БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ

Материалы
республиканского научно-практического семинара
студентов и молодых ученых

Минск, 13 ноября 2019 г.

МИНСК
БГУ
2019

УДК 91:004(06)

Редакционная коллегия:
Н. В. Жуковская (отв. ред.), *Н. В. Клебанович*,
Н. В. Ковальчик, *О. М. Ковалевская*

Рецензенты:
кандидат географических наук, доцент *А. А. Топаз*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. Н. Червань*

ГИС-технологии в науках о Земле [Электронный ресурс] : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 13 нояб. 2019 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Н. В. Жуковская (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2019.

ISBN 978-985-566-820-7.

Представлены научные работы, принимавшие участие в конкурсе ГИС-проектов студентов и аспирантов учреждений высшего образования Республики Беларусь в рамках празднования Международного дня ГИС-2019 на факультете географии и геоинформатики Белорусского государственного университета.

Адресуется специалистам по геоинформационным технологиям, географам, гидрометеорологам, экологам, геологам, студентам географических и геологических специальностей.

УДК 91:004(06)

ISBN 978-985-566-820-7

©БГУ, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Н.В. Жуковская Международный день ГИС 2019 в БГУ 5

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В НАУЧНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ 7

А.С. Финаев, О.А. Пасько ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ 7

Н.М. Писарчук, Я.К. Еловичева ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ПАЛИНОЛОГИИ 10

Т.В. Шлендер, С.К. Бородко ВЕРИФИКАЦИЯ И ТЕСТИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННОЙ МЕЗОМАСШТАБНОЙ АТМОСФЕРНОЙ МОДЕЛИ WRF ДЛЯ РЕГИОНА БАЗИРОВАНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ 15

П.С. Долгий, Г.А. Шароглазова ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛОМНОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПО ДАННЫМ КОСМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ КАРТЫ 20

А.А. Шурыгина, Г.С. Титов, А.И. Мысленков ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛОНИИ ЧЕРНОХВОСТОЙ ЧАЙКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ ПО МАТЕРИАЛАМ БПЛА 24

Я.А. Романенко, С.М. Токарчук ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗМЕЩЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ БЕРЁЗОВСКОГО РАЙОНА 29

Д.В. Новиков, А.Б. Торбенко ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ПЛАТОРМЫ MAPINFO ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ г. ВИТЕБСКА 33

Е.В. Соколовский, В.В. Кривко, А.Б. Торбенко АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ 37

Н.В. Дорожко, А.Г. Светашев ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА БЕЛАРУСИ 40

А.Л. Жук, С.М. Токарчук СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ КАРТ СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ВОДОЕМАХ БРЕСТА СРЕДСТВАМИ ОБЛАЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ARCGIS ONLINE 44

Д.Р. Ледовский, Н.В. Жуковская ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ТОРГОВЫХ ЦЕНТРОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МИНСКА) 49

Е.Д. Калиновский, Д.Р. Ледовский ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ МИНСКА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СВЯЗНОСТИ 54

СОЗДАНИЕ ГИС ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНОГО И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ХАРАКТЕРА 59

М.С. Голикова, С.М. Токарчук ОПЫТ СОЗДАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛОМАРШРУТОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КОБРИН 59

Т.С. Полячок, М.В. Шевченко, Е.Н. Антонов, С.М. Токарчук ИНТЕРАКТИВНЫЙ ПРОЕКТ «ДОРОГИ БРЕСТА: ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ В НАЗВАНИЯХ УЛИЦ ГОРОДА» 63

А.О. Белюк, Д.Д. Рабчук, П.В. Бутько, О.В. Токарчук ИНТЕРАКТИВНЫЙ ПРОЕКТ «АТЛАС ОЗЕЛЕНЕНИЯ КВАРТАЛОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА БРЕСТА» 69

Н.И. Атабаева, А.Х. Балтаева, С.М. Токарчук ОПЫТ СОЗДАНИЯ ВЕБ-КАРТ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ТУРКМЕНИСТАНА 75

А.А. Смагина, Н.В. Ковальчик ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДДЗ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕПЛОВЫХ АНОМАЛИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ЛЕСНЫХ ЗЕМЛЯХ БЕЛАРУСИ 80

К.В. Даниленко, Н.В. Клебанович РАЗРАБОТКА ГИС СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «ПОЛИМИР-АГРО» 85

Е.О. Дорофеева, Н.В. Жуковская ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРЕСТУПЛЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ г. МИНСКА) 92

К.А. Орехов, Е.Г. Блинова, О.М. Ковалевская ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СФЕРЫ СОЦИАЛЬНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ 97

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ И ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИС 103

Ю.С. Давидович, Л.В. Катковский СОЗДАНИЕ БИБЛИОТЕКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЭТАЛОНОВ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ 103

Ю.С. Давидович, Л.В. Катковский РАСПОЗНАВАНИЕ УСЫХАНИЙ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ 108

Д.А. Гутовский, Д.С. Каменев, Е.О. Хрущёва ОБРАБОТКА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЁМКИ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА SOVZOND AIR-CON 3 114

Д.О. Авсеенко, Н.А. Бык, Т.Н. Мыслыва ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ БЕЛОРУССКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ АГРОМОНИТОРИНГА 118

Международный день ГИС 2019 в БГУ

Н.В. Жуковская

доцент кафедры почвоведения и географических информационных систем, руководитель СНИЛ ГИС факультета географии и геоинформатики БГУ

13 ноября 2019 года преподаватели и студенты факультетов географической направленности УВО Республики Беларусь, а также ведущие специалисты по геоинформационным технологиям Республики Беларусь участвовали в мероприятиях, посвященных Международному дню географических информационных систем (ГИС). День ГИС проводился уже 19-й раз на факультете географии и геоинформатики Белгосуниверситета и 21-й раз в мире. Организатором данного мероприятия является межкафедральная студенческая научно-исследовательская ГИС-лаборатория факультета географии и геоинформатики.

Спонсорами мероприятия выступили: Международная компания ESRI, являющаяся основоположником и мировым лидером рынка геоинформационных систем и Конструкторское бюро «Панорама» - ведущая российская компания в области разработки геоинформационных систем.

Формат Дня ГИС заключался в проведении конкурса ГИС-проектов студентов и аспирантов УВО Республики Беларусь и встрече студентов с ведущими ГИС-специалистами нашей страны. Мероприятие посетили ГИС-специалисты следующих предприятий: Национальное кадастровое агентство, БелПСХАГИ, РУП «Проектный институт Белгипрозем», ГП «Белгеодезия», РУП «Белдорцентр, УП «Геоинформационные системы» НАН Академии наук, ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» и ряда других.

Конкурсантов оценивало экспертное жюри в составе: заместитель декана факультета географии и геоинформатики *Александр Александрович Карпиченко,* научный сотрудник УП “Геоинформационные системы” НАН Беларуси *Вячеслав Александрович Сипач,* начальник отдела научно-исследовательских работ РУП «Проектный институт Белгипрозем» *Александр Сергеевич Коробкин*, эксперт по OpenStreetMap и работе с геоданными, Juno Lab, *Илья Зверев*, начальник отдела фотограмметрических работ ГП «Белгеодезия» *Людмила Александровна Мицевич*, доцент кафедры почвоведения и ГИС БГУ *Дмитрий Анатольевич Чиж*, ведущий специалист отдела научно-исследовательских работ РУП «Проектный институт Белгипрозем» *Игорь Павлович Самсоненко*, ведущий специалист по кадастру и геоинформационным системам Национального кадастрового агентства *Александр Сергеевич Кухарчик*.

Всего на конкурсе было представлено 20 ГИС-проектов. Их авторами стали студенты и аспиранты факультета географии и геоинформатики БГУ, факультета информационных технологий ПГУ, географического факультета БрГУ им. А.С. Пушкина, биологического факультета Витебского государственного университета имени П.М. Машерова, землеустроительного факультета Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, географического факультета МГУ. Победители были определены в трех номинациях.

В номинации «**Применение географических информационных систем (ГИС) в научных и прикладных исследованиях**» дипломом I-й степени отмечена работа студентов кафедры почвоведения и ГИС БГУ *Евгения Калиновского* и *Даниила Ледовского* «Прогноз изменений в городской среде Минска на основе модели связности». Диплома II-й степени была удостоена аспирантка кафедры общего землеведения и гидрометеорологии БГУ *Дорожко Наталья* за ГИС-проект «Применение информационных технологий для анализа регионального климата Беларуси». Диплом III-й степени получил студент кафедры экологии и охраны природы ВГУ имени П.М. Машерова *Новиков Дмитрий*. Он представил работу «Использование ГИС-платормы MapInfo для проведения климатического районирования территории города Витебска».

В номинации «**Создание ГИС информационно-справочного и образовательного характера**» победу праздновала студентка кафедры почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики БГУ *Смагина Александра*. Диплома I-й степени она была удостоена за ГИС-проект «Использование данных ДДЗ и ГИС-технологий для анализа тепловых аномалий земной поверхности на лесных землях Беларуси». Диплом II-й степени получил *Константин Даниленко*, студент факультета географии и геоинформатики БГУ за ГИС-проект «Разработка ГИС сельскохозяйственного предприятия «Полимир-Агро». Дипломом III-й степени были поощрены студент кафедры географии и природопользования БрГУ имени А.С. Пушкина *Белюк Андрей* и учащиеся гимназии № 1 г. Бреста *Рабчук Денис* и *Бутько Павел*, представившие ГИС-проект «Интерактивный проект «Атлас озеленения кварталов центральной части города Бреста».

Специальным дипломом жюри были отмечены учащиеся гимназии № 1 г. Бреста Шевченко Мария и Антонов Евгений за ГИС-проект «Интерактивный проект «Дороги Бреста: древесные растения в названиях улиц города».

В номинации «**Геодезическое и фотограмметрическое обеспечение ГИС**» дипломом I-й степени отмечен студент кафедры геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики БГУ Юрий Давидович за ГИС-проект «Распознавание усыханий древесной растительности на аэрокосмических снимках». Диплома II-й степени были удостоены студенты кафедры геодезии и космоаэрокартографии БГУ *Гутовский Данила* и *Каменев Дмитрий* за ГИС-проект «Обработка мультиспектральных данных аэрофотосъёмки с беспилотного летательного аппарата Sovzond Air-Con 3». Диплом III-й степени получил студент землеустроительного факультета Белорусской государственной сельскохозяйственной академии *Авсеенко Дмитрий* за ГИС-проект «Использование данных Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли для целей агромониторинга».

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В НАУЧНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

УДК 504.064

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

А.С. Финаев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, alexfinaev1993@gmail.com

О.А. Пасько
профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Рассмотрены возможности применения геоинформационных систем в нефтегазовой отрасли для решения экологических проблем. Геоинформационные системы позволяют анализировать пространственные данные о производственных объектах добычи, транспортировки и переработки углеводородного сырья. Мониторинг и анализ данных в свою очередь способствует немедленному выявлению аварий, разливов, которые можно устранить в кратчайшие сроки. В работе определены задачи, эффективно решаемые с помощью геоинформационных систем. Выявлены достоинства и недостатки современных систем. Проанализированы возможности современных геоинформационных систем применительно к объектам нефтегазового комплекса, раскрыты концепции, лежащие в основе таких систем, и их назначение.

Ключевые слова: нефть; газ; добыча; геоинформационные системы; экологический мониторинг; загрязнения.

Добыча нефти и газа – это цикл технологических и производственных процессов по извлечению углеводородов из недр на земную поверхность, сбору и подготовке по качеству в соответствии с действующими нормативами. Для его осуществления используют комплекс сооружений, территориально разобщённых, но связанных между собой системой трубопроводов, линиями электропередач [1].

Основными сооружениями нефтегазодобывающего комплекса являются скважины (эксплуатационные, нагнетательные), групповые замерные установки, дожимные насосные станции, центральные пункты сбора, компрессорные станции, резервуарный парк, установки подготовки нефти и газа, система трубопроводов, факела [2].

В процессе освоения и эксплуатации месторождений происходит активное воздействие на природную среду. Разработка нефтяных и газовых месторождений негативно влияет на природный ландшафт, вызывая, в частности, развитие процессов деградации земель. При нынешних объемах добычи нефти и газа на поверхность почвы при разных обстоятельствах попадает 20–30 млн. т. углеводородов [3].

Данные обстоятельства обостряют проблему охраны окружающей среды и ликвидации разливов на суше, в реках и морях. Для решения данного вопроса в последние десятилетия большинство крупных компаний нефтегазового сектора обращают внимание на финансирование и развитие систем автоматизации как технологических процессов, так и производственных. При этом наряду с информационными системами управления ресурсами предприятий часто приобретаются и внедряются геоинформационные системы – ГИС. ГИС – это специализированный программный комплекс, состоящий из интерактивных электронных карт, базы данных и набора алгоритмов обработки данных [4], которые позволяют специалистам различных служб обрабатывать и анализировать не только атрибутивные, но и пространственные данные о технологических объектах, зданиях, сооружениях и т. д. для решения различных задач в том числе и экологической безопасности [5].

Сфера применения ГИС в нефтегазовой отрасли очень широка, рассмотрим некоторые задачи, которые сегодня можно и следует решать при помощи современных средств ГИС на объектах нефтегазовой отрасли [6]:

- геология и геофизика, разведка недр;
- проектирование и прокладка трубопроводов;
- решение сетевых коммуникационных задач;
- управление имуществом и территориями;
- контроль за состоянием оборудования и трубопроводов;
- экология (контроль разливов нефти, оценка ущерба и т.п.);
- управленческие задачи, планирование.

Современные универсальные геоинформационные системы, которые получили развитие в последние десятилетия имеют обширный функционал и средства разработки. Программное обеспечение ГИС характеризуется высокой степенью адаптируемости к особенностям конкретных задач и различных производств. Возможность такой адаптации обусловлена современной архитектурой программного обеспечения, развитыми инструментальными средствами, а также соответствующими методологиями внедрения и развития на основе той или иной платформы [4]. Основные достоинства и недостатки современных ГИС приведены в таблице 1 [7].

При анализе окружающей среды нефтяных или газовых месторождений одним из этапов является оценка состояния почв. Для оперативной работы с данными по загрязнению почв важную роль играют базы данных и геоинформационные системы. Для нефтегазовых предприятий значимость геоинформационных систем в добывающем, транспортном и перерабатывающем сегменте заключается в мониторинге нефтяных и газовых объектов и близлежащей зоны, моделирование угроз разлива нефти и нефтепродуктов, предупреждении возможных аварий и чрезвычайных ситуаций, а также логистике транспортных сообщений при перевозке нефти. Для достижения данных целей предприятия нефтегазодобычи используют собственные разработки ГИС, при этом внедряя алгоритмы обработки информации, разработанные на основе собственного производственного и технологического опыта.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки современных ГИС.

Достоинства	Недостатки
Большое количество разработчиков	Высокая стоимость
Частое обновление и исправление ошибок	Сложности в эксплуатации
Быстрое внедрение новых технологий	Необходимость квалифицированного персонала
Широкий круг подключаемых библиотек и модулей	Недостаточно отложенный программный код
Открытость кода	Не всегда полная документация, сложное сопровождение
Широкая функциональность	Иногда возникают проблемы качества программного обеспечения

Возможности геоинформационных систем экологического мониторинга:

– ввод, накопление, хранение и обработка цифровой картографической и экологической информации;

– построение на основании полученных данных тематических карт, отражающих текущее состояние экосистемы;

– получение комплексных оценок состояния объектов окружающей природной среды на основе разнородных данных.

Благодаря своим возможностям интеграции различных данных и специализированных систем, развитым средствам анализа и визуализации, геоинформационные системы имеют огромный потенциал повышения эффективности производства и мониторинга окружающей среды нефтегазовых предприятий. Использование ГИС систем для мониторинга является актуальным и позволяет получать действительную информацию о состоянии месторождений, инженерных сооружений и прилегающих территорий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Соромотин А.В. Экологические последствия различных этапов освоения нефтегазовых месторождений в таежной зоне Тюменской области // Сибирский экологический журнал. 2011. № 6. С. 813–822.

2. Кукушкин С.Ю. Индикаторы антропогенной нагрузки на природно-территориальные комплексы при освоении нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной Сибири: дис. … канд. г. наук: 25.00.36. Санкт-Петербург, 2016. 200 с.

3. Водопьянов В.В., Киреева Н.А., Онегова Т.С. Интенсификация биодеградации нефтезагрязненных почв // Нефтяное хозяйство. 2002. № 12. С. 128–129.

4. Шипулин В.Д. Основные принципы геоинформационных систем: учебное пособие. Харьков: ХНАГХ, 2010. 337 с.

5. Марков Н.Г. Геоинформационные системы предприятий нефтегазовой отрасли: функциональность, архитектура и перспективы развития // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. № 9. С. 16–32.

6. Даниленко А. ГИС в нефтегазовой отрасли // Neftegaz.RU [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://nefte_gaz.ru/science/view/156-GIS-v-neftegazovoy-otrasli (дата обращения: 16.10.2018).

7. Шокин Ю.И., Потапов В.П. ГИС сегодня: состояние, перспективы, решения // Вычислительные технологии. 2015. Т. 20. № 5. С. 175–213.

УДК 551.89(476):528.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ПАЛИНОЛОГИИ

Н.М. Писарчук
кафедра физической географии мира и образовательных технологий факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск, pisarchuk@bsu.by

Я.К. Еловичева
профессор кафедры почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск

Представлено применение геоинформационных систем при обработке и хранении данных в палинологии. Приведена схема построения серии карт содержания пыльцы основных лесообразующих пород по хроноинтервалам на протяжении муравинского межледниковья для территории Беларуси с использованием инструментария программы ArcGIS.

Ключевые слова: палинология; муравинское межледниковье; реконструкция растительности; геинформационные системы.

ГИС для палинологии – это комплекс современных компьютерных технологий, позволяющий объективно обработать (анализ и картирование) огромный фактический материал. При обработке данных в палинологии использовался *статистического подход* после микроскопирования палинологических объектов (пыльца, споры) по серии образцов из изучаемых геологических разрезов (керна скважин, естественных обнажений). Фиксируемые в спецжурналах объекты исследования просчитывались по группам (древесные и кустарниковые, травянистые, споровые – как основа типа ландшафтов: закрытые лесные и разреженные/открытые луговые, болотные) и процентному соотношению внутри них (конкретная величина каждого вида растений). Сведенные в общую таблицу данные служили основой для составления палинологической диаграммы.

Тем не менее, с развитием новых технологий первые попытки по созданию программ обработки палинологических данных были осуществлены еще в 70-х гг. XX в. Так, В.А. Климанов [1–4] применил *информационно-статистический анализ* к исследованию пыльцевых спектров голоценовых разрезов (временно́й интервал от 10 300 лет назад по современный этап). Основываясь на связи субфоссильных (почвенных) спорово-пыльцевых спектров с современными климатическими условиями конкретных природных зон, были реконструированы количественные характеристики климата прошлого (средние температуры года, января, июля, годовое количество осадков). Позднее И.Н. Вершицкой [5] обработка палинологического материала была сведена к составлению на Беларуси карт ареалов лесообразующих пород в голоцене путем *интерполирования* содержания пыльцы, а Е.А. Козловым [6] – для литологии осадков *с использованием пространственного анализа в ArcGIS.*

В современном понимании геоданными для ГИС в палинологии служат палинологические разрезы, содержащие сведения о литологии и составе спорово-пыльцевых спектров отложений, накопившихся на протяжении определенных геологических интервалов. Так, каждый разрез имеет географическую привязку

(координаты) и информацию о процентном содержании всех древесных и кустарниковых пород, травянистых растений и споровых по временным срезам (фазам развития растительности). Эта информация была получена на предварительном этапе работы с палинологической базой данных Беларуси [7–12].

При использовании ГИС в палинологии чаще всего выделяются следующие этапы:

1) Формирование базы данных в специализированных программах;

2) Хранение и управление информацией, при необходимости дополнение новыми данными или новыми разрезами;

3) Обработка, моделирование и анализ данных;

4) Визуализация и вывод информации (чаще всего – получение серии тематических карт).

Ниже приведен пример использования ГИС при построении серии карт содержания пыльцы основных лесообразующих пород на протяжении муравинского межледниковья (временно́й интервал от 70 000–80 000 до 110 000 лет назад) на территории Беларуси для последующих реконструкций растительности.

В качестве элементарных дискретных геообъектов были использованы 230 репрезентативных (из 362) палинологических разрезов. Каждая его диаграмма была стратифицирована и на ней выделены фазы развития растительности (mr-1 – mr-12). Для каждой их них характерны свои показатели содержания пыльцы. Показательными являются следующие породы *Quercus L., Ulmus L., Tilia L., Corylus L., Alnus Gaerth., Carpinus L., Picea Dietrich., Pinus L., Betula L.*. С этой целью для каждого хроноинтервала (mr-1 – mr-12) по перечисленным выше таксонам древесного яруса были сняты показатели с диаграмм и сведены в таблицы. В результате этого таблицы атрибутивных данных содержали 5 130 показателей.

Далее в *программе ArcView GIS 3.2* для каждой фазы развития растительности были построены карты распределения пыльцы доминант лесных формаций (рисунок 1) в виде непрерывных поверхностей с использованием метода ОВР (обратно взвешенных расстояний). Шаг для построения изолиний при формировании векторного слоя изолиний задавался вручную в зависимости от содержания древесной породы.

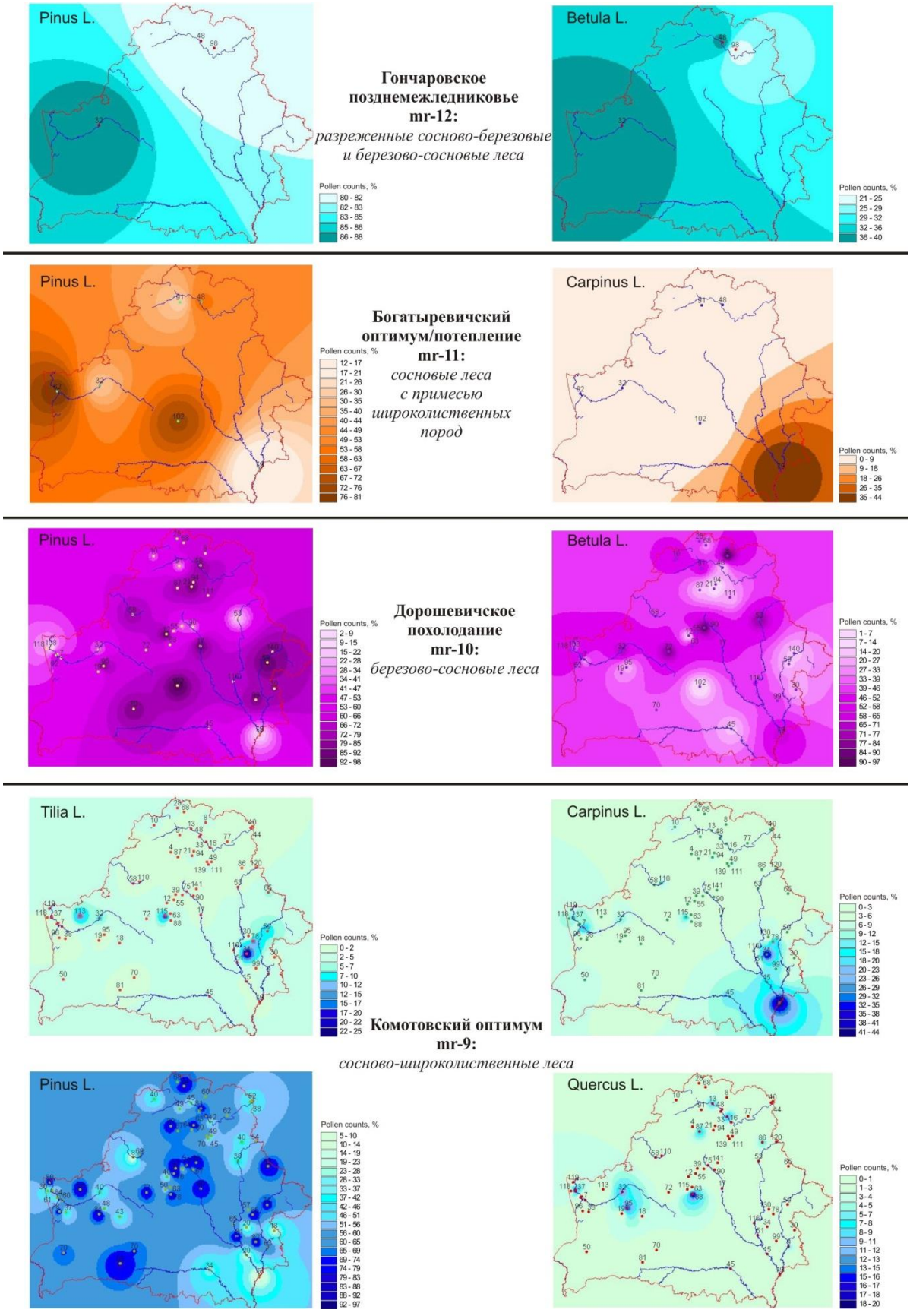


Рисунок 1 – Распространение пыльцы основных лесообразующих пород в муравинское (земское) межледниковье

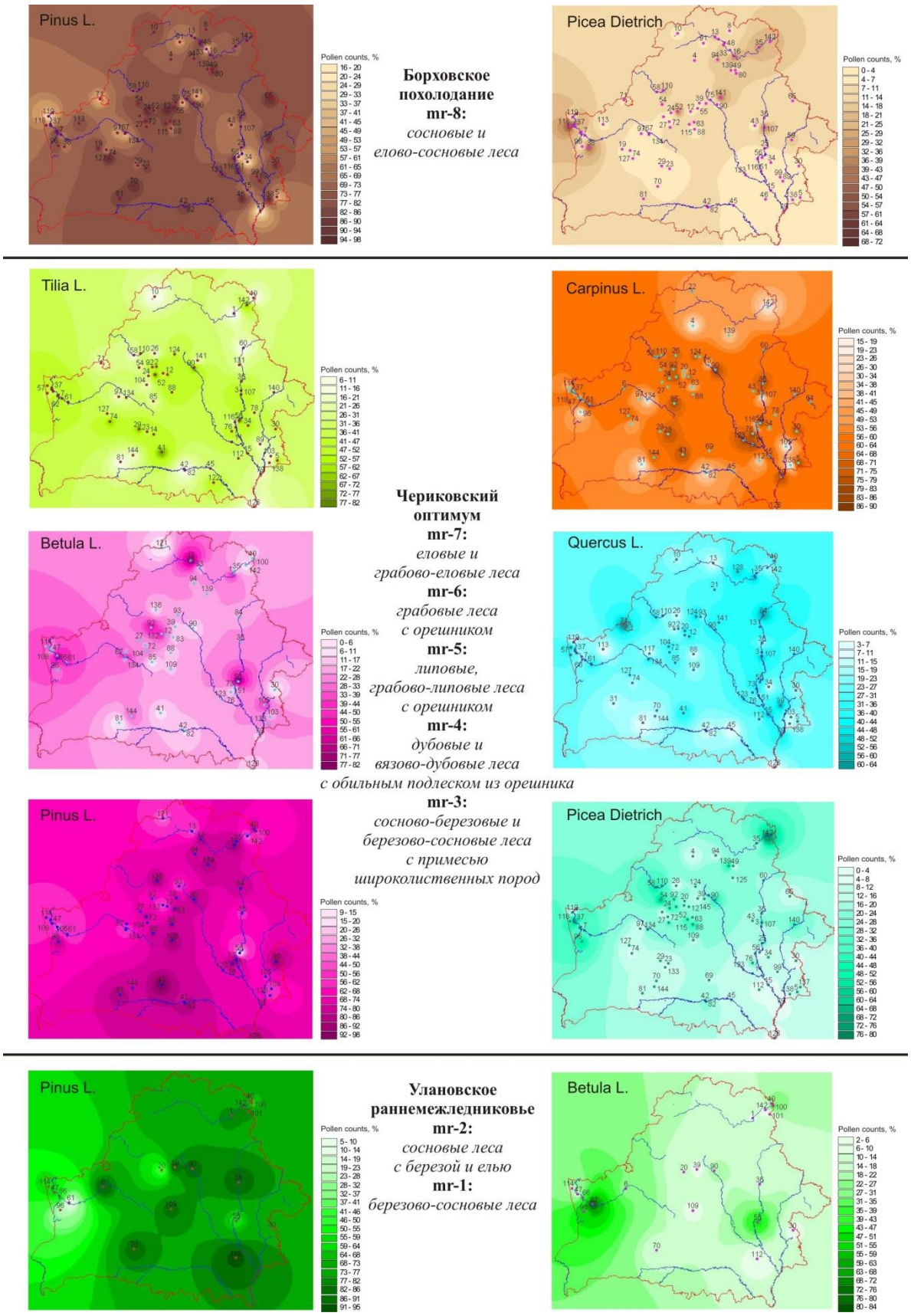


Рисунок 1 (продолжение) – Распространение пыльцы основных лесообразующих пород в муравинское (эемское) межледниковье.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Климанов В.А. Применение информационного анализа к исследованию пыльцевых спектров. М., 1974. Деп. ВИНИТИ № 2027-74.

