https://gwis.jrc.ec.europa.eu/about-gwis/technical-background/fire-danger-forecast> (date of access: 13.10.2024).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОЧИНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА

С. Д. Самсонов

*ФГБУ «Сочинский национальный парк», ул. Московская, 21,
354000, г. Сочи, Российская Федерация, samrex@yandex.ru*

Применение геоинформационных технологий в работе Сочинского национального парка началось с внедрением в производство результатов государственной инвентаризации лесов 1997 г. в формате WinGIS. С развитием программного обеспечения ГИС, было принято решение использовать ПО ArcGIS от компании ESRI.

Ключевые слова: геоинформационные системы; WinGIS; ArcGIS; Сочинский национальный парк.

USE OF GIS IN THE ACTIVITIES OF THE SOCHI NATIONAL PARK

S. D. Samsonov

*Federal State Budgetary Institution "Sochi National Park", Moskovskaya St., 21,
354000, Sochi, Russian Federation, samrex@yandex.ru*

The use of geoinformation technologies in the work of the Sochi National Park began with the introduction of the results of the state forest inventory of 1997 in the WinGIS format. With the development of GIS software, it was decided to use ArcGIS software from ESRI.

Keywords: geoinformation systems; WinGIS; ArcGIS; Sochi National Park.

Приказ Министра природных ресурсов РФ от 22 апреля 2003 года № 342 «Об утверждении основных направлений развития системы государственных природных заповедников и национальных парков в Российской Федерации на период до 2015 года» (1), глава 7 п. 18. «Разработать программу внедрения геоинформационных технологий и создание геоинформационных систем (ГИС) в заповедниках и национальных парках, приступить к созданию общей ГИС федеральных особо охраняемых природных территорий» определил основные направления действий по созданию ГИС в особо охраняемых территориях (ООПТ) Российской Федерации.

История использования ГИС в Сочинском национальном парке (СНП) начинается с момента цифровизации материалов лесоустройства в России. На территории европейской части России в качестве основного программного обеспечения (ПО) была выбрана WinGIS.

Компьютерная система WinGIS разработана компанией Progis (Австрия). Она относится к классу профессиональных информационных технологий, обладает всеми возможностями мощного графического редактора.

Информационная система «Лесоустроительное проектирование и ведение лесного хозяйства» (модуль WinPLP) с использованием лесных карт (модуль WinGIS) предназначена для обработки информации, как периодического, так и непрерывного лесоустройства (2).

Совместно с графическим редактором WinGIS, WinPLP образует комплекс, реально совмещающий картографическую базу данных с таксационной базой. WinPLP обеспечивает работу с WinGIS как с параллельно работающим приложением, предназначенным для производства лесных карт и внесения изменений в них в процессе ведения лесного хозяйства.

Существенным недостатком данного ПО является невозможность добавления систем координат, используемых в России. Это выразилось в том, что при проведении лесоустроительных работ в разные годы использовались применяемые на момент лесоустройства системы координат. Соответственно, сравнить картографические результаты этих работ было нельзя. В результате, контуры территории СНП на лесных картах, составленных при проведении 3 государственных инвентаризаций лесов не совпадали.

С получением по гранту для природоохранных организаций от компании ESRI лицензированного ПО ArcGIS, у СНП появились новые возможности для отображения и анализа накопленного материала.

Картографические материалы государственной инвентаризации лесов 1997-98 г.г., 2007-08 и 2015-16 г.г. из формата ПО WinGIS конвертировались в shp-файлы, при помощи ПО ArcGIS приведены к единой системе координат и по методике, разработанной автором, оцифрованы атрибутивные данные. На основании полученных материалов было проанализировано изменение территории СНП, выявлены нарушения территориальной целостности и подготовлены материалы для возврата участков СНП по тем или иным причинам, вышедшим из состава национального парка, присоединения особо ценных ландшафтов, примыкающих к границам СНП (рис. 1).

С. н. с. Анненковой совместно с сотрудниками научного отдела была создана ГИС «Дендрарий» (рис. 2), содержащая картографическую и атрибутивную базы данных, в которой содержится информация о каждом растении, произрастающем на территории «Дендрария», ведется ведомость посадок и отпада. В. н. с., д. б. н. Ширяевой Н. В. дополнены данные об их санитарном состоянии, пораженностью растений болезнями и вредителями, их устойчивостью к болезням и вредителям.



Рис. 1. Сравнение картографических материалов государственной инвентаризации лесов

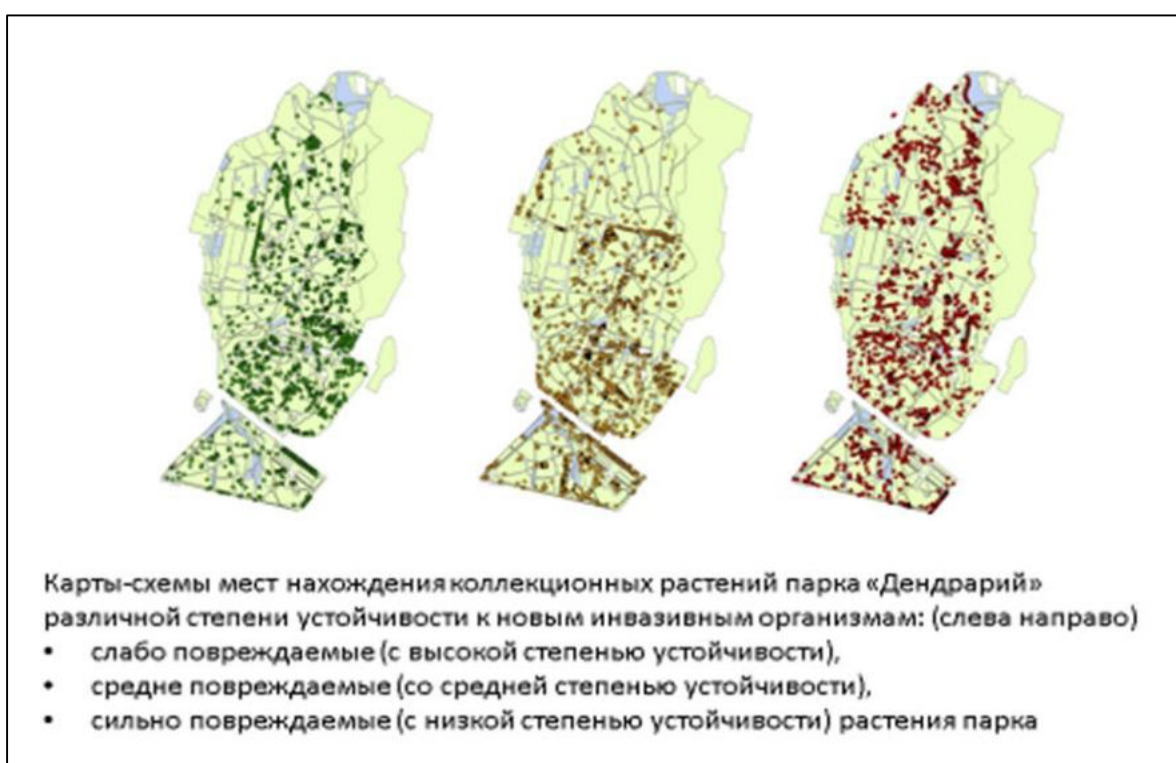


Рис. 2. Фрагмент картографической базы данных ГИС «Дендрарий»

На основе физико-географического положения парка разрабатываются сценарии климатических изменений, подбирается ассортимент растений в соответствии с прогностическими моделями.

Также создаются отдельные ГИС-проекты по данным научных исследований сотрудников научного отдела, с занесением в базу данных бланков описания пробных площадей.

На сегодняшний день, благодаря гранту компании ESRI, все подразделения национального парка, включая участковые лесничества, обеспечены ПО ArcGIS. Это позволило использовать в Сочинском национальном парке единый формат в работе с картографическими материалами и базами атрибутивных данных.

Библиографические ссылки

1. Приказ Министра природных ресурсов РФ от 22 апреля 2003 года № 342 «Об утверждении основных направлений развития системы государственных природных заповедников и национальных парков в Российской Федерации на период до 2015 года».

2. ГУП «Северо-западное лесоустроительное предприятие»: общее описание системы «Лесоустроительное проектирование и ведение лесного хозяйства с использованием лесных карт». С.-Пб., 2003. 184 с.

МНОГОУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

В. А. Сипач¹⁾, О. А. Семенов¹⁾, Е. С. Курзенков¹⁾, М. С. Курзенков¹⁾,
М. Ю. Богуцкий¹⁾, Е. С. Фруль¹⁾, А. А. Новиков²⁾, В. М. Каплинский³⁾

¹⁾УП «Геоинформационные системы», Минск

²⁾ГПУ «Национальный парк «Нарочанский», к. п. Нарочь

³⁾ГПУ «Национальный парк «Беловежская пуща», аг. Каменюки

В работе описана разработка многоуровневой системы наблюдений за изменениями состояния экосистем особо охраняемых природных территорий. Данная система основана на применении ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли, а также проведения наземных полевых наблюдений.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли; геоинформационные технологии; особо охраняемые природные территории; национальные парки; веб-карты.

MULTI-LEVEL SYSTEM FOR DETECTING CHANGES IN THE STATE OF ECOSYSTEMS OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS USING EARTH REMOTE SENSING DATA AND GIS TECHNOLOGIES

V. A. Sipach¹⁾, O. A. Semenov¹⁾, E. S. Kurzenkov¹⁾, M. S. Kurzenkov¹⁾,
M. Y. Bogutsky¹⁾, E. S. Frul¹⁾, A. A. Novikov²⁾, V. M. Kaplinsky³⁾

¹⁾UE "Geoinformation Systems", Minsk

²⁾Narochansky National Park", r. v. Naroch

³⁾National Park "Belovezhskaya Pushcha", ag. Kamenyuki

The paper describes the development of a multi-level monitoring system for changes in the state of ecosystems of specially protected natural areas. This system is based on the use of GIS technologies and data from remote sensing of the Earth, as well as conducting ground-based field observations.

Keywords: remote sensing of the Earth; geoinformation technologies; specially protected natural areas; national parks; web-maps.

Современное изменение климата и антропогенная нагрузка на особо охраняемые природные территории (далее – ООПТ) ведет к необратимым

изменениям мест произрастания и обитания диких растений и животных, что оказывает существенное влияние на биоразнообразие.

Для своевременного и оперативного мониторинга за изменениями природной среды стандартные подходы наземных наблюдений уже не могут быть достаточными. К тому же территории ООПТ большие по площади и протяженности, например, Национальный парк «Нарочанский» занимает 97,3 тыс. га и протяженность с севера на юг – 34 км, с запада на восток – 59 км., и Национальный парк «Беловежская пуща» – 150 тыс. га и протяженность с севера на юг 65 км, а с запада на восток – от 20 до 52 км.

Поэтому использование современных информационных технологий к ведению мониторинга за экосистемами единственный способ оперативного, всеобъемлющего и эффективного контроля за территориями ООПТ. Это обеспечивается за счет использования данных дистанционного зондирования Земли (далее – данные ДЗЗ) с космических аппаратов и беспилотных летательных аппаратов, геоинформационных систем, систем точного позиционирования и веб-картографии.

УП «Геоинформационные системы» совместно с Институтом экспериментальной ботаники имени В.Ф.Купревича НАН Беларуси, ГПУ «Национальный парк «Нарочанский» и ГПУ «Национальный парк «Беловежская пуща» приступили к реализации мероприятия 19 «Создать программный комплекс автоматизированного выявления угроз и прогнозирования состояния природных экосистем особо охраняемых природных территорий с использованием данных дистанционного зондирования Земли» в рамках подпрограммы 6 «Исследование и использование космического пространства в мирных целях» государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» на 2021–2025 годы. Целью разработки программного комплекса является создание технологий автоматизированного выявления изменений и прогнозирование состояния природных экосистем ООПТ с помощью геопространственного анализа данных наземных обследований и дистанционных съемок различной детальности.

Технология автоматизированного выявления изменений природных экосистем основана на предварительной классификации космических снимков по базовым компонентам: растительность, открытый грунт и вода. Для этого используются стандартизированные спектральные индексы. Такими индексами являются:

- нормализованный вегетационный разностный индекс (NDVI);
- нормализованный разностный водный индекс (NDWI);
- нормализованный разностный индекс гари (NBRI).

Получение информации о наличии индексов на определенный участок территории может свидетельствовать о наличии определенного вида изменения экосистемы. Например, высокие значения индекса NDWI и

низкие индекса NDVI чаще всего свидетельствует об усыхании растительности в связи с подтоплением данного участка территории.

Данные ДЗЗ позволяют регулярно и оперативно получать информацию об изменениях в экосистемах на всю территорию ООПТ. Однако без наземной валидации (проверки) данных нельзя однозначно интерпретировать полученные результаты.

Для повышения качества определения выявленных изменений в природных экосистемах ООПТ используется цифровая карта экосистем национальных парков, которая помогает определить, является ли появившееся изменение сезонным, временным или постоянным.

При проведении наземных полевых работ в ООПТ можно столкнуться с невозможностью попасть на объект валидации, так как часть территории может быть подтоплена, завалена непроходимым лесом, иметь препятствия в виде рек, болот. В данной ситуации выполнить валидацию могут помочь беспилотные летательные аппараты (далее – БЛА). С их помощью возможно проведение высокодетальной аэрофотосъемки, а также создание сферических панорам, которые позволяют рассмотреть выявленные изменения с высокой четкостью без посещения объекта.

Для объединения в единое целое выявления изменений в экосистемах, валидации данных и принятия на их основе управленческих решений требует создание единой многоуровневой системы, на основе программных решений, базирующихся на геоинформационных технологиях.

Основой разрабатываемого программного комплекса является многопользовательское серверное программное ГИС-обеспечение ArcGIS Enterprise. Оно позволяет соединить представленные данные полученные после обработки данных ДДЗ с космических аппаратов, передать их полевым бригадам для валидации, вернуть данные обследований и предоставить специалистам с использованием веб-карт всю информации про произошедшим изменениям для принятия обоснованных управленческих решений.

Данный программный комплекс представляет из себя многоуровневую систему выявления изменений экосистем на ООПТ и представлен следующими уровнями:

- 1) Космический – данные ДЗЗ с космических аппаратов;
- 2) Авиационный – данные ДЗЗ с БЛА;
- 3) Наземный – данные наземных полевых валидаций.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ЛЕВОБОЕРЕЖЬЯ Г. ВОРОНЕЖ НА ОСНОВЕ ЛАБОРАТОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛА И НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ТКАНЯХ ЛИСТЬЕВ ТОПОЛЯ ИТАЛЬЯНСКОГО (*POPULUS ITALICA*) И ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ДАННЫХ ПРИ ПОМОЩИ ГИС

И. П. Слостина, Е. Ю. Иванова

*Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1,
394018, г. Воронеж, Россия, ivanova.vsu@gmail.com*

В статье рассматривается проблема загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха в городе Воронеж, население которого превышает один миллион человек. Основное внимание уделяется влиянию автомобильных выхлопов на качество атмосферного воздуха, с акцентом на листья тополя итальянского (*Populus italica*) как объект биоиндикации. Цель работы заключается в оценке степени загрязнённости воздуха Левобережья Воронежа с использованием различных методов, включая фотоколориметрическое определение содержания хлорофилла. Исследование выявляет основные источники загрязнений, в числе которых преобладают выбросы автотранспорта. Результаты показывают, что в условиях загрязнения наблюдается снижение синтеза хлорофилла, что отражает адаптацию растений к негативным экологическим последствиям.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, биоиндикация, фотоколориметрия, хлорофилл, фенольные соединения, интерполяция.

ASSESSMENT OF THE STATE OF THE ATMOSPHERIC GROUND LAYER OF THE LEFT BANK OF VORONEZH BASED ON LABORATORY DIAGNOSTICS OF CHLOROPHYLL CONTENT AND ACCUMULATION OF PHENOLIC COMPOUNDS IN ITALIAN POPLAR LEAF TISSUES (*POPULUS ITALICA*) AND DATA INTERPOLATION USING GIS

I. P. Slostina, E. Y. Ivanova

*Voronezh State University, University sq., 1, 394018, Voronezh, Russia,
ivanova.vsu@gmail.com*

The article considers the problem of pollution of the ground layer of atmospheric air in the city of Voronezh, whose population is one million people. The main attention is paid to the influence of automobile exhausts on the quality of atmospheric air, with an emphasis on the leaves of the Italian poplar (*Populus italica*), as an object of bioindication. The aim of the work was to assess the degree of air pollution on the Left Bank of Voronezh using various

methods, including photocolorimetric determination of chlorophyll content. The study identifies the main sources of pollution, including the predominant emissions of motor vehicles. The results show that under polluted conditions, a decrease in chlorophyll synthesis is observed, which reflects the adaptation of plants to negative environmental consequences.

Keywords: air pollution, bioindication, photocolorimetry, chlorophyll, phenolic compounds, interpolation.

Актуальность проблемы заключается в том, что экология города Воронеж, с населением более миллиона человек, характеризуется различными загрязнителями, в том числе химическими, образуемыми, в основном, выхлопными автомобильными газами.

Объектом исследования являются листья тополя итальянского (*Populus italica*).

Целью данной работы является оценка степени загрязнённости атмосферного воздуха Левобережья Воронежа методами биоиндикации.

Задачи исследования:

1. Изучить основные источники загрязнения воздушной среды стационарными и передвижными источниками выбросов.
2. Рассмотреть основные геоэкологические проблемы региона.
3. С помощью различных методов оценить состояние атмосферного воздуха Левобережья города Воронеж.
4. Проанализировать полученные результаты и сделать вывод о состоянии атмосферы.

В структуре загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от организованных источников: к 1 классу опасности относятся 5 % веществ; ко 2 классу 14 % веществ; к 3 классу 23 % веществ; к 4 классу 12 % веществ; веществ, для которых приняты ОБУВ 46 % [3].

Основной вклад в загрязнение воздушного бассейна по общей эмиссии загрязняющих веществ вносят выбросы от автотранспорта (более 88 %). Примерно 11 % загрязнения атмосферного воздуха областного центра вызваны стационарными источниками, такими как: теплоэнергетика (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2), химическая промышленность (АО «Воронежсинтезкаучук», ЗАО «Воронежский шинный завод») и коммунальное хозяйство (ОО «РВКВоронеж», ОО «Левобережные очистные сооружения»), а также машиностроение и оборудование (АО «Воронежское акционерное самолётостроительное общество», АО «Воронежский механический завод») [3].