2. Климанов В.А. К методике восстановления количественных характеристик климата прошлого // Вестник МГУ. Сер. геогр. 1976. № 2. С. 92–98.

3. Климанов В.А. Связь субфоссильных спорово-пыльцевых спектров с современными климатическими условиями // Известия АН СССР. Сер. геогр. 1981. № 5. С. 101–114.

4. Климанов В.А. Температура и количество осадков в субатлантическом периоде на севере Европейской части СССР по палинологическим данным // Колебания климата за последнее тысячелетие. Л., 1988.

5. Вершицкая И.Н. Динамика ареалов основных лесообразующих пород в ВО-2 и АТ-3 на территории Белорусского Полесья // Современные геологические процессы: тезисы докладов IV Республиканского совещания, Минск, 19–20 ноября 1998 г. Минск, 1998. С.13–14.

6. Козлов Е.А. Озерный седиментогенез голоцена Беларуси : автореф. дис. ... канд. геогр. Наук / БГУ. Минск, 2015.

7. Еловичева Я.К., Леонова А.Г., Таборовец О.В. Палинологическая база данных Беларуси // Актуальные проблемы палинологии на рубеже третьего тысячелетия: Тезисы IX Всерос. палинологической конф., Москва, 13-17 сентября 1999 г. Москва: ИГиРГИ, 1999. С. 102–103.

8. Писарчук Н.М. Информационные технологии и обработка палинологического материала // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси: материалы IV междунар. молодежной науч.-практ. конф. Пинск: ПолесГУ, 2010. Т.IV. С. 198–199.

9. Писарчук Н.М., Козлов Е.А., Еловичева Я.К. Информационные технологии в палинологии // Информатизация образования – 2010: педагогические аспекты создания информационно-образовательной среды: материалы междунар. науч. конф., Минск, 27-30 октября 2010 г. / Мин-во образования, БГУ; редкол.: И.А. Новик (отв. ред.). Минск: Издательский центр БГУ, 2010. С. 380–383.

10. Писарчук Н.М. Палинологическая обеспеченность и история изучения отложений муравинского межледниковья на территории Беларуси // Вестник БГУ. Сер. 2. Химия. Биология. География. 2012. № 2. С. 90–95.

11. Писарчук Н.М. Возможности информационных технологий для построения карт растительности по палинологическим данным // Методы палеоэкологических исследований: тез. докл. палинологической школы-конф. с междун. уч., Москва, 16-19 апреля 2014 г. / Редкол.: А.А. Величко, Н.С. Болиховская, Е.Ю. Новенко, С.С. Фаустов. М.: Изд. Моск. ун-та, 2014. – С. 63.

12. Писарчук Н.М. Палеогеографические реконструкции в муравинское межледниковье на территории Беларуси // Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Мат. IX Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода, Иркутск, 15–20 сентября 2015 г. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. С. 363–365.

УДК 551.509.313.43 : 551.581.21 : 551.510.534

ВЕРИФИКАЦИЯ И ТЕСТИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННОЙ МЕЗОМАСШТАБНОЙ АТМОСФЕРНОЙ МОДЕЛИ WRF ДЛЯ РЕГИОНА БАЗИРОВАНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

Т.В. Шлендер,
кафедра общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск, timajaya@mail.ru

С.К. Бородко
Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы Белорусского государственного университета, Минск.

В результате выполнения работы была протестирована численная атмосферная модель WRF в районе базирования БАЭ, при этом особое внимание уделялось возможности воспроизведения мезомасштабных метеорологических процессов и оптимального представления в модели характерных особенностей атмосферной циркуляции в Антарктике. Проведена адаптация выбранной модели на основе поиска оптимальных конфигураций модели для реалистичного воспроизведения картины движения воздушных потоков и их последующего тестирования путём проведения серии вычислительных экспериментов для выбранных случаев погодных явлений в Антарктике. При верификации полученных расчетов были выявлены некоторые недочеты модели в части визуализации облачности внутриматериковой части Антарктиды и достоверности показаний приземной температуры воздуха.

Ключевые слова: атмосферная циркуляция в Антарктиде; численное моделирование атмосферных процессов; спутниковые наблюдения.

Начиная с 2006 года, почти ежегодно совершаются Белорусские Антарктические Экспедиции (БАЭ) на самый южный материк Земли. Основным местом базирования полярников из Беларуси является место расположения законсервированной инфраструктуры российской полевой базы «Гора Вечерняя», холмы Тала, побережье моря Космонавтов на Земле Эндерби в Восточной Антарктиде.

С целью построения универсальной системы мезомасштабного атмосферного моделирования для территории Антарктики и выработки методики её использования для решения актуальных исследовательских задач фундаментального и прикладного характера изучался атмосферный циркуляционный режим материка Антарктида в целом и региона базирования БАЭ в частности (Земля Эндерби, Восточная Антарктика). Для достижения поставленной цели применялись методы математического моделирования, в основе которых лежит численное интегрирование уравнений движения сплошной среды для атмосферы Земли с учётом влияния различных классов физических атмосферных процессов и взаимодействия атмосферы с поверхностью суши и океана. Верификация полученных конфигураций систем моделирования выполнялась путём сравнительного анализа результатов моделирования с доступными наземными и орбитальными данными наблюдений атмосферных параметров.

Учитывая опыт Американских полярников, которые, под эгидой программы AMPS [1], используют для мезомасштабного прогнозирования погоды и исследования атмосферных процессов Антарктики численную атмосферную модель

Polar WRF [2] (модифицированный вариант обычной версии модели WRF) было решено использовать в нашем случае модель WRF. Система WRF (Weather Research & Forecasting) представляет собой одну из наиболее современных и разработанных систем численного прогноза погоды и атмосферного моделирования [3]. Разработка системы WRF является результатом сотрудничества ряда ведомств, исследовательских организаций и университетов в рамках проекта по созданию нового поколения систем мезомасштабного атмосферного моделирования и усвоения данных метеонаблюдений с целью улучшения понимания физических процессов в атмосфере и повышения качества прогнозирования мезомасштабных погодных явлений, а также для скорейшего внедрения новейших научно-исследовательских разработок в сфере атмосферного моделирования в практику оперативного метеорологического прогнозирования. Исходные данные были получены из данных атмосферного реанализа ERA5, формируемого под эгидой Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) в рамках программы Copernicus [4], спутниковых наблюдений Aqua/MODIS [5], и наземных данных наблюдений за состоянием атмосферы в антарктическом регионе для станции Сьова [6].

Симмондс и др. [7] проанализировали данные движения циклонов для высоких южных широт за период 1979–2000 гг., где плотность циклонических систем была самой высокой к югу от 60° ю.ш. Зимой обычно выше, чем летом. Уотила и др. [8] исследовали связь между характером циклонов и свойствами поверхности в Антарктических районов за 2001–2009 гг. Они обнаружили, что 20% циклонных систем были мезомасштабными, а 80% – большими синоптическими системами. Количество циклонных систем каждого типа увеличивалось зимой и уменьшалось летом. Согласно Хоскинсу и Ходжу [9], плотность шторм-треков вдоль побережья Антарктиды различается от сезона к сезону. Летом наибольшая плотность шторм-треков расположена в южной части Атлантического океана, со стороны АМС «Молодежная» и БАЭ. Зимой, осенью и весной частота плотности шторм-треков перемещается в район Тихого океана, южнее Новой Зеландии. Японские исследователи в своей работе [10] использовали также модель WRF для воспроизведения важных особенностей рекордно сильного ветра на станции Сьова, такие как мощный прибрежный циклон, катабатические ветра и орографические ветра.

Таким образом, выходы теплых и влажных циклонов с интенсивной штормовой активностью могут определять нестабильную погоду в районе БАЭ, с чередующимися сильными восточными и юго-восточными ветрами, сопровождающимися снегопадами, метелями и значительными колебаниями температуры воздуха.

В течение последних 10 лет в районе Земли Эндерби наблюдается сильная циклоническая активность. Примерно каждые 2–3 дня в прибрежной зоне данного участка материка проходит циклон или циклонические фронты. Антициклоны и антициклональные гребни лишь изредка появляются на фоне частых циклонов и имеют промежуточное значение. В связи с этим, были выбраны наиболее характерные синоптические ситуации для моря Космонавтов

и Земли Эндерби и актуальные для периода пребывания БАЭ, которые отражают по большей части современную циркуляцию Антарктиды.

Летний случай 2018 года 19–23 февраля описывает серию из двух циклонов, которые двигались на восток вдоль побережья моря Космонавтов и чередовались гребнями высокого давления из тропического антициклона Индийского океана (рисунок 1).

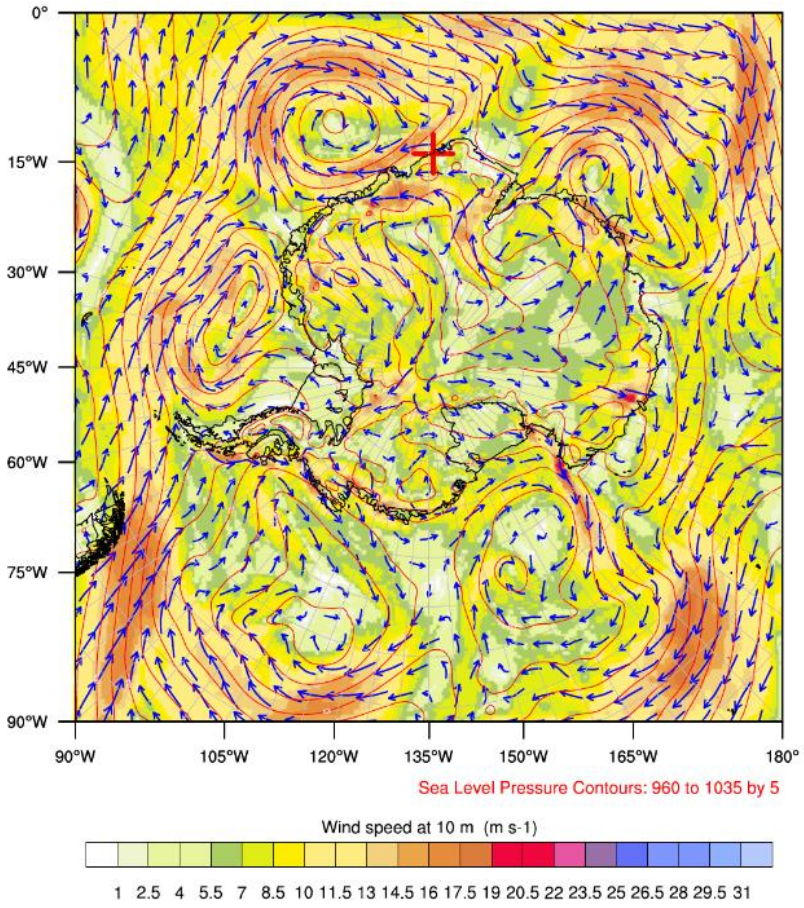


Рисунок 1 – Скорость и направление ветра (м/с) для Антарктиды
по данным модели WRF на 23 февраля 2018 г., 12 UTC.
Синие стрелки – поле ветра (на уровне 10 м над поверхностью), красные сплошные линии – изобары давления на уровне моря, цветовая заливка – абсолютная скорость ветра в м/с (на 10 м).

При сравнении данных облачности модельных расчетов WRF со спутниковыми данными облачности Aqua/MODIS видно, что модель дополнительно воспроизводит облачность над внутренними территориями материка, в отличие от показаний спутника (рисунок 2–3). В прибрежной зоне показания модели и спутника в целом совпадают.

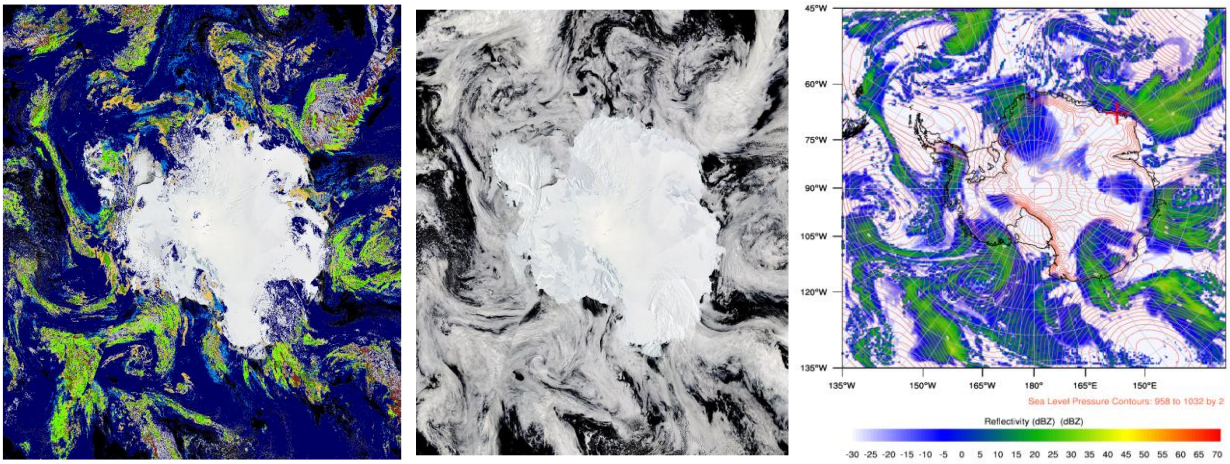
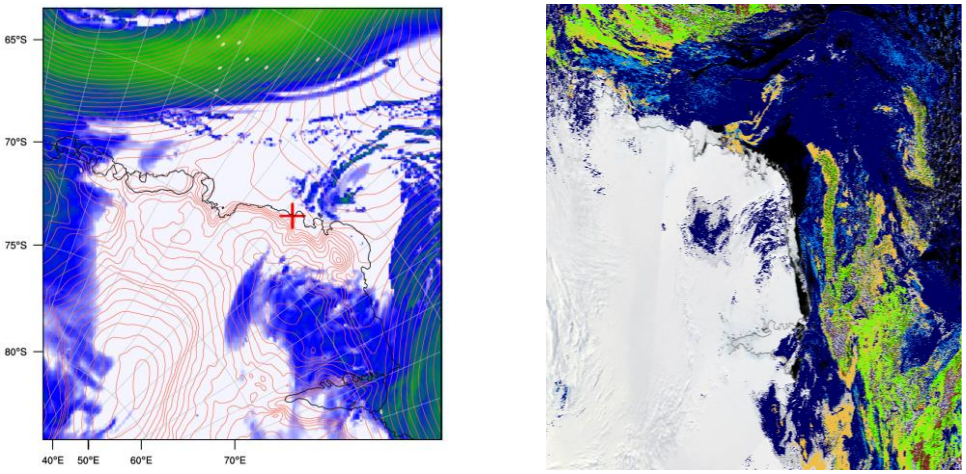


Рисунок 2 – Спутниковые данные облачности Aqua/MODIS (слева и по центру) и карта облачности (dbZ) для Антарктиды по данным модели WRF на 19 февраля 2018 г., 16:00 UTC.



а б

Рисунок 3 – Облачность (dbZ) для региона БАЭ по данным модели WRF (а) и спутниковые данные облачности Aqua/MODIS (б) на 22 февраля 2018 г., 12:00 UTC.

При верификации модельных данных с данными реанализа ERA5 и данными наблюдений на ст. Сьова для весеннего случая 1–5 сентября 2013 года были сделаны следующие выводы. WRF в сравнении с показаниями ст.Сьова завышает температуру в среднем на +6–7º С. В некоторых случаях – более чем на +10º С. Скорее всего это связано с тем, что данная версия модели WRF по умолчанию не в полной мере адаптирована для полярной области, где имеется снежный и ледяной покров на большей части поверхности и имеются отличительные радиационные процессы. В сравнении с данными ERA5 по приземной температуре WRF также завышает температуру, но уже с меньшим значением – на +3–4º С, в некоторых случаях до +6º С. По части скорости и направления ветра модель WRF достоверно отразила показания данных ветра в сравнении с данными ветра ст. Сьова (отличие в 1м/с).

В итоге численная модель воспроизвела характерные синоптические ситуации над Антарктидой и местом расположения БАЭ. При различных настройках модели была проверена ее способность к адекватному

воспроизведению данных облачности и давления над уровнем моря, приземной температуры и скоростей и направления ветра. Модель WRF дополнительно воспроизводит облачность над внутренними территориями материка Антарктиды, в отличие от показаний облачности спутника Aqua/MODIS. В прибрежной зоне показания модели и спутника в целом совпадают по облачности. Численная модель в сравнении с данными наблюдений ст.Сьова завышает температуру в среднем на +6–7º С, а в сравнении с данными реанализа ERA5 – на +3–4º С в весенний период, в зимний период – на +2º С по сравнению с данными ст. Сьова. В некоторые дни значения модели могут превышать показания наблюдений более чем на +10º С. Это связано с тем, что по умолчанию обычная версия модели WRF не вполне адаптирована для полярной территории. По части скорости и направления ветра, модель WRF отлично воспроизводит данные циркуляции атмосферы.

Работа была выполнена в рамках ГП "Наукоемкие технологии и техника" на 2016–2020 годы; подпрограммы 3 «Мониторинг полярных районов Земли, создание белорусской антарктической станции и обеспечение деятельности полярных экспедиций»; раздела 2 «Мониторинг окружающей среды Антарктиды»; НИР «Развитие методических основ численного моделирования мезомасштабных атмосферных процессов на территории Антарктики с учётом влияния факторов глобальной циркуляции атмосферы и региональных особенностей».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. The Antarctic Mesoscale Prediction System (AMPS) [Electronic resource]. Mode of access: http://www2.mmm.ucar.edu/rt/amps/.

2. Polar WRF – Polar meteorology group at BPRC [Electronic resource]. Mode of access: http://polarmet.osu.edu/PWRF.

3. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. (NCAR Technical Note NCAR/TN-46 + STR) / Skamarock W.C. [et al.]. University Corporation for Atmospheric Research. 2008. DOI:10.5065/D68S4MVH

4. ERA5 data documentation // Copernicus Knowledge Base, ECMWF [Electronic resource]. Mode of access: https://software.ecmwf.int/wiki/display/CKB/ERA5+data+documentation.

5. NASA Worldview [Electronic resource]. Mode of access: https://worldview.earthdata.nasa.gov.

6. Reference Antarctic Data for Environmental Research [Electronic resource]. Mode of access: https://legacy.bas.ac.uk/met/READER.

7. Simmonds I., Keay K., Lim E.P. Synoptic activity in the seas around Antarctica. Monthly Weather Review. 2003. № 131(2). P. 272–288. DOI: 10.1175/1520-0493(2003)131<0272:SAITSA>2.0.CO;2

8. Uotila P., Vihma T., Pezza A.B., Simmonds I., Keay K., Lynch A.H. Relationships between Antarctic cyclones and surface conditions as derived from high-resolution numerical weather prediction data / Uotila P. [et al.] // Journal of Geophysical Research. 2011. Vol. 116. Issue D07. DOI: 10.1029/ 2010JD015358.

9. Hoskins B.J., Hodges K.I. A new perspective on southern hemisphere storm tracks // Journal of climate. 2005. Vol.18. P.4108–4129.

10. Yamada K. Hirasawa N. Analysis of a record-breaking strong wind event at Syowa Station in January 2015 // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2018. Vol. 123. Issue 24. P. 13 643–13 657. DOI: 10.1029/2018JD028877.

УДК 551.243

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛОМНОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПО ДАННЫМ КОСМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ КАРТЫ

П.С. Долгий
кафедра геодезии и ГИС факультета информационных технологий
Полоцкого государственного университета, Новополоцк, p.dolgi@psu.by

Г.А. Шароглазова
заведующий кафедрой геодезии и ГИС Полоцкого государственного университета, Новополоцк

Статья посвящена оценке фрактальной размерности (степени самоподобия) сети линейных разломов на территории Республики Беларусь. В качестве исходных данных взята космотектоническая карта Беларуси (по Гарецкому, Каратаеву и др.). В исследовании использованы ГИС-технологии (программный комплекс QGIS) и программирование (математические библиотеки языка Python). Оценка выполнена путем наложения регулярных сеток с различным шагом и подсчета количества ячеек, покрывающих исследуемую структуру. Аппроксимация полученных значений выполнена в двойном логарифмическом масштабе линейной полиномиальной функцией. В результате сделаны выводы о степени самоподобия разломов на территории Беларуси и степени изрезанности территории сетью.

Ключевые слова: самоподобие; фрактал; фрактальная размерность; разломная сеть; космотектоническая карта.

В настоящее время наблюдается обновление взглядов на классическую науку под влиянием идей нелинейной науки: теорий динамических систем, фракталов, синергетики. Особенно прочно эти идеи проникли в науки о Земле.

Много работ [1–2] посвящено исследованиям самоподобия структур литосферы различного масштаба (литосферных плит, блоков, микроблоков); распределения сейсмичности в пространстве и проявления его во времени. Ввести количественные характеристики самоподобия позволяет применение теории фракталов – объектов, в которых каждая часть множества несет информацию о целом [1].

Цель данной работы – оценить фрактальную размерность сети тектонических разломов на территории Беларуси.

В качестве исходных данных использована космотектоническая карта Беларуси масштаба 1 : 500 000, полученная на основе изучения синтетических космоизображений, а также комплексных геолого-геофизических материалов в рамках работы Р.Г. Гарецкого, Г.И. Каратаева, Р.Е. Айзберга, А.К. Карабанова, А.А. Святогорова [3].

В общем виде закон делимости описывается степенным соотношением вида:

$$N \sim L^{-\alpha}: \quad (1)$$

где N – количество блоков; L – их размер; α – параметр распределения.

Согласно методике, описанной в работе [1], исследуемую структуру покрывают регулярной сеткой со стороной, равной δ, после чего подсчитывают коли-

чество ячеек, покрывающих структуру. Для диапазона значений, в которых выполняется пропорциональность

$$\mathrm{N} \sim \delta^{-D}: \tag{2}$$

где N – количество ячеек сетки, покрытых исследуемой структурой, δ – длина стороны сетки, показатель степени является оценкой фрактальной размерности D исследуемой структуры.

Чаще всего зависимость строится в двойном логарифмическом масштабе:

$$\lg(\mathrm{N}) = \mathrm{f}(\lg(\delta)); \tag{3}$$

Затем исследуемую область аппроксимируют прямой линией методом наименьших квадратов:

$$\lg(\mathrm{N}) = -D \lg(\delta) + a, \tag{4}$$

где a – постоянная. Тангенс угла наклона графика является размерностью D.

Пространственный анализ разломной сети выполнен в программном продукте QGIS 3.4. Разломы переведены в векторный вид, после чего покрыты набором регулярных сеток с различным размером ячейки: от 1 до 24 км. При помощи операции «Пространственное соединение», отобраны только те ячейки, которые перекрывают разломную сеть (рисунок 1).