В ходе выполнения данной работы были определены 13 базовых точек отбора материала вдоль Ленинского проспекта и одна фоновая точка – территория между Ботаническим садом и парком «Динамо». В работе

использовалось 2 метода оценки: фотоколориметрическое определение содержания хлорофилла и содержание фенольных соединений [4].

Провели оценку состояния приземного слоя атмосферы по содержанию хлорофилла в листьях. В условиях загрязнения синтез хлорофилла снижается, поскольку часть энергии растения расходуют на адаптацию к загрязнению и нейтрализацию его последствий (табл. 1).

Содержание хлорофилла значительно снижено в начальных точках, которые отобраны в зоне расположения ТЭЦ -1, завода «Синтезкаучук» и Объединения «Сибур».

Таблица 1

Результаты измерений содержания хлорофилла в листьях

Номер точки отбора пробы	Показания ФЭКа (среднее)	Количество хлорофилла по калибровочной кривой, мг/50 мл	Содержание хлорофилла в листьях	
			мг/л	%
№1	0,005	2,271	0,114	5,68
№2	0,004	1,968	0,098	4,92
№3	0,004	1,665	0,083	4,16
№4	0,011	4,847	0,242	12,12
№5	0,010	4,544	0,227	11,36
№6	0,014	6,211	0,311	15,53
№7	0,020	8,938	0,447	22,35
№8	0,016	7,120	0,356	17,80
№9	0,022	9,999	0,500	25,00
№10	0,020	9,241	0,462	23,10
№11	0,018	8,029	0,401	20,07
№12	0,022	10,150	0,508	25,38
№13	0,021	9,696	0,485	24,24
№14	0,079	35,908	1,795	89,77

Затем мы провели оценку содержания фенольных соединений в тканях листьев. Эти вещества накапливаются в условиях повышенного загрязнения среды и входят в механизмы адаптации растений (табл. 2).

Таблица 2

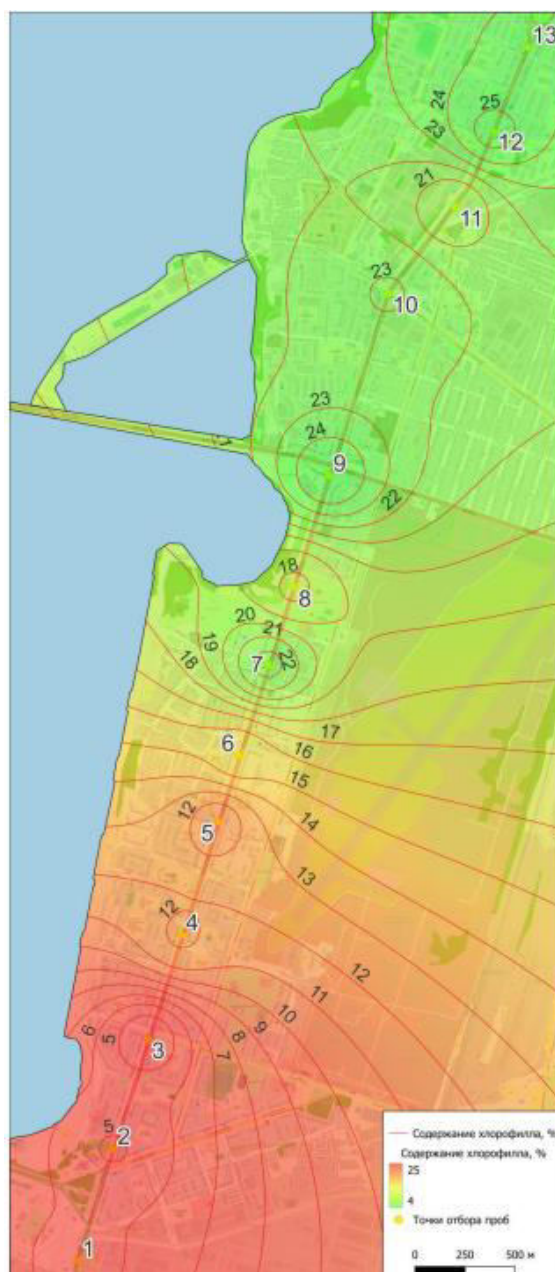
Результаты содержания фенольных соединений в листьях

Номер точки отбора пробы	Навеска, г	Расход 0,1н КМnO ₄ на титрование, мл	Фенольные соединения, мг
№1	2	0,2	0,832
№2	2	0,2	0,832
№3	2	0,3	1,248
№4	2	0,3	1,248
№5	2	0,4	1,664
№6	2	0,3	1,248
№7	2	0,2	0,832
№8	2	0,3	1,248
№9	2	0,3	1,248
№10	2	0,2	0,832
№11	2	0,2	0,832
№12	2	0,3	1,248
№13	2	0,2	0,832
№14	2	0,4	1,664

Высокое содержание фенольных соединений зафиксировано в 8 точках отбора проб из 14. Это свидетельствует о высокой антропогенной нагрузке, которая обусловлена, не только выбросами предприятий, но и транспортной нагрузкой на Ленинском проспекте, где очень велика интенсивность движения транспорта.

Для большей наглядности результатов измерений на базе картографической программы QGIS была создана карта распределения содержания хлорофилла в листьях. Она демонстрирует интерполяцию полученных данных методом обратно-взвешенного расстояния (ОВР).

По результатам всех проведенных исследований можно отметить, что вклад в загрязнение атмосферы Левобережья города Воронеж вносят ряд автомагистралей, котельных и промышленных предприятий. Следствием деятельности этих объектов является загрязнение атмосферного воздуха большим количеством разнообразных газообразных и конденсированных продуктов, таких как: оксиды углерода, азота и серы, формальдегид, бензапирен, фенол и другие.



Карта распределения содержания хлорофилла в листьях

Библиографические ссылки

1. Мелехова О. П., Егорова Е. И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. Москва : Академия, 2007. 288 с.
2. Николаевский В. С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск : Наука, Сибирское отделение, 1979. 190 с.
3. Оценка и геоинформационное картографирование медикоэкологической ситуации на территории города Воронежа : сборник научных статей / под общ. ред. С. А. Куролапа и О. В. Клепикова. Воронеж : Цифровая полиграфия, 2019. 219 с.
4. Фёдорова А. И., Никольская А. Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды : учеб. пособие. Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 1997. 305 с.

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ИНДЕКС EVI ДУБРАВ ВЕРХНЕГО ПООСКОЛЬЯ В 2000-2022 ГГ. И ВЛИЯНИЕ НА НЕГО ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЛЕБЕДИНСКОГО ГОКА

П. А. Украинский^{1,2)}

¹⁾Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, 308015, г. Белгород, Россия, pa.ukrainski@gmail.com

²⁾ФГБУ «Государственный заповедник «Белогорье», пер. Монастырский, 3,
309342, пос. Борисовка, Белгородская область, Россия

Для правобережной части верхнего Поосколья по снимкам Sentinel-2 выполнено картографирование дубрав. Для каждой дубравы на основе продукта MOD13Q1 рассчитан средний вегетационный индекс EVI за 2000-2022 год. С помощью непараметрического ковариационного анализа исследовано влияние удаленности от Лебединского ГОКа на значения EVI. Это влияние оказалось статистически значимым, но он объясняет только 19 % дисперсии EVI.

Ключевые слова: дубравы; Поосколье; Лебединский ГОК; EVI; MODIS.

VEGETATION INDEX EVI OF OAK FORESTS IN THE UPPER OSKOL BASIN IN 2000-2022 AND IMPACT OF LEBEDINSKY MINING AND BENEFICIATION PLANT

P. A. Ukrainskiy^{1,2)}

¹⁾Belgorod State National Research University,
Pobedy st., 85, 308015, Belgorod, Russia, pa.ukrainski@gmail.com

²⁾State Nature Reserve «Belogorye», Monastyrskiy lane, 3,
309342, Borisovka, Belgorod region, Russia

For the right-bank part of the upper Pooskol'e, oak forests were mapped using Sentinel-2 images. For each oak forest, the average vegetation index EVI for 2000–2022 was calculated based on the MOD13Q1 product. The effect of distance from the Lebedinsky mining and beneficiation plant on EVI values was studied using nonparametric covariance analysis. This effect turned out to be statistically significant, but it explains only 19 % of the EVI variance.

Keywords: oak forests; Pooskol'e; Lebedinsky mining and beneficiation plant; EVI; MODIS.

Поосколье – это территория бассейна реки Оскол. Этот регион расположен в лесостепной зоне и является частью Среднерусской Лесостепной физикогеографической провинции [1]. Данное исследование посвящено правобережной части верхнего Поосколья. С севера граница исследуемой

территории проходит по руслу Оскольца. С востока она ограничена руслом Оскола, с юга — водоразделом между бассейнами Халани и Холка (правые притоки Оскола). На западе границу исследуемой территории образует сначала (в южной части) водораздел Оскола и Северского Донца, а затем (в северной части) — водораздел Оскола и Сейма.

Большая часть территории правобережного верхнего Поосколья занята пашней. Естественная степная растительность сохранилась в овражно-балочной сети и поймах рек. Естественная древесная растительность представлена в основном остатками широколиственных лесов, в основном дубрав. В поймах рек встречаются мелколиственные леса — ольшаники и ивняки.

Исследуемая территория находится в зоне влияния Старооскольско-Губкинского железорудного комплекса. Границы исследуемой территории были выбраны так, чтобы основным влияющим предприятием выступал Лебединский ГОК. Он влияет в первую очередь через перенос пыли от хвостохранилищ. Кроме того загрязнения могут попадать в воздух в результате взрывных работ в карьерах и в процессе обогащения руды.

В нашей работе в качестве объекта исследования выбраны широколиственные леса, которые представлены различными дубравами — байрачными, склоновыми и приводораздельными [2]. Была поставлена задача проверить наличие влияния Лебединского ГОКа на состояние этих лесов. Единицей, для которой производится оценка влияния загрязнений, является отдельный лесной массив. Оценка состояния лесов производилась на основе вегетационного индекса EVI, рассчитываемого по данным дистанционного зондирования.

Сведения о расположении лесов были получены на основе дешифрирования космического снимка со спутника Sentinel-2, снятого 24 августа 2022 года (тайлы 37UDS и 37UCS). По этому снимку в программе ArcGIS 10.5 были отвекторизованы все широколиственные леса. После завершения векторизации была вычислена площадь лесов и для дальнейшей работы были отобраны леса крупнее 25 га. Такое ограничение по площади связано с пространственным разрешением используемых в дальнейшей работе продуктов MODIS. Всего для изучения были отобраны 104 массива широколиственных лесов с площадью от 26 до 978 га. Средняя площадь лесного массива на исследуемой территории равна 108 га.

Для изучения влияния загрязнений от добычи и обогащения железной руды на состояние лесов все лесные массивы были разделены на три группы по зонам удаленности от Старооскольско-Губкинского железорудного узла. Расстояние отсчитывалось от центра промышленной площадки Лебединского ГОКа, которая расположена приблизительно в центре всего Старооскольско-Губкинского железорудного узла. Ближняя

зона удаленности соответствует расстоянию до 20 км, средняя зона удаленности – 20–30 км, дальняя зона удаленности – больше 30 км. Если лесной массив пересекался изолинией удаленности равной 20 или 30 км, то такой лесной массив причислялся к той зоне удаленности, где находится большая по площади его часть. В ближнюю зону удаленности попали 40 лесов, в среднюю зону удаленности – 38 лесов, в дальнюю зону удаленности – 26 лесов.

Помимо удаленности от источника загрязнений леса были разделены также по ветровой экспозиции относительно источника загрязнения. Выделены две группы – наветренные леса и подветренные леса. Принадлежность лесов к этим двум группам определялась по положению лесов на местных мезосклонах, тянущихся от водоразделов к руслам притоков Оскола. Эти притоки текут с запада на восток. Соответственно в их бассейнах южный мезосклон является наветренным по отношению к источнику загрязнения, и леса, произрастающие на нем, относятся к группе наветренных лесов. Северный же мезосклон является подветренным, и леса, произрастающие на нем, относятся к группе подветренных лесов. Исключением является только бассейн Чуфички. Он расположен непосредственно к востоку от Старооскольско-Губкинского железорудного узла. Поэтому там и северный и южный мезосклоны бассейна являются наветренными. Всего в группе наветренных оказалось 62 леса, а в группе подветренных – 42 леса.

В этой работе использовались готовые растры EVI, поставляемые в составе продукта MOD13Q1 [3]. Они представляют собой 16-дневный композит, т. е. максимальные значения EVI за 16 дней. Пространственное разрешение данных MOD13Q1 составляет 250 м/пиксель. Использовались данные EVI за первую половину июля. На эту часть года приходится максимальное развитие зеленой фитомассы в широколиственных лесах лесостепи Среднерусской возвышенности. Анализировались данные EVI за 23 года, начиная с 2000 и заканчивая 2022 годом. С помощью инструмента зональной статистики в ArcGIS из растров EVI были извлечены средние значения по каждому лесу за каждый год. Затем для каждого леса были рассчитаны средние значения за все 23 года.

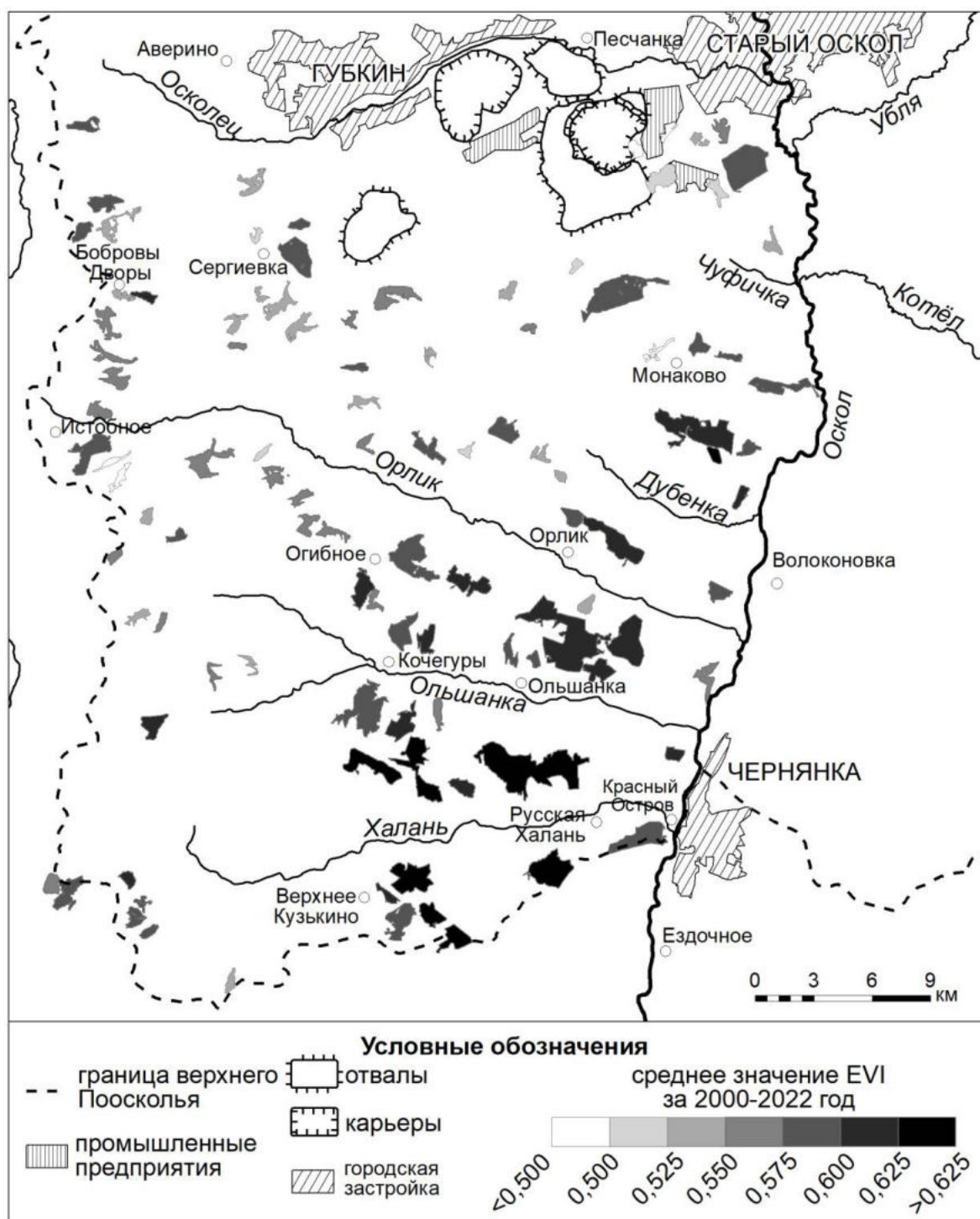
При анализе состояния лесов помимо удаленности от источника загрязнения учитывались факторы связанные с фрагментацией ландшафтов (площадь и компактность лесного массива). Включение этих факторов в анализ связано с особенностями лесов на исследуемой территории и их развитием в историческом прошлом. Изначально большую часть лесопокрываемой площади на исследуемой территории занимал крупный лесной массив, протягивающийся вдоль правого берега Оскола. В ходе хозяйствен-

ного освоения территории значительная часть лесов была сведена, а оставшиеся были сильно фрагментированы [4]. Во фрагментированных лесах проявляются «островные» и опушечные (краевые) эффекты, которые имеют негативное влияние на состояние части компонентов лесной экосистемы. Соответственно, чем меньше площадь леса и более сложную форму он имеет, тем сильнее проявляются последствия фрагментации ландшафта (Murcia, 1995). В качестве меры сложности формы лесного массива был использован индекс фрактальной размерности (FRAC). Он был рассчитан для каждого леса на основе векторного слоя лесов в программе VecLI [5].