Рисунок 1 – Разломная сеть Беларуси по [3], покрытая набором регулярных сеток с различными размерами ячеек

Дальнейшая обработка выполнена в среде Jupyter с помощью библиотек научных вычислений языка Python 3.4.4 Numpy, SciPy и Matplotlib. Сформировав массивы исходных данных (класс numpy.array), вычисляем десятичный логарифм каждого элемента.

Создаем список аргументов для построения графиков моделей:

```
In [126]: fx = sp.linspace(x[0]-0.1, x[-1]+0.1, 1000)
```

Получаем параметры модели для полинома и создаем объект f функции-полинома:

```
In [127]: fp, residuals, rank, sv, rcond = sp.polyfit(x, y, 1, full=True)
          f = sp.poly1d(fp)
```

Передавая полученный ранее список аргументов в функцию-полином, выполняем отрисовку данной функции в предварительно настроенных осях координат изображения matplotlib (рисунок 2). С помощью свойства coeffs объекта функции получаем коэффициенты уравнения и отображаем первый из них (старший член) в качестве подписи к графику.

В результате получаем уравнение аппроксимирующей прямой:

$$\lg(N) = 1.39\lg(\delta) + 5.02 \qquad (5)$$

Таким образом, значение фрактальной размерности D равно 1,39.

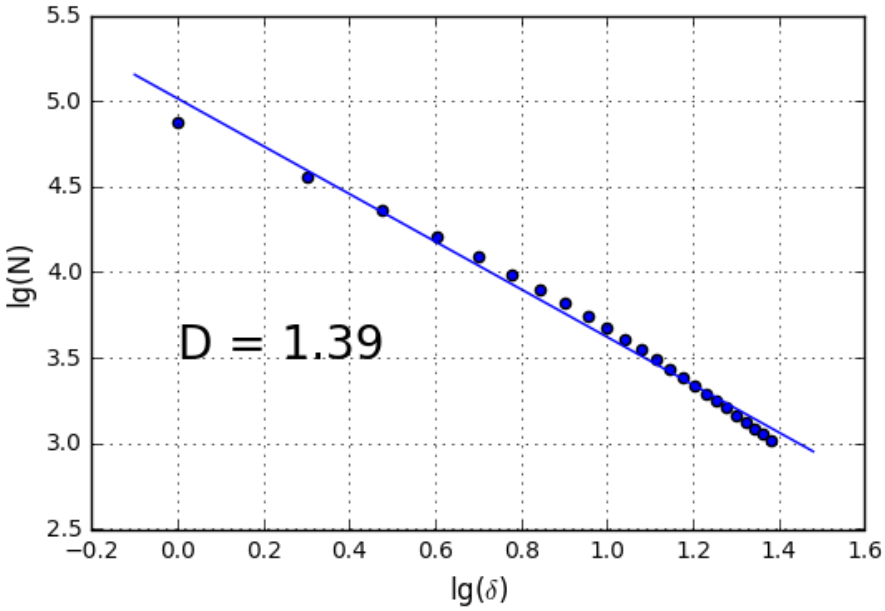


Рисунок 2 – Зависимость количества ячеек, покрывающих разломную сеть от масштаба рассмотрения и прямая, её аппроксимирующая

Тот факт, что полученная нами фрактальная размерность лежит в промежутке от 1 до 2, говорит о безусловном существовании самоподобия сети и о средней степени изрезанности территории Беларуси разломной сетью [1]. На графике (рисунок 2) можно заметить некоторое изменение крутизны графика в районе δ, равного 13 км, что говорит об изменении фрактальной размерности в более крупных масштабах рассмотрения. Наибольшее доверие вызывают масштабы рассмотрения мельче 13 км, т.к. крупная сетка покрывает разломную сеть практически полностью.

Дальнейшие исследования планируется выполнять с привлечением других степенных законов, учитывающих, в частности, длину разломов; включением в набор исходных данных также обозначенные на космотектонической карте кольцевые структуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Захаров В.С. Самоподобие структур и процессов в литосфере по результатам фрактального и динамического анализа // Диссертация на соискание степени д. г.-м. н, 2014, МГУ.

2. Макаров П.В. Об иерархической природе деформации и разрушения твердых тел и сред // Физическая мезомеханика. 2004. № 7. С. 25–34.

3. Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И., Айзберг Р.Е., Карабанов А.К., Святогоров А.А. Космотектоническая карта Беларуси масштаба 1 : 500 000: создание и результаты // Літасфера. 2013. № 1. С. 3–30.

УДК 528.88

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛОНИИ ЧЕРНОХВОСТОЙ ЧАЙКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ ПО МАТЕРИАЛАМ БПЛА

А.А. Шурыгина, Г.С. Титов

кафедра картографии и геоинформатики Московского государственного университет имени М. В. Ломоносова, Москва, shur.a17@yandex.ru, gs.titov@yandex.ru

А.И. Мысленков

к.б.н., заместитель директора по научной работе ФГБУ «Объединенная дирекция Лазовского заповедника и национального парка «Зов тигра»

Применимость воздушной съёмки для изучения птиц мало изучена, хотя метод является перспективным в силу своего незначительного воздействия на объект исследования. Использованы подходы геоинформатики и геостатистики для анализа материалов разновременной съёмки колонии чернохвостой чайки *(Larus crassirostris*) с беспилотного летательного аппарата на о. Опасный. Разработана методика автоматизированного дешифрирования птиц на снимках, что позволило провести точные картометрические измерения. Результаты распознавания верифицировались путём сравнения с итогами визуального дешифрирования птиц. Получены схемы размещения и плотности гнездовых участков чаек в пределах колонии. Исследован принцип расположения гнёзд при помощи методов анализа точечных процессов. Определены условия съёмки для получения достоверных и значимых результатов.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; пространственный анализ; колониальные птицы; точечный процесс.

Введение. Традиционный способ учёта колониальных видов птиц – маршрутный, подразумевающий непосредственное посещение места гнездования [1]. Для решения задачи подсчёта птиц или гнёзд он является трудоёмким, времязатратным, сопряжён с причинением вреда гнездовью и не исключает грубых ошибок [2]. Альтернативой такому подходу может быть использование снимков с беспилотных летательных аппаратов. Текущее исследование проводилось с целью выработать подходы к изучению колониальных птиц Приморья с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Для исследования выбран участок гнездования чернохвостой чайки на о. Опасный в Японском море (43.032190° с. ш., 134.183199° в. д.) – ровный гравийно-галечниковый участок косы, площадью 1854 кв. м, покрытый травянистой растительностью, преимущественно колосняком. Гнёзда располагаются на высоте от 1,5 м до максимальной точки в 2,4 м [3].

Съёмки территории проводились в период с 29 марта по 19 июня 2019 г. Применялся квадрокоптер DJI Phantom-4, оснащённый камерой 12 мегапикселей (разрешение 4000x3000 пикселей) с сенсором 1/2,3" и объективом с фокусным расстоянием 3,61 мм. Угол обзора камеры равен 94°.

Методика работ. Перспективные изображения, полученные с высот 3–10 м используются для визуального распознавания чаек с применением любого графического редактора. Такой тип снимков позволяет разделить птиц на группы: сидячие на бревне, стоящие, сидящие на гнезде и скрытые травой, то есть потен-

циально не видимые на плановых изображениях. Перспективные снимки с больших высот применялись для подсчёта птиц в колонии вручную и определения ошибки автоматизированного подсчёта.

В пространственном анализе использовались единичные плановые снимки с высоты 30–40 м. Они достаточно детальны, чтобы выделять отдельных птиц, и вмещают весь исследуемый участок. Мобильность исследуемых объектов вынуждает отказаться от мозаик снимков и использовать единичные изображения.

При этом возникает проблема привязки снимка и определения его масштаба. Попытка определять масштаб по фокусному расстоянию камеры и высоте съёмки оказались неудачными, так как высота в метаданных снимка часто оказывалась некорректной. Масштаб определялся по крупным неподвижным камням, которые были измерены после съёмки. Снимки не привязывались.

Чайки на снимке распознавались автоматизировано. Обработка снимков выполнялась в программном продукте ArcGIS 10.5. Поскольку чернохвостая чайка имеет ярко выраженные дешифровочные признаки – белая голова и от тёмно-серого до чёрного туловище – она резко контрастирует с местом гнездования: травянистым покровом, который имеет жёлтый, соломенный цвет до начала мая и насыщенный зелёный после. По этой причине белые головы птиц имели наибольшую яркость во всех трёх видимых каналах камеры и для выделения чаек достаточно работать с одним из них. Для усиления контрастности изображения был применён метод главных компонент (рисунок 1).

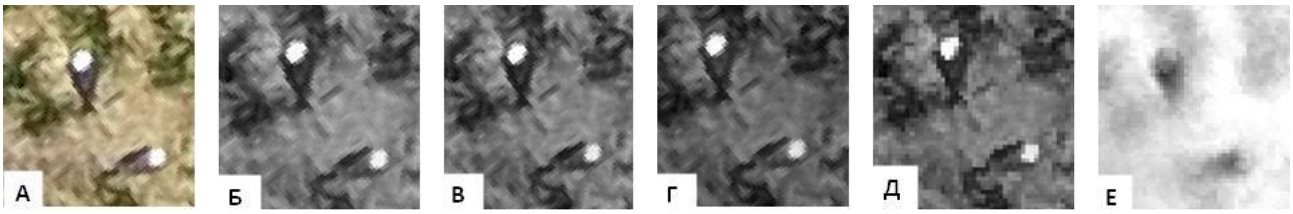


Рисунок 1 – Фрагменты исходных материалов для обработки: А — цветной синтезированный снимок (27.04.19 г.); Б — изображение в красной зоне; В — изображение в зелёной зоне; Г — изображение в синей зоне; Д — изображение первой главной компоненты; Е — изображение второй главной компоненты

Затем по первой главной компоненте, на основе обучающей выборки, включающей пиксели, соответствующие головам чаек, определялось минимальное значение яркости белого оперения птиц. Вырезались группы пикселей, содержащие высокие значения, после чего они преобразовывались в точки. Далее выполнялся визуальный контроль постановки точек: исключались летящие чайки или сидящие на брёвнах, камнях, а также ложно определённые чайки. Тёмные тела чаек отчётливо видны на изображении второй главной компоненты снимка, однако можно заметить, что зелёная трава также имеет низкие значения на изображении и осложняет работу с летними снимками. Поэтому она использовалось только для дополнительной проверки правильности выделения птиц. Необходимо отметить, что каждый снимок обрабатывался дважды. Сначала инструментальная обработка, а затем ручной подсчёт птиц — расхождения результатов находились в пределах 5%.

Получив места расположения насиживающих птиц, зная масштаб исходного изображения, можно для каждой насиживающей птицы измерить расстояние до ближайшего соседа и общую площадь колонии. По этим данным рассчитывались средняя плотность гнёзд, минимальные, максимальные и средние расстояния между ними.

При помощи инструмента *Kernel Density* в программном пакете ArcGIS было получено растровое изображение изменения плотности гнёзд в пределах колонии. Одной из возможных причин неоднородности расположения гнёзд может быть густота растительного покрова [2], поэтому дополнительно был проведён корреляционный анализ растров плотности гнёзд и зелёного канала исходного изображения, содержащего максимальную информацию о растительности.

Выбор колонией чаек мест обустройства гнезда в пределах гнездового участка можно рассматривать как точечный процесс – случайный процесс, реализациями которого являются неупорядоченные положительно определённые множества точек. То есть, в заданной области пространства появление точек в определённых координатах подчиняется случайному закону, который можно исследовать статистически. Его анализ является одним из способов формулирования факторов такого выбора. Для всех векторных точечных слоёв – результатов дешифрирования гнёзд чернохвостой чайки, было проведено исследование точечных конфигураций при помощи языка программирования ***R***. При помощи библиотеки *spatstat* проводились тесты на характер рисунка: анализировалась диаграмма Моришита и G-, F-, K-, L-функции.

Результаты. Отобрано и обработано в геоинформационном программном продукте 14 плановых снимков. Получены схемы расположения птиц и растровые изображения плотности их размещения (рисунок 2). Несмотря на то, что особи эффективно распознаются на снимках автоматизированным путём, выделить из них гнездящихся трудно. Грубая оценка числа гнёзд выполнялась следующим образом: из общего числа распознанных птиц вычитались особи, расположенные к какой-либо другой птице ближе 35 см – партнёры. При сравнении с результатами визуального дешифрирования гнёзд по перспективным снимкам была выявлена ошибка такой оценки в 100–150 гнёзд (~20%).

Анализ изменения плотности гнёзд с апреля по июнь показал, что пик его населённости приходится на начало мая. Также прослеживается закономерность выбора гнездового участка по периметру задернованной территории. Гипотеза о том, что такое поведение связано с густотой растительности, не получила численных подтверждений. На рисунке 3 показан растр локальной (размер окна 20×20 пикселей) корреляции плотности размещения гнёзд и интенсивности отражения в зелёном участке спектра (густоты травяного покрова) – на большей части территории взаимосвязь незначительна, лишь на границах участка сохраняется плотное размещение гнёзд на разреженном растительном покрове, что, вероятнее всего, связано с краевым эффектом вычисления корреляции и не имеет статистической значимости. Аналогичный анализ данных за другие даты имеет схожий результат.

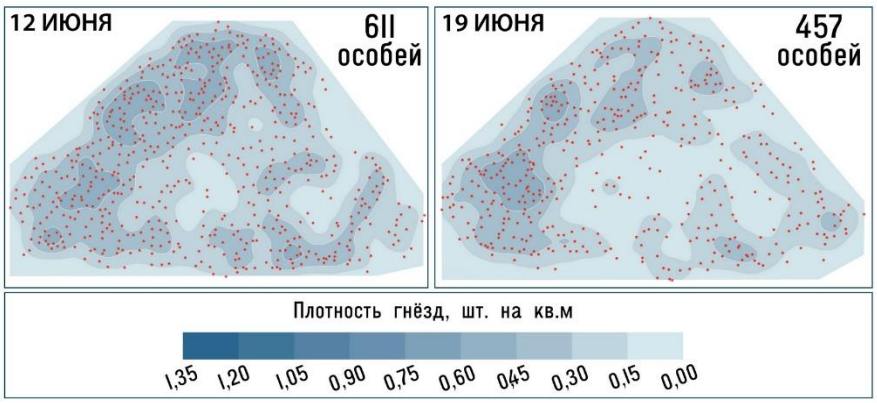


Рисунок 2 – Изменение плотности гнёзд чернохвостой чайки на галечно-гравийной косе в июне 2019 г.

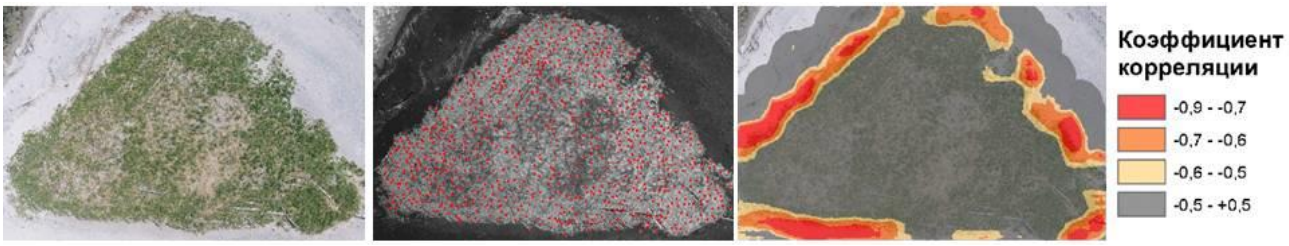


Рисунок 3– Результат расчёта локальной корреляции Пирсона (справа) между изображением в зелёном канале за 24.05.19 г. (в центре) и соответствующим растром плотности гнёзд

Анализ точечных рисунков, также призванный выявить закономерности выбора мест гнездования, позволил выделить этапы заселения этого района:

1. Выбор участка гнездования: чайки «договариваются», на какой территории будет располагаться колония: расположение птиц случайно.

2. В пределах намеченной территории в апреле определяются наиболее привлекательные фрагменты, с которых начинается заселение – ядра, образующие кластеры рисунка гнёзд. Где именно находятся такие участки показывают схемы плотности гнёзд (рисунок. 2), на которых заметно, что для исследуемой территории наиболее выгодной является её периферия, центр заполняется во вторую очередь.

3. Максимальное заполнение участка в мае и июне, которое приводит к регулярной конфигурации гнёзд: птицы занимают свободные места, но не приближаются к соседям меньше, чем на определённое расстояние (~40 см).

4. Обеднение участка к окончанию периода гнездования, возврат к ядерному распределению с конца июня.

Неточности в дешифрировании чернохвостой чайки были связаны с наличием бликов от светлых брёвен на снимках и белых камней, близких по размеру на головы птиц. Было выявлено требование к масштабу снимков: он должен быть таким, чтобы чайка занимала на нём не менее 15 пикселей, иначе яркие головы сливаются с подстилающей поверхностью.

Выводы. Проведенное исследование представляет методическую ценность: выявлены перспективы и барьеры при использовании БПЛА и подходов пространственного анализа для исследования колониальных птиц. Перспективами

являются неинвазивность метода, снижение издержек на выполнение наблюдений, повышение точности и воспроизводимости результатов, возможность автоматизации обработки снимков. Основные барьеры – необходимость специального оборудования, программного обеспечения и квалификации исполнителей, высокая доля ручной обработки снимков для получения максимально разнообразной информации.

Для привязки снимков необходимо заблаговременно наметить хорошо различимые и неподвижные на снимке точки, определить их координаты с требуемой точностью. Точная привязка изображений открывает перспективу автоматического выявления гнёзд по разновременным снимкам в период насиживания: чайки, которые не меняют своего положения на них, вероятно, сидят на гнезде.

Возможности автоматизации распознавания птиц и пространственного анализа позволяют эффективно обрабатывать большое количество данных, а, следовательно, организовывать суточный и сезонный мониторинг колонии, который представляет наибольшую ценность для зоологических исследований. Геоинформационный анализ и анализ точечного процесса выбора чайками места для гнёзд помогают выявить пространственные закономерности поведения птиц: средние расстояния между гнёздами, факторы размещения гнезда и заселения колонии.

БИБЛИОГРАФИЧЕКИЕ ССЫЛКИ

1. Равкин Е.С., Челинцев Н.Г. Методические рекомендации по комплексному маршрутному учету птиц. Москва, 1990.

2. Grensdorffer G.J. UAS-based automatic count of a common gall colony // International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. 2013. Volume XL-1/W2. P. 169–174.

3. Myslenkov A.I. Lazovsky State Nature Reserve (Russia) // Биота и среда заповедников Дальнего Востока = Biodiversity and Environment of Far East Reserves. 2016. № 2. С. 32–46.

УДК 911.3 : 004

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗМЕЩЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ БЕРЁЗОВСКОГО РАЙОНА

Я.А. Романенко

кафедра географии и природопользования географического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, yana_romanenko_1999@mail.ru

С.М. Токарчук

доцент кафедры географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест

В работе представлен опыт применения шаблонов карт историй (Story Map) ArcGIS Online для изучения особенностей размещения и динамики населения сельских населенных пунктов Березовского района. Показаны примеры выполненных картографических веб-приложений. Описаны особенности данных приложений и их основное содержание.

Ключевые слова: население; сельские населенные пункты; Березовский район; веб-приложение; интерактивная карта.

Березовский район – административная единица на юго-западе Республики Беларусь в центральной части Брестской области. Территория района составляет 1412 км^2. Центр района – г. Береза, пятый по численности населения город Брестской области.

Население района составляет 63,4 тыс. человек, в том числе в городских условиях живут 41 872 человек (66,1%). Помимо районного центра (г. Береза) в районе расположен еще один город – Белоозерск. Самыми большими сельскими населенными пунктами на 1 января 2018 года являются аг. Пески – 2056, аг. Первомайская – 1781, аг. Малеч – 1741. Самыми маленькими населенными пунктами в Березовском районе являются д. Бухали, с населением 1 человек, д. Висневичи – 5 человек, д. Олехновичи – 2 человека, д. Черничное – 3 человека, д. Осека – 5 человек, д. Черняково – 1 человек.

Средняя плотность 47,4 человека на 1 км^2.

В представленной работе показан опыт применения ГИС-технологий для изучения особенностей пространственного размещения населенных пунктов в пределах Березовского района, а также динамики численности сельского населения за период наличия достоверных данных.

Работа выполнялась путем создания картографических веб-приложений Story Map ArcGIS Online, а также реализацией веб-карт в облачной среде.

Во-первых было выполнено полное инвентаризационное приложение «Населенные пункты Березовского района» [1] с использованием шаблона карт историй Map Shortlist. Приложение включает три вкладки. На первой вкладке отображены города Берёзовского района (Береза и Белоозерск). На второй вкладке отмечены центры сельских советов района (10 населенных пунктов) (рисунок 1). На следующей вкладке показаны все сельские населенные пункты района (100 населенных пунктов).

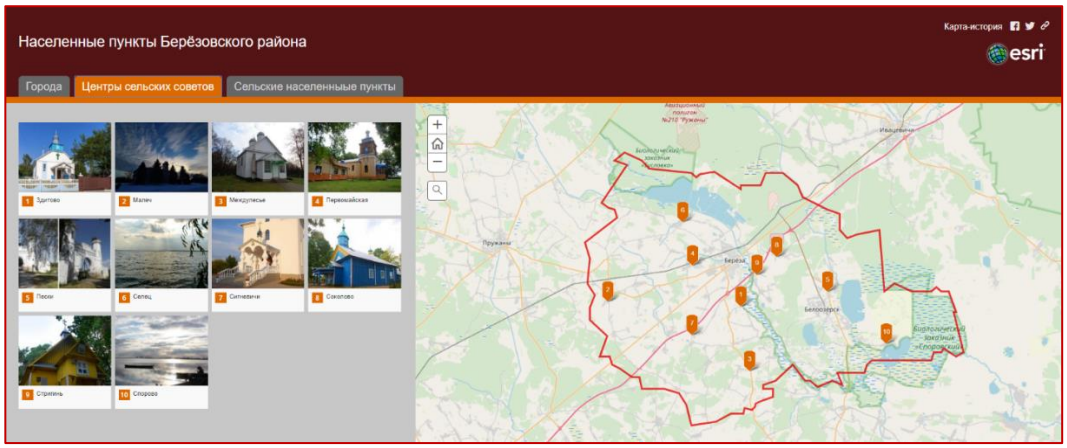


Рисунок 1 – Веб-приложение «Населенные пункты Березовского района» (вкладка «Центры сельских советов»)

К местоположениям населенных пунктов привязаны описание и фотография (рисунок 2).

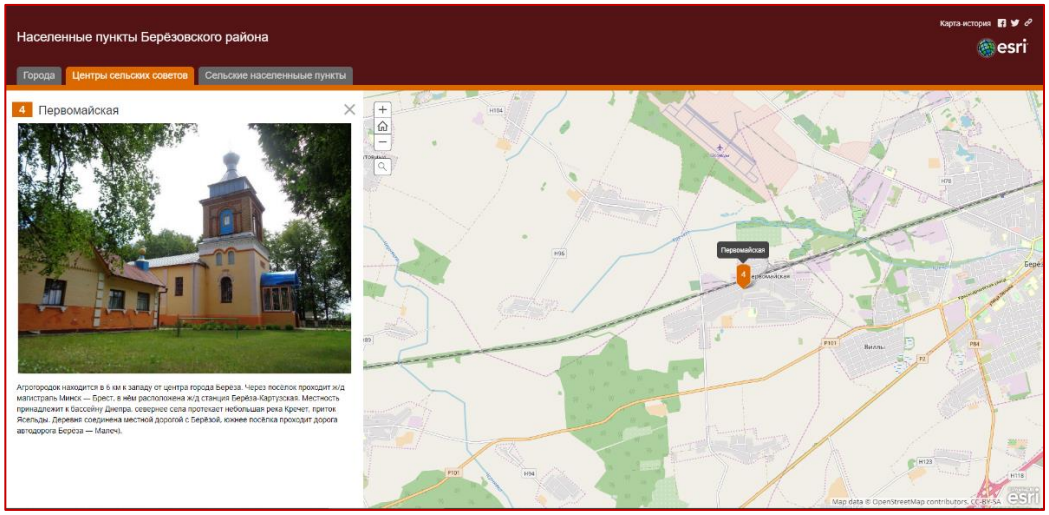


Рисунок 2 – Веб-приложение «Населенные пункты Березовского района» (точка «Первомайская»)

Для изучения изменений численности сельского населения и расселения населения района было создано веб-приложение «Сельское население Березовского района» [2]. Данное приложение объединяет большие наборы интерактивных карт, выполненных с использованием базы данных по динамике численности сельского населения района с 1905 года.

На первой вкладке приложения отображены сельские советы района и размещение населенных пунктов по сельским советам (рисунок 3). Данная карта была выполнена в настольном приложении ArcGIS Pro на основании ЗИС Беларуси, внедрена в облачную среду и использовалась также как основа для составления аналитических карт. Также учитывая, что за весь период наблюдения на территории района постоянно происходили изменения в границах сельских советов и принадлежности населенных пунктов к тем или иным сельским советам, рассматриваемая карта использовалась для проведения ряда расчетных работ.

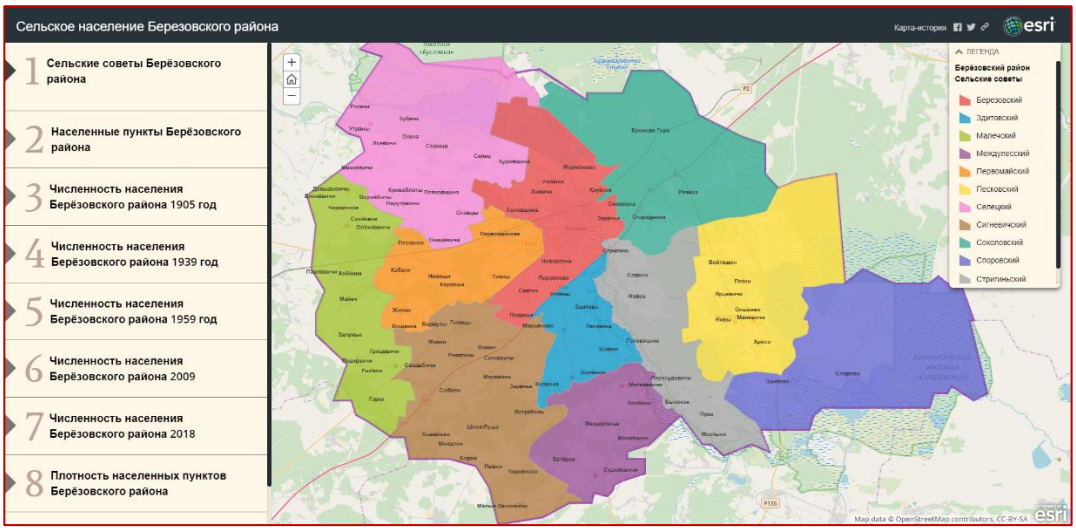


Рисунок 3 – Веб-приложение «Сельское население Березовского района» (вкладка «Сельские советы»)

На второй вкладке отображены все населенные пункты района, что позволяет заметить четкие закономерности в их расположении. Следующие 5 вкладок отображают численность населения в сельских населённых пунктах района в 1905, 1939, 1959, 2009 и 2018 годах. Карты сделаны с использованием метода «Масштабируемых символ» и позволяют проследить рост либо уменьшение численности населения в сельских населенных пунктах, выявить влияние географического положения на численность населения и пространственно-временные особенности ее изменений в населенных пунктах.

Последующие вкладки содержат серию аналитических карт (выполненных с использованием методов ГИС-анализа, позволяющих раскрыть особенности размещения сельских населенных пунктов на территории района) (рисунок 4).

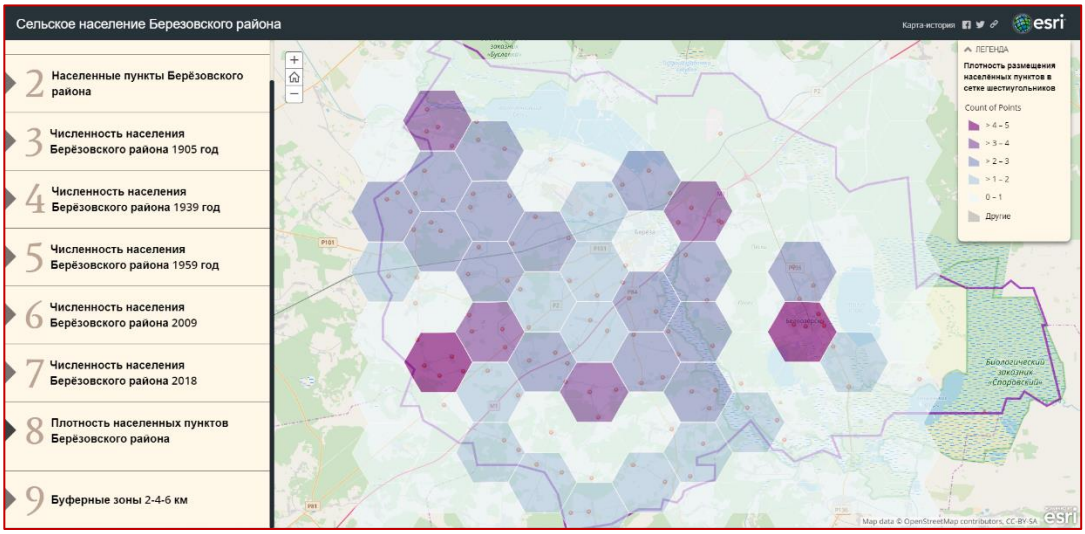


Рисунок 4 – Веб-приложение «Сельское население Березовского района» (вкладка «Плотность размещения населённых пунктов в сетке шестиугольников»)

В завершении исследования, были выполнены серии веб-приложений с использованием шаблона карт историй *Map Spyglass*. В данном шаблоне существует возможность сравнивать две интерактивные карты с использованием инстру-

мента «шторка» либо «лупа». Так с помощью инструмента «шторка» можно сравнивать изменение численности населения в сельских населенных пунктах в разные годы. Например, на рисунке 5 представлено приложение «Сельское население 1905 / 2018 год» [3], в котором с левой стороны визуализирована интерактивная карта «Численность населения сельских населенных пунктов в 1905 году», а с правой – «Численность населения сельских населенных пунктов в 1905 году». Передвигая инструмент «шторка» можно увидеть как некоторые населенные пункты «разрастаются», а другие, наоборот, «сжимаются». Легенды карт совпадают друг с другом и представлены в окне приложения. Также на обеих картах настроены всплывающие окна, которые дают возможность узнать точную численность населения в каждом населенном пункте на год исследования (рисунок 5).

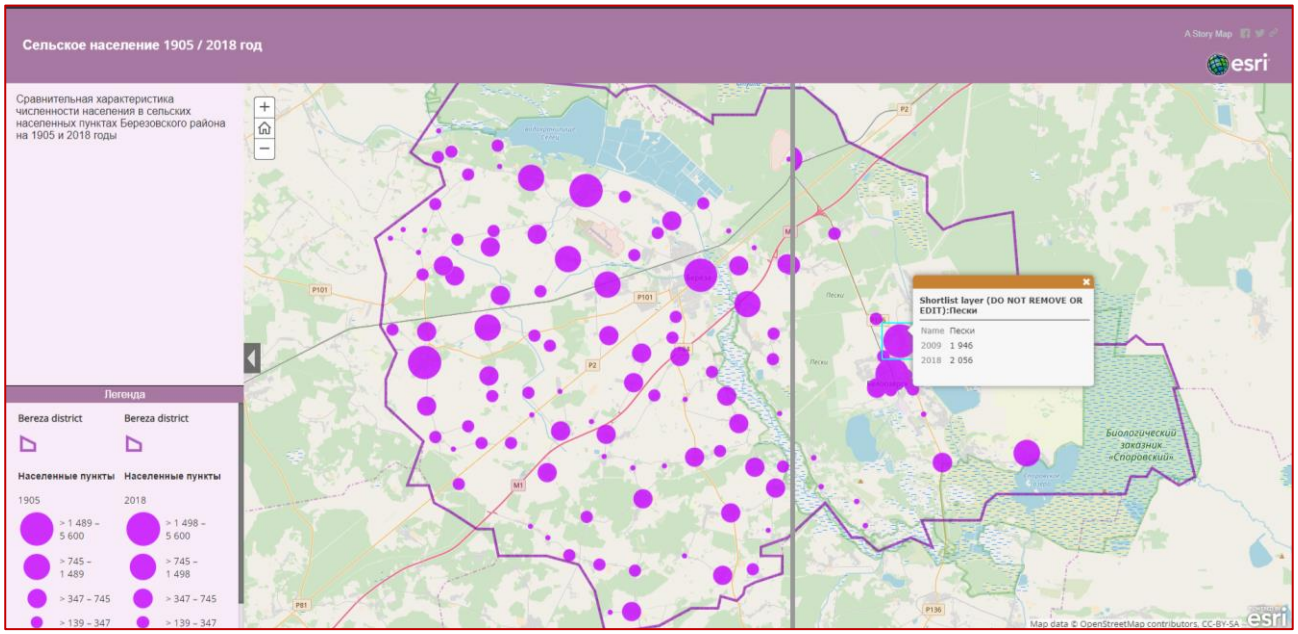


Рисунок 5 – Веб-приложение «Сельское население 1905 / 2018 год»

Таким образом, представленные в данном исследовании результаты могут быть использованы местными органами власти и жителями Березовского района для ознакомления с особенностями сельского населения района. Методика создания веб-приложения может использоваться для изучения других районов Беларуси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Населенные пункты Берёзовского района // ESRI [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arcg.is/1uKqSL (дата обращения 25.10.2019).

2. Сельское население Березовского района // ESRI [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://arcg.is/jW0Lj. (дата обращения 25.10.2019).

3. Сельское население 1905 / 2018 год // ESRI [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arcg.is/1WaHPv0 (дата обращение 25.10.2019).

УДК 91:004(06)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ПЛАТОРМЫ MAPINFO ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ г. ВИТЕБСКА

Д.В. Новиков

кафедра экологии и охраны природы биологического факультета Витебского государственного университета имени П.М. Машерова, Витебск, oven_00@bk.ru

А.Б. Торбенко

старший преподаватель кафедры экологии и охраны природы биологического факультета Витебского государственного университета имени П. М. Машерова, Витебск

В статье рассмотрен процесс создания схемы мезоклиматического районирования территории г. Витебска. На первом этапе исследований проведен анализ рельефа естественной поверхности города с использованием инструментария модуля *Vertical Mapper* ГИС платформы *Mapinfo Professional*. Основываясь на том, что особенности рельефа являются ведущим фактором формирования мезоклиматических различий, на следующем этапе при совмещении карт крутизны, экспозиции склонов и карты высот города, были выделены территории с близкими по своим климатообразующим параметрам характеристиками и, таким образом, получена картографическая основа мезоклиматического районирования.

Ключевые слова: геоинформационная система; Mapinfo; районирование; городская среда; климат; мезоклимат; рельеф.

В процессе исследования состояния урбоэкосистем г. Витебска возник вопрос о связи комфортности городской среды с микро и мезоклиматическими условиями. В связи с этим была поставлена цель картографически отразить неоднородность климатических условий на территории города средствами ГИС. В процессе работы планировалось решить следующие задачи:

– построить цифровую модель рельефа города и на её основе выполнить анализ таких параметров рельефа как крутизна и экспозиция склонов, выделить ведущие мезоформы рельефа;

– проанализировать изменчивость метеорологических параметров на территории города и определить степень зависимости от особенностей рельефа;

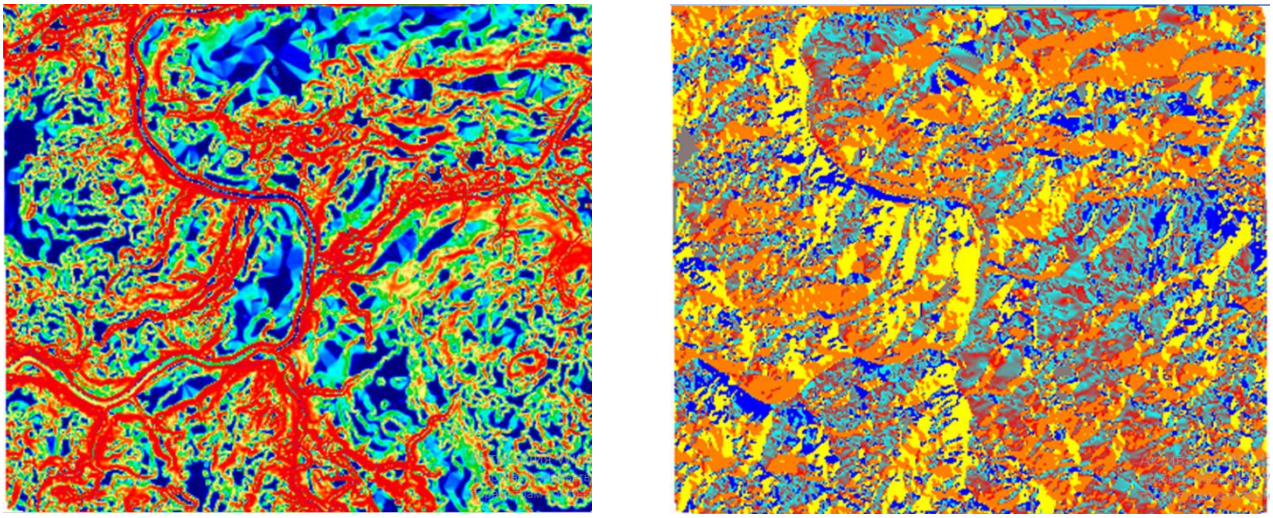
– создать схему мезоклиматического районирования города.

Исходными данными для анализа рельефа послужили картографические материалы, собранные студентами и преподавателями биологического факультета в процессе создания ГИС «Экология г. Витебска» – сканированные и переведенные в векторный формат советские топографические карты масштаба 1 : 10 000 – 1 : 100 000, генплан города, материалы ЗИС РБ, открытых картографических сетевых ресурсов. Метеоданные были предоставлены сотрудниками Витебского филиала ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». Всего нами была использована информация по 5 пунктам (4 пункта мониторинговой сети наблюдений в городе и 1 за его чертой) за период с января по декабрь 2016 года, приуроченным к различным формам рельефа.

Анализ проводился с использованием встроенного инструментария ГИС-платформы MapInfo Professional и её дополнительного модуля Vertical Mapper.

Выбор программных средств обусловлен с одной стороны традиционным их использованием в геоинформационных исследованиях на факультете, с другой стороны – возможностью решить на базе данных приложений все поставленные задачи, не прибегая к конвертации уже готовых исходных материалов.

Использованная базовая ЦМР Витебска была построена на основе оцифрованных горизонталей и отметок высот топокарт, фрагментов генплана и полевых исследований в процессе которых картографические материалы сверялись с реальностью. Для дальнейшего анализа особенностей рельефа г. Витебска на базе ЦМР была построена грид-модель. Далее с помощью блока *Analysis manager* используя функцию *Create Slope & Aspect* нами были получены карты крутизны и экспозиции склонов (рисунок 1). Работа проводилась в программе *Vertical Mapper*, однако, для сравнения ЦМР, карты крутизны и экспозиции склонов были построена также и в ArcGIS. Отметим, что критических различий между полученными вариантами карт нами визуально не обнаружено.



а б

Рисунок 1 – Крутизна (а) и экспозиция (б) склонов

Таким образом, была сформирована основа ГИС для проведения мезоклиматического районирования, включающая слои «рельеф» (высоты), «крутизна склонов», «экспозиция склонов». Учитывая большое влияние водных объектов и характера растительности, к базовому набору слоев были добавлены слои «гидрография» и «растительность». Заметим, что роль антропогенных факторов при формировании климата городов однозначно велика, но на данном уровне (мезоклимата) районирования они, на наш взгляд, вторичны и будут проанализированы и введены в ГИС на следующем этапе исследований.

Согласно имеющимся наработкам в области мезоклиматического районирования городов, исходя из специфики территории города и имеющейся метеорологической информации, было выделено 7 основных типов мезоклимата, четко привязанных к особенностями рельефа поверхности:

– плакоры (наиболее выровненные возвышенные поверхности, по метеорологическим параметрам наиболее близкие к зональным условиям);

– впадины (четко выраженные замкнутые понижения в рельефе имеющие в плане изометрическую форму, в климатическом плане характеризующиеся часто проявляющимися инверсиями, застоем воздуха, туманами);

– долины (линейные по форме четко выраженные в рельефе и значительные по протяженности понижения);

– 4 варианта склонов разной экспозиции (со значительной крутизной склонов и четкими различиями в температурном режиме и осадках).

Дальнейшая работа по предварительному выделению районов с различными мезоклиматическими условиями основывалась на сопряженном анализе и наложении карт высот, крутизны и экспозиции склонов. Во-первых, совместив слои карты высот и крутизны склонов, следуя, в основном, по линиям горизонталей, были проведены контуры наиболее выровненных участков, как положительных, так и отрицательных форм рельефа. Полученные полигоны стали основой для отрисовки плакоров и впадин. Во-вторых, были оконтурены долины крупных рек, очевидно читающиеся по картам высот и крутизны склонов с подключением слоя «гидрография». На следующем этапе в результате «вырезки» полученных полигонов со слоя «экспозиция склонов» и генерализации данных, определились территории, которые были отнесены к склонам с западной, восточной, южной или северной экспозицией. Результатом перечисленных операций является слой «мезоклиматическое районирование».

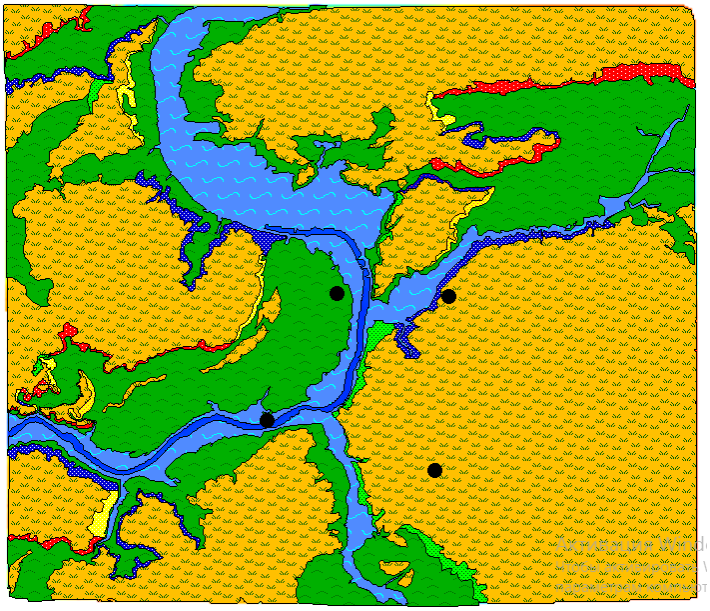


Рисунок 2 – Расположение метеорологических пунктов наблюдения на схеме мезоклиматического районирования г. Витебска.

Сопоставив полученную схему районирования и размещение пунктов стационарных наблюдений за метеорологическими условиями в г. Витебске установили, что пункт наблюдения № 2 (ул. М. Горького, 44) по нашей классификации расположен в зоне «мезоклимата долин», пункт № 4 (пр-т Людникова) попадает на территорию склона северной экспозиции, пункт № 5 (ул. Космонавтов, 15) лежит в крупной впадине и пункт № 6 (пр-т Победы, 20) – на плакоре. Анализ метеорологических характеристик показал ожидаемые четкие различия

между значениями температуры воздуха, направления и силы ветра, давления и влажности, что доказывает правомерность подхода к районированию городского мезоклимата на основе анализа особенностей рельефа территории средствами геоинформационных систем.

УДК 004.89

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Е.В. Соколовский, В.В. Кривко
кафедра экологии и охраны природы биологического факультета Витебского государственного университета имени П.М. Машерова, Витебск, falconlepel@gmail.com

А.Б. Торбенко
старший преподаватель кафедры экологии и охраны биологического факультета Витебского государственного университета имени П.М. Машерова, Витебск

В работе представлены основные компоненты искусственной нейронной сети, предназначенной для анализа картографической информации и разработки схем районирования территорий. Обозначены основные технические аспекты реализации искусственной нейронной сети, а также представлен возможный альтернативный вариант реализации работ по районированию городских территорий.

Ключевые слова: геоинформационная система; Витебск; районирование; городская среда; искусственная нейронная сеть; открытые сетевые источники.

Урбанизированные территории имеют ряд характеристик, которые отражены в открытых и специальных картографических сервисах, позволяющих использование автоматической обработки для проведения районирования:

1. Обилие информации. В сети Интернет существует большое количество информации о практически каждом объекте в городе, что позволяет составить единую базу данных. Однако данное преимущество является одновременно и недостатком в связи с возможной недостоверностью информации.

2. Относительно простая цветовая гамма картографического материала позволяет производить обучение и настройку автоматических инструментов обработки гораздо быстрее, чем в неурбанизированных районах.

3. Динамичность. Большое количество объектов на территории города меняется ежегодно, что делает практически бесполезным использование ручных инструментов анализа. Автоматические инструменты лишены главных недостатков ручной обработки – необъективности и малой производительности.

Материалы и методы. В процессе работы было использовано следующее программное обеспечение:

1. QGIS – ГИС-платформа с открытым исходным кодом, используемая как коммутирующее звено между искусственной нейронной сетью и ГИС, а также автоматизированной векторизации растровых данных.

2. SAS.Планета – программное обеспечение, используемое для получения данных открытых сетевых источников.

3. ScH Garpia – основа искусственной нейронной сети, разработанная в сотрудничестве с некоммерческой группой программистов России и Беларуси.

В качестве исходных данных для проведения функционального зонирования были выбраны карты открытых сетевых ресурсов. Для определения четких границ дорог и тротуаров и общей оценки используемости территории были использованы данные Google Earth. Для определения расположения зданий и опре-

деления фактических адресов объектов была выбрана карта OpenStreetMap. Для определения нахождения различных организаций и предприятий был использован сервис Yandex Maps.

Искусственная нейронная сеть как инструмент анализа. ИНС, участвовавшая в функциональном зонировании, имеет ряд аппаратных и программных характеристик.

Аппаратная часть представляет собой два кластера компьютеров, имеющих различную организацию. Главный кластер осуществлял контролирующую и организующую функцию, при этом располагался целиком в одном помещении. Основную массу нейронных узлов составляют Raspberry Pi Model B, так как их низкая производительность не является проблемой при их использовании в нейросети. Каждый узел оснащен 64-х битным четырехъядерным процессором ARM Cortex-A53 с тактовой частотой 1,27 ГГц на ядро, 1 ГБ оперативной памяти и интерфейсом Ethernet на 10/100 Мбит/с. Коммуникация между различными уровнями нейросети осуществлялась с помощью проводной Ethernet сети при участии коммутатора Tp-Link JetStream с 48 портами Ethernet. Количество нейронных узлов на данном уровне организации составляет 32 компьютера Raspberry Pi Model B и один головной компьютер, имеющий следующее аппаратное обеспечение: процессор AMD Ryzen 5 2600X, 8 ГБ DDR4 оперативной памяти, видеокарта NVIDIA GEFORCE GTX 1060 с 6 ГБ DDR5 видеопамяти.

В аппаратной и программной частях нейросети выделяются несколько уровней.

Головной – единственный управляющий компьютер, который распределяет задания по отдельным узлам второго уровня. Выполнял функцию финальной компоновки карты и синхронизации данных.

Промежуточный контрольный – 32 мини-ПК, объединённых между собой. Каждый из ПК получал от головного компьютера либо задание на выделение определенных зон на участке карты, либо задание на контроль или запоминание информации, либо на модификацию входных сигналов второго уровня при достижении определенного уровня ошибки в вычислениях других ПК.

Запросный – уровень ПК пользователей, объединённых в нейросеть. Каждый компьютер по команде ПК вышестоящих уровней осуществлял запрос на сервера открытых сетевых ресурсов, касающийся конкретного объекта и содержащий его физический адрес. Далее, по словам-индикаторам определялось назначение конкретного здания. Сервером для большинства запросов послужил сервис Google Maps.

Программная часть представляет собой набор скриптов, взаимодействующих со сторонними приложениями, осуществляет свою деятельность в среде JAVA Script. Сетевая инфраструктура нейросети построена на том же принципе, что и нейросеть Джеффри Хинтона, разработанная в 2007 году, однако имеет ряд дополнений.

Одним из главных изменений является отсутствие глубокого обучения нейросети – медленного процесса, сопровождающегося в большинстве случаев кропотливыми изменениями программного кода коммуникационной сети и высших уровней ИНС. Достигнуть данного результата удалось при помощи

внедрения полуавтоматического самообучения. Нейросети давалась команда на выделение определенной зоны, после чего результат многократной работы проверялся визуально, оценивался и сортировался вручную, после чего ИНС получала решение относительно наиболее точного результата. Программа сама вносит корректировки относительно полученного оптимального варианта, после чего повторяет зонирование. Такой процесс является цикличным.

При этом данный метод позволяет обучать ИНС для проведения районирования по совершенно различным критериям. Возможно создание как схемы эколого-функционального зонирования, так и экотопического, геоморфологического и др.

Альтернативным вариантом создания системы автоматического зонирования является создание отдельных модулей анализа информации на основе ГИС-платформы. Создания инструментов анализа растрового материала возможно и без использования искусственных нейронных сетей, а их программная структура не требует больших аппаратных мощностей. При данном подходе реализуется следующий алгоритм:

1. Выделение опорных объектов, которые являются отправными точками для каждой отдельно взятой территории. Данный процесс может проходить как вручную, так и автоматически.

2. Определение сферы влияния данных объектов путём создания простой буферной зоны целесообразно проводить автоматически.

3. Объединение соседствующих зон одного типа с целью отхода от привязки к единичным объектам позволяет упростить схему зонирования для восприятия человеком.

4. Корректировка границ зон влияния на основе соседствования территорий разных типов и наличия объектов, являющихся средообразующими для данной местности.

Стоит отметить, что альтернативный вариант проведения зонирования не является полностью автоматическим, однако и не требует дорогостоящего оборудования и написания сложных программ.

УДК 681.785.554 : 551.510.534

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА БЕЛАРУСИ

Н.В. Дорожко

кафедра общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск, natashka_d10.05@mail.ru

А.Г. Светашев

доцент кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск

В работе проанализирована возможность использования информационных технологий для анализа регионального климата Беларуси. Предложен вариант схемы разработки региональной климатической модели на базе системы WRF. Показана зависимость результатов мезомасштабного моделирования температуры и облачности от параметров используемой глобальной модели, а также сделана оценка погрешности определения региональных климатических параметров.

Ключевые слова: моделирование; региональный климат; информационные технологии; мезомасштабная модель; регион.

Проблемы анализа глобального климата, а также его изменений вызывают большой интерес научного сообщества, и в настоящее время активно исследуются [1–4]. Это обусловлено тем, что изменения, происходящие в климатической системе Земли, неизбежно повлекут за собой изменения всех компонентов ее географической оболочки, включая состояние биосферы и процессов жизнедеятельности человека.

Применение информационных технологий открывает широкие возможности анализа климатических систем, включая разнообразные статистические методы, а также численное моделирование процессов, происходящих в атмосфере и гидросфере.

Общее понятие «климат» обычно более узко определяют как статистический ансамбль состояний, принимаемых климатической системой за достаточно большой промежуток времени [1].

Численные климатические модели используют как для изучения динамики самой климатической системы (в настоящем и в прошлом), так и для прогноза будущего климата и учета влияния антропогенного фактора и многих других целей.