Распределение в пространстве средних июльских значений EVI отдельных лесов показано на рисунке. Нами выделено семь градаций EVI. Граница между градациями проведена через 0,025. Видно, что каждая из зон удаленности от Старооскольско-Губкинского железорудного узла неоднородна по величине среднего июльского EVI лесных массивов. В ближней зоне удаленности присутствуют леса с EVI всех семи градаций. В средней зоне удаленности наблюдается шесть градаций (отсутствуют леса с самой высокой градацией). В дальней зоне удаленности наблюдается уже только пять градаций (нет лесов с EVI двух самых низких градаций). По мере удаления от Старооскольско-Губкинского железорудного узла доля лесных массивов с высокой градацией EVI увеличивается.

В ближней зоне удаленности две самых низких градации среднего июльского EVI отмечаются у лесов, непосредственно граничащих с промышленной зоной. А две самых высоких градации отмечаются у лесов, расположенных на периферии ближней зоны удаленности. Большая часть лесов здесь имеет значения EVI, относящиеся к третьей и четвертой градации. Обращают на себя внимание относительно немногочисленные леса с пятой градацией EVI, которые распределены по всей ближней зоне удаленности. Это леса с наибольшей площадью в этой зоне удаленности, а также с наиболее компактной формой. Такие особенности этих лесов делают их более устойчивыми к влиянию загрязнений от горнодобывающих предприятий.

В средней зоне удаленности четко различаются ее западная и восточная половина. В западной половине преобладают леса с EVI четвертой градации. А в восточной половине преобладают леса с более высоким EVI (пятая и шестая градации). Леса с более высоким EVI в средней зоне удаленности – это леса с более крупной площадью и более компактной формой.



Средние июльские значения EVI лесов за 2000–2022 годы

В дальней зоне удаленности в большом количестве встречаются леса с максимальной (седьмой) градацией EVI. Это крупные по площади леса. Но они сопоставимы по размеру с лесами из средней зоны удаленности. Поэтому в высокое значение EVI для них существенный вклад вносит не

только размер, но и расстояние от Старооскольско-Губкинского железорудного узла.

Статистическая обработка собранных данных была выполнена в среде для статистических вычислений R 4.1.0 [6]. Использовались функции дополнительного пакета *vegan* [7]. С их помощью был выполнен непараметрического ковариационный анализ (NP MANCOVA) [8]. В анализе использовались четыре переменные — два качественных фактора (зона удаленности и ветровая экспозиция) и две ковариаты (площадь леса и индекс фрактальной размерности). Влияние всех рассмотренных переменных оказалось статистически значимым ($p < 0,05$). Наиболее сильное влияние на среднюю величину июльского EVI показала принадлежность к зоне удаленности от Старооскольско-Губкинского железорудного узла (см. таблицу). На ее долю приходится 19 % объясняемой дисперсии EVI. Следующими по степени влияния оказались площадь леса и индекс фрактальной размерности. На каждую из этих двух ковариат приходится по 11 % объясняемой дисперсии. Наименьшее влияние показала ветровая экспозиция, с которой связано 6 % объясняемой дисперсии EVI. Все возможные взаимодействия между переменными оказались статистически незначимыми.

Результаты непараметрического ковариационного анализа (NP ANCOVA)

Переменная	df	Сумма квадратов	Средний квадрат	псевдо-F	R ²	p-значения
Зона удаленности	2	2860798,00	1430399,00	17,67	0,19	0,0001
Ветровая экспозиция	1	880440,00	880440,00	10,89	0,06	0,002
Площадь леса	1	1701929,00	1701929,00	21,04	0,11	0,0001
FRAC	1	1662822,00	1662822,00	20,56	0,11	0,0001
Остатки	98	7925839,00	80876,00	—	0,53	—
Всего	103	15031829,00	—	—	1,00	—

Вся совокупность рассмотренных переменных описывает 47 % дисперсии среднего июльского EVI, в том числе 25 % дисперсии описывают две переменные непосредственно связанные с влиянием Старооскольско-Губкинского железорудного узла.

В целом можно сделать вывод, что влияние загрязнений от добычи и обогащения железной руды оказывают заметное, но не самое сильное влияние на состояние лесов на исследуемой территории. На долю влияния факторов, неучтенных в этом исследовании, приходится 53 % дисперсии

среднего июльского EVI. К таким факторам относятся локальные особенности лесов и мест их произрастания. Это возраст и породный состав лесов, рельеф и связанное с ним перераспределение тепла и влаги, почвы и почвоподстилающие породы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2023-0011.

Библиографические ссылки

1. Поосколье / В. И. Федотов [и др.]. Под ред. Ф. Н. Милькова. Воронеж : Воронежский государственный университет, 1980. 188 с.
2. Михно В. Б. Ландшафтный аспект произрастания, дифференциации и структурной организации дубрав среднерусской лесостепи // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2014. № 1. С. 9–17.
3. Didan K. MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V061 [Electronic resource]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center, 2021. URL: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v061/> (date of access: 06.12.2024).
4. Мельник А. А. Трансформация ландшафтов Верхнего Поосколья в историческое время // Региональные ландшафтные исследования: научные записки кафедры физической географии и оптимизации ландшафта Воронежского государственного университета. Воронеж : Истоки, 2018. Вып. 2. 2018. С. 63–66.
5. VecLI: A framework for calculating vector landscape indices considering landscape fragmentation / Y. Yao [et al.] // Environmental Modelling & Software. 2022. Vol. 149. P. 105325.
6. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [Electronic resource]. Vienna, Austria : R Foundation for Statistical Computing, 2021. URL: <https://www.R-project.org/> (date of access: 06.12.2024).
7. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.6-4 [Electronic resource] / J. Oksanen [et al.]. 2022. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan> (date of access: 06.12.2024).
8. Anderson M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance // Austral Ecology. 2001. Vol. 26, № 1. P. 32–46.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В СОЛИГОРСКОМ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ

Ч. Цзян, А. Н. Червань

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, email: sweeneij@gmail.com*

В данной работе было исследовано влияние горнодобывающей деятельности на окружающую среду площадью 8100 км² с помощью четырех вегетационных индексов. Объект исследования – Солигорский калийный горный район Минской области. Установлено, что среди девяти регионов вегетативные индексы региона Е, где расположен рудник, имеют самое низкое значение, в регионе G – самое высокое значение всех индексов, а регионы H и I имеют тенденцию к снижению по сравнению с индексами в регионе G, что связано с местным направлением ветра и большим количеством лесов на поверхности.

Ключевые слова: индекс растительности; горнодобывающая промышленность; Солигорск.

STUDY OF THE IMPACT OF MINING OPERATIONS ON THE ENVIRONMENT IN THE SOLIGORSK MINING DISTRICT

Ch. Jiang, A. N. Chervan

*Belarusian State University, 4, Nezalezhnosti Ave., 2203030, Belarus,
e-mail: sweeneij@gmail.com*

In this paper the impact of mining activities on the environment of an area of 8100 km² was investigated using four vegetation indexes. The object of the study is the Soligorsk potash mining district of Minsk region. It was found that among nine regions vegetation indices of region E, where the mine is located, have the lowest value, region G has the highest value of all indices, and regions H and I tend to decrease compared to the indices in region G, which is due to the local wind direction and a large number of forests on the surface.

Keywords: vegetation index; mining; Soligorsk.

Калийная промышленность является основой белорусской экономики, а Белорусская калийная корпорация «Беларуськалий» – одним из крупнейших мировых производителей калийных удобрений с годовым объемом производства 11,71 млн тонн в 2022 году, что составляет 17 % от общего мирового производства калийных удобрений и занимает 3 место в мире (USGS), и планами по увеличению производства до 15,9 млн тонн в 2025 году. По состоянию на 2015 год на долю предприятия приходилось 11 % налоговых поступлений

Минской области [1]. Устойчивая эксплуатация минеральных ресурсов имеет значительное влияние, в Китае также существует проблема ущерба окружающей среде, вызванного развитием горнодобывающей промышленности, поэтому более значимым является изучение влияния горнодобывающей промышленности на окружающую среду. В качестве центра в исследуемой области был взят Солигорский горнодобывающий район. Кроме того, в область исследования вошли прилегающие к нему участки территории протяженностью 30 км в каждую сторону, названные соответственно районами А-І, как показано на рисунке 1 ниже.

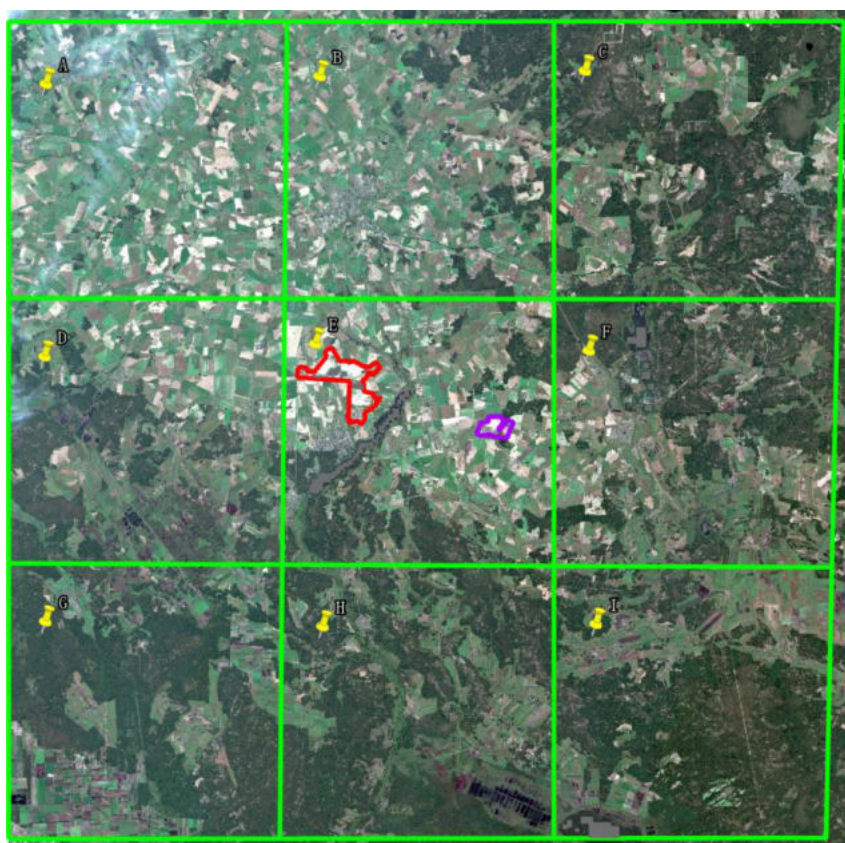


Рис. 1. Деление территории исследования

Для сравнения разницы каждого индекса между горнодобывающим районом Е и восемью окружающими районами, а также для оценки влияния горнодобывающей деятельности на окружающую среду были выбраны четыре общепринятых индекса растительности: NDVI, GNDVI (Зеленый нормализованный индекс растительности), SAVI, GCI (Индекс зеленого хлорофилла). Формулы и информация приведены в таблице ниже, где: NIR – отражение в ближнем инфракрасном диапазоне, Red – отражение в красном диапазоне, Blue – отражение в синем диапазоне, Green – отражение в зеленом диапазоне.

Индекс растительности и формула

Индекс	Формулы	Цитирование
GCI	$GCI = \frac{NIR}{Green} - 1$	Anatoly A. Gitelson et al. 2003 [2]
GNDVI	$GNDVI = \frac{NIR - Green}{NIR + Green}$	Li Fenling et al. 2015 [3]
NDVI	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	Wang Zhengxing et al. 2003 [4]
SAVI	$SAVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} \times (1 + L) \quad L = 0.5$	Guo Yuchuan et al. 2011 [5]

Климатическая информация по Солигорскому горнопромышленному району была получена с сайта Climatic Data [6], вегетационный период в Солигорском районе в целом длится 5,6 месяца (170 дней) с 22 апреля по 9 октября. Одиннадцать наборов изображений снимков дистанционного зондирования Sentinel-2A с 19 марта 2023 г. по 30 сентября 2023 г. с разрешением 10 м были загружены с сайта Европейского космического агентства Copernicus (<https://www.copernicus.eu/en>). Индексы растительности были обработаны для получения данных об индексах растительности девяти исследуемых районов и усреднены для получения вариации индексов данных исследуемых районов в различные месяцы, исключая изображения дистанционного зондирования, которые были сняты в более облачную погоду, как показано на рисунке 2 ниже.

Анализ рисунка 2 показывает, что:

1. Индексы растительности NDVI и GNDVI демонстрируют практически одинаковую тенденцию из месяца в месяц, без существенных изменений в районах А, В, С и D. В районе Е, где расположены два калийных рудника, наблюдается значительное снижение индексов растительности NDVI и GNDVI. Анализ снимка дистанционного зондирования, сделанного 19 марта, то есть ранней весной, показал, что в районах А, В и Е в основном находятся возделанные поля или городские районы. Примерно половина территории в области D – это возделанные поля, а другая половина – леса, причем возделанные поля в это время еще не проросли и находятся в состоянии голой почвы, поэтому индекс растительности в этих районах ниже.

2. Индекс растительности SAVI имеет четкую впадину в районе Е и в районе С. Это связано с тем, что индекс SAVI более чувствителен к голой почве и имеет низкое значение в данных условиях. Отметим, что в регионе С голой почвы больше, чем в других регионах.

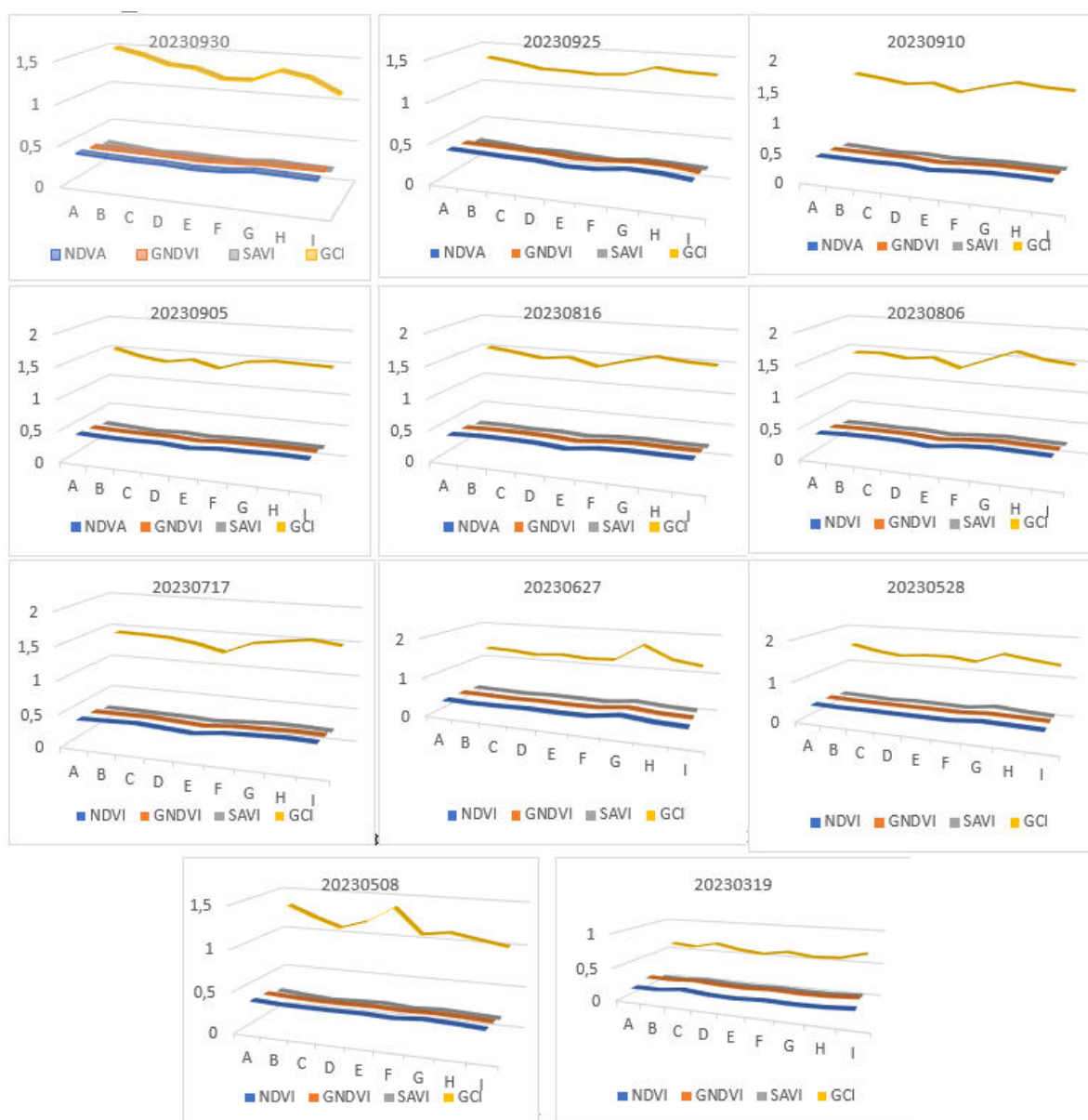


Рис. 2. Изменения индексов в девяти регионах исследования А-І в разные месяцы

3. NDVI, GNDVI и SAVI – это натурализованные индексы с диапазоном значений $[-1, 1]$, которые демонстрируют довольно схожие тенденции на изображениях. GCI (Green Chlorophyll Index) – это хлорофилловый индекс растительности, который обычно не имеет фиксированных верхних и нижних границ, поскольку он основан на расчете коэффициента отражения, и его значение зависит от состояния растительности, содержания хлорофилла и коррекции данных изображения. Однако значение индекса GCI для большинства здоровой растительности обычно выше 0 и может варьироваться до нескольких десятков. Поэтому значения индекса GCI явно отличаются от трех других индексов.

Анализ данных одного и того же вегетационного индекса в разное время представлен на рисунке 3 ниже, из которого видно, что:

1. В центральной части горнодобывающего района Е все вегетационные индексы показывают значительное снижение. Тенденция изменения значений различных индексов в одно и то же время в основном одинакова.