Наряду с глобальными задачами важным научным и практическим аспектом является анализ региональных проявлений изменения глобального климата, а также выделение и оценка возможного влияния региональных особенностей на климат в глобальном масштабе.

Это обусловливает возрастающий интерес к развитию региональных климатических моделей, позволяющих наиболее адекватно учесть особенности отдельных территорий.

Региональный климат, как правило, характеризуется местными, специфическими явлениями, которые недоступны исследованиям в рамках большинства моделей общей циркуляции, поскольку эти модели имеют ограничения, связанные с недостаточным пространственным разрешением.

Цель работы – проанализировать возможности применения информационных технологий для анализа регионального климата Беларуси.

В качестве варианта системы численного моделирования регионального климата на территории Беларуси предложено использовать мезомасштабную систему WRF (Weather Research and Forecasting) в сочетании с глобальной климатической моделью.

Исходными материалами для работы служили данные системы GFS [5], IFS, реанализа NOAA [5], база стационарных геофизических данных модели WRF, данные орбитальных наблюдений, а также результаты численного моделирования в системе WRF (из архива ННИЦ МО БГУ).

Численное моделирование проводилось на 32-ядерном суперкомпьютере фирмы BEVALEX. Для расчетов использовался пакет WRF с версиями 3.4.1 и выше.

Обмен между системами численного моделирования, анализа и распознавания метеорологических процессов осуществлялся файлами в формате netCDF.

В тестовом варианте в качестве результатов моделирования глобальной климатической модели атмосферы, криосферы и океана были использованы данные глобальной численной модели атмосферы GFS. Формирование начальных и граничных условий мезомасштабной модели проводилось по данным GFS с интервалом 6 ч и пространственным разрешением 0,5 и 0,25°.

В качестве рабочей области региональной циркуляционной модели для проведения численных экспериментов применялись интервальные домены 100×00 – 700×700 точек мезомасштабной модели WRF с различным пространственным разрешением (1–50 км) и 35 уровнями давления в диапазоне (1–1 000 гПа).

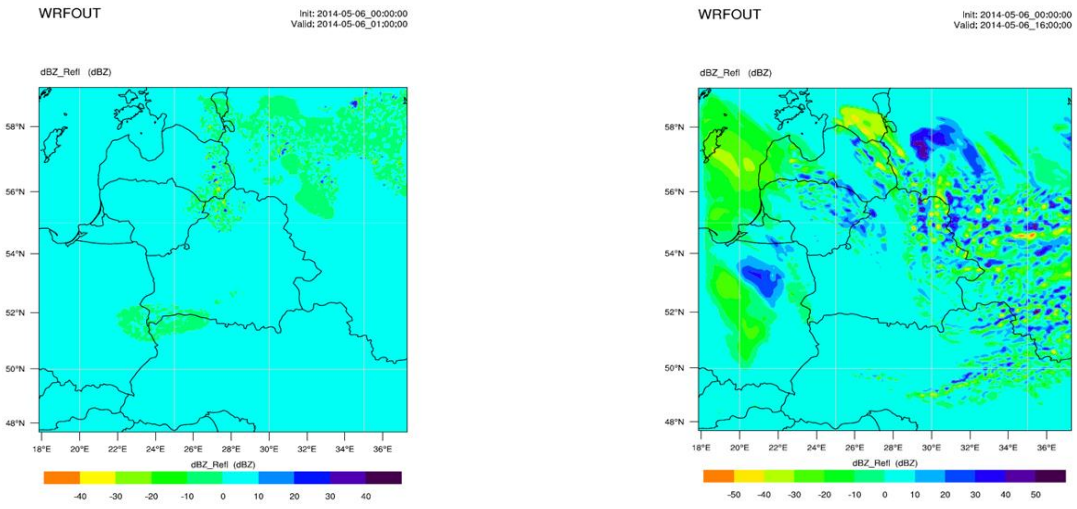
В ходе проведения расчетов основное внимание было сосредоточено на исследовании зависимости результатов мезомасштабных расчетов (региональная модель) от погрешностей входных данных (глобальная) модель, а также валидации результатов расчета по данным орбитальных наблюдений.

Для комплексной оценки зависимости результатов региональной модели циркуляции от погрешностей глобальной модели было проведено сравнение результатов расчета с использованием реального обновления метеоданных и прогнозного расчета глобальной модели GFS на период до 10 суток.

Анализ проводился по данным расчета различных параметров (облачности, поверхностной температуры, температуры воздуха на уровне 2 м, вертикальных профилей температуры и т.д.). Фактические и прогнозные расчеты WRF были сделаны с одинаковыми наборами параметров расчета.

В качестве примера на рисунках 1–2 приведен результат расчетов для случая, зарегистрированного на территории Беларуси 6 мая 2014 г. По результатам видно, что на 6 мая 2014 г. в ночное время (1 час ночи) расхождений по расчетам метеоданных практически нет по всей территории, только величина температуры

колеблется на доли градусов. Расхождения более заметны в дневное время, максимальная разница температур составляет 5°С в районах, занятых облачностью.



а б

Рисунок 1 – Карты разности значений функции отражения сигнала радара облачностью, dBZ_Refl (прогноз – метео). За 1 час (а) и за 6 часов (б)

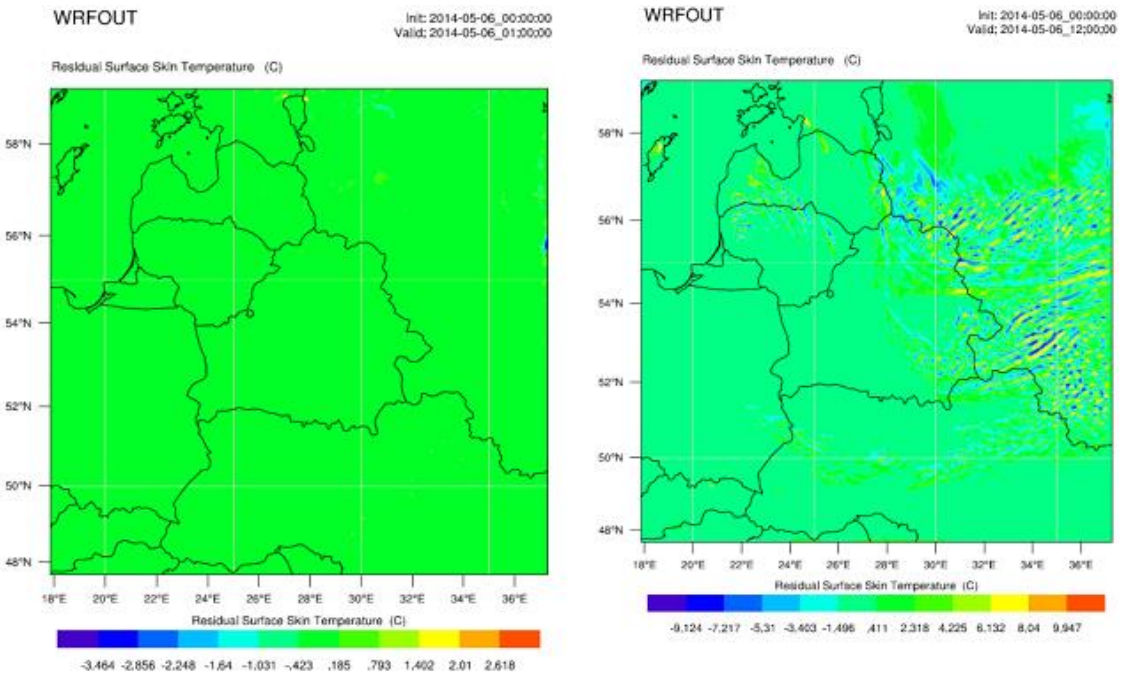


Рисунок 2 – Карты разности значений поверхностной температуры, Tsk (прогноз – метео). За 1 час (слева) за 12 часов (справа)

Полученный результат следует учитывать в качестве входных и граничных условий данных глобальной циркуляции в климатической модели со значительными временными и пространственными интервалами.

Результаты проведенных расчетов различных случаев погодных ситуаций показали необходимость для получения усредненных по территории Беларуси климатических значений температур и осадков.

Важным аспектом при проведении расчета мезомасштабной модели является выбор масштаба сетки. При правильном выборе масштаба с соответствующей моделью «подсеточной» параметризации система WRF позволяет достаточно адекватно моделировать сложные случаи облачности, способные существенно повлиять на параметры расчета.

Особенно это относится к моделированию среднеклиматических региональных параметров, усредненных по пространству домена и длительным временным интервалам, которые при неадекватных параметрах расчета могут привести к накоплению ошибки и заметно исказить полученный результат.

В качестве дополнительных параметров валидации региональной модели можно использовать данные реконструкции усредненных параметров по геологическим и климатическим периодам, а также предельные (лето – зима) значения среднегодовых температур и осадков. При этом необходимо отметить, что проведенные нами тестовые расчеты суммарных осадков для конкретных пунктов и областей на территории Беларуси за различные временные периоды дают результат с точностью 1%.

Тем не менее, вопрос получения из результатов расчета климатических параметров пригодных для сопоставления с результатами различных геологических параметров для построения региональной модели требует проведения дополнительных специальных исследований.

Таким образом, представляется возможным использовать мезомасштабные численные модели WRF в качестве варианта региональной климатической модели. При этом важно, что результаты расчета существенно зависят от качества моделирования параметров облачности. Это необходимо учитывать при ретроспективном (прошлое) и прогнозном (будущее) моделировании климата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ:

1. Моделирование современного климата с помощью атмосферной модели ИВМ РАН. Описание модели А5421 версии 1997 года и результатов эксперимента по программе AMIP II / В.А. Алексеев [и др.]. Деп. в ВИНИТИ Москва, 1998.

2. Мальцев К.А., Ермолаев О.П. Использование цифровых моделей рельефа для автоматизированного построения границ водосборов // Геоморфология. 2004. № 1. С. 45–53.

3. Дымников В.П., Филатов А.Н. Основы математической теории климата. М.: ВИНИТИ, 1994.

4. Моделирование климата и его изменений / В.П. Дымников [и др.] // Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования. Т. 2. Математическое моделирование. М.: Наука, 2005. Р.38–175.

5. Broccoli A.J. Paleoclimate Modelling of Last Glacial Maximum GSM // Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. 2014.

6. NOAA National Operational Model Archive & Distribution System (NOMADS). Model Data Access Page [Electronic resource]. Mode of access: http://nomads.ncdc.noaa.gov/data (date of access: 07.08.2014).

УДК 911.375.5:004.031.42

СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ КАРТ СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ВОДОЕМАХ БРЕСТА СРЕДСТВАМИ ОБЛАЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ARCGIS ONLINE

А.Л. Жук

кафедра географии и природопользования географического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, alesya_zhuk_98@mail.ru

С.М. Токарчук

доцент кафедры географии и природопользования географического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

В работе раскрыты возможности конструктора легенды облачной платформы картографирования ArcGIS Online для создания интерактивных и оценочных карт по результатам выполненного полевого гидроэкологического исследования. Проведенное исследование включало изучение содержания частиц микропластика в водоемах города Бреста.

Ключевые слова: микропластик; водные объекты; редактор легенды; интерактивная карта; ArcGIS Online.

На сегодняшний день наша планета испытывает серьезное антропогенное воздействие, которое связано в том числе с накоплением отходов. Существенных угрозой можно считать ухудшение качества водной среды из-за загрязнения микропластиком – твердыми частицами синтетических полимеров, размером менее 5 мм (от 100 нм до 5 мм) [1]. Таким образом, большое значение приобретают работы, направленные на изучение содержания частиц микропластика в водных объектах.

В настоящей работе, представлены результаты создания интерактивных аналитических и оценочных карт с использованием конструктора легенды облачной платформы картографирования ArcGIS Online.

Легенда отображает значение символов, использованных для представления объектов на карте. Легенды состоят из примеров символов карты с подписями, содержащими пояснительный текст. В легенде имеются небольшие фрагменты – образцы символов на карте. Часто такими образцами являются точки, прямые линии или прямоугольники, соответствующие символам карты.

Мастер легенды облачной платформы картографирования ArcGIS Online предоставляет простой и быстрый способ добавить легенду на карту. С помощью мастера можно выбрать слои карты, которые будут входить в легенду; создать и подобрать символы для заголовка легенды, границы и фона легенды; настроить размеры и форму образцов легенды и др.

В настоящем исследовании приводится пример создания серии интерактивных карт для отображения результатов научного исследования «Оценка содержания частиц микропластика в водоемах города Бреста».

Оценка содержания частиц микропластика в водоемах города проводилась в несколько этапов с применением ГИС-технологий:

1. Изучение водоемов Бреста, выбор репрезентативных водоемов для исследования.

2. Разработка методики анализа содержания частиц микропластика в водоемах Бреста.

3. Проведение полевого этапа исследования.

4. Оценка содержания микропластика.

5. Визуализация данных.

6. Анализ полученных результатов.

При проведении полевого этапа исследования использовалась программа для сбора полевых данных *Survey 123*. С использованием данного приложения была разработана анкета (рисунок 1), которая заполнялась в два этапа.

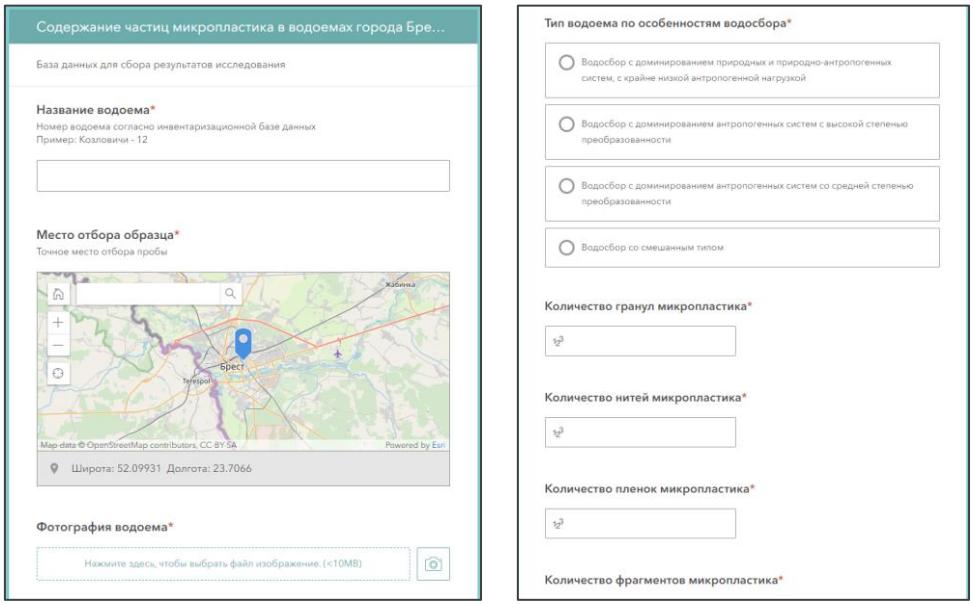


Рисунок 1 –Фрагмент полевого опросника

Первая часть анкеты заполнялась по время сбора образцов, что позволило указать точную локализацию места отбора на карте и привязать общие сведения о водоеме. Вторая часть анкеты заполнялась по время проведения лабораторных исследований. В итоге, после заполнения анкеты автоматически была сформирована карта мест отбора образцов с привязанной к ней таблицей, базой данных (рисунок 2).

С использованием представленной базы данных была реализована серия тематических (аналитических и оценочных) картосхем, которые отображают результаты проведенных полевых и лабораторных работ.

Используя тип легенды «Уникальное значение» была реализована серия карт типизации репрезентативных водоемов. (рисунок 3).

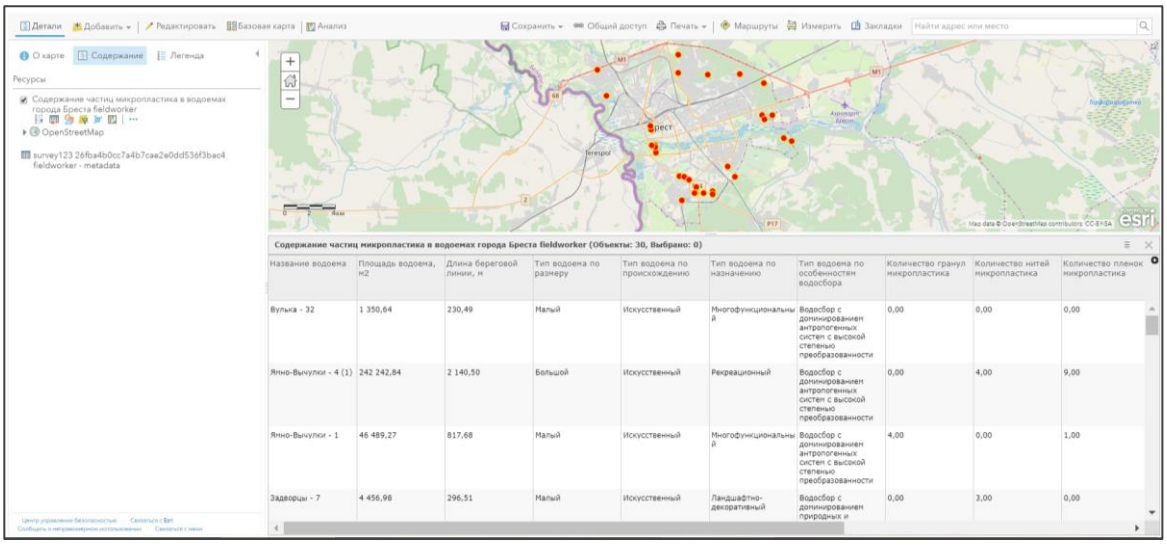
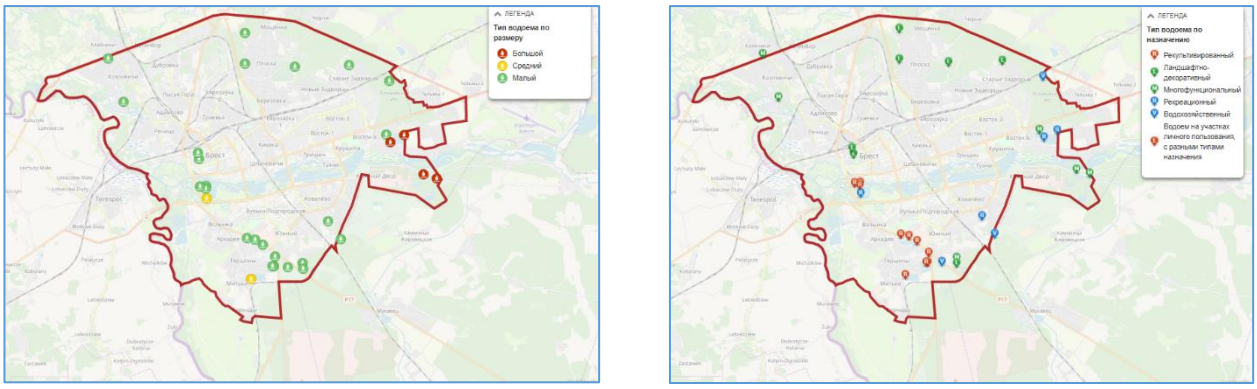


Рисунок 2 – Интерактивная база данных
«Содержание частиц микропластика в водоемах города Бреста»



а б

Рисунок 3 – Типизация водоемов: а) по размеру; б) по назначению

Также с использованием типа легенды «Уникальный символ» была построена карта «Количество встречаемых типов микропластика», отражающая сколько типов микропластика встречается в каждом водоеме. Выбор в этом случае данного типа легенды обусловлен тем, что при заполнении полевого опросника на соответствующий вопрос предполагался один вариант ответа. В данном случае количество встречаемых типов не вносилось вручную (как числовое поле), а выбиралось из предполагаемых вариантов ответа. Таким образом, было сформировано текстовое поле, и легенда использовалась как «Уникальное значение». Цветовая гамма подбиралась вручную. Как видно из картосхемы (рисунок 4), в пределах Бреста не встречаются водоемы со всеми пятью типами элементов микропластика, а также с четырьмя.

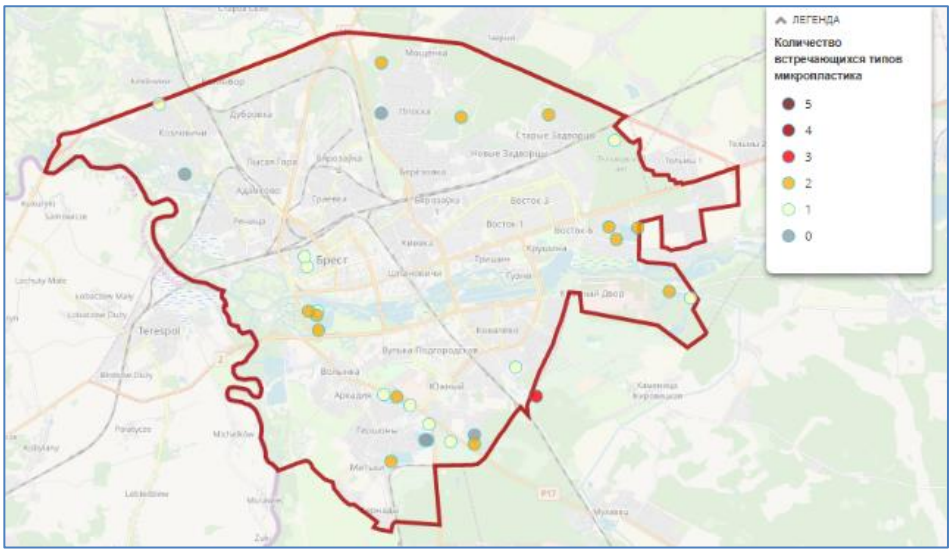


Рисунок 4 – Количество встречаемых типов микропластика

С использованием типа легенды «Масштабируемый символ» были выполнены карты, отображающие полученные данные по содержанию различных элементов микропластика (рисунок 5), а также картосхема общего содержания частиц микропластика в водоемах.

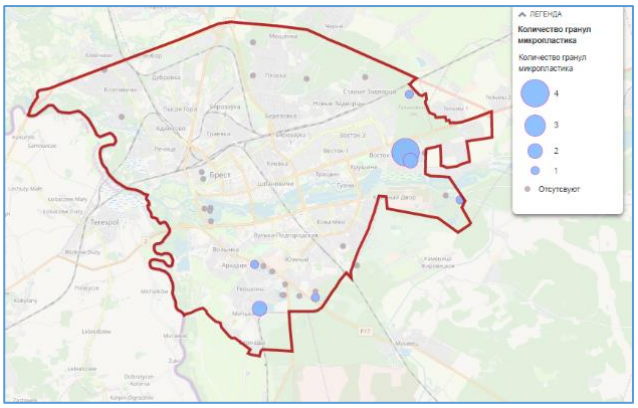


Рисунок 5а – Количество гранул микропластика

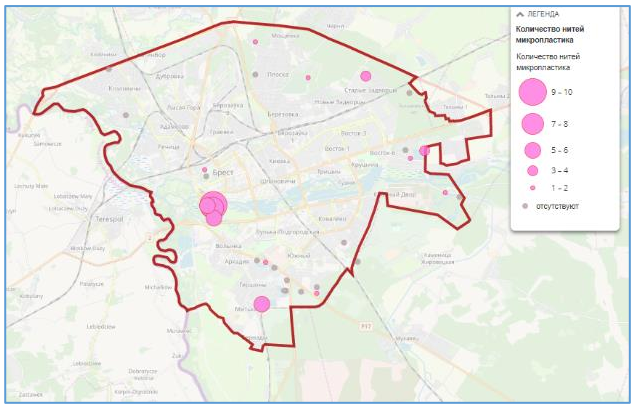


Рисунок 5б – Количество нитей микропластика

В данном случае использовалась следующие особенности конструктора легенды:

1) ранжирование с использованием метода «Равный интервал»;

2) включить данные «Отображать объекты со значениями вне диапазона или без значений» (водоемы, в которых не были обнаружены частицы микропластика отображаются отдельным элементом легенды, изображены серым цветом);

3) 5-балльная шкала (в том случае если максимальное число элементов микропластика не превышало пяти (см. рисунок 5а), число шагов типизации выбиралось равным числу элементов данного вида);

4) значки в виде круговых символов, разного цвета, с настроенной 50% прозрачностью, а также ярким контуром (т.к. некоторые водоемы накладывают-

ся друг на друга и наличие контура позволяет более четко увидеть их местоположение).

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.

На заключительном этапе интерактивного картографирования содержания частиц микропластика было составлено общее интегральное картографическое веб-приложение «Содержание частиц микропластика в водоемах города Бреста» (рисунок 6) [2].

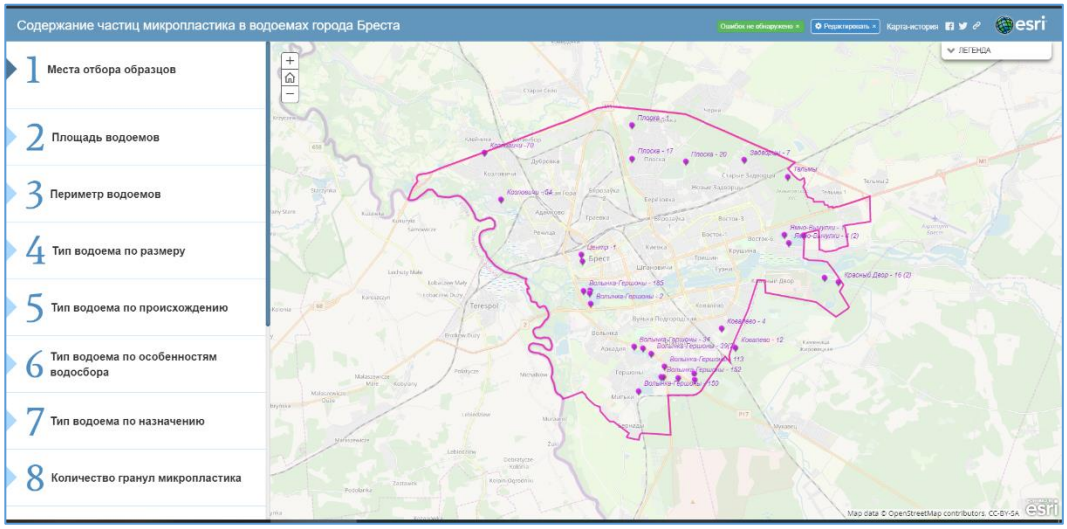


Рисунок 6 – Картографическое веб-приложение
«Содержание частиц микропластика в водоемах города Бреста»

Выполненное исследование позволило:

1) создать серию интерактивных гидрографических карт исследуемой территории, отражающих основные этапы выполнения исследований содержания частиц микропластика в водоемах города Бреста,

2) выявить основные особенности содержания частиц микропластика в водоемах города;

3) использовать результаты оценки современного состояния водоемов Бреста для реализации мер по снижению уровня деградации водоемов города Бреста;

4) увеличить информированность населения, государственных и общественных организаций об особенностях размещения водоемов в пределах города, а также содержании в их водах частиц микропластика.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Микропластик невидимая проблема : информационный буклет // Plastic Free Baltic [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ecoidea.by/ru/media/microplastic (дата обращения 23.10.2019).

2. Содержание частиц микропластика в водоемах города Бреста // ESRI [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arcg.is/0Pq1Xr (дата обращения 25.10.2019).

УДК 332.132 : 004.02

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ТОРГОВЫХ ЦЕНТРОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МИНСКА)

Д.Р. Ледовский
кафедра почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики
Белорусского государственного университета, Минск, ledovski9@gmail.com

Н.В. Жуковская
доцент кафедры почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики
Белорусского государственного университета, Минск

В работе представлен опыт использования ГИС-технологий для анализа и планирования размещения гипермаркетов г. Минска. Разработана модель размещения населения на территории города. Выделены зоны обслуживания существующих гипермаркетов, проведен их сравнительный анализ. На основе дорожной сети города с учетом спроса (численность населения) с помощью инструмента «Размещение-Распределение» модуля ArcGIS Network Analyst были определены оптимальные месторасположения для нового гипермаркета на территории г.Минска, выявлены наиболее уязвимые с точки зрения локации из существующих.

Ключевые слова: геомаркетинг; гипермаркет; зона обслуживания; сетевой анализ; модель Хаффа.

Месторасположение торговой точки является одним из ключевых показателей определяющих будущую её доходность. При решении задач определения оптимального месторасположения торговой точки, оптимизации розничной сети незаменимым инструментом выступают географические информационные системы (ГИС), позволяющие эффективно проанализировать пространственное распределение ряда факторов, таких как размещение населения и его покупательная способность, транспортная доступность существующих и проектируемых объектов, распределение факторов конкуренции, объем трафика и другие. Целью настоящего исследования является анализ и планирование размещения гипермаркетов города Минска.

Для проведения геомаркетингового анализа в среде ГИС ArcGIS 10.3 был создан проект. Векторной пространственной основой (классы пространственных объектов дорог, зданий и границы г.Минска) послужили геоданные открытого сервиса OpenStreetMap (OSM) [1–2]. Выполнение проекта включало несколько этапов: разработку модели размещения населения, инвентаризацию и определение местонахождения существующих гипермаркетов, определение зон обслуживания/охвата гипермаркетов, моделирование дорожной сети города, определение оптимального месторасположения для новых гипермаркетов г. Минска.

Объектом настоящего исследования выступают гипермаркеты г. Минска. Согласно [3] гипермаркет – продовольственный магазин с торговой площадью 4 000 м^2 и более, в котором реализуется универсальный ассортимент продовольственных и широкий ассортимент непродовольственных товаров методом самообслуживания в сочетании с методами традиционного обслуживания, продажи

товаров по предварительным заказам. На основе анализа торговых объектов г. Минска были выделены 27 гипермаркетов, в том числе принадлежавшие сетям Корона, Гиппо, ProStore, BIGZZ, Евроопт, Соседи, Green.

Важным фактором оценки местоположения объектов выступают данные о размещении населения. Алгоритм создания модели размещения населения включал систематизацию зданий города на жилые и нежилые, определение этажности и площади жилых зданий. Для оценки числа проживающих в каждом доме использовался показатель обеспеченности населения жильем, который в городе Минске в 2015 году составлял 22,4 м^2 [4]. Число проживающих определялось как частное площади жилого дома и показателя обеспеченности. После чего было определено количество жителей в каждом жилом доме и с помощью метода ядерной оценки плотности (Kernel Density Estimation) создана картосхема плотности населения (рисунок 1).

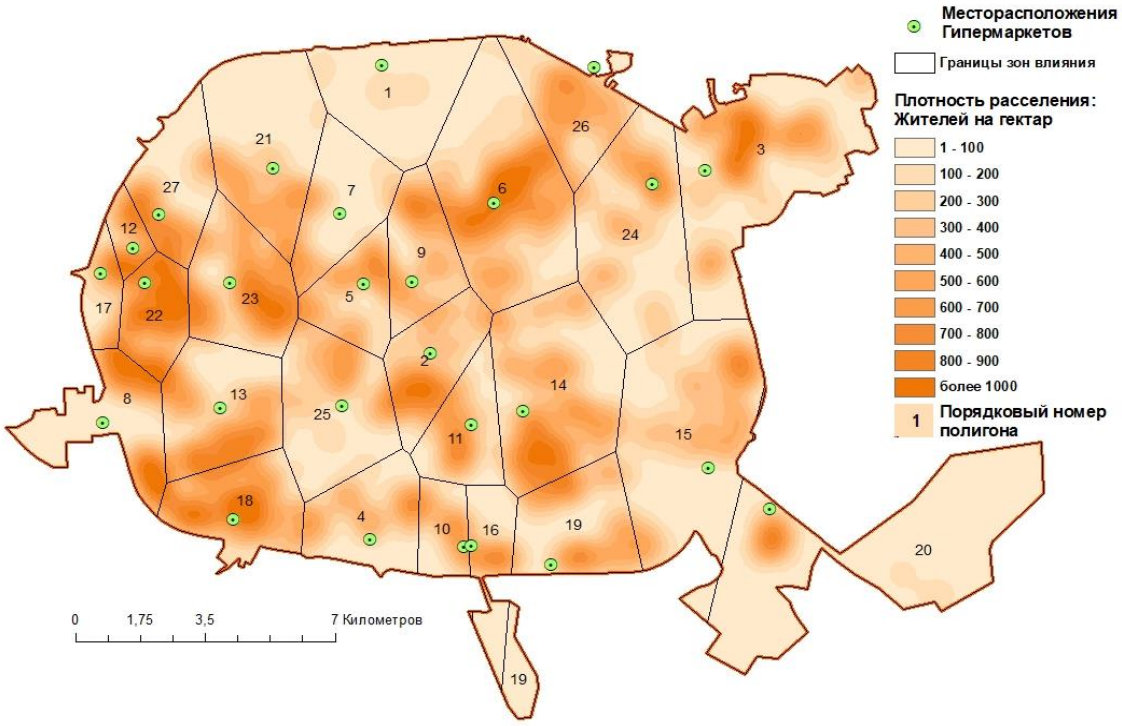


Рисунок 1 – Локальная плотность населения г. Минска

Гипермаркеты: 1,2 – Соседи; 3,4,5,6,7 – Корона; 8,9,10,11,12 – Евроопт; 13,14,15,16 – Гиппо; 17,18,19,20,21 – ProStore; 22,23,24 – Green; 25,26,27 – BIGZZ

Для выделения зон обслуживания/охвата торговых объектов могут использоваться несколько инструментов ГИС: буферные зоны, модель Тиссена/Вороного, модель Хаффа. На рисунке 1 представлены зоны обслуживания существующих гипермаркетов г. Минска, рассчитанные с помощью полигонов Тиссена. Зоны охвата гипермаркетов неодинаковы по площади и изменяются от 25 км^2 (гипермаркет сети ProStore, зона 20, рисунок) до менее 2,5 км^2 (Евроопт, зона 12). Средняя площадь зоны обслуживания составляет 10 км^2. Численность проживающих в выделенных зонах не однородна, варьирует от 10 до более чем 200 тысяч жителей и не всегда коррелирует с площадью.

Для определения оптимальных мест расположения новых гипермаркетов г. Минска был использован инструмент «Размещение-Распределение» (Location-Allocation) модуля ArcGIS Network Analyst. Указанный инструмент реализует ряд методов модели потребительского поведения Хаффа. В основу модели Хаффа положена гипотеза о том, что привлекательность отдельного торгового объекта зависит от размера его торгового зала и обратно пропорциональна его удаленности от потребителя [5]. Предварительно была создана модель дорожной сети города и точечный слой предполагаемых локаций для расположения нового гипермаркета. Последний создавался исходя из модели размещения населения, транспортной доступности, зон влияния существующих гипермаркетов (рисунок 2). Зоны влияния получены с помощью построения буферных зон, пропорциональных торговой площади гипермаркетов [6].

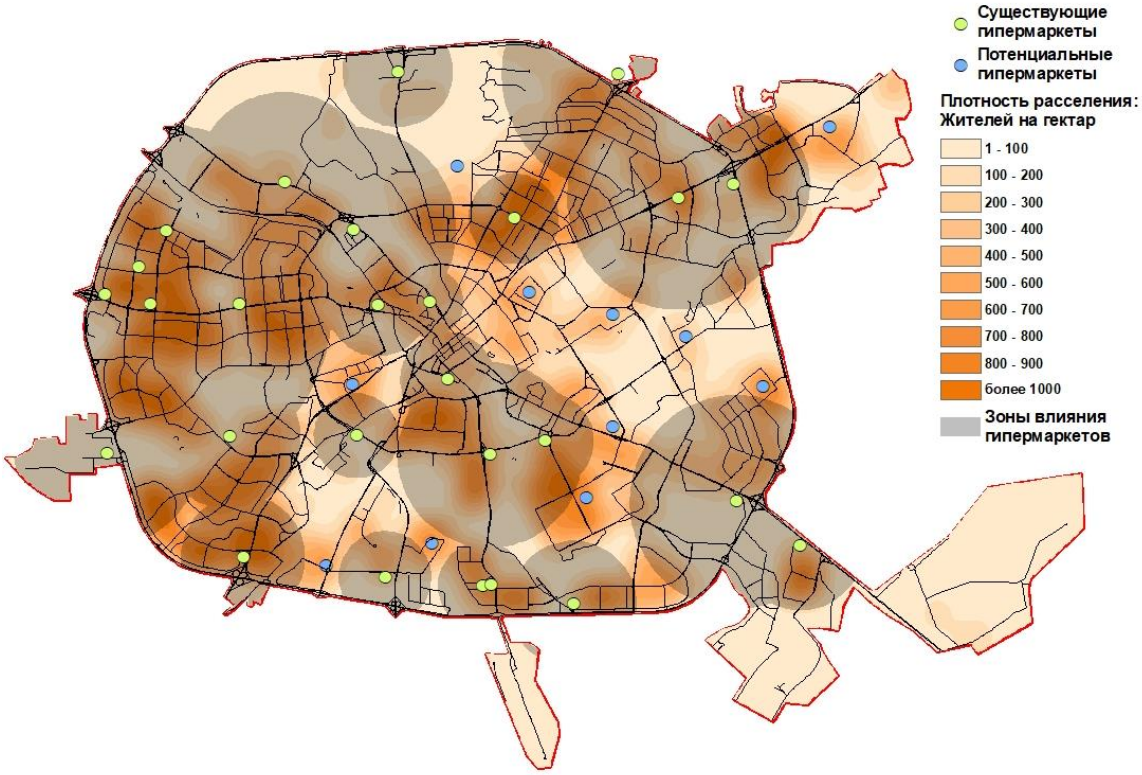


Рисунок 2 – Определение потенциальных локаций для новых гипермаркетов г.Минска

Оптимальные локации для размещения нового гипермаркета были определены на основе дорожной сети с учетом спроса (численность населения) с помощью анализа размещения-распределения, тип задачи – обеспечение максимального посещения (рисунок 3).

Оптимальные для размещения новых гипермаркетов месторасположения приурочены к восточной и юго-восточной частям города, где несмотря на несколько меньшую плотность населения наблюдается значительно меньшая конкуренция существующих торговых объектов.

Рисунок 3 – Оптимальные локации для новых гипермаркетов

С помощью описанного алгоритма были определены наиболее уязвимые с точки зрения месторасположения и спроса существующие гипермаркеты (рисунок 4).

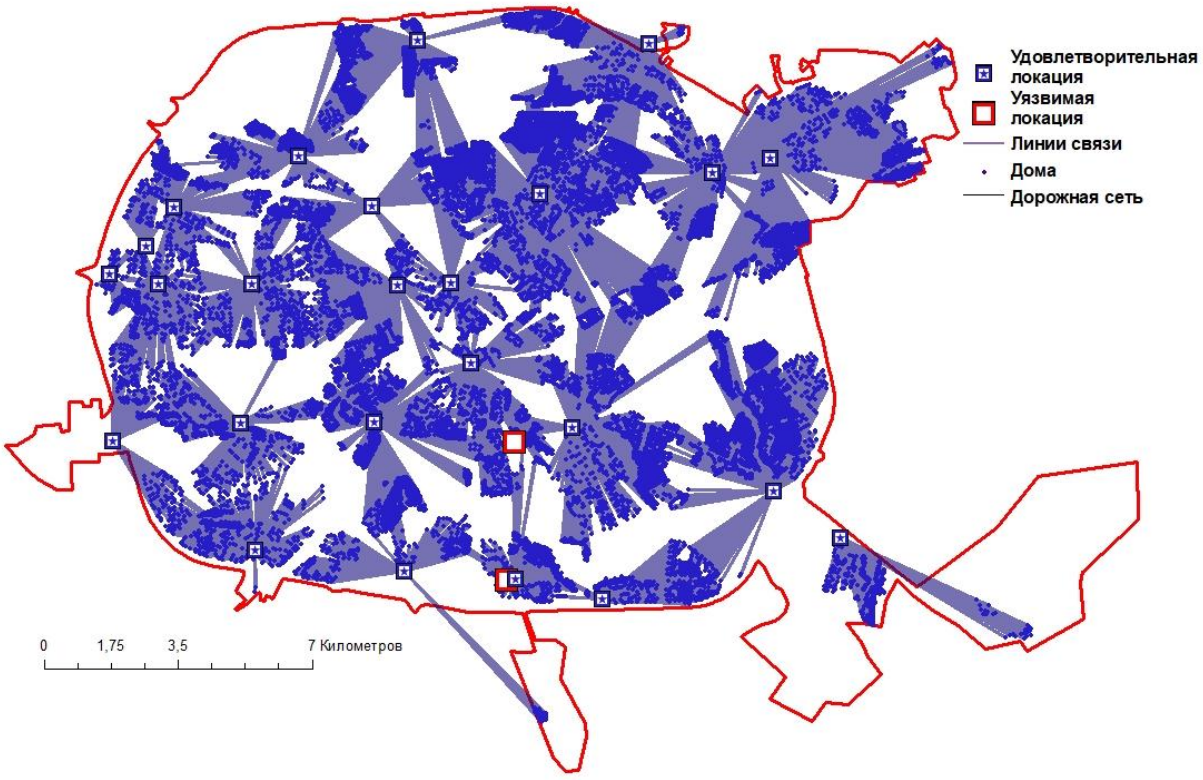


Рисунок 4 – Наиболее уязвимые месторасположения существующих гипермаркетов

В данную группу попали гипермаркеты сети Евроопт, расположенные на юге города, что связано с большой конкуренцией в данном регионе и более низким спросом.

Несмотря на то что разработанные модели являются основой геомаркетингового анализа на территории города, данный проект не является завершенным и предполагает дальнейшую оценку и анализ данных о перемещении населения по городу, половозрастном составе населения, ценовой категории гипермаркетов и других.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. OpenStreetMap [Electronic resource]. Mode of access: https://www.openstreetmap.org.

2. Download OpenStreetMap data for this region: Belarus // Geofabrik GmbH [Electronic resource]. Mode of access: http://download.geofabrik.de/europe/belarus.html.

3. Инструкция о порядке классификации розничных торговых объектов по видам и типам: постановление Министерства торговли Республики Беларусь от 26.06.2014 № 25 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.pravo.by/document/?guid=3961&p0=W21428976.

4. Жилищный фонд г. Минска // Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://minsk-city.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/sotsialnaya-sfera/zhilischnye-usloviya/godovye-dannye_4/p1/.

5. Имангалин А.Ф. Пространственные модели потребительского поведения, применяемые при оценке размещения рыночных услуг // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2013. № 4. С. 62–68.

6. Roig-Tierno N., Baviera-Puig A., Buitrago-Vera J., Mas-Verdu F. The retail site location decision process using GIS and the analytical hierarchy process // Applied Geography. 2013. № 40. P. 191–198.

УДК 332.132 : 004.02

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ МИНСКА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СВЯЗНОСТИ

Е.Д. Калиновский, Д.Р. Ледовский

кафедра почвоведения и геоинформационных систем факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск, eugenekalinovsky@gmail.com

Конвенционально в исследованиях пространственной связности городской ткани используются базовые сетевые показатели улично-дорожного графа, при этом реальная связность городской ткани в большей степени определяется не самим уличным графом, а суперпозицией уличного графа и «невидимого» транспортного графа. Открытие в 2020 г. зеленой ветки минского метро существенно изменит патерн связности города. Однако, недостаточное внимание было уделено вопросу последствий таких изменений, в первую очередь для социально-экономической жизни города и существующей транспортной модели. Данная работа предлагает методологию для измерения эффекта изменения связности города для определенного места.

Ключевые слова: ГИС; Google Places API; OpenStreetMap; ArcGIS; Network Analyst; QGIS.

Одной из отличительных черт города и городского образа жизни является широкий выбор активностей, которые доступны горожанам. Во многом, успех города, а также его общественных пространств определяется способностью городской системы удовлетворить спрос жителей. Тем не менее, недостаточно лишь обеспечить некоторый набор функций и объектов внутри города. Одинаково важной является способность горожан пользоваться этим набором и возможность выбора наибольшего разнообразия активностей [1]. Данная работа предлагает методологию для измерения эффекта изменения связности города для определенного места.

Исследование проводилось с помощью следующих программных продуктов: QGIS, ArcGIS, ArcGIS Pro. Для написания скриптов использовался язык Python. В качестве исходных данных использовались: векторные данные OpenStreetMap (дорожная сеть, граница города Минска, расположение точек остановки общественного транспорта), данные о расписании поездов [2], остановках и расписании наземного общественного транспорта [3], точках интереса (POI, англ. «points of interest») [4].

В первую очередь с помощью модуля *Network Analyst* ArcGIS Pro был создан улично-дорожный граф. Далее с помощью созданного скрипта была получена необходимая информация об остановках наземного общественного транспорта и его расписании с сайта Минсктранса [3]. Полученная информация была преобразована в общепринятый формат хранения расписаний движения общественного транспорта – Generalized Transit Feed Specification (GTFS), состоящий из шести текстовых файлов типа CSV. Всего насчитывалось более 1 200 000 строк возможных прибытий транспортного средства в Минске в определенное время, на определенном маршруте, с определенным недельным графиком на данной остановке.

Информация о расписании на остановках была внесена в таблицу атрибутов точечного слоя остановок. Возникшие на данном этапе проблемы с отсутствующими в OSM остановками, были решены с помощью информации открытых рутинговых сервисов Яндекс Транспорт и Google Transit. Так же был создан точечный слой станций метро города Минска. После чего граф сети метро и наземного транспорта были объединены (рисунок 1).

Для проверки достоверности, полученные данные были сопоставлены с данными сервиса *Яндекс. Транспорт*, отклонения составили 4–5 минут на маршрутах средней сложности. Погрешность можно списать на пробки и другие причины.

Рисунок 1 – Визуализация сети общественного транспорта

Затем была получена модель временной доступности каждой точки города Минска при отправлении из центра (рисунок 2), где каждый круг представляет собой дополнительные пять минут времени до достижения точки, располагающейся в нем.

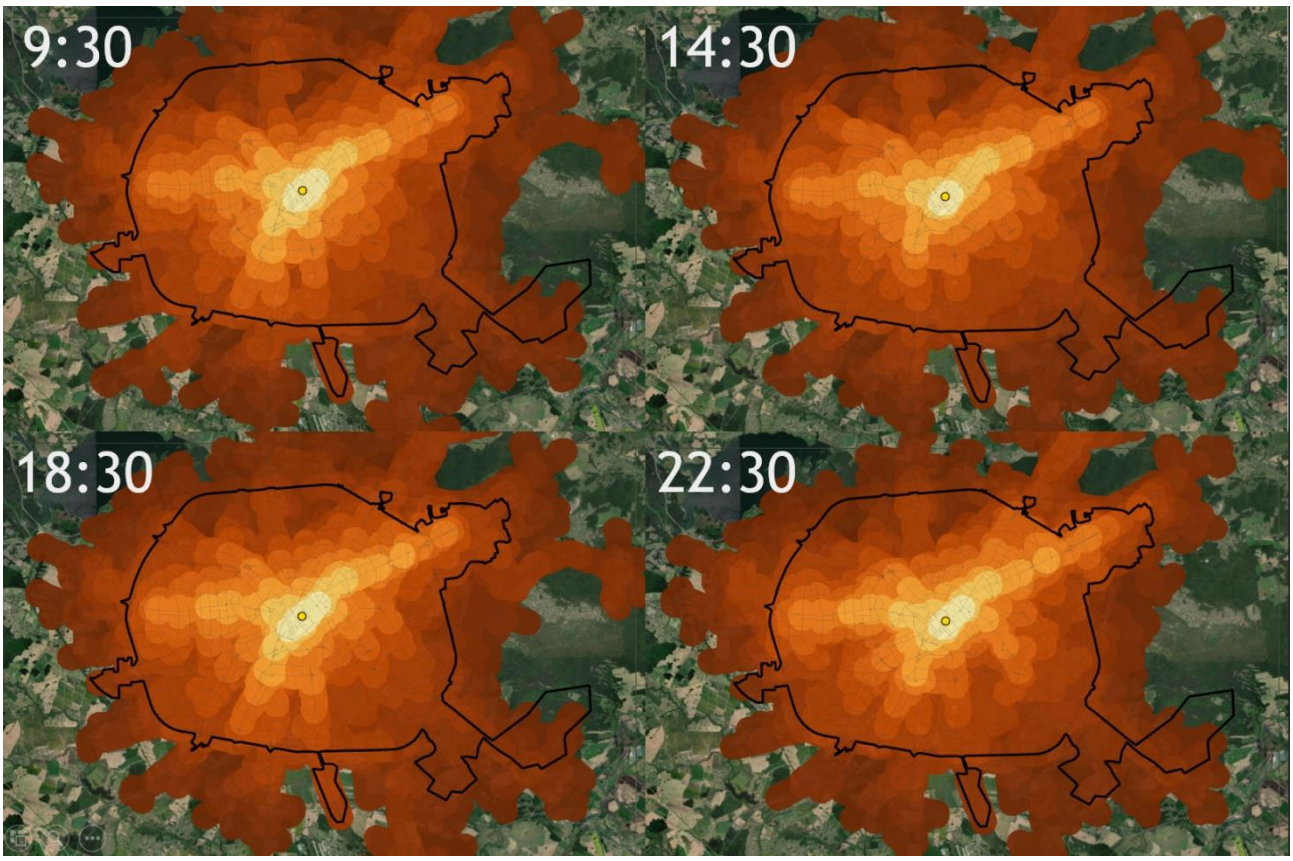


Рисунок 2 – Временная доступность каждой точки города Минска из центра в разное время суток

На следующем этапе в проект внесены данные о точках интереса. Последние получены с сервиса Google Карты с помощью Google Places API. Данный программный интерфейс позволяет получить ограниченный объем данных бесплатно. В частности, доступна функция поиска точек интереса в окрестностях от точки с заданными координатами, которая реализуется в виде ПОИСКА БЛИЖАЙШИХ ОБЪЕКТОВ (англ. «Nearby Search»). При использовании данной функции возвращался список 20 ближайших объектов, а также токен списка следующих 20 ближайших объектов. Структура данных ближайшего объекта представлена в таблице 1.

Лимиты, установленные на API не позволяют получать свыше 60 результатов на один запрос и ограничивают пространственный запрос одним типом объектов (например, “type = ‘book_store’ “). Для решения этой проблемы был разработан скрипт Python с использованием открытой библиотеки googlemaps, выполняющий рекурсивный поиск точек интереса в гексагональной сетке в границах г.Минска для каждого из типов. Первоначально территория г.Минска была покрыта сетью из 477 гексагонов со стороной 1 200 м в соответствующей системе координат, затем для каждого из центров полигонов производился поиск каждого из ближайших 97 типов объектов в радиусе 1 200 м. В случае, если количество получаемых результатов по типу оказывалось равным 60 (максимальный допустимый результат), производилось разбиение данного гексагона на меньшие по размеру гексагоны (например, со стороной 500 м) и поиск искомого типа в каждом из мелких гексагонов (рисунок 3).