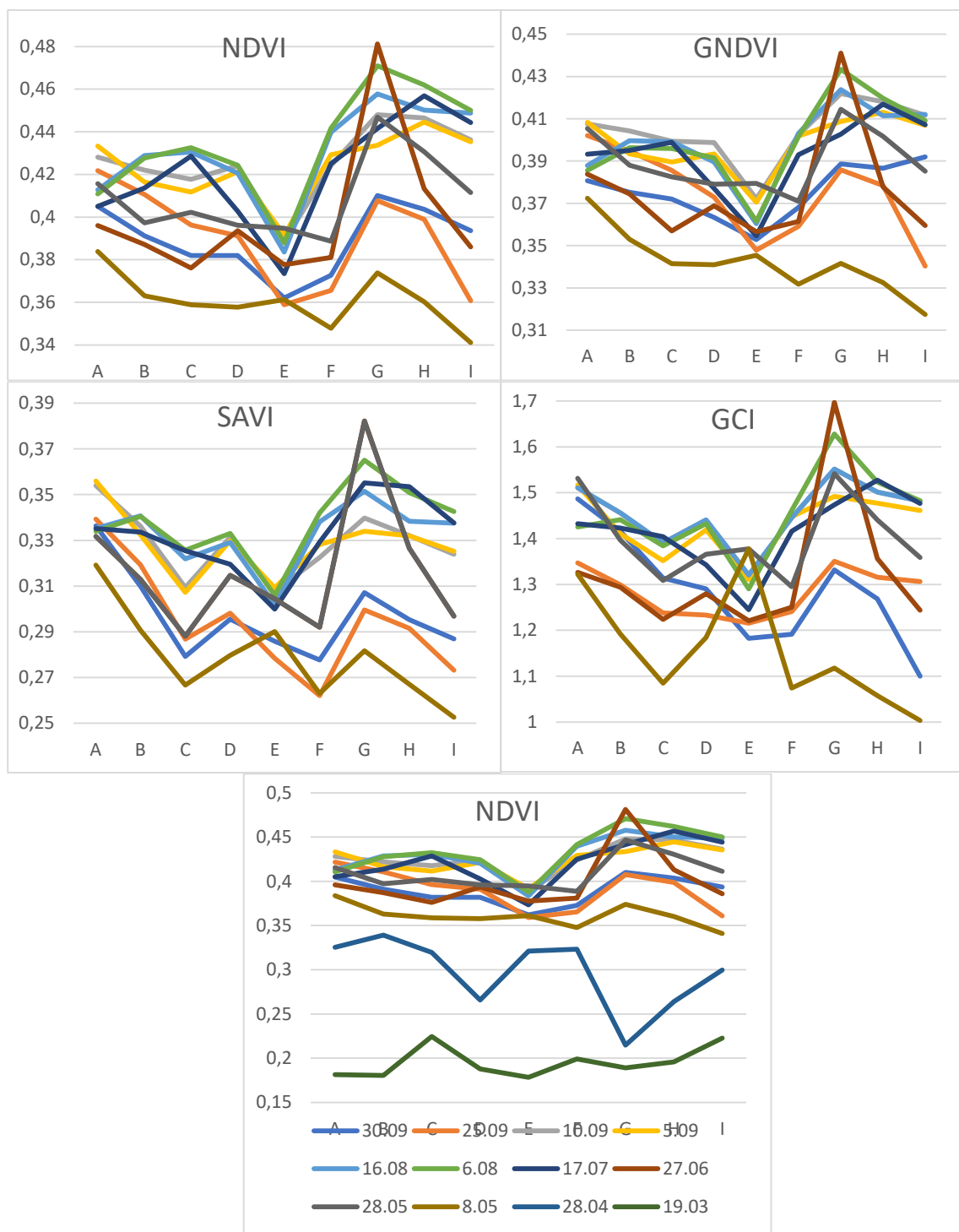


Рис. 3. Изменение вегетационного индекса по временным рядам на исследуемой территории А-І

2. Область G – это область с самым высоким значением каждого индекса, и визуально видно, что в области G больше лесов, чем в других областях.

3. В регионе H и регионе I наблюдается значительное снижение различных индексов по сравнению с регионом G. Регионы H и I имеют самые высокие значения различных индексов. По визуальной интерпретации в этих трех регионах также больше лесов, но в регионе G меньше болот, чем в регионах H и I. Влияние водных объектов на индекс растительности будет отражено в более низких значениях.

4. В регионе F более низкий индекс NDVI наблюдается 25 и 30 сентября, в это же время отмечается самый низкий индекс SAVI, а также более низкие значения индекса GCI.

5. После изучения данных климатического сайта, было установлено, что в Солигорском районе 37% потоков ветра приходит с юга, 32% – с севера и 38% – с запада. Таким образом, можно заключить, что на более низкий индекс растительности в регионе F и регионе I влияет ветер, а твердые отходы шахты, пыль и жидкие отходы оказывают большее влияние на восточную и юго-восточную стороны шахты.

6. Вегетационный индекс в целом показывает общий рост растительности, что более очевидно отражено на пятом графике. Данные 19 марта отражают ситуацию в ранний весенний период, во время которого культуры еще не проросли, поэтому индекс вегетации низкий. Однако 28 апреля индекс NDVI продолжает расти. Затем до 8 мая темпы роста начинают замедляться, но в целом по-прежнему наблюдается тенденция роста, что согласуется с информацией о физическом климате Солигорского района.

Для дальнейшего анализа влияния индекса растительности на различные элементы поверхности приведенные элементы поверхности были классифицированы на восемь частей, а именно: населенные пункты, кустарники, леса, луга, озера и реки, рощи, сельскохозяйственные земли и сады. В соответствии с классификацией элементов поверхности была подсчитана процентная доля пикселей каждого элемента на исследуемой территории Солигорска, статистика представлена ниже на рис. 4.

Анализ рисунка показывает, что в 30-километровой зоне, центром которой является Солигорский рудник, 82,29% площади района A в левом верхнем углу рудника составляют пашни, 1,24% – сады, подавляющее большинство – земли для сельскохозяйственных культур, и только 2,75% – леса, поэтому индекс растительности на площади A определяется в основном сельскохозяйственными культурами.



Рис. 4. Процентное соотношение элементов поверхности в различных районах исследования

В регионах В, D и E соотношение элементов поверхности схожее: почти 3/4 площади занимают сельскохозяйственные культуры, а 12,2–23,42 % – леса. В регионах С, G, H и I доля лесов и другой естественной растительности составляет около 60 %, а пахотных земель – около 30 %. В регионе F около 50 % приходится на пахотные земли и 45 % – на естественную растительность. В результате исследования определено, что общая ситуация в исследованной области выглядит следующим образом: на северо-западе в основном преобладают пахотные земли, а на юго-востоке – около 50 % естественной растительности.

В качестве поля для будущих исследований планируется дальнейший анализ изменений различных вегетационных индексов в разных регионах для каждого элемента поверхности в разное время в соответствии с классифика-

цией элемента поверхности. При этом временным периодом могут быть изменения вегетационных индексов в разные месяцы данного года или изменения вегетационных индексов в одни и те же месяцы за последние десять лет.

Библиографические ссылки

1. *Zhang Y.* Endowment of Potash Resources and Analysis of Investment Environment in Belarus // *Northwest Geology*. 2022. Vol. 55, iss. 3. P. 306–317.
2. *Gitelson A. A., Gritz Y., Merzlyak M. N.* Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves // *Journal of Plant Physiology*. 2003. Vol. 160, iss. 3. P. 271–282.
3. Li Fenling, Wang Li, Liu Jing. Remote Sensing Estimation of SPAD Value for Wheat Leaf Based on GF-1 Data // *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2015. Vol. 46, iss. 9. P. 273–281. doi: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.09.040.
4. *Wang Zh., Liu Ch., Huete A.* Progress in Vegetation Index Research : From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI // *Acta Ecologica Sinica*. 2003. Vol. 23, iss. 5. P. 979–987.
5. *Guo Y., He Y., Li X.* Vegetation coverage inversion and vegetation index optimization in arid areas based on MODIS // *Remote Sensing of Land and Resources*. 2011. Vol. 2. P. 115–118.
6. Climatic Data [Electronic resource]. URL: <https://ru.weatherspark.com/y/95110> (date of access: 17.11.2024).

АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ СИНТЕЗА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ SENTINEL-2 ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В СРЕДЕ ГИС

Н. А. Шестаков

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, shastakou23@gmail.com*

В работе представлены результаты анализа информативности различных вариантов синтеза мультиспектральных спутниковых изображений Sentinel-2 (MSI) на примере 11 спектральных каналов (каналы 2–8А, 10–12) и их 24 комбинаций, применяемых при дешифрировании природных и антропогенных объектов. Подготовка и анализ спутниковых изображений осуществлялись в ENVI 5.6. По результатам сформирован набор синтезированных изображений для 4-х классов объектов.

Ключевые слова: данные ДЗЗ; анализ изображения; ГИС; мультиспектральные данные; Sentinel-2; спектральные каналы; спектральная отражательная способность; дешифрирование; природные объекты; антропогенные объекты.

ANALYSIS OF THE INFORMATIVITY OF SYNTHESIS VARIANTS OF SENTINEL-2 MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES TO THE INTERPRETATION OF THE NATURAL AND ANTHROPOGENIC OBJECTS IN GIS

N. A. Shestakov

*Belarusian State University, Niezaliežnasci Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, shastakou23@gmail.com*

The article presents the results of the analysis of the informativity of the various synthesis options of Sentinel-2 (MSI) multispectral satellite images on the example of 11 spectral bands (bands 2–8A, 10–12) and their 24 combinations used to the interpretation of the natural and anthropogenic objects. The set of synthesized images for four classes of objects was formed based on the results of the work.

Keywords: remote sensing data; image analysis; GIS; multispectral data; Sentinel-2; spectral bands; spectral reflectance; interpretation; natural objects; anthropogenic objects.

Введение. В современных аэрокосмических исследованиях Земли ведущее место занимают многозональные (мульти- и гиперспектральные) съёмки, принцип которых основан на одновременном фиксировании излучения объектов земной поверхности в различных участках электромагнитного спектра

и выявлении различий в их спектральной яркости. *Спектральная отражательная способность* является одной из главных характеристик объектов (дешифровочных признаков), непосредственно проявляющихся на данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), и выступает основой для их распознавания по материалам многозональных съёмок. Знание спектральных свойств исследуемых объектов даёт возможность правильно и эффективно применять аэрокосмические снимки для получения достоверных результатов дешифрирования и составления картографического материала [1–3].

Ход работы. Цель исследования состояла в анализе изобразительных и информативных свойств зональных и мультиспектральных снимков Sentinel-2 в различных вариантах синтеза изображения, применяемых при дешифрировании природных и антропогенных объектов.

Объект и территория исследования. Для выполнения анализа выбрана территория ландшафтного заказника «Озёры», расположенного в Гродненском и Щучинском районах Гродненской области (район Средненёманская низменность округа Понёманье Западно-Белорусской провинции).

В качестве объекта исследования выступали природные и антропогенные образования (объекты), представленные на территории заказника и объединённые в 4 общих класса: 1 класс – водные объекты; 2 класс – растительный покров: лесной покров (лесная и древесно-кустарниковая растительность) и травяной покров (луговая растительность, сельскохозяйственные культуры); 3 класс – почвенный покров и грунты; 4 класс – искусственные поверхности (дороги с искусственным покрытием, здания и сооружения).

Исходные данные ДЗЗ. В качестве исходных данных ДЗЗ были использованы мультиспектральные спутниковые данные, полученные с космического аппарата Sentinel-2A, оснащённого сенсором MultiSpectral Instrument (MSI) [4]. В работе использован снимок Sentinel-2A (MSI), полученный на территорию заказника 26.06.2023 г. (рисунок 1, таблица 1).



Рис. 1. Изображение территории ландшафтного заказника «Озёры» на снимке Sentinel-2A (MSI) за 26.06.2023 г. в синтезе каналов 4-3-2 (слева) и 8-4-3 (справа)

Таблица 1

Параметры мультиспектрального спутникового изображения Sentinel-2A (MSI)

Канал съёмки	$\lambda_{\text{центр}}$, $\mu\text{км}^*$	Спектральная зона	м/пиксель**
Band 1 (Coastal Aerosol)	0,443	сине-фиолетовая	60
Band 2 (Blue)	0,490	синяя	10
Band 3 (Green)	0,560	зелёная	10
Band 4 (Red)	0,665	красная	10
Band 5 (Vegetation Red Edge)	0,705	красная – ближняя ИК	20
Band 6 (Vegetation Red Edge)	0,740		20
Band 7 (Vegetation Red Edge)	0,783		20
Band 8 (NIR)	0,842	ближняя ИК	10
Band 8A (Vegetation Red Edge)	0,865	ближняя ИК	20
Band 10 (SWIR–Cirrus)	1,375	средняя ИК	60
Band 11 (SWIR)	1,610	средняя ИК	20
Band 12 (SWIR)	2,190	средняя ИК	20
Дата съёмки: 26.06.2023 г.			
Система координат, проекция: WGS-84, UTM (Zone 35N)			
* – спектральное разрешение; ** – пространственное разрешение			

Цифровая обработка космических снимков Sentinel-2 включала подготовку, синтез изображений, а также формирование набора синтезированных изображений и проводилась в программном комплексе ENVI (версия 5.6) [5].

Анализ изобразительных и информативных свойств снимков Sentinel-2 осуществлялся в разрезе 4-х классов объектов в два приёма:

1) дешифрирование объектов *по серии зональных снимков* – одноканальные ахроматические изображения, полученные в результате съёмки в 12 каналах (каналы 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8A, 10, 11, 12);

2) дешифрирование объектов *по цветным синтезированным изображениям* в «естественных» и «искусственных цветах» (24 варианта синтеза).

Выбор вариантов синтеза основывался на обзоре литературы, посвящённой вопросам дешифрирования и интерпретации объектов и явлений географической среды по материалам многозональных съёмок, а также анализе спектральных свойств объектов, относящихся к разным спектральным классам. В частности, в ряде источников [1–3] рассматриваются наиболее часто употребляемые варианты синтеза на примере мультиспектральных данных Landsat с более низким пространственным (15–30 м/пиксель) и спектральным (7–8 каналов) разрешением. Выполнение многозональных съёмок аппаратами Sentinel-2 сразу в 13 спектральных каналах позволяет создавать значительно больше вариантов синтеза изображений, что является преимуществом наряду с более высоким пространственным разрешением данных Sentinel-2 для отдельных каналов (10–20 м/пиксель) [6].

Результаты. В ходе анализа изобразительных и информативных свойств снимков Sentinel-2 по 4-м классам объектов были получены *наборы*

зональных (12 каналов) и синтезированных (24 комбинации каналов) изображений для каждого класса объекта с указанием названия каналов, условия синтеза цветных изображений, длины волны центра диапазона съёмки (в мкм), пространственного разрешения (в м/пиксель) и даты съёмки.

Для синтезируемых в программной среде ENVI спутниковых изображений применялись настройки параметров яркости (50–80 %) и контрастности («Linear 2 %») с целью повышения информативности снимков.

Фрагменты наборов зональных и синтезированных изображений Sentinel-2A для 4-х классов природных и антропогенных объектов приведены на рисунках 2 и 3–4 соответственно. Полные наборы зональных и синтезированных изображений Sentinel-2 доступны по ссылке: <https://drive.google.com/drive/folders/1NVsgj19KhNUdf6-KYEx-Xij5Gr9n7TvM>.

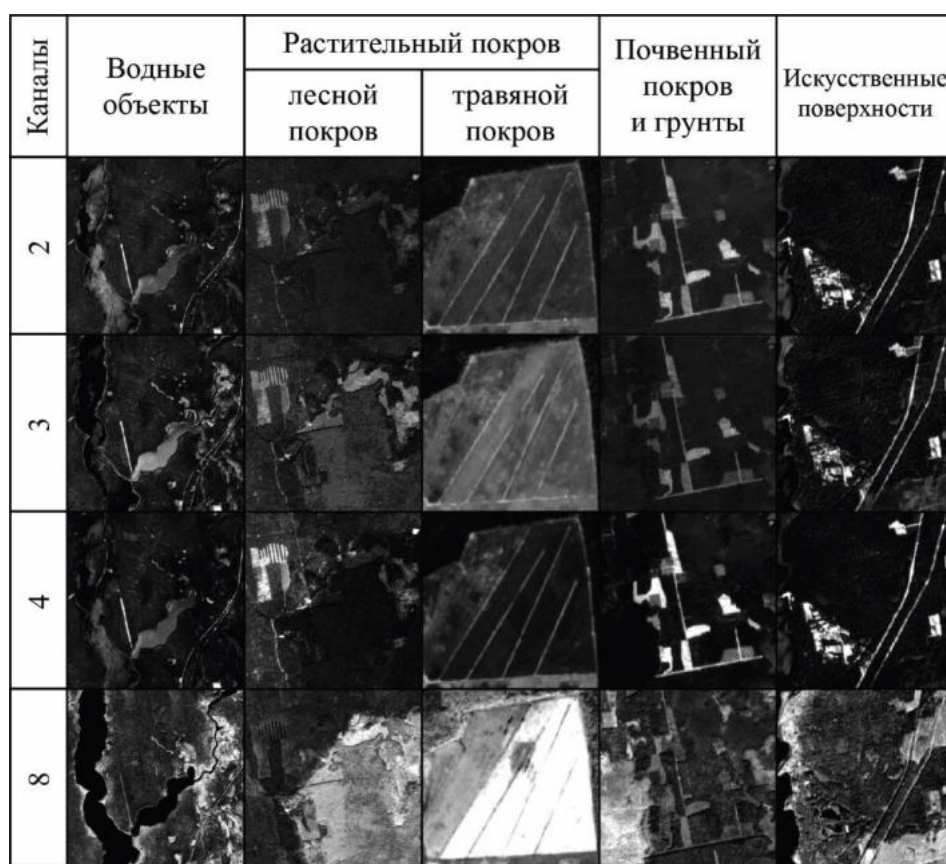


Рис. 2. Изображение основных классов природных и антропогенных объектов на зональных (одноканальных) снимках Sentinel-2A (MSI), 10 м/пиксель (фрагмент набора изображений).

Источники: [1–3, 6]

Каналы	Водные объекты	Растительный покров		Почвенный покров и грунты	Искусственные поверхности
		лесной покров	травяной покров		
4-3-2					
4-3-1					
5-6-2					
12-8-4					
12-11-2					
8-4-3					
11-4-2					

Рис. 3. Изображение основных классов природных и антропогенных объектов на мультиспектральных снимках Sentinel-2A (MSI) в различных вариантах синтеза спектральных каналов (фрагмент набора изображений, часть 1).