Таблица 1 – Структура данных

Поле	Значение
lat	Широта объекта в десятичных градусах в системе координат WGS 84
lng	Долгота объекта в десятичных градусах в системе координат WGS 84
id	Уникальный идентификатор объекта
place_id	Уникальный идентификатор места
name	Наименование объекта
rating	Рейтинг объекта (если имеется)
scope	Охват – по умолчанию “GOOGLE” для всех объектов
user_ratings_total	Количество оставленных отзывов о месте
vicinity	Ближайший адрес
price_level	Ценовая категория (если имеется)

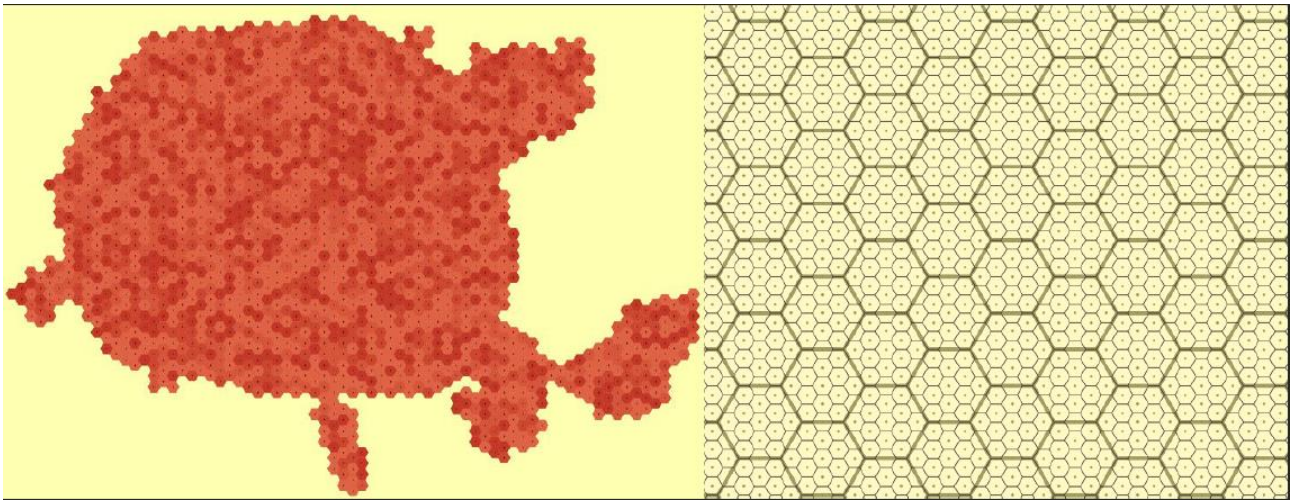


Рисунок 3 – Визуализация работы скрипта по извлечению информации

В завершение процесса список результатов был очищен от объектов-дубликатов по полю place_id, уникальному для каждого объекта в базе данных Google. Всего количество точек интереса в пределах г.Минска превысило 32 000 объектов.

В итоге была создана модель привлекательности некоторых точек спроса, а именно развлекательных объектов (таковых более 2 000), исходя из их временной доступности при передвижении на общественном транспорте из центра города (рисунок 4) и такая же модель при появлении функционирующей третьей ветки минского метрополитена, привлекательность точек спроса определялась по темпоральному импедансу для ближайших 200 соседей (рисунок 5).

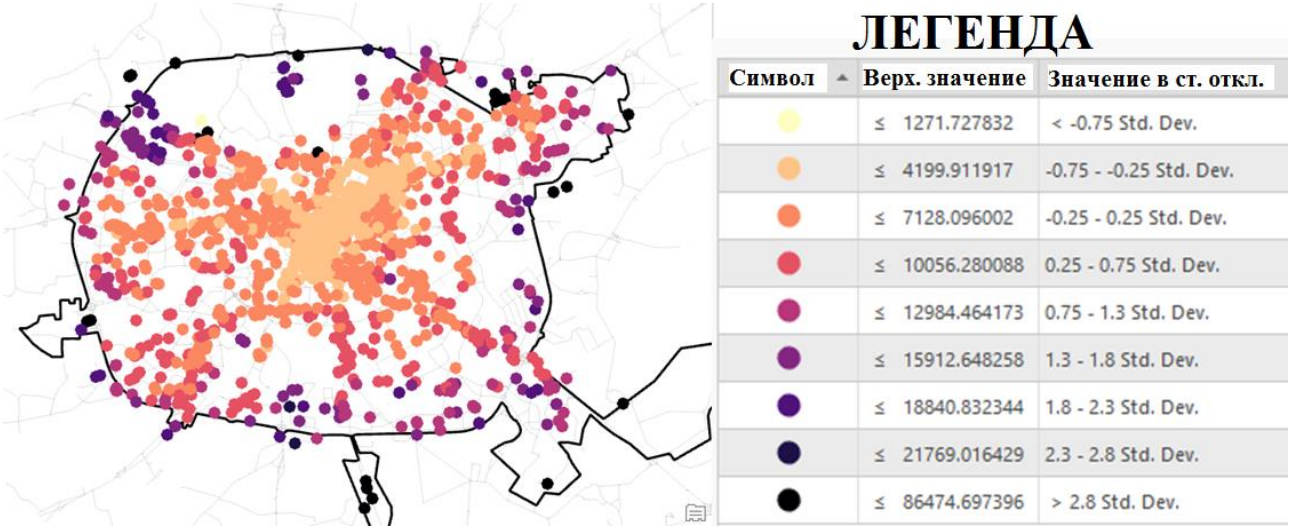


Рисунок 4 – Символизация по темпоральному импедансу для ближайших 200 соседей до появления третьей ветки метро (наиболее привлекательные – светлые)

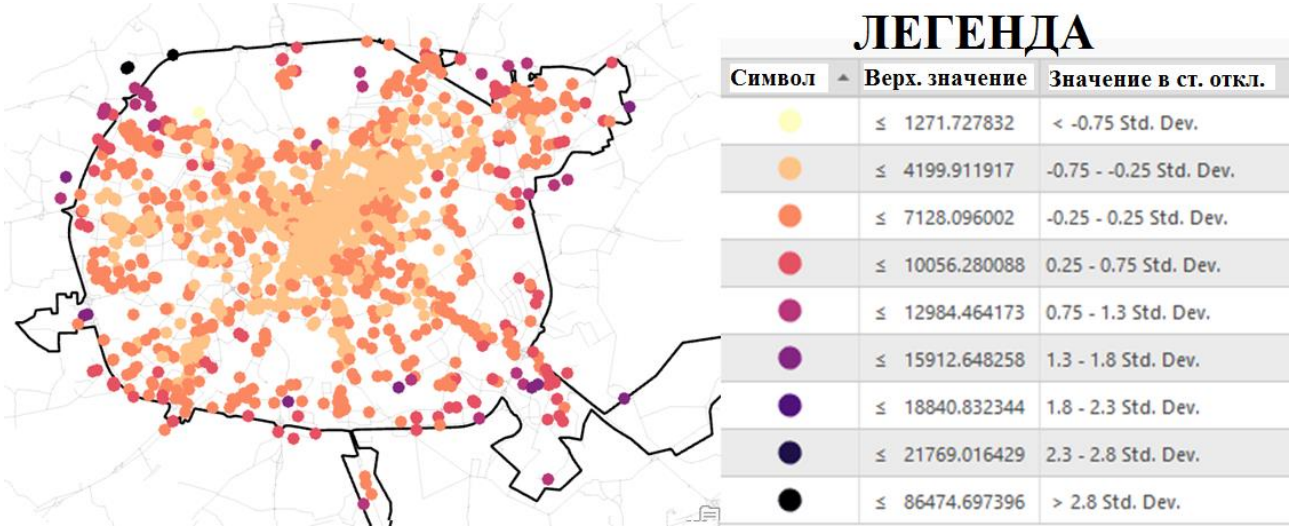


Рисунок 5 – Символизация по темпоральному импедансу для ближайших 200 соседей с функционирующей третьей веткой метро (наиболее привлекательные – светлые)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Sergio P., Crucitti P., Latora V. The network analysis of urban streets: a primal approach // Environment and Planning B: planning and design. 2006. Vol. 33. № 5. P. 705–725.

2. Минский метрополитен [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://metropoliten.by (дата обращения: 20.09.2019).

3. Расписание общественного транспорта Минсктранс [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.minsktrans.by/city (дата обращения: 20.09.2019)

4. Google Карты [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://maps.google.com (дата обращения: 20.09.2019).

СОЗДАНИЕ ГИС ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНОГО И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ХАРАКТЕРА

УДК 911.375.5:004.031.42

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛОМАРШРУТОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КОБРИН

М.С. Голикова

кафедра географии и природопользования географического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, masha.golikova1998@mail.ru

С.М. Токарчук

доцент кафедры географии и природопользования географического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

В данной работе приведены примеры интерактивных экологических маршрутов, созданных с использованием картографического web-приложения ArcGIS Online «Story Map Tour». Описаны возможности приложения, которое использовалось при создании веломаршрутов для территории города Кобрин. Также приведены преимущества виртуальных экскурсий и их влияние на туристический потенциал города.

Ключевые слова: веломаршрут; городской экотуризм; интерактивный маршрут; веб-приложения; карты историй.

Привлечь больше людей, а также дать толчок развитию городского экотуризма может создание виртуальных экскурсий как для потенциальных туристов, так и для людей, находящихся далеко от данного города, но желающих познакомится с его интересными объектами.

Среди основных преимуществ виртуальных экскурсий можно отметить: 1) доступность, т.е. возможность проведения экскурсий независимо от времени года, суток, погоды и т.д.; 2) возможность многоразового просмотра экскурсии и прилагаемой к ней информации, а также возможность выполнения экскурсии не только строго по маршруту, но и по наиболее понравившимся местам либо типам объектов; 3) разработка экскурсионных маршрутов любой протяженности, т.к. расстояние в данном случае не имеет никакого значения, а используемые картографические подложки позволяют как уменьшать размеры карты, чтобы одновременно увидеть все точки маршрута, так и увеличивать масштаб, что дает возможность подробно рассмотреть каждую точку экскурсии [1].

Таким образом, с целью развития туристического потенциала создан ряд виртуальных экскурсий с использованием картографического web-приложения ArcGIS Online «Story Map Tour». Шаблон данного приложения используется для представления географической информации, применительно к которой есть интересные фотографии или видео, дополняющие описательные данные. Шаблон создает привлекательное и простое в использовании приложение, позволяющее показать набор местоположений на карте, которые смогут просматривать поль-

зователи, в виде пронумерованной последовательности. Шаблон может использоваться для просмотра в любом веб-браузере на любом устройстве, в том числе на смартфонах и планшетах.

Для территории Кобрина было создано два веломаршрута. Веломаршрут «*KobrinVeloGreen*» (рисунок 1) состоит из 21 пункта остановок [2].

Прохождение маршрута включает в себя как зеленые места города (отмечены на карте зеленым цветом), так и встречающиеся по пути историко-культурные ценности, культовые объекты, интересные объекты инфраструктуры и др. (отмечены голубым цветом). Точка старта – парк имени А.В. Суворова. Общая протяженность маршрута составляет около 9,5 км. Предположительное время прохождения веломаршрута – 2 часа.

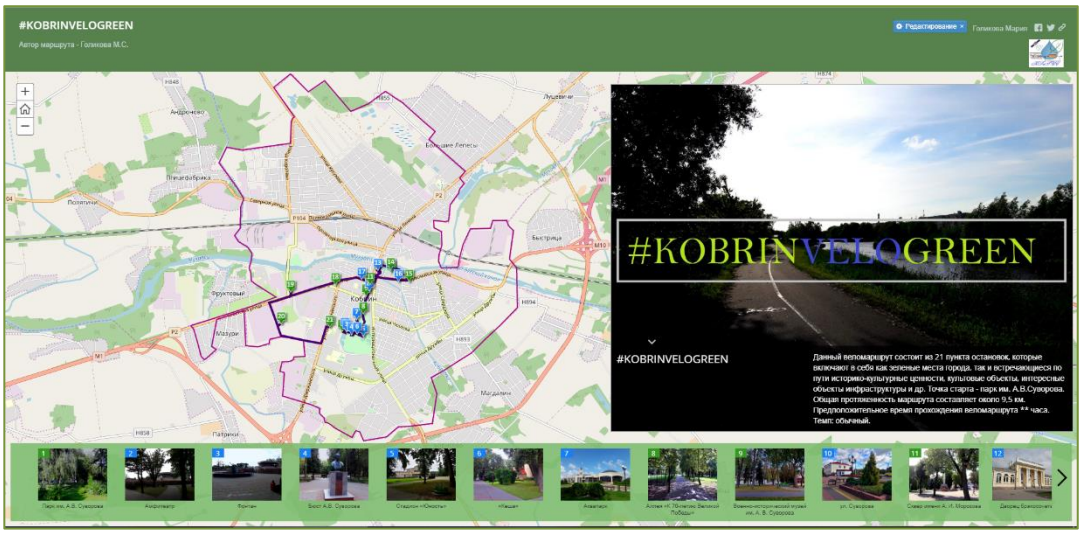
На начальной странице загружается введение, где можно ознакомиться с общими особенностями маршрута. В окне карты – можно увидеть весь маршрут (рисунок 1а). Следует обратить внимание, что при создании данного приложения на карту была нанесена граница города и прорисован сам велосипедный маршрут. Маршрут был проложен с учетом возможности комфортной езды на велосипеде.

При выборе конкретной точки маршрута происходит увеличение (масштабирование карты) и на ней теперь появляется возможность более подробно рассмотреть сам объект экскурсии, а также возможности подъезда к нему (рисунок 1б, в). В окне описания появляется фотографический коллаж, который состоит из нескольких фотографий (сделанных непосредственно во время разработки маршрута), название объекта и его краткое описание.

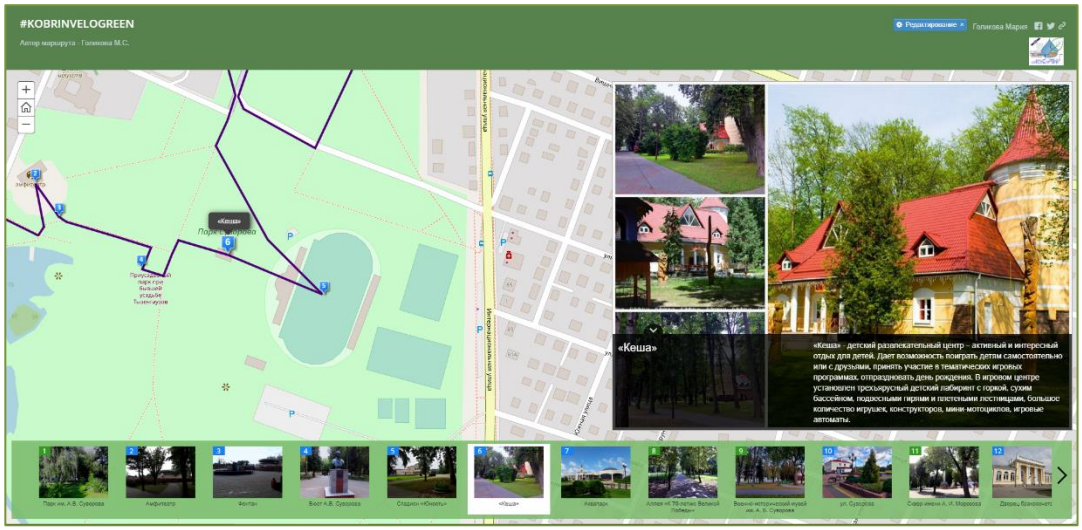
По аналогии с маршрутом «*KobrinVeloGreen*» был составлен «*Велосипедный маршрут по памятным объектам Великой Отечественной войны*» (рисунок 2) [3].

«Интерактивный велосипедный маршрут по памятным объектам Великой Отечественной войны» - представляет собой web-карту, на которой нанесены стоянки велосипедного маршрута, линия передвижения между стоянками и граница города Кобрина. Велосипедный маршрут включает 10 стоянок.

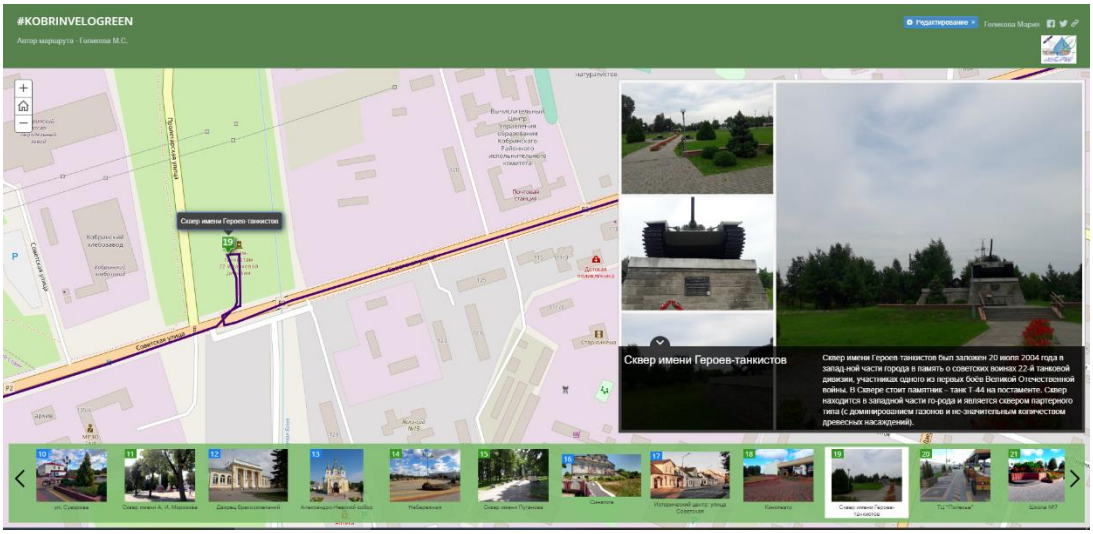
Интерактивный маршрут находится в свободном доступе в сети Интернет. Маршрут выполнен с использованием шаблона карт историй ArcGIS Online «Story Map Tour». Шаблон данного приложения используется для представления географической информации, применительно к которой есть интересные фотографии или видео, дополняющие описательные данные. Шаблон создает привлекательное и простое в использовании приложение, позволяющее показать набор местоположений на карте, которые смогут просматривать пользователи, в виде пронумерованной последовательности. Шаблон может использоваться для просмотра в любом веб-браузере на любом устройстве, в том числе на смартфонах и планшетах. Интерактивный маршрут был выполнен с использованием карты подложки OpenStreetMap. К каждой точке маршрута привязана фотография или фотографический коллаж, иллюстрирующий памятные места. Кроме того, каждая стоянка имеет название точки (стоянки маршрута) и ее краткое описание.



а) начальная страница



б) точка «Кеша»



в) точка «Сквер имени Героев-танкистов»

Рисунок. 1 – Веб-приложение «KobrinVeloGreen»

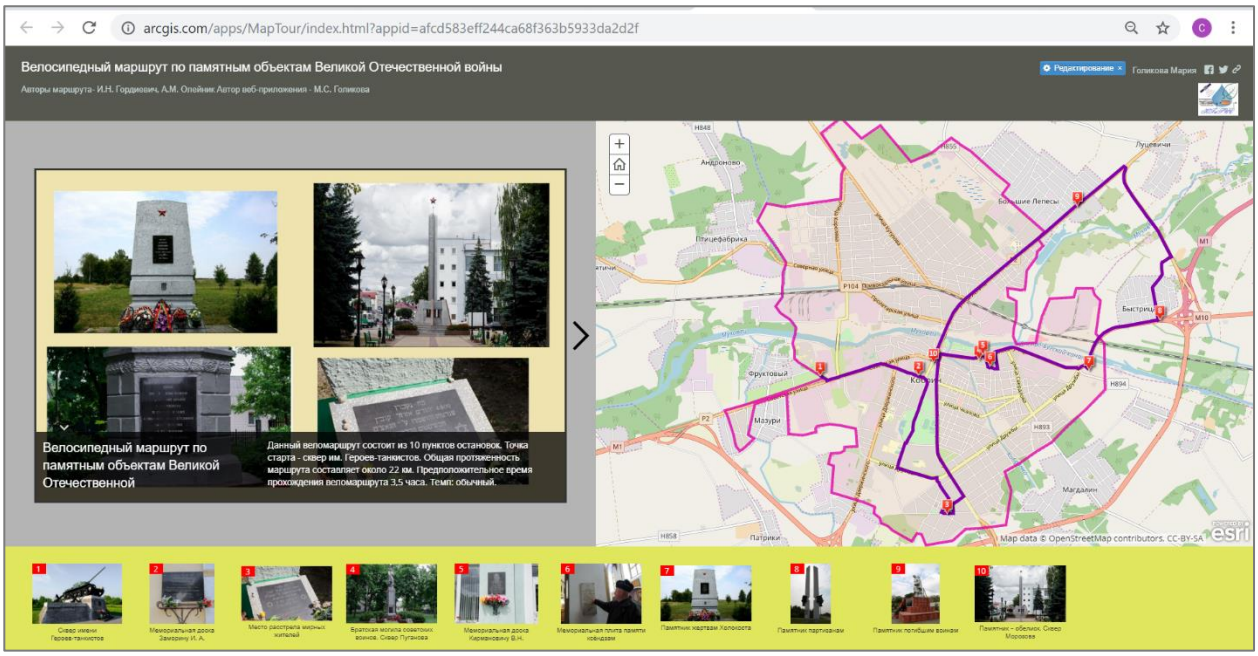


Рисунок 2 – Веб-приложение «Велосипедный маршрут по памятным объектам Великой Отечественной войны»

С одной стороны, если рассматривать тот факт, что информация, которая содержится в данной экскурсии не является экологической, этот маршрут нельзя считать экотуристическим. Однако, маршрут является велосипедным, что способствует популяризации здорового образа жизни. Также стоит сказать, что маршрут был нарисован таким образом, чтобы по возможности передвижение туристов происходило через озелененные территории. Поэтому данный маршрут, можно косвенно отнести к маршрутам для развития городского экотуризма.

В дальнейшем возможно на наиболее длинных отрезках (между точками) ввести дополнительные, экологические, точки. А также создать на основании данного маршрута другие экотуристические экскурсии.

Результаты исследования внедрены и используются в работе государственным учреждением образования «Средняя школа №7 города Кобрина».

Можно выдвинуть следующие предложения о развитии объекта исследования: (1) возможность перенесения апробированной методики исследования на другие территории и города Беларуси; (2) использование полученных результатов для развития туристического потенциала города Кобрина.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Новиков В.С. Инновации в туризме. Москва: Академия, 2007. 208 с.

2. KobrinVeloGreen // ESRI [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arcg.is/1nzvr1 (дата обращения 25.10.2019).

3. Велосипедный маршрут по памятным объектам Великой Отечественной // ESRI [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arcg.is/1j1zeW (дата обращения 25.10.2019).

УДК 81.373.211.5 : 004

ИНТЕРАКТИВНЫЙ ПРОЕКТ «ДОРОГИ БРЕСТА: ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ В НАЗВАНИЯХ УЛИЦ ГОРОДА»

Т.С. Полячок
кафедра географии и природопользования географического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, tpolyachok@mail.ru

М.В. Шевченко, Е.Н. Антонов
учащиеся ГУО «Гимназия № 1 г. Бреста»

С.М. Токарчук
доцент кафедры географии и природопользования географического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест

На сегодняшний день большое значение приобретают исследования, направленные на изучение городской среды. Одним из наиболее значимых элементов городской среды является ее улично-дорожная сеть. В работе представлен опыт создания интерактивной карты «Дороги Бреста: древесные растения в названиях улиц города». Данная карта создана с использованием шаблона Story Map Tour карт историй (Story Map) ArcGIS Online. При изучении данной карты можно получить информацию об улицах с древесными названиями (протяженность, микрорайон, количество домов и т.д.), древесных видах, названиями которых обозначены улицы, интересные факты о растениях и др.

Ключевые слова: городская среда; улично-дорожная сеть; ГИС-картографирование; Брест; дороги Бреста.

В настоящем исследовании приводится пример использования современных облачных веб-технологий для создания интерактивного проекта «Дороги Бреста: древесные растения в названиях улиц города» (рисунок 1) с использованием шаблона Story Map Tour карт историй (Story Map) ArcGIS Online [1].

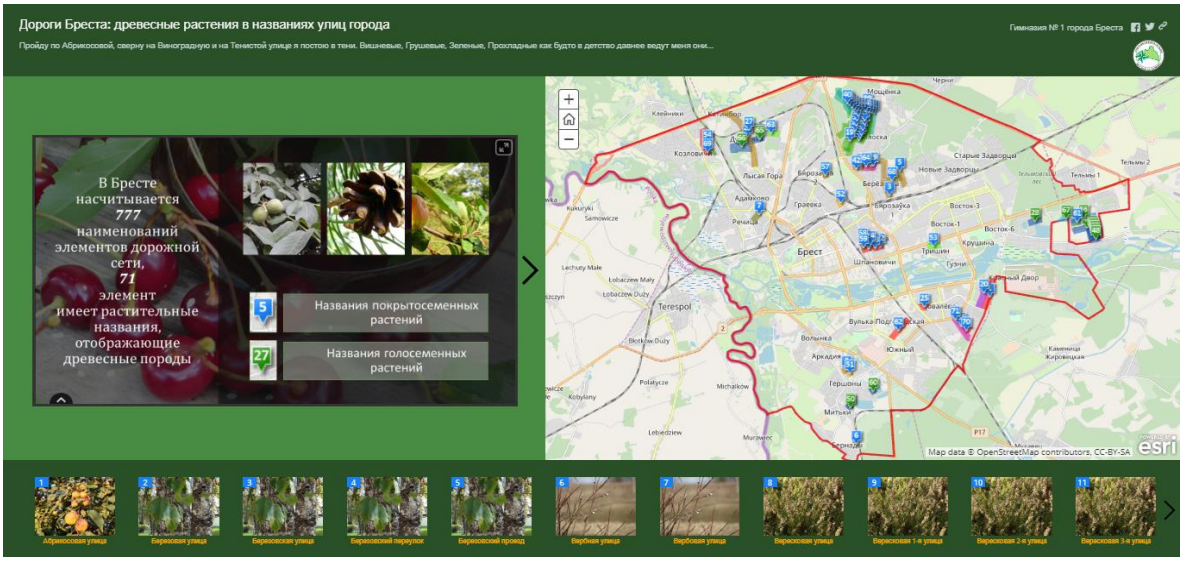


Рисунок 1 – Веб-приложение «Дороги Бреста: древесные растения в названиях улиц города»

На данной карте нанесены местоположения 71 улицы города Бреста, имеющих «растительные древесные» названия. Улицы размещены в приложении в алфавитном порядке.