Источники: [1–3, 6]

Каналы	Водные объекты	Растительный покров		Почвенный покров и грунты	Искусственные поверхности
		лесной покров	травяной покров		
5-4-3					
8-4-8					
7-6-4					
7-6-5					
12-11-8A					
6-5-2					
7-5-3					
8-11-12					

Рис. 4. Изображение основных классов природных и антропогенных объектов на мультиспектральных снимках Sentinel-2A (MSI) в различных вариантах синтеза спектральных каналов (фрагмент набора изображений, часть 2).

Источники: [1–3, 6]

Дешифрирование объектов по серии зональных снимков. Анализ 12 зональных снимков Sentinel-2 позволил установить основные закономерности отображения объектов в различных зонах спектра, а также произвести оценку информативности отдельных спектральных каналов при распознавании объектов (таблица 2).

Таблица 2

**Оценка информативности спектральных каналов Sentinel-2
при дешифрировании природных и антропогенных объектов**

Классы и типы объектов	Спектральные каналы Sentinel-2											
	1	2	3	4	5	6	7	8	8A	10	11	12
1. Водные объекты												
береговая линия	×	×	×	×	×	+	+	+	+	+	+	×
батиметрия	×	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–
2. Растительный покров												
типы растительности	×	+	+	+	+	×	×	+	×	×	×	×
типы леса	–	–	×	+	–	+	+	+	+	×	×	×
лесные породы	–	–	–	×	–	–	–	+	×	–	–	–
лесные рубки	–	+	+	+	+	×	×	+	×	×	+	+
сельхозкультуры	–	–	×	×	×	+	+	+	+	×	×	×
3. Почвенный покров и грунты												
почвенные контуры	×	+	+	+	+	×	×	+	×	×	+	+
почвенные различия	–	+	+	+	+	×	×	×	–	–	+	+
грунтовые дороги	×	+	+	+	+	×	×	+	+	–	+	+
4. Искусственные поверхности												
дороги	×	+	+	+	×	–	–	×	–	–	×	×
застройка	×	+	+	+	×	–	–	–	–	–	×	×
«+» – объекты дешифрируются уверенно					10 м/пиксель (высокая детализация)							
«×					20 м/пиксель (средняя детализация)							
«–» – объекты не дешифрируются					60 м/пиксель (низкая детализация)							

Таким образом, определяющую роль при дешифрировании объектов помимо спектрального разрешения данных ДЗЗ играет также пространственное разрешение.

Дешифрирование объектов по цветным синтезированным изображениям. В результате анализа 24 вариантов синтезированных изображений Sentinel-2 выделены 6 групп схожих по преобладающим цветам комбинаций каналов и установлены основные закономерности отображения на снимке объектов в каждом варианте синтеза (таблица 3).

Таблица 3

**Возможности дешифрирования природных и антропогенных объектов
на мультиспектральных снимках Sentinel-2 в различных вариантах
синтеза спектральных каналов**

Каналы	Закономерности изображения объектов на синтезированном снимке
4-3-2 4-3-1	<i>«Естественные и близкие к естественным цвета».</i> Задействуются каналы видимого диапазона (1–4). Объекты земной поверхности выглядят похожими на то, как они воспринимаются человеческим глазом. Водные объекты выглядят синими, здоровая растительность – зелёной, убранные поля – светло-серыми и желтоватыми, почвы и грунты – коричневыми, искусственные поверхности (асфальт, бетон, крыши зданий) – серыми и иными цветами (красные, синие крыши – в зависимости от материала). Дешифрируются типы растительного покрова, но не всегда уверенно. Редколесья, заросшие рубки детектируются плохо. Слабо различаются мелководья и прибрежные пески, заросшие водоёмы сливаются с растительностью. На снимке в синтезе каналов 4-3-1 присутствует дымка (выгодно использовать при дешифрировании облаков, туманов, пожаров и задымлений, однако затрудняется дешифрирование основных объектов местности).
5-6-2 5-6-4 11-8-2 11-8-4 12-8-2 12-8-3 12-8-4 12-8A-4 12-11-2 12-11-4	<i>«Зелёные цвета».</i> Самая обширная по числу вариантов синтеза группа. Используются каналы в видимом, ближнем и среднем ИК-диапазонах (2–6, 8, 8A, 11, 12). Ряд комбинаций формирует практически идентичные изображения. Водные объекты изображаются ярко-синими – почти чёрными, а в вариантах синтеза 5-6-2 и 5-6-4 – сине-фиолетовыми и без труда распознаются (включая мелководья и заросшие участки). Береговая линия просматривается чётко. Здоровая растительность изображена ярко-зелёным (леса и кустарники) и салатовым (травяной покров) цветом. Уверено дешифрируются типы леса. Открытые почвы, рубки, следы лесных пожаров, дороги, здания и сооружения заметно выделяются на фоне растительности и водных объектов, изображаясь ярко-розовым, лиловым и сиреневым цветом (кроме вариантов синтеза 12-11-2 и 12-11-4).
8-4-3 11-4-2	<i>«Красные цвета».</i> Задействованы каналы видимого (2–4) и ИК-диапазонов (8, 11). Комбинация каналов 8-4-3 – «стандартные искусственные цвета». Насыщенные оттенки красного являются индикаторами здоровой растительности (лиственные леса), а более светлые оттенки красного характеризуют травянистую растительность или редколесья, кустарники. Хвойные леса имеют тёмно-красный, почти коричневый окрас. Открытые участки почв, дороги, застройка отображены в оттенках бирюзового и голубого. Заметно выделяются переувлажнённые почвы (тёмный тон изображения). Водные объекты – тёмно-синие, практически чёрные.
5-4-3 8-4-8	<i>«Фиолетовые цвета».</i> Используются каналы видимого диапазона (3–5) и ближнего ИК-диапазона (8). Растительность представлена в фиолетовых цветах. Водные объекты – зеленовато-синие – почти чёрные. Почвы, грунты и искусственные поверхности отображаются светлее. Комбинация каналов 8-4-8 основана на сочетании всего 2-х каналов – красного и ближнего ИК, используемых для расчёта вегетационного индекса NDVI. Почвенный покров, дороги, здания и сооружения выгодно выделяются за счёт контраста ярко-зелёного – салатового цветов на фоне фиолетового. Легко дешифрируются дороги, населённые пункты, вырубки, почвы.
7-6-4 7-6-5	<i>«Жёлтые и синие цвета».</i> Используются каналы видимого диапазона (4–7), ближнего (8A) и среднего (11, 12) ИК-диапазона. В комбинациях каналов 7-6-4 и 7-6-5 растительные покровы изображаются жёлтым (лиственный лес и кустарники, травяной покров) и жёлто-серым (хвойный лес) цветом. Водные объекты – насыщенным синим или чёрным цветом (7-6-5). Почвы и грунты, дороги, здания и сооружения выделяются на фоне растительности голубым и синим цветом.

Каналы	Закономерности изображения объектов на синтезированном снимке
12-11-8А	В варианте синтеза 12-11-8А наблюдается инверсия в распределении цветов на снимке: растительность отображается в синих цветах (голубой цвет – травяной покров, лиственные леса и кустарники, тёмно-синий – хвойные леса), водные объекты – в чёрном цвете (не дешифрируется батиметрия), почвы, грунты, дороги и населённые пункты – в оттенках жёлтого, жёлто-зелёного.
6-5-2 7-5-3 7-5-4 8-11-4 8-11-12	«Коричневые цвета». Задействуются каналы видимого диапазона (2–7), ближнего (8) и среднего (11, 12) ИК-диапазона. Водные объекты изображены ярко-синими – почти чёрными, а в комбинации каналов 8-11-12 – полностью чёрными. Травы, кустарники, лиственные леса – в светлых оттенках оранжевого, алого и персикового цветов. Хвойные леса – насыщенные тёмно-коричневые, тёмно-красные цвета. Грунты, почвы, искусственные поверхности выгодно выделяются на фоне растительности в оттенках голубого, синего, бирюзового, зелёного цветов. Хорошо заметны не заросшие рубки. Дифференцируются почвы.

Выводы. Анализ изобразительных и информативных свойств снимков Sentinel-2, проведённый по 4-м классам природных и антропогенных объектов, позволил установить основные закономерности воспроизведения объектов на зональных и синтезированных цветных изображениях:

1. *Водные объекты* дешифрируются увереннее прочих объектов ввиду наименьшей спектральной отражательной способности среди других классов объектов. При детектировании контуров водных объектов следует рассматривать каналы ближнего и среднего ИК-диапазона, а также зоны «красного края» (каналы 6–12). Информативны будут «контрастные» варианты синтеза (8-4-3, 12-8-4, 7-6-4, 12-11-8А, 8-11-12). Для дешифрирования батиметрии необходимо использовать зональные снимки в видимом диапазоне (каналы 2–4) и варианты синтеза, включающие эти каналы (4-3-1, 8-4-3, 11-4-2).

2. Дешифрирование *растительности* базируется на знаниях закономерностей взаимодействия растений с электромагнитным излучением в различных зонах спектра – минимумы отражения в синей (каналы 1, 2) и красной зонах (каналы 4), максимумы – в зелёной (канал 3) и ближней инфракрасной зонах (каналы 8, 8А). Использование зональных снимков позволяет уверенно дешифрировать типы растительности (каналы 2–8) и типы леса (3–4, 6–8А). Дешифрирование лесных пород и видов сельскохозяйственных культур необходимо проводить на основе зональных снимков в ИК-зоне (канал 8) и синтезированных снимков с наличием 8 канала в синтезе (8-4-3, например) с высоким пространственным разрешением. Лесные рубки (не заросшие) дешифрируются как почвы (каналы 2–4, синтез каналов 5-6-4, 12-8-4, 8-4-3, 6-5-2, 7-5-3).

3. Дешифрирование *почв и грунтов* основывается на использовании каналов в видимом, ближнем и среднем инфракрасном диапазонах (ка-

налы 2–5, 8, 11, 12) и вариантов синтеза в «искусственных цветах» («зелёные» (5-6-4, 12-8-4), «красные» (8-4-3), «коричневые цвета» (6-5-2, 7-5-3)), где почвенные контуры заметно выделяются на фоне растительности.

4. Для дешифрирования *дорожной сети, населённых пунктов, отдельных зданий и сооружений* применительны зональные снимки в каналах 2–4, где искусственные поверхности контрастируют с тёмным насыщенным изображением растительности и водных объектов, а также синтезированные снимки, используемые при дешифрировании почв и грунтов (8-4-3, 5-6-4, 8-4-8, 6-5-2 и др.).

Таким образом, использование мультиспектральных спутниковых данных Sentinel-2 обеспечивает эффективное выполнение задач топографического и тематического дешифрирования. Наличие съёмки сразу в 13 спектральных зонах оптического диапазона (видимый и инфракрасный) позволяет получать синтезированные изображения в различных вариантах синтеза (более 20), выгодно отображающих объекты местности и их отдельные свойства (характеристики) для дешифровщика. Применение специализированного программного ГИС-обеспечения является не только функциональным преимуществом, но и необходимым условием работы специалиста с современными данными ДЗЗ.

Библиографические ссылки

1. *Тоназ А. А., Давидович Ю. С.* Использование материалов многозональной съёмки в географических исследованиях: учеб.-метод. материалы по курсу «Методы дистанционных исследований» для студентов специальностей 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)». Минск : БГУ, 2022. 29 с.

2. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения : учеб. пособие / А. Н. Шихов [и др]. Пермь : ПГНИУ, 2020. 191 с.

3. Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM / ETM+ [Электронный ресурс]. 2024. URL: <https://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html> (дата обращения: 01.11.2024).

4. Sentinel-2 – Missions [Electronic resources]. 2024. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (date of access: 01.11.2024).

5. ENVI 5.1. Руководство пользователя. М. : Компания «Совзонд». 2014. 242 с.

6. Sentinel-2 Bands and Combinations [Electronic resources]. 2024. URL: <https://gis-geography.com/sentinel-2-bands-combinations/> (date of access: 01.11.2024).

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ГОРОДА МИНСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДЗЗ, АЭРОЗОЛЬНОГО ИНДЕКСА И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Т. В. Шлендер^{1,2)}, М. В. Бируков¹⁾ Е. А. Ярош¹⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет,

²⁾ Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: geo.kasushki@bsu.by

Рассмотрено загрязнение аэрозолями с помощью данных спутника SENTINEL-5P в масштабах города Минска. Особенности загрязнения предоставлены посредством анализа картосхем, построенных при помощи платформы Google Earth Engine и ГИС QGIS на основе спутниковых изображений Sentinel-5P за пятилетний период с 2019 по 2023 гг и в отдельные даты.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, аэрозольный индекс, определённые погодные условия, спутниковые снимки, Sentinel-5P, MODIS, QGIS, Google Earth Engine.

ASSESSMENT OF AIR POLLUTION IN MINSK USING REMOTE SENSING DATA OF THE AEROSOL INDEX AND GIS TECHNOLOGIES

T. V. Shlender¹⁾, M. V. Birukov¹⁾ Y. A. Yarosh¹⁾

¹⁾Belarusian State University,

Minsk, Republic of Belarus, e-mail: timajaya@mail.ru

²⁾ National Research Center for Ozonosphere Monitoring, BSU, Minsk,
Republic of Belarus, e-mail: geo.kasushki@bsu.by

Aerosol pollution is considered using SENTINEL-5P satellite data on the scale of the city of Minsk. The pollution features are provided through the analysis of cartograms built using the Google Earth Engine platform and the QGIS GIS based on Sentinel-5P satellite images for the five-year period from 2019 to 2023 and on selected dates.

Keywords: air pollution, aerosol index, certain weather conditions, satellite images, Sentinel-5P, QGIS, Google Earth Engine.

Современная эпоха характеризуется стремительной урбанизацией, которая неизбежно усиливает загрязнение городской среды, особенно воздуха. Интенсивное промышленное развитие, сосредоточенное в городах, приводит к увеличению выбросов вредных веществ. Эти процессы негативно отражаются на экологии и качестве воздуха, что, в свою очередь, провоцирует ухудшение здоровья населения и рост числа заболеваний дыхательной и других систем организма [1]. Проблема загрязнения атмосферы остается актуальной как для развитых, так и для развивающихся стран.

Загрязнение атмосферы требует детальных количественных наземных измерений (точечных), но в то же время надежного пространственного и временного моделирования, чтобы выявить наиболее пострадавшие районы во времени (день, месяц, год) и помочь должностным лицам, принимающим решения, найти причину загрязнения, и сформировать устойчивое решение для улучшения качества окружающей среды и состояния здоровья населения [2]. И в настоящее время загрязненный воздух ежедневно определяется по индексу качества воздуха (AQI), который показывает, насколько он чист или загрязнен. Атмосферный аэрозоль, также известный как твердые частицы (ТЧ), по своим аэродинамическим характеристикам и распределению по размерам подразделяется на жидкие и твердые частицы диаметром, как правило, от 2,5 мкм до 10 мкм. Аэрозоли имеют большое значение из-за их влияния на климат, видимость, биогеохимические циклы, реакционную способность атмосферы и здоровье человека. Исходя из реакционной способности атмосферы, аэрозоли сразу же или не сразу вступают во взаимодействие с радиационным бюджетом и климатом Земли, а аэрозольное рассеяние солнечного света снижает наблюдаемость и заслоняет восход и закат. К антропогенным источникам первичных ТЧ относятся промышленные процессы и сжигание топлива. Природа промышленных частиц зависит от процесса, но в частицах от сжигания обычно преобладает черный углерод или тяжелые органические элементы и материалы, такие как полициклические ароматические углеводороды. Индекс УФ-аэрозолей Sentinel 5P (UVAI) сосредоточен на индексе поглощающих аэрозолей (AAI), который наблюдается на основе зависящих от длины волны изменений в рассеянии Рэлея в УФ-спектральном диапазоне для пары длин волн - разница между наблюдаемыми и смоделированными результатами отражения в AAI. Характеристики ультрафиолетового аэрозольного индекса Sentinel версии 5P в режиме близком к реальному времени, предоставляемые с 13 октября 2017 года Европейским космическим агентством (ESA), позволяют часто проводить мониторинг загрязняющих веществ в воздухе. Значение индекса AAI может варьироваться от -5 до +5 и выше. Отрицательные значения указывают на чистый воздух, значения около 0 означают низкую концентрацию аэрозолей, а положительные значения свидетельствуют о повышенном уровне аэрозольного загрязнения. Результаты AAI представляют собой положительное значение в неблагоприятную сторону; положительный AAI указывает на присутствие поглощающих ультрафиолет аэрозолей (пыли и дыма). Кроме того, он отслеживает эволюцию эпизодических аэрозольных шлейфов от вспышек пыли, вулканического пепла и сжигания биомассы [3].

Спутниковая миссия Sentinel-5P (S5P) была запущена в октябре 2017 года и предназначена для мониторинга атмосферы в рамках программы EU Copernicus [4]. Sentinel-5P оснащен спектрометром TROPOMI (инструмент для мониторинга атмосферы), который охватывает диапазоны длин волн от 270 нм и до 2350 нм. S5P позволяет получать содержания малых газовых

составляющих, таких как NO₂, озон, формальдегид, SO₂, метан, окись углерода и аэрозоли. Спутниковые снимки производятся ежедневно (орбита пересечения экватора по локальному времени 13:30, значит, над г. Минском снимки имеют время около 9-10 ч локального времени) с пространственным разрешением около 5,5 км × 3,5 км (от 7 км до 5,5 км до августа 2019 г.). S5P предоставляет данные по общему содержанию NO₂ между поверхностью земли и верхней частью тропосферы – тропопаузой.

Для быстрого и эффективного получения спутниковых снимков в работе использовалась Google Earth Engine (GEE) – облачная платформа для геопространственного анализа данных в планетарных масштабах. Она позволяет использовать огромные вычислительные мощности компании Google для изучения самых разнообразных проблем: потерь лесов, засухи, стихийных бедствий, эпидемий, продовольственной безопасности, управления водными ресурсами, изменения климата и защиты окружающей среды. Общедоступный каталог данных Earth Engine (Earth Engine Data Catalog) представляет собой огромный архив часто используемых наборов геопространственных данных [5].

Также в работе была использована упрощенная система «Локальные климатические зоны» (LCZ) [6]. Локальные климатические зоны городов представляют собой участки с однородным типом поверхности, человеческой деятельностью, структурой и застройкой протяженностью порядка первых сотен метров. Сама система LCZ включает 17 типов зон в локальном масштабе (от 10² до 10⁴ м). Но в данном исследовании было принято решение модифицировать карту локальных климатических зон по городу Минску ввиду схожести типов застройки и подстилающей поверхности. Были проанализированы все 17 типов застройки и на их основе с помощью программы QGIS выделены пять новых локальных климатических зон: 1 зона – дороги и прочие транспортные узлы; 2 – природные зоны; 3 – малоэтажная застройка; 4 – высокоэтажная застройка; 5 – промышленные предприятия. Первая локальная климатическая зона включает в себя пути движения наземного транспорта, для этой зоны характерна заасфальтированная поверхность. Вторая локальная климатическая зона представляет собой различные природные зоны, такие как лес, парки, водные объекты, почва, кустарники, сельскохозяйственные посевы. Третья локальная климатическая зона включает в себя компактную и открытую низко- и среднеэтажную застройку. Четвертая локальная климатическая зона является зоной открытой и компактной высокоэтажной застройки. Пятая локальная климатическая зона включает в себя различные промышленные предприятия. Обоснованием обобщения локальных климатических зон является схожесть типов застройки и подстилающей поверхности и антропогенной деятельности (рис. 1).

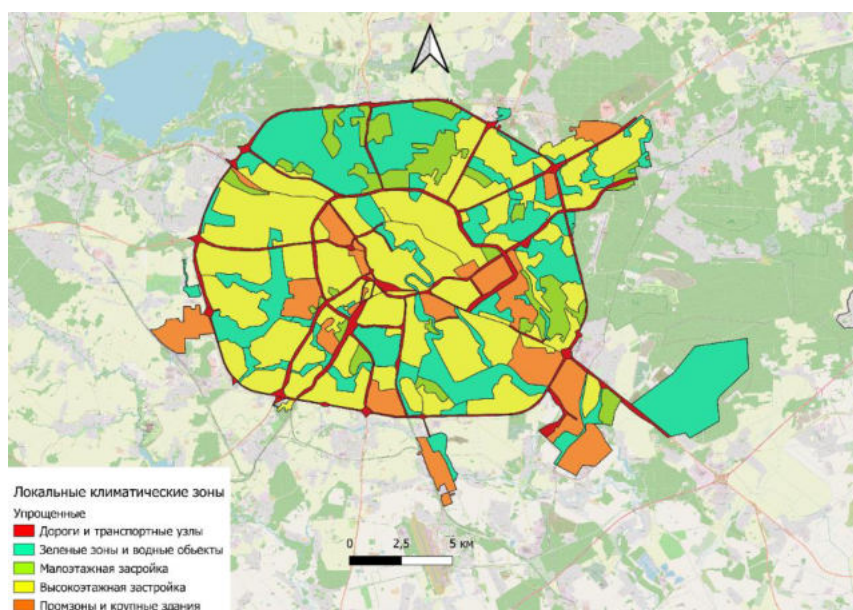


Рис. 1. Картограмма локальных климатических зон города Минска

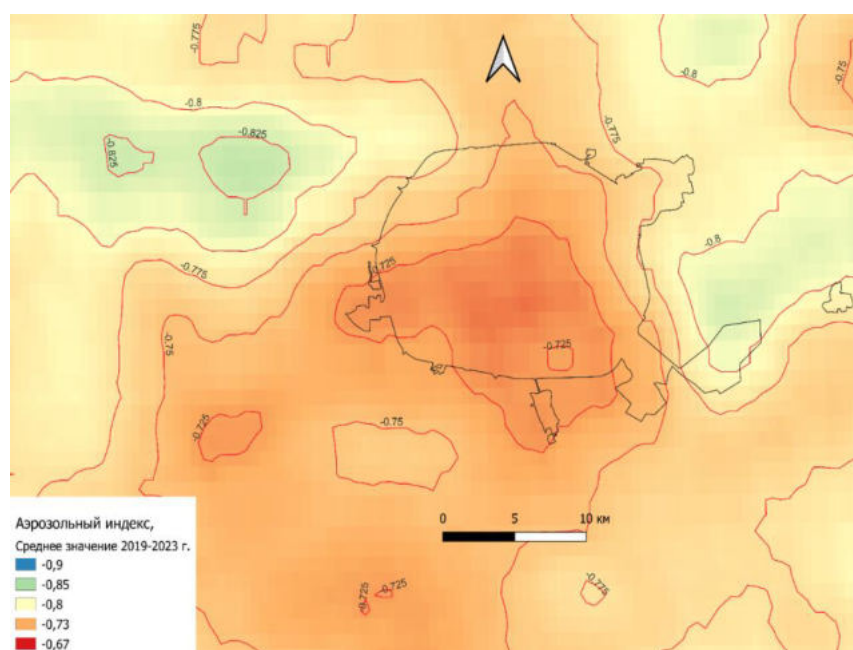


Рис. 2. Картограмма распределения аэрозольного индекса для города Минска, среднее значение за 2019–2023 г.
Составлено по: [6]

С помощью скрипта формировался файл в формате GeoTIFF для средних значений аэрозольного индекса за период 2019–2023 гг. над территорией г. Минска и пригородов. Полученное изображение в формате GeoTIFF по умолчанию является чёрно-белым, поэтому преобразования в

итоговые цветные картосхемы производились в ГИС QGIS, после чего выделялись граничные изолинии, высчитывались геометрические параметры острова загрязнения (рис. 2).

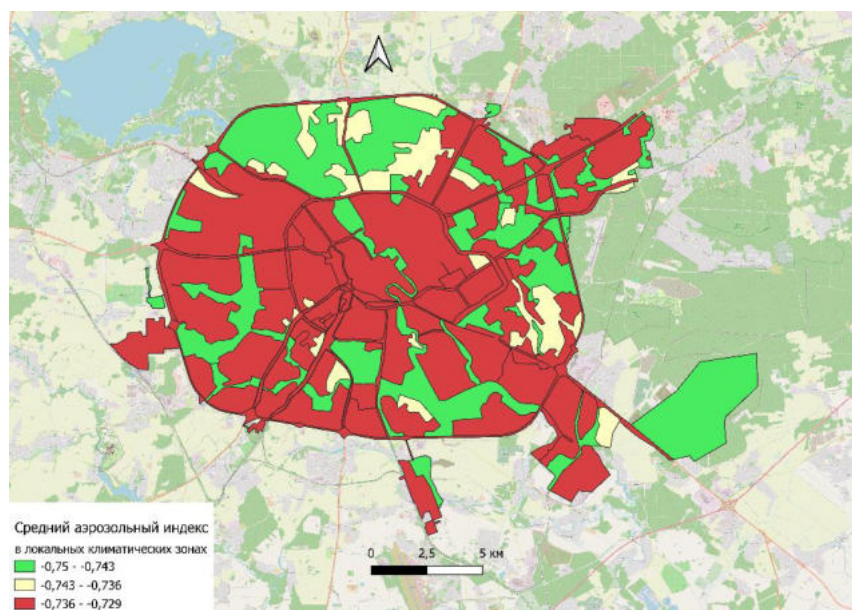


Рис. 3. Картосхема распределения аэрозольного индекса в локальных климатических зонах города Минска

Что касается распределения данного индекса в локальных климатических зонах, то наибольшие концентрации, согласно рисунку 3, принадлежат зоне дорог и транспортных узлов, что обусловлено загрязнением воздуха, поступающим непосредственно от транспорта. Также можно заметить, что повышение данного индекса наблюдается в промышленных зонах и многоэтажной застройке. Самыми чистыми являются зоны зеленых и водных объектов.

Также была построена картосхема распределения аэрозольного индекса за период 19–20 октября 2024 года (рис. 4), поскольку в эти дни наблюдалась способствующая ухудшению качества воздуха погодная обстановка, а именно над территорией нашей страны находился центр антициклона. В ночные часы образовались слои инверсии температуры воздуха. Инверсионное распределение температуры (тепло вверху, холодно внизу) препятствует рассеиванию вредных примесей в воздухе. Слабые ветры, преобладающие в антициклоне, также способствовали ухудшению ситуации. Проанализировав данную картосхему, можно заметить увеличившееся, по сравнению со среднегодовым, значение индекса, в центре Минска, что говорит о повышении концентрации аэрозолей, так как значение индекса положительное. В этом районе мог наблюдаться даже небольшой смог.

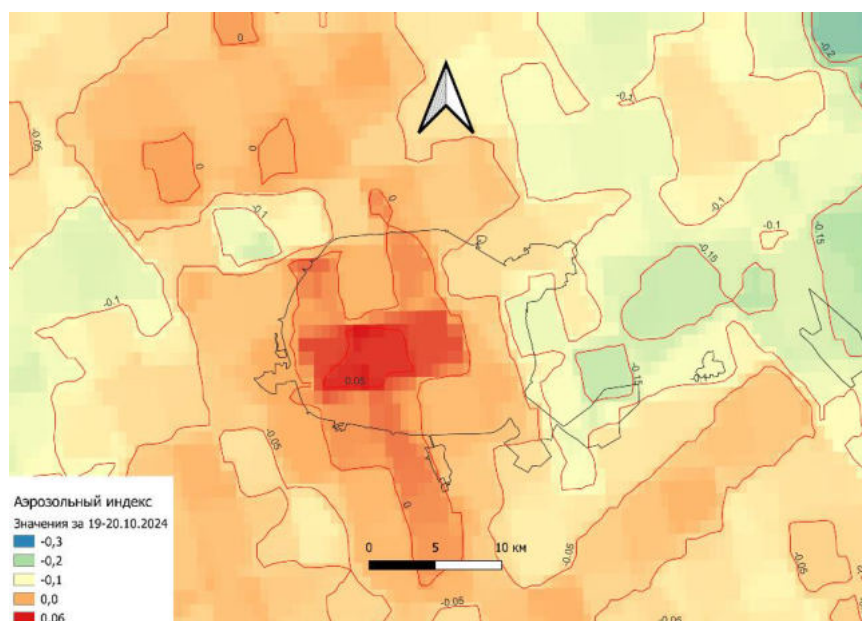


Рис. 4. Картограмма распределения аэрозольного индекса значения за 19–20 октября 2024 г.

По итогу можно сделать вывод, что по аэрозольному индексу превышений за многолетний период в городе Минске не выявлено. Однако он повышается в зоне дорог и транспортных узлов, промышленных зонах и многоэтажной застройке. И в отдельные периоды с сопутствующими погодными условиями и прохождению антициклона может наблюдаться смог и незначительные загрязнения.

Библиографические ссылки

1. Raaschou-Nielsen O., Andersen Z. J., Beeleb R. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) // Ланцет Онкол. 2013. № 14. С. 813–822.
2. Bouggoudis I., Demertzis K., Liadis L. Semi-supervised Hybrid Modeling of Atmospheric Pollution in Urban Centers. Springer: Хам, Швейцария, 2016. С. 51–63.
3. Состояние природной среды Беларуси : экологический бюллетень, 2010 г. / под ред. В. Ф. Логинава. Минск: Минсктиппроект, 2011. 395 с.
4. European Space Agency / Sentinel online [Electronic resource]. URL : <https://sentinels.copernicus.eu/> (date of access: 04.06.2023).
5. Google Earth Engine Datasets [Electronic resource]. URL : <https://developers.google.com/earth-engine/datasets> (date of access: 04.06.2023).
6. Классификация локальных климатических зон [Электронный ресурс]. URL : wudapt.org/wp-content/uploads/2021/03/LCZ_Typology_Demuzere2020.pdf (date of access: 23.10.2024).
7. Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series/ S. L. Ermida [et.al.] // Remote Sens. 2020. Vol. 12. P. 1471–1482.

РАЙОНИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ Г. МИНСКА ПО ЛОКАЛЬНЫМ КЛИМАТИЧЕСКИМ ЗОНАМ

Т. В. Шлендер^{1,2)}, Е. А. Ярош¹⁾, М. В. Бируков¹⁾

¹⁾Факультет географии и геоинформатики БГУ,

²⁾Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: timajaya@mail.ru

Исследована проблема загрязнения воздуха города Минска диоксидом азота с помощью спутниковых данных SENTINEL-5P. Особенности загрязнения приземных слоев атмосферы представлены посредством анализа картосхем, построенных при помощи платформы Google Earth Engine и ГИС QGIS на основе спутниковых изображений Sentinel-5P в 2019-2023 гг. Так же было определено содержание диоксида азота в каждой локальной климатической зоне с целью определения комфортности жизни населения города.

Ключевые слова: загрязнение воздуха; выбросы диоксида азота; угарный газ; диоксид серы; спутниковые снимки; Sentinel-5P; QGIS; Google Earth Engine; предельно допустимая концентрация.

ZONING OF ATMOSPHERIC POLLUTION IN MINSK BY LOCAL CLIMATIC ZONES

T.V. Shlender^{1,2)}, Y. A. Yarosh¹⁾, M. V. Birukov¹⁾

¹⁾Belarusian State University,

²⁾National Research Center for Monitoring of the Ozonosphere BSU,
Minsk, Republic of Belarus, e-mail: timajaya@mail.ru

The problem of air pollution of Minsk city by nitrogen dioxide using SENTINEL-5P satellite data is investigated. The peculiarities of pollution of the surface layers of the atmosphere are presented by analyzing the cartograms built with the help of Google Earth Engine platform and GIS QGIS on the basis of Sentinel-5P satellite images in 2019-2023. It was also determined the content of nitrogen dioxide in each local climatic zone in order to determine the comfort of life of the city's population.

Keywords: air pollution; nitrogen dioxide emissions; carbon monoxide; sulfur dioxide; satellite images; Sentinel-5P; QGIS; Google Earth Engine; maximum permissible concentration.

Загрязнение атмосферы является одной из важнейших экологических проблем промышленно развитых и развивающихся стран мира. Производство энергии на основе ископаемого топлива, транспортное движение являются

ключевыми факторами, создающими серьезные проблемы общественного здравоохранения локального и национального масштаба.

Загрязнение атмосферы требует детальных количественных наземных измерений (точечных), но в то же время надежного пространственного и временного моделирования, чтобы выявить наиболее пострадавшие районы во времени (день, месяц, сезон) и помочь лицам, принимающим решения, найти причину загрязнения, устойчивое решение для улучшения качества окружающей среды и состояния здоровья населения [1].

Измерение загрязнения атмосферы с помощью спутниковых датчиков позволяют определить количество аэрозолей, имеющих различные спектральные характеристики в ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном и коротковолновом инфракрасном спектрах, которые необходимо измерять и моделировать с целью получения согласованных данных о концентрации газового столба [2] в различных пространственных масштабах, от локального к глобальному. В данном исследовании были использованы снимки спутников Sentinel-5P [3]. Спутниковые снимки являются важной составляющей мониторинга атмосферного загрязнения. Они могут применяться как основа исследований, но для достижения максимальной точности измерений лучше использовать их в комплексе с наземными методами.

В данном исследовании целью было создать картосхему районирования локальных климатических зон Минска и определить содержание диоксида азота в каждой локальной зоне для определения комфортности жизни населения.

Для достижения этой цели были выполнены следующие задачи: Освоена методика работы в онлайн ресурсе GEE; Построены пространственные картосхемы распределения загрязнения атмосферного воздуха в городе Минск по данным спутника SENTINEL-5P; Создана новая классификация локальных климатических зон для города Минска, отражающая особенности города и его застройки; Построена пространственная картосхема распределения загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота в каждой новой локальной климатической зоне города; Выполнен анализ полученных результатов.

Sentinel-5 Precursor, также известный как Sentinel-5P, – это первая миссия Copernicus, посвященная мониторингу нашей атмосферы. На спутнике установлен современный прибор Tropomi, позволяющий составить карту множества газовых примесей, которые влияют на воздух, которым мы дышим, и, следовательно, на наше здоровье и наш климат. Данный спутник обладает блоком полезной нагрузки, в частности, спектрометр Тропоми – ежедневно отображает глобальную атмосферу с разрешением $7 \times 3,5$ км. При таком разрешении можно обнаружить загрязнение воздуха над городами. Sentinel-5 P ориентирован на качество воздуха и взаимодействие состава и климата с основными продуктами данных, таких как O_3 , NO_2 , SO_2 , $HCHO$, $CHOCHO$ и

аэрозоли. Кроме того, Sentinel-5P также предоставляет параметры качества CO, CH₄, и стратосферного O₃ с ежедневным глобальным охватом климатических исследований качества воздуха и озона, приземного УФ-излучения, что делает данный спутник хорошим инструментом для изучения загрязнения атмосферы.

Для быстрого и эффективного получения спутниковых снимков в работе использовалась Google Earth Engine (GEE) – облачная платформа для геопространственного анализа данных в планетарных масштабах. Общедоступный каталог данных Earth Engine (Earth Engine Data Catalog) представляет собой огромный архив часто используемых наборов геопространственных данных [4].

С помощью скрипта формировался файл в формате GeoTIFF для средних значений тропосферного столба диоксида азота 2019-2023 гг. над территорией города Минска. Полученные изображения в формате GeoTIFF по умолчанию являются чёрно-белыми, поэтому преобразования в итоговые цветные картосхемы производились в ГИС QGIS. Пересчет единиц моль/м² общего содержания диоксида азота в концентрацию в приземном слое ppb осуществлялся для стометрового приземного слоя с использованием функции "калькулятор растров".

Значения ПДК были взяты из гигиенических нормативов Республики Беларусь для атмосферного воздуха населенных пунктов за 2021 год, которые представлены в таблице.

Значения ПДК для загрязняющих газов в приземной атмосфере РБ [5]

<i>Загрязняющие вещества</i>	<i>Значения ПДК, мкг/м³</i>		
	<i>Макс.разовая</i>	<i>суточная</i>	<i>годовая</i>
Азота диоксид	250	100 (25*)	40 (10*)

*ПДК по ВОЗ [6]

Построение картосхем спутниковых снимков производилось в ГИС QGIS, где осуществлялись преобразования единиц, выделялись граничные изолинии ПДК, высчитывались геометрические параметры острова загрязнения.

В данном исследовании было принято решение модифицировать карту локальных климатических зон по городу Минску ввиду схожести типов застройки и подстилающей поверхности. Были проанализированы все 17 типов застройки согласно классификации WUDAPT и на их основе с помощью программы QGIS выделены пять новых локальных климатических зон: 1 зона – дороги и прочие транспортные узлы; 2 – природные зоны; 3 – малоэтажная застройка; 4 – высокоэтажная застройка; 5 – промышленные предприятия.

Первая локальная климатическая зона включает в себя пути движения наземного транспорта, для этой зоны характерна заасфальтированная поверхность. Вторая локальная климатическая зона представляет собой различные природные зоны, такие как лес, парки, водные объекты, почва, кустарники, сельскохозяйственные посевы. Третья локальная климатическая зона включает в себя компактную и открытую низко- и среднеэтажную застройку. Четвертая локальная климатическая зона является зоной открытой и компактной высокоэтажной застройки. Пятая локальная климатическая зона включает в себя различные промышленные предприятия. Обоснованием обобщения локальных климатических зон является схожесть типов застройки и подстилающей поверхности, а также схожие показатели температуры в данных зонах.

С помощью метода зональной статистики были построены картосхемы содержания диоксида азота в локальных климатических зонах.

В результате была разработана упрощенная классификация локальных климатических зон города Минска. В основе выделения локальных климатических зон лежала классификация WUDAPT, а также генеральный план города Минска. Данная картосхема была составлена на платформе QGIS, где были отредактированы сами локальные климатические зоны, добавлена цветовая заливка.

По полученным результатам на рисунке 1 можно заметить, что в г. Минске самая большая площадь, около 215 км², занята зоной, которая представляет собой высоко-и среднеэтажную застройку. Опираясь на полученную картосхему можно повышать комфортность жизни людей в районах, где наблюдается наиболее высокая плотность застройки путем озеленения территории, создания искусственных водоемов, а также с помощью правильной планировки жилых сооружений и промышленных объектов, что особенно важно в большом городе.

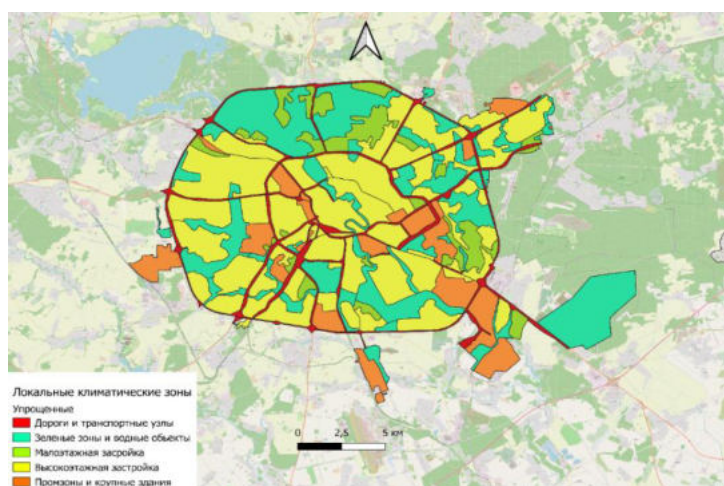


Рис. 1. Картосхема локальных климатических зон г. Минска

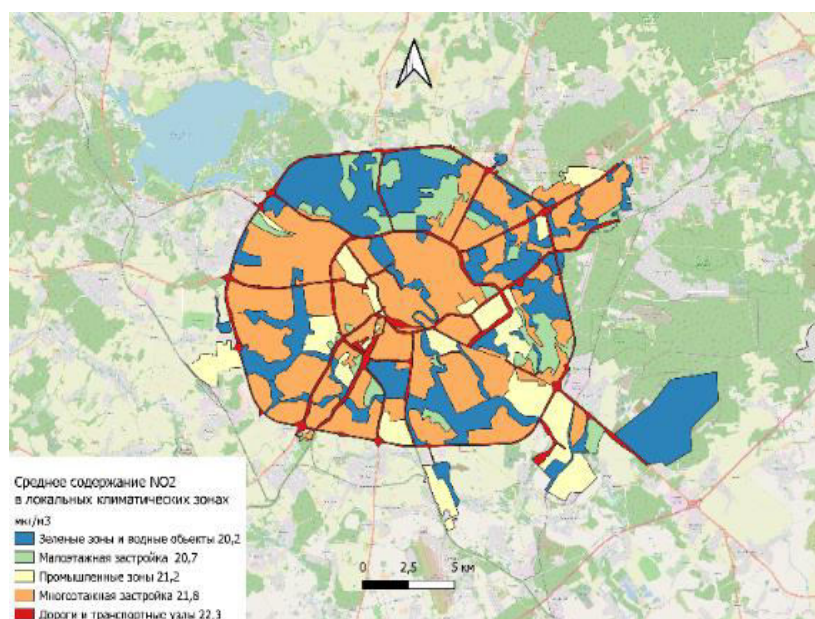


Рис. 2. Картосхема распределения диоксида азота в городе Минск

Проанализировав полученную картосхему распределения диоксида азота на рисунке 2, можно отметить, что наибольшая концентрация данного газа наблюдается в центре и снижается она к периферийным окраинам города. Это объясняется тем, что диоксид азота поступает в атмосферу при неполном сгорании ископаемого топлива. В центре нашего города наиболее густая транспортная сеть, что делает данный район неблагоприятным из-за высокого газового загрязнения. Предельно допустимая среднегодовая концентрация данного загрязнителя по белорусским нормативам 40 мкг/м^3 , однако по нормативам Всемирной Организации Здравоохранения предельно допустимая концентрация диоксида азота — 10 мкг/м^3 . Поэтому можно судить о превышении ПДК диоксида азота. Целесообразно проводить ежедневный мониторинг, поскольку концентрация данного загрязнителя зависит от метеоусловий.

Проанализировав полученную картосхему распределения диоксида азота в локальных климатических зонах на рисунке 3, можно заметить, что наибольшая концентрация газа характерна для зоны дорог и транспортных узлов, что соответствует написанному ранее. В целом по всем локальным климатическим зонам характерно превышение ПДК по диоксиду азота по нормативам ВОЗ в два раза. Высокие показатели в зонах с высокоэтажной и малоэтажной застройкой являются следствием маятниковой миграции населения.

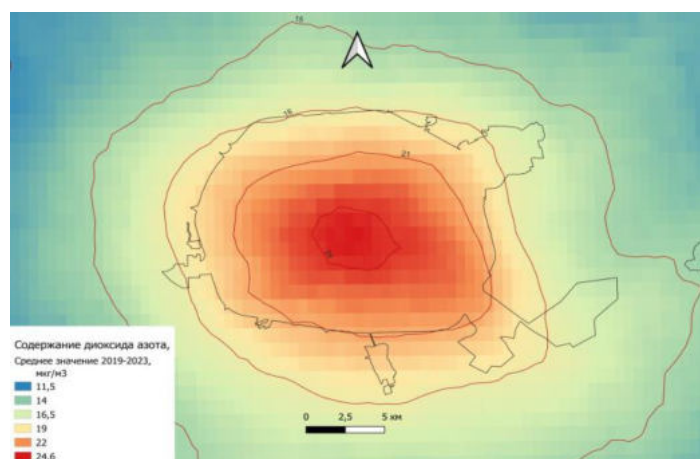


Рис. 3. Районирование распределения диоксида азота в локальных климатических зонах города Минска

Также была построена картосхема распределения диоксида азота в городе Минск за период 19–20 октября 2024 года в связи с неблагоприятной синоптической обстановкой (рис. 4) Антициклон, находящийся в этот момент на территории нашей страны способствовал появлению инверсии и слабым южным ветрам, скорость которых была 1–2 м/с, что негативно сказалось на качестве атмосферного воздуха. На рисунке 4 мы можем наблюдать увеличение концентрации диоксида азота в связи с неблагоприятной синоптической обстановкой. Разовая ПДК диоксида азота составляет 100 мкг/м^3 , поэтому превышения показателя не наблюдалось. Однако, самые большие значения диоксида азота получились за Минском, около деревни Юзуфово. Так как там нет промышленных предприятий, низкая плотность населения, то скорее всего повышение концентрации до 60 мкг/м^3 связано с постепенным переносом воздушных масс с Минска на север в Смоленскую область.

В итоге была разработана упрощенная классификация локальных климатических зон города, были построены картосхемы содержания диоксида азота в каждой локальной климатической зоне. На основании полученных данных можно судить о комфортности жизни людей и предпринимать активные действия для улучшения экологической обстановки в городе.

В Минске наблюдаются высокие значения концентрации диоксида азота, что коррелирует с плотностью автомобильных дорог, застройки и большим количеством промышленных предприятий. Однако концентрации диоксида азота не превышают ПДК, используемые в Беларуси.

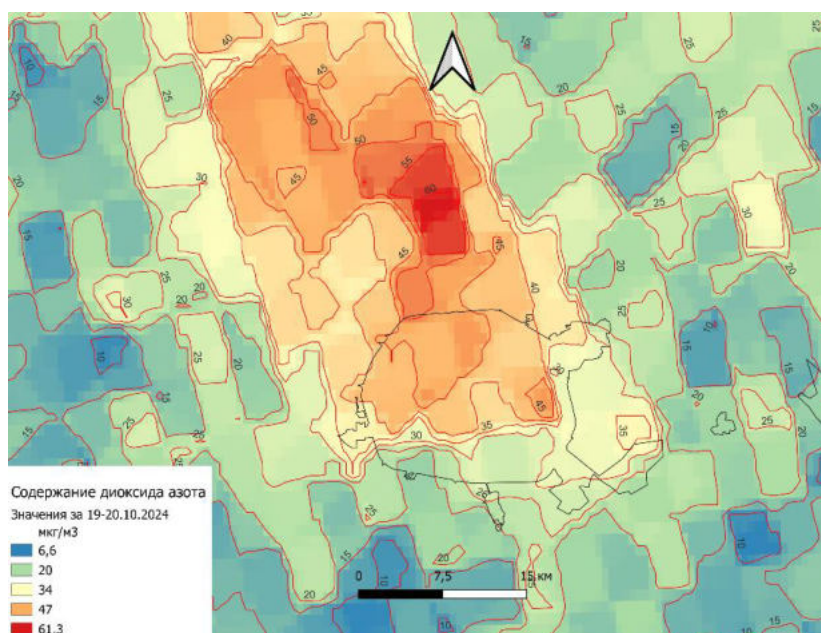


Рис. 4. Картосхема распределения диоксида азота за период 19–20 октября 2024 г.

В целом, экологическую ситуацию в городе Минск по полученным данным можно оценить как хорошую, однако необходим ежедневный мониторинг для выявления случаев превышения концентрации загрязняющих веществ, так как на это влияют постоянно изменяющиеся погодные условия.

Библиографические ссылки

1. Bougoudis I., Demertzis K., Iliadis L. Semi-supervised hybrid modeling of air pollution in urban centers // International Conference on Engineering Applications of Neural Networks; Springer : Cham, Switzerland, 2016. P. 51–63.
2. Consistency of satellite climate data records for Earth system monitoring / T. Popp [et al.] // Bull. Apparent. Meteorol. Soc. 2020. P. 1–68.
3. European Space Agency / Sentinel online [Electronic resource]. URL: <https://sentinels.copernicus.eu/> (date of access: 04.06.2023).
4. Google Earth Engine Datasets [Electronic resource]. URL: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets> (date of access: 04.06.2023).
5. Гигиенические нормативы 2.1.6.12-6-2006 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) микроорганизмов в атмосферном воздухе населенных мест», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 3 апреля 2006 г. № 41.
6. WHO [Electronic resource] URL: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en_US (date of access: 04.06.2023).
7. Загрязнение воздуха Беларуси. Исследование из Космоса // под ред. Я. Лабоги. Прага – Минск. 2020. 32 с.

USING GIS TO ANALYZE AND PLAN THE INTEGRATION OF GREEN AREAS INTO URBANIZED AREAS

R. Zh. Disenov

*Al-Farabi Kazakh National University, Al-Farabi Av., 71, 050040, Almaty, Kazakhstan,
email: disenov_rinat@mail.ru*

The expansion of urban areas and suburbs significantly affects the nature and well-being of the population, provoking problems such as deteriorating air quality, the formation of urban thermal islands and difficulties in managing water resources. The concept of multi-functional landscaping is becoming an important tool combining environmental, social and medical aspects.

Keywords: blue-green infrastructure; geographic information systems; urban climate; urbanization; water resources management; green areas; improving the quality of life.

Within the framework of this study the aim was to identify promising sites for three types of blue-green infrastructure (BGI): biohazards, infiltration trenches and landscaped bus stops. Using remote sensing data, geographic information systems (GIS) and spatial modeling, the researchers developed primary maps identifying suitable areas in Olsztyn (Poland) for the implementation of BGI.

The models included an analysis of the city's surface heat island (SUHI) and a demographic assessment describing the age structure of the population. An integrated approach made it possible to create a highly accurate map with a detail of up to 1 meter, providing an accurate representation of geographical features and infrastructure elements necessary for effective planning.

Blue-green infrastructure is seen as a key measure to strengthen ecosystem sustainability, improve the quality of the urban environment and improve public health.

The integration of blue-green infrastructure (BGI) into the urban environment is seen as an important strategy to reduce the effects of temperature increases associated with climate change and improve public health. Research confirms the effectiveness of BGI using natural solutions (Nature-Based Solutions, NBS), which harmoniously combine aquatic and natural elements such as bio-settling tanks, infiltration ditches and landscaped bus stops.

Main features and benefits of blue-green infrastructure (BGI) are vital for enhancing urban resilience and ecological health. First, BGI plays a key role in water management by promoting water retention, purification, and reuse, which helps to reduce the risk of flooding and ensure long-term environmental sustainability. This is achieved through various elements like green roofs, bio-swales, and infiltration ditches that manage stormwater effectively. Second, temperature reduction is another significant benefit, as green spaces and water

elements help counteract urban heat islands by regulating the air temperature, thus mitigating the impacts of extreme heat in cities. Lastly, BGI fosters ecological balance by creating habitats for a diverse range of plants and animals, improving urban biodiversity, and promoting ecological continuity by connecting fragmented natural areas. These three features of BGI not only address environmental challenges but also contribute to creating healthier and more sustainable urban spaces.

Social and aesthetic effects: these elements enhance the visual appeal of territories, promote environmental education and improve the quality of life of citizens.

Mental and Physical health: BGI has been found to have a positive effect on the well-being of the population, reduces stress levels and improves mental health.

When designing using spatial solutions based on the characteristics of a particular territory, BGI allows to create systems that enhance each other by providing integrated ecosystem services. This makes BGI a key tool for adapting cities to climate change and increasing their resilience.

The technology under discussion provides efficient collection, storage and processing of spatial data, which allows analysis and research of this data to create accurate and reliable information related to specific geographical points. Some studies consider the use of GIS platforms to determine the current blue-green infrastructure (BGI) and assess its sufficiency to ensure optimal living conditions for the population, as well as compliance with these elements with current regulatory requirements.

According to the literature there are several difficulties in measuring the quality of life due to the variety of approaches to interpreting this concept and the lack of a uniform definition. In this context it is assumed that the quality of life can be defined as a combination of objective and subjective indicators covering various aspects of life, such as personal autonomy and individual preferences, along with real assessments. This suggests that the statistical measurement of the quality of life should consider its multifaceted nature, including not only objective living conditions (material conditions, health, education, etc.), but also the subjective perception of human well-being.

Thus, blue-green infrastructure (BGI) has an impact on both objective improvements in living conditions and the subjective perception of well-being. This holistic approach to implementing BGI is an important element in improving the quality of life by creating a healthier, more sustainable and comfortable environment for urban residents.

Research also shows that GIS tools play a key role in identifying areas that need further development to increase sustainability and effectively select components of blue-green infrastructure. In addition, important attention is paid to the use of remote sensing data to analyze changes in land cover, which is

especially important in the context of a rapid urbanization process. An important trend follows from these studies – automation of analysis and the ability to work with large geographical areas, which also supports the purpose of this study. Geospatial analysis performed using GIS allows you to accurately identify changes and processes occurring in dynamic suburban areas.

The analysis of the implementation of blue-green infrastructure (BGI) plays a key role in urban planning, helping to integrate nature-based solutions into the urban environment. Such solutions can serve as both an alternative and an addition to traditional engineering systems aimed at sustainable development, improving the quality of life and protecting the environment. The importance of these technologies is enhanced by the need for effective land management, which is the basis for sustainable development of both urban and rural areas.

BGI offers critical ecosystem services such as cooling and insulation, CO₂ absorption, use of low-carbon materials, and support for the Sustainable Development Goals (SDGs), including improving urban biodiversity and ecosystem continuity in the urban environment. These measures contribute to the fight against climate change and enhance the adaptive capabilities of urban infrastructure, as well as contribute to solving problems of water and thermal comfort.

Determining the BGI components that are most suitable for different types of urban areas is an important step to achieve maximum efficiency. Some elements of BGI, such as irrigation and shading systems, can synergistically improve the ecological and thermal condition of the city. The placement of these elements in the complex helps to reduce overheating of urban areas, prevent flooding and improve the water balance by filtering and absorbing water. In addition, the appropriate vegetation significantly improves the aesthetic characteristics of the city, making it more attractive and comfortable to live in.

The integration of these elements requires consideration of environmental objectives, accessibility of space and climatic conditions, which contributes to the creation of sustainable, functional and environmentally healthy urban spaces.

The integration of various cartographic models using data on the location of blue-green infrastructure (BGI) components makes it possible to effectively consider factors such as temperature, age structure of the population and geospatial parameters, which may exclude certain areas for the implementation of these components. The main purpose of this approach is to identify optimal locations for BGI, which contributes to improving living conditions and reducing the negative impact of high temperatures in cities. An important aspect of this process is to consider local climatic and geographical features, such as the need for cooling and humidification in hot and dry regions or the role of vertical landscaping in an urban microclimate with a high solar load.

Mapping models can identify which BGI elements will be most effective in different climatic and urban contexts. This allows not only to increase thermal and environmental comfort, but also to minimize the risks associated with high temperatures, such as hyperthermia and dehydration in vulnerable segments of the population, especially the elderly. The social and cultural context should also be considered, as the use and maintenance of green areas can vary greatly from country to country. Economic factors, such as the availability of finance, also play a significant role in the implementation and maintenance of BGI, determining the scale and quality of implemented solutions.

Thus, cartographic models integrating a variety of data allow urban planners to make informed decisions to create sustainable and healthy urban spaces, efficiently allocating resources and minimizing risks to public health. The adaptation of these models to the specific conditions of different cities emphasizes the versatility and practical value of the developed tools for improving the quality of life in the face of climate change.

References

1. *Zalewski M., Wagner I., Fratzczak W.* Blue-green city for compensating global climate change // *Parliam. Mag.* 2012. Vol. 350. P. 2–3.
2. *Cieślak I., Czyża S., Szuniewicz K.* Assessment of residential areas of city on the example of Olsztyn // *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2019. Vol. 471. P. 102001.
3. *Antoszewski P., Świerk D., Krzyżaniak M.* Statistical review of quality parameters of blue-green infrastructure elements important in mitigating the effect of the urban heat island in the temperate climate (C) zone // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020. Vol. 17. P. 7093.
4. *Almaaitah T., Appleby M., Rosenblat H.* The potential of Blue-Green infrastructure as a climate change adaptation strategy: A systematic literature review // *Blue-Green Syst.* 2021. Vol. 3. P. 223–248.
5. *Siehr S. A., Sun M., Aranda Nucamendi J. L.* Blue-green infrastructure for climate resilience and urban multifunctionality in Chinese cities // *Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ.* 2022. Vol. 11. e447.
6. *Arshad H. S. H., Routray J. K.* Multi-functional urban greening: A policy review assessing the integration of urban agriculture into the urban planning system of Punjab province, Pakistan // *Urban and Transit Planning: A Culmination of Selected Research Papers from IEREK Conferences on Urban Planning, Architecture and Green Urbanism, Italy and Netherlands (2017); Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2020.* P. 103–111.
7. *Panlasigui S., Spotswood E., Beller E.* Biophilia beyond the building: Applying the tools of urban biodiversity planning to create biophilic cities // *Sustainability.* 2021. Vol. 13. P. 2450.
8. *Pluto-Kossakowska J., Władyka M., Tulkowska W.* Wykorzystanie technologii GIS w analizie zielonej i błękitnej infrastruktury // *Rocz. Geomatyki XVIII [Ann. Geomat.].* 2020. Vol. 1, P. 33–50.
9. *O'Donnell E., Netusil N., Chan F.* International Perceptions of Urban Blue-Green Infrastructure: A Comparison across Four Cities // *Water.* 2021. Vol. 13. P. 544.
10. *Rall E., Hansen R., Pauleit S.* The added value of public participation GIS (PPGIS) for urban green infrastructure planning // *Urban For. Urban Green.* 2019. Vol. 40. P. 264–274.

11. *Zhou C., Wu Y. A. Planning Support Tool for Layout Integral Optimization of Urban Blue–Green Infrastructure // Sustainability. 2020. Vol. 12. P. 1613.*
12. *Völker S., Baumeister H., Claßen T. Evidence for the temperature-mitigating capacity of urban blue space – A health geographic perspective // Erdkunde. 2013. Vol. 67. P. 355–371.*
13. *Xie Q., Li J. Detecting the cool island effect of urban parks in Wuhan: A city on rivers // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2021. Vol. 18. P. 132.*
14. *Mapping Urban Green Infrastructure: A Novel Landscape-Based Approach to Incorporating Land Use and Land Cover in the Mapping of Human-Dominated Systems / M. Dennis [et al.] // Land. 2018. Vol. 7. P. 17.*

РАЗДЕЛ III ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ГИС-АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ (БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО И ЗОЛОТАРНИКА КАНАДСКОГО) НА ТЕРРИТОРИИ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕЁ ОТДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ

Т. С. Балахонов, Н. В. Клебанович

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Проблема учёта и контроля использования земель продолжает быть актуальной. В отечественных реалиях есть большое количество случаев использования земель не по назначению, в частном случае – это заброшенные земли, в том числе зарастающие сорной растительностью. Типичным примером такой ситуации служит распространение борщевика Сосновского и золотарника канадского.

Актуальность изучения инвазивных видов растений обусловлена несколькими ключевыми факторами. Во-первых, они могут вызывать серьезные изменения в экосистемах, вытесняя коренные виды, что в свою очередь может привести к снижению биоразнообразия и нарушению экологического равновесия. Во-вторых, они могут нанести значительный экономический ущерб в области сельского хозяйства, увеличивая затраты на борьбу с ними. В-третьих, некоторые инвазивные виды могут представлять угрозу для здоровья человека, вызывая аллергические реакции.

В данном исследовании была произведена интерполяция на основе данных, предоставленных инспекцией природных ресурсов и охраны окружающей среды на 1 января 2024 года.

В результате исследования было создано 7 картограмм распространения инвазивных видов: борщевика Сосновского и золотарника канадского, включающих в себя картограммы административных районов, сельских советов и отдельных районов Витебской области. На территории Витебской области наблюдается наивысшая концентрация борщевика Сосновского во всей республике.

ОЦЕНКА ЗАРАСТАНИЯ ВОДОЕМОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НАРОЧАНСКИЙ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДЗЗ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Д. М. Вавилова

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Целью исследования является оценка современной площади зарастания водоемов национального парка «Нарочанский» на основе спутниковых снимков Sentinel-2.

Для оценки зарастания озёр были использованы снимки Sentinel-2 с высоким пространственным разрешением (10 м) на 2019.07.01, 2023.06.12, 2023.07.17, 2023.08.16. Это позволило выявить в каком месяце наблюдалась самая активная вегетация водной растительности и выявить динамику зарастания озёр.

Для изучения водной растительности были рассчитаны индекс NDVI для выделения зон зарастания и NDWI для разделения водных объектов и растительности.

Определение границ зарастания было произведено по схеме, построенной в ModelBuilder в ArcGIS Pro. Были добавлены снимки Sentinel-2 в каналах 3 и 8 (для NDWI) и 4 и 8 (для NDVI). Также добавлен слой с границами озёр национального парка. Использовался инструмент «Clip raster by mask», который вырезал растры по границе озёр. В калькуляторе растра формулы NDVI и NDWI были применены к полученным растрам. Затем значения $NDVI > 0,2$ и $NDWI < 0$ были выделены как области зарастания. Преобразованные в полигоны объекты были вырезаны по слою озёр.

В результате были получены 8 изображений с NDVI и NDWI, символизированных градиентной цветовой шкалой.

Была составлена схема зарастания на июль месяц на территорию всего национального парка (рис. 1).

Наибольшая площадь зарастания всех озёр парка в 2023 году наблюдалась в июле и составила 915,7 га. В июне площадь составила 658,8 га, в августе – 858,7 га. В 2019 году площадь составила 1513,5 га, что свидетельствует о сокращении зарастания.

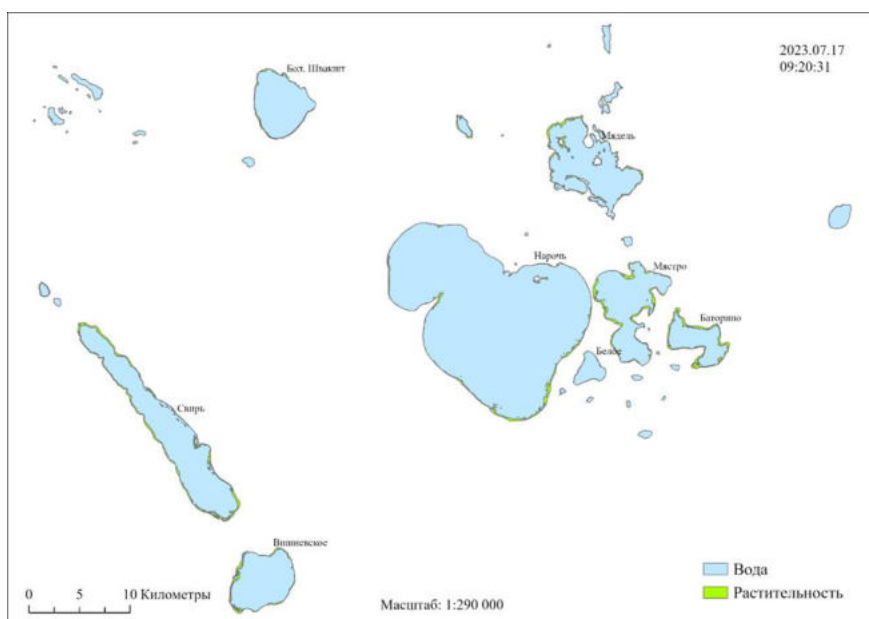


Схема зарастания озёр на 17.07.2023

Таким образом, мониторинг с использованием спутниковых снимков и вегетационных индексов позволил выявить динамику и текущее состояние зарастания водоемов. Снимки с разрешением 10 м позволяют достаточно точно наблюдать за границами зарастания высшей водной растительностью. Тем не менее данный способ не позволяет проводить картографирование по видовому составу и изучать подводную растительность. Полученные результаты могут быть использованы для мониторинга и прогнозирования состояния водных экосистем национального парка.

ГИС-МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НАРОЧАНСКИЙ»

М. Е. Гуляй, Е. Ю. Кузьмицкий

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Геоморфометрия – научная дисциплина, предметом которой является моделирование и анализ рельефа, а также взаимосвязей между ним и другими компонентами геосистем. В настоящее время аппарат геоморфометрии широко применяется для решения различных разномасштабных задач в науках о Земле. Развитие технологий дистанционного зондирования Земли, распространение общедоступных цифровых моделей рельефа и программных пакетов, обладающих широким инструментарием для пространственного анализа, являются причинами, по которым геоморфометрический анализ становится доступным и удобным инструментом решения широкого спектра научно-исследовательских и технических задач.

Цель работы: создать и проанализировать модели морфометрических показателей рельефа территории национального парка “Нарочанский” при помощи ПО SAGA и ArcGIS.

В программе SAGA 9.3.1 выделенный из ЦМБ FABDEM V1-2 (глобальная ЦМБ на основе Copernicus GLO-30, в которой вычтены высоты зданий и лесов) участок, включивший 1 682 551 ячеек (шаг сетки – 30 м) был обработан при помощи модуля Slope, Aspect, Curvature методом 10 parameter 3rd order polynom (Florinsky 2009) с получением GRID-моделей с показателями экспозиции и крутизны склона; при помощи модуля Basic Terrain Analysis были получены модели индекса конвергенции (Convergence Index), LS-фактора, топографического индекса влажности (Topographic Wetness Index), относительной позиции на склоне (Relative Slope Position).

Затем GRID-модели были загружены в среду ArcGIS: в среде ModelBuilder ГИС ArcGIS Pro 3.0 была разработана геоинформационная модель. Исходными слоями в каждой модели выступал растровый слой ЦМБ, а также векторный полигональный слой, представляющий собой сеть квадратов размером 1х1 км, покрывающий всю территорию исследований. Расчет глубины расчленения рельефа выполнялся по геоинформационной модели, содержащей в себе инструменты зональной статистики модуля Spatial Analyst. Для расчета густоты расчленения из растра рельефа с помощью серии инструментов Hydrology модуля Spatial Analyst, а также линейных векторных данных о постоянных водотоках в векторный

линейный слой извлекались постоянные и временные водотоки. Расчет общего показателя расчленения рельефа выполнялся по геоинформационной модели, содержащей в себе серию инструментов модуля Spatial Analyst, а также блока векторного анализа ГИС. При помощи инструментов Zonal Statistics as table и Zonal Histogram были получены статистические показатели и гистограммы распределения морфометрических характеристик; также в ArcGIS были оформлены карты морфометрических характеристик.

В результате были получены различные векторные и GRID-модели, характеризующие рельеф территории национального парка “Нарочанский”. Высокие значения показателей крутизны склонов, расчленённости, LS-фактора концентрируются на краевых моренных возвышенностях позёрского возраста; высокие значения топографического индекса наблюдаются вдоль тальвегов ложбин стока (малых речных долин) и на площадях, занятых озёрами.

Геоморфометрический анализ является точным и объективным инструментом исследования объектов и явлений, которые предопределяются характеристиками рельефа местности. Так как основными источниками данных для геоморфометрических исследований являются данные дистанционного зондирования, геоморфометрия может послужить отличным средством исследования ООПТ или иных территорий, где сбор данных полевыми (экспедиционными) методами затруднены и (или) ограничены.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЕЕ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС В ГРАНИЦАХ Г. МИНСКА

А. М. Ларионов

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь, geo.larionov@bsu.by

В современном мире проблема загрязнения окружающей среды (ОС) становится все более актуальной и представляет серьезную угрозу для здоровья человека. Одним из наиболее опасных видов загрязнения является присутствие тяжелых металлов в почвах и наличие вредных частиц и соединений в атмосферном воздухе. Развитие геоинформационных технологий, накопление и систематизация определенных данных и знаний позволяет отметить важность развития такого направления, как *медицинская география*.

Город Минск, как столица и крупный экономический центр, подвергается воздействию различных источников загрязнения. Это может оказывать серьезное воздействие на здоровье его населения, особенно в контексте возможного увеличения инцидентности онкологических заболеваний. В данном контексте исследование влияния загрязнения почв ТМ и АВ частицами и соединениями на здоровье населения Минска становится особенно актуальным.

Исходя из серьезности проблематики был проведен всесторонний анализ и прогнозирование загрязнения ОС в г. Минске. Акцентируется внимание на стремление выявить потенциальные риски и коррелирующие факторы между загрязнением окружающего пространства и его влияние на здоровье человека путем сбора и анализа данных, а также рекомендации для снижения негативного воздействия загрязнений на городскую среду.

Были проведены расчеты по данным мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и почв; выявлена корреляция между влиянием загрязнения (тяжелыми металлами, опасными соединениями и частицами) на здоровье человека; создана база геоданных для дальнейшего расчета показателей загрязнения ОС; обработан статистический материал по выявлению случаев онкозаболеваний; рассмотрены основные факторы, влияющие на результат работы – демографию области; составлены модели расчета и картограммы.

ГИС-АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ОЧИСТКИ СТОКОВЫХ ВОД В ВОДООХРАННЫХ ЗОНАХ И ПРИБРЕЖНЫХ ПОЛОСАХ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НАРОЧАНСКИЙ» РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. М. Пухальская

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Водоохранные зоны представляют собой специально отведенные участки вдоль берегов водоемов и водотоков, где установлены особые правила хозяйственной деятельности с целью предотвращения загрязнения, заиления и засорения воды. Они играют ключевую роль в сохранении и защите водных ресурсов от негативного воздействия антропогенной деятельности, так как специальные меры, принимаемые на этих территориях, обеспечивают более эффективную защиту воды от разнообразных загрязнений, включая химические вещества, удобрения, пестициды, нефтепродукты и другие вредные вещества. Запрет на строительство и эксплуатацию потенциальных источников загрязнения в водоохранных зонах способствует сохранению чистоты водных объектов и поддержанию экологического равновесия в прибрежных областях. Это особенно важно в отрасли сельского хозяйства, где применение удобрений, пестицидов и других химических веществ может оказывать значительное влияние на чистоту воды в водоемах и водотоках.

С точки зрения экологической оптимизации территории, наиболее важными являются прибрежные полосы. Прибрежная полоса - это участок территории водоохранной зоны, расположенный непосредственно у берега водного объекта, который подвергается более строгим ограничениям в хозяйственной и другой деятельности по сравнению с остальной частью этой зоны.

Одним из показателей, который отражает влияние водоохранных зон на сток является очистка стока. Коэффициент очистки зависит от таких показателей, как уклон местности, виды земель, свойства почв, концентрация элементов в стоке бассейна, климатических условий и других.

Для определения влияния водоохранных зон на коэффициент очистки стока была поставлена цель: провести ГИС-анализ влияние уклона и видов земель в водоохранных зонах и прибрежных полосах на эффект очистки сточных вод на территории национального парка «Нарочанский» Республики Беларусь.

По данным таблицы из пособия Яцухно В. М. «Формирование агроландшафтов и охрана природной среды» были автоматизировано рассчитаны коэффициенты очистки для всех указанных видов земель, а также концентрация таких элементов, как азот и фосфор.

В ходе работы были замечены такие взаимосвязи: чем больше воды инфильтруется в водоохранной полосе, тем лучше очищается сток. Наибольшим эффектом очистки склоновых стоков обладают лесные сообщества и естественные луга с зарослями различных видов ив в летний и осенний период. Изменение стока максимальное также в лесных угодьях, что объясняется большой водопоглотительной способностью подстилки, мхов и интенсивным впитыванием стока в почву.

Результаты работы могут быть полезны для разработки и улучшения стратегий управления водными ресурсами, в том числе для оптимизации систем очистки сточных вод, разработки новых политик водоохраны и принятия решений в сфере экологического управления.

ГИС-КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НА ПРИМЕРЕ СТУДЕНЧЕСКОЙ ДЕРЕВНИ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ

А. А. Рауш, А. А. Сазонов

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Загрязнение воздуха оказывает прямое и косвенное воздействие на здоровье человека, экосистемы и климат, с соответствующими экономическими и социальными издержками, что определяет важность проведения мониторинга качества атмосферного воздуха. Одним из способов проведения мониторинга атмосферного воздуха является использование различных специализированных малогабаритных приборов, одним из которых можно считать газоанализатор Sniffer4D V2.0. Данный прибор предназначен для измерения загрязняющих веществ в воздухе на разных высотах, как с помощью интеграции с БЛА (беспилотными летательными аппаратами), так и автономно, при измерении качества приземного воздуха.

В данном исследовании Sniffer4D V2.0 использовался в ручном режиме на 7 точках, после чего данные интерполировались. Измерения на точках проводились на протяжении 10 минут, в течение которых прибор регистрировал значения показателей NO_2 , NH_3 , SO_2 , H_2S , $\text{PM}_{10/2.5/1.0}$, CO , CO_2 , C_xH_y (углеводороды) каждую секунду. Мониторинг воздуха осуществлялся с промежутком в среднем 2 часа на протяжении двух дней: 29.03.2024 и 30.03.2024.

В результате исследования было создано 38 картограмм, включающих в себя как картограммы по отдельным загрязняющим веществам по дням и за два дня в среднем, так и картограммы интегральных показателей загрязнения атмосферы. На территории Студенческой деревни наблюдаются определённые загрязнения всеми измеренными соединениями, кроме CO_2 , однако большинство из них не превышает ПДК. Тем не менее, по таким веществам, как твёрдые частицы с фракциями размером 2,5 мкм, а также 10.0 мкм; аммиак – присутствуют серьёзные превышения ПДК.