Для выполнения проекта был выполнен сбор и обработка разнородного материала. Во-первых, это перечень элементов дорожно-транспортной сети Бреста с названиями древесных видов растений. Была обнаружена 71 улица (рисунок 2).

СПИСОК УЛИЦ	Вересковая 10-я улица	Калиновый 5-й переулок	Лавровая улица
Абрикосовая улица	1-й Вересковый переулок	Калиновый 6-й переулок	Липовая улица
Березовая улица	Виноградная улица	Калиновый 7-й переулок	Можжевеловая улица
Березовская улица	Вишневая улица	Калиновый 8-й переулок	Ольховая улица
Березовский переулок	2-я Вишневая улица	Калиновый 9-й переулок	Ореховая улица
Березовский проезд	Вишневый переулок	Каштановая улица	Ореховый переулок
Вербная улица	1-й Вишневый переулок	Каштановый переулок	Пихтовая улица
Вербовая улица	Грушевая улица	Кедровая улица	Платановая улица
Вересковая улица	Дубровская улица	Кедровая 1-я улица	Рябиновая улица
Вересковая 1-я улица	Дубровский переулок	Кедровая 2-я улица	Самшитовая улица
Вересковая 2-я улица	Еловая улица	Кедровая 3-я улица	Сиреневая улица
Вересковая 3-я улица	Жасминовая улица	Кедровая 4-я улица	Сосновая улица
Вересковая 4-я улица	Калиновая улица	Кедровая 5-я улица	Сосновый переулок
Вересковая 5-я улица	Калиновый переулок	Кипарисовая улица	Тисовая улица
Вересковая 6-я улица	Калиновый 1-й переулок	Кипарисовый переулок	Тополиная улица
Вересковая 7-я улица	Калиновый 2-й переулок	Кленовая улица	Черемуховая улица
Вересковая 8-я улица	Калиновый 3-й переулок	Кленовый переулок	Яблоневая улица
Вересковая 9-я улица	Калиновый 4-й переулок	Крушинская улица	Ясеневая улица

Рисунок 2 – Перечень улиц Бреста с названиями древесных видов

Во-вторых, был составлен перечень древесных видов, именами которых названы улицы города. В данный список попали 32 древесных вида (рисунок 3).

В-третьих, была собрана различная по типу (текстовая, фотографическая, иллюстративная и др.) информация как по улицам города с древесными названиями, так и всем видам древесных растений. Данная информация была обработана, систематизирована и в различных вариантах включена в проект.

В целом проект характеризуется сложностью, многоуровневым содержанием, различным типом наполнения.

При создании проекта велась работа не только с его содержанием, но и с картой. Базовой картой для выполнения проекта была выбрана карта *OpenStreetMap*. Была оцифрована современная граница Бреста, в соответствии с генеральным планом города.

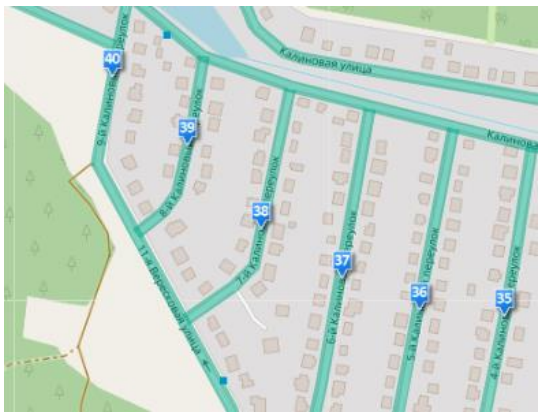
Рисунок 3 – Схема «Древесные виды растений в названиях улиц города»

Улицы нанесены на карту пунсонами двух цветов (рисунок 1): 1) синий – названия покрытосеменных растений, 2) зелёный – названия голосеменных.

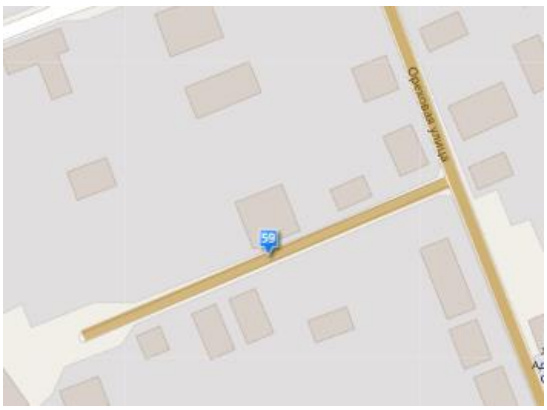
Также все улицы были оцифрованы и окрашены в разные цвета в соответствии с их порядком в ботаническом описании древесного вида. Для голосеменных были выбраны синие тона (улицы Бреста относятся к трем порядкам), для покрытосеменных – разные цвета остальных оттенков (обусловлено тем, что названия покрытосеменных видов относятся к 13 порядкам) (рисунок 4). Для оцифрованных улиц была также настроена высокая прозрачность цвета, чтобы было видно название и сама подложка под линией.

Рисунок 4 – Подбор цветов для обозначения улиц с древесными названиями

В ходе выполнения работы был выявлен ряд несоответствий. В частности, названия некоторых улиц указаны неправильно (рисунок 5а), либо совсем отсутствуют (рисунок 5б). Некоторые улицы вообще не обозначены на данной карте-подложке, т.к. являются слишком короткими.



а) 9-й Калиновый переулок на карте представлен как 9-й Калиновый переулок и 11-я Вересковая улица



б) Название Орехового переулка отсутствует

Рисунок 5 – Проблемные ситуации использования карты подложки *OpenStreetMap*

При выборе улицы происходит масштабирование карты, которое позволяет более подробно рассмотреть особенности данной дороги.

К местоположению каждой улицы привязана *фотография*, отображающая внешний вид улицы (чаще всего представлена фотоколлажем, состоящим из нескольких улиц) (рисунок 6), а также *фотозначок*, показывающий крупным планом данный вид древесного растения (все фотографии являются авторскими, выполнены в пределах города Бреста).

а) 2-я Вересковая улица

б) Грушевая улица

Рисунок 6 – Примеры фотоколлажей улиц

Название точки на карте представлено названием улицы. Для каждой улицы был составлен «*паспорт*», который содержит название улицы на русском и белорусском языках, микрорайон, длину улицы, количество домов на ней, а также координаты и наиболее значимые объекты (рисунок 7). Данный паспорт привязан с использованием функции гиперссылки к названию улицы.

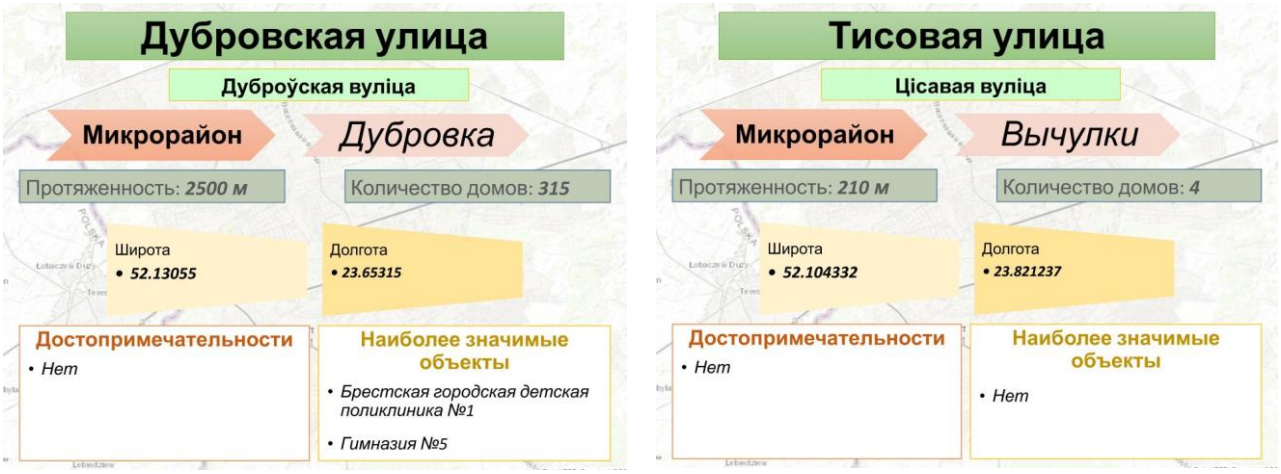


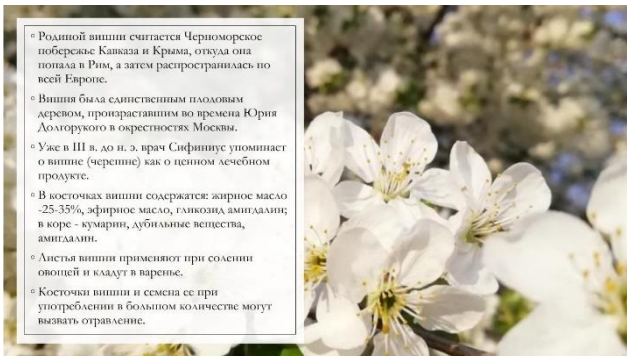
Рисунок 7 – Примеры паспортов улиц

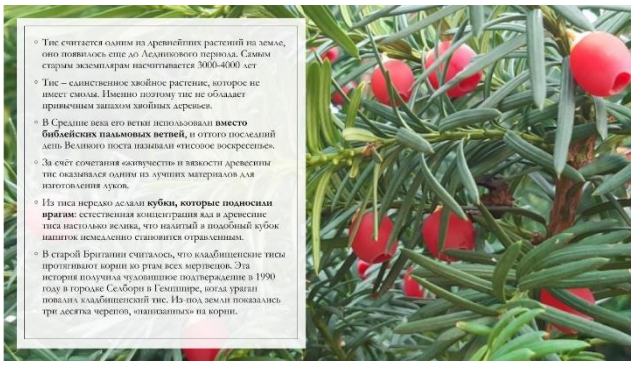
Описанием каждой улицы на карте (рисунок 8) является описание древесного вида, в честь которого названа улица. Это описание было составлено на основании современной ботанической энциклопедии. К названию вида также с использованием возможностей вставки гиперссылок привязаны карточки с ботаническим описанием вида (рисунок 9а). В конце описания вставлена карточка с интересными фактами о конкретном виде (рисунок 9б). Все гиперссылки окрашены в разные цвета.

Рисунок 8 – Название и описание точки улицы

Также, для лучшего понимания сущности проекта с использованием шаблона карт историй Cascade было составлено описание проекта, которое включает 5 разделов («Авторы», «Введение», «Методика», «Результаты», «Веб-приложение») [2]. Данное описание привязано к введению, которое появляется на месте описания при загрузке приложения.

а) карточки с ботаническим описанием





б) карточки с интересными фактами

Рисунок 9 – Пример карточек, привязанных к описанию точек

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Дороги Бреста: древесные растения в названиях улиц города // ESRI [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arcg.is/05fWPz (дата обращения 25.10.2019).

2. Древесные растения в названиях улиц города Бреста // ESRI [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arcg.is/0K5WLC (дата обращения 25.10.2019).

УДК 911.375: 004.9

ИНТЕРАКТИВНЫЙ ПРОЕКТ «АТЛАС ОЗЕЛЕНЕНИЯ КВАРТАЛОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА БРЕСТА»

А.О. Белюк
кафедра географии и природопользования географического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, apelsinesc@gmail.com

Д.Д. Рабчук, П.В. Бутько
учащиеся ГУО «Гимназия № 1 г. Бреста»

О.В. Токарчук
доцент кафедры географии и природопользования географического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

В работе представлен опыт создания интерактивного проекта «Атлас озеленения кварталов центральной части города Бреста». Данное приложение создано с использованием шаблона Story Map Cascade карт историй (Story Map) ArcGIS Online. При изучении данного атласа можно узнать об исторических особенностях формирования центрального микрорайона города и его современном озеленении.

Ключевые слова: озелененность; городские кварталы; ГИС-картографирование; Брест.

Картографическое web-приложение «Атлас озеленения кварталов центральной части города Бреста» представляет собой Интернет-атлас, созданный для центральной части города Бреста [1]. Включает в себя исторические особенности формирования центра города и данные по его современному озеленению. Атлас был выполнен с применением приложения *Story Map Cascade* (рисунок 1).

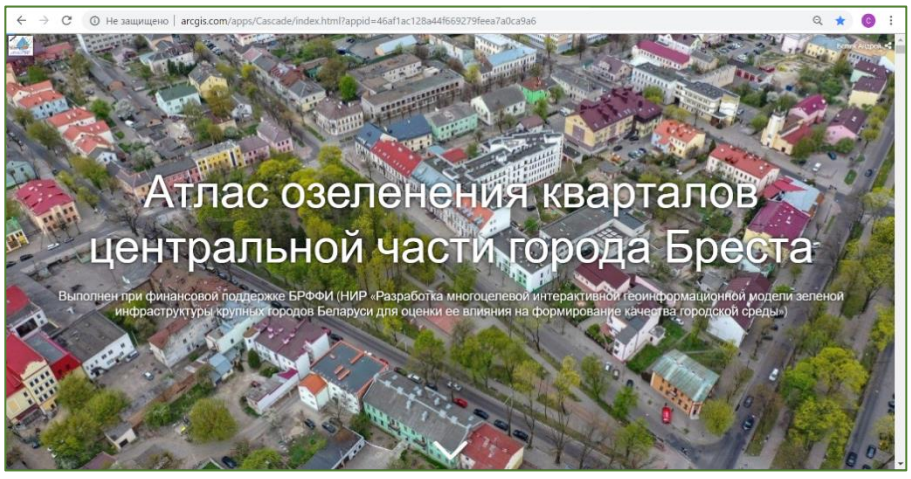


Рисунок 1 – Титульная страница Атласа

Атлас разработан по результатам выполненных научно-полевых исследований «Особенности озеленённости внутри кварталов исторического центра города Бреста», и научного исследования «Исторические особенности формирования центральной части города Бреста». Работа выполняется в рамках НИР «Разработка многоцелевой интерактивной геоинформационной модели зеленой инфра-

структуры крупных городов Беларуси для оценки ее влияния на формирование качества городской среды», принятого к финансированию Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (№ госрегистрации 20191948).

Реализованная веб-версия атласа характеризуется сложной многоуровневой структурой, а также наличием различных тематических разделов. Большая часть разделов атласа создавалась путем встраивания в приложение тематических web-карт, которые в свою очередь дополнялись текстовым и фотографическим материалом. Также вставлялись информационные разделы, включающие современные и исторические снимки, различные планы, карты и схемы.

В целом, в структуре атласа выделяется 7 разделов, отличающихся между собой как по содержанию, так и по стилевому оформлению (таблица).

Таблица – Структура интернет-атласа озеленения кварталов.

Название раздела	**Содержание раздела**	**Форма представления информации**
Введение	В разделе обоснуется необходимость наличия подобных атласов, приводятся данные о целях и задачах поставленных при сборе данных для атласа и при его непосредственном составлении	В виде текстовой заметки
Особенности формирования центральной части города Бреста	Содержит сведения об исторических особенностях формирования центральной части города, его исторических и современных особенностях.	Раздел сдержит текстовые вставки, карты, картосхемы и фотографии, а также интерактивные карты, такие как: «Микрорайоны Бреста» и «Микрорайон Центр»,
Характеристика кварталов центральной части города Бреста	Содержит сведения о кварталах центральной части города, их количестве, плотности и размерах. Также содержатся общие сведения об их озеленении, количестве и плотности деревьев.	В виде фотографий, текстовых вставок, схем, а также интерактивных карт: «Выделение кварталов» и «Площадь Кварталов»
Общие особенности озеленённости кварталов	В разделе содержатся общие сведения об озеленении кварталов, количестве и плотности деревьев.	В виде фотографий, текстовых вставок, схем, а также интерактивных карт: «Общее количество деревьев», «Плотность деревьев»
Видовой состав древесной растительности кварталов центральной части города Бреста	Представлены данные о видовом составе пород на исследуемой территории, приложены веб-карты, основанные на данных по всем видам деревьев с информацией о них.	Раздел содержит интерактивные карты «Доминантные виды» и «Субдоминантные виды», текстовые вставки, фотографии и приложение «Древесные виды», выполненные в приложении Story Map
Заключение	Содержит главные выводы и обобщённые данные результатов исследования и информации, представленной в атласе.	Представляет собой текстовую заметку
Литература	Содержит сведения об литературных источниках, на которые	Текстовые описания с гиперссылками

Название раздела	Содержание раздела	Форма представления информации
	опирались составителе при сборе данных и составлении атласа, а также перечень авторских публикаций	

В интерактивном атласе, представлены различные типы материалов: текстовый материалл, картосхемы, иллюстративный материалы, фотографии и веб-карты.

Во-первых, в Атлас включены интерактивные картосхемы, отображающие, особенности озеленения кварталов центральной части города. К таким можно отнести картосхемы: «Общее количество деревьев» (рисунок 2), «Плотность деревьев», «Доминантные виды» и «Субдоминантные виды».

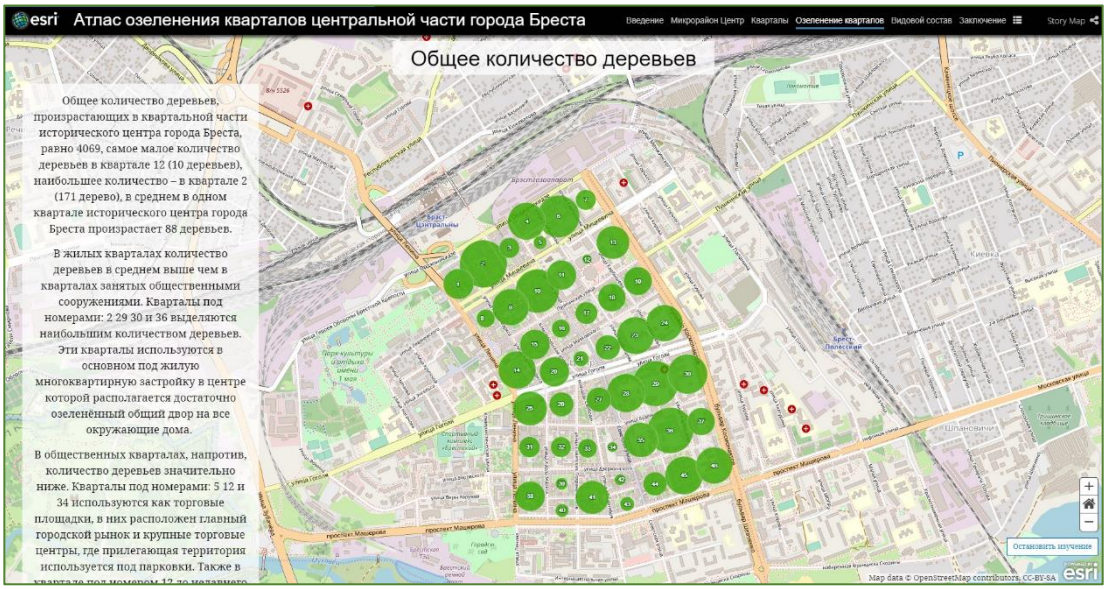


Рис. 2 – Картосхема «Общее количество деревьев» в Атласе

Также представлены картосхемы, отображающие как общие особенности Бреста (рисунок 3), так и некоторые характеристики микрорайона «Центр».

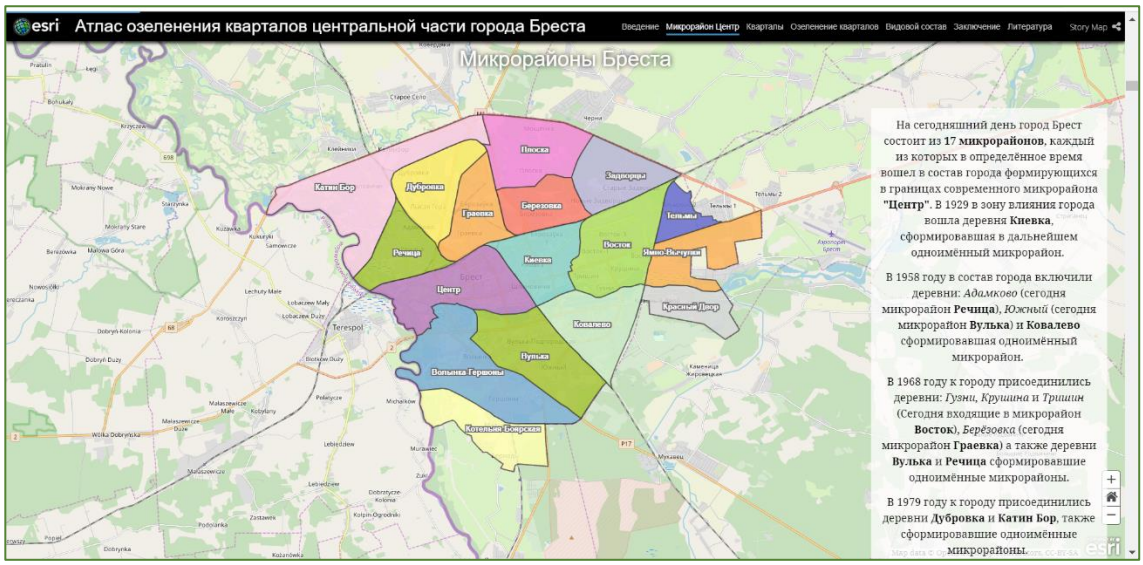


Рисунок 2 – Картосхема «Микрорайоны Бреста»

Наличие у веб-карт, представленных в атласе, функций интерактивности способствует привлечению внимания и интереса пользователей. Динамическая информация помогает более быстрому и полному усвоению и запоминанию информации по сравнению со статичной.

При создании интерактивных веб-карт атласа также была использована функция настройки всплывающих окон, которые содержат дополнительную информацию о представленных на карте объектах.

Раздел атласа «Видовой состав», создавался путем встраивания в Story Map Cascade web-приложения Story Map Series (рисунок 4). Особенностью данного приложения является объединение всех веб карт по видовым породам деревьев в одно приложение, включающее в себя систему из карт, краткую информацию с фотоснимком по каждому из видов, настроенные всплывающие окна. Использование последних позволяет узнать количество каждого вида деревьев в пределах кварталов.

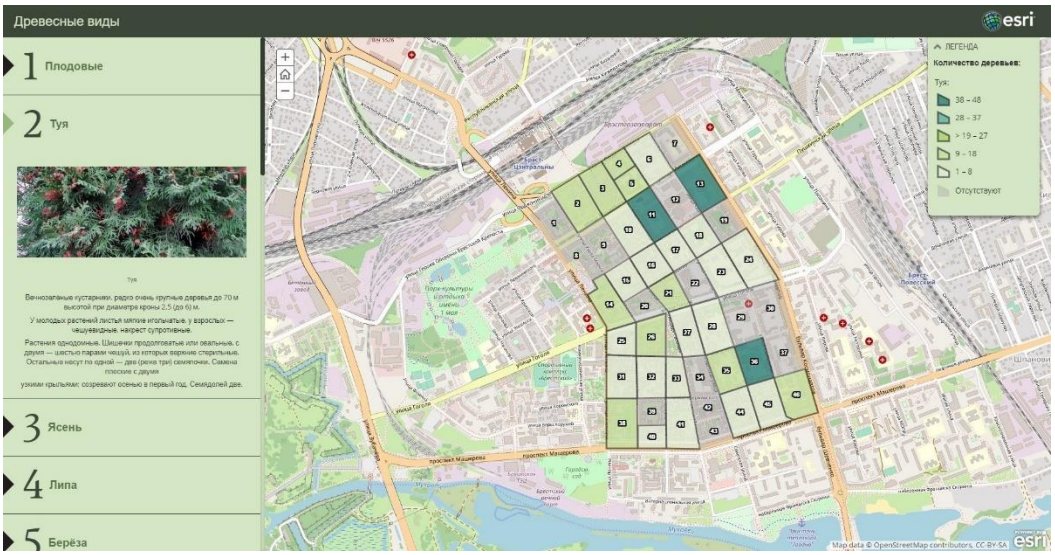


Рисунок 4 – Веб-приложение «Древесные виды»

Также в первых разделах атласа в большом количестве представлены растровые схемы и картосхемы (главным образом, схемы и планы города (рисунок 5), в том числе исторические (рисунок 6). Все эти схемы сопровождаются текстовые описаниями, которые не только характеризуют представленный материал, но и дают сведения о рассматриваемых исторических периодах.

Рисунок 5 – Схемы расширения города в Атласе

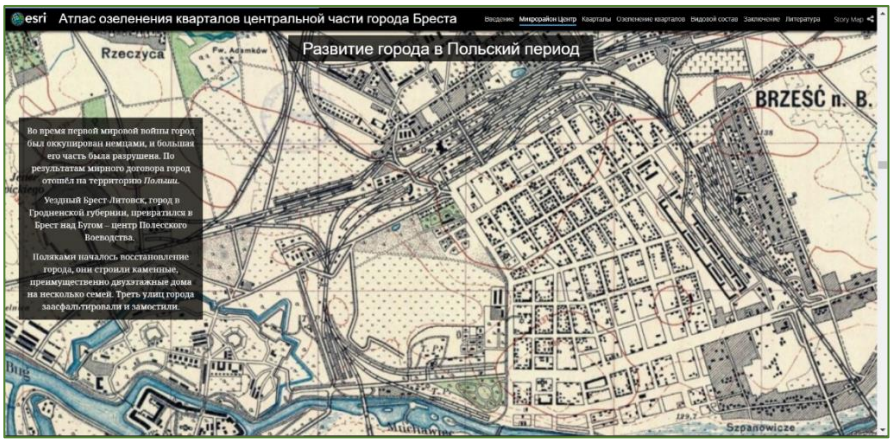


Рисунок 6 – Карта Бреста-над-Бугом (польский период) в Атласе

Отдельные разделы атласа включают фотографический материал, большинство из которого выполнено самостоятельно, а также старые фотографии центрального микрорайона Бреста. На отдельных страницах представлены наборы фотографий, в том числе сочетание старых и новых фотографий, отображающих одни и те же части города (рисунок 7).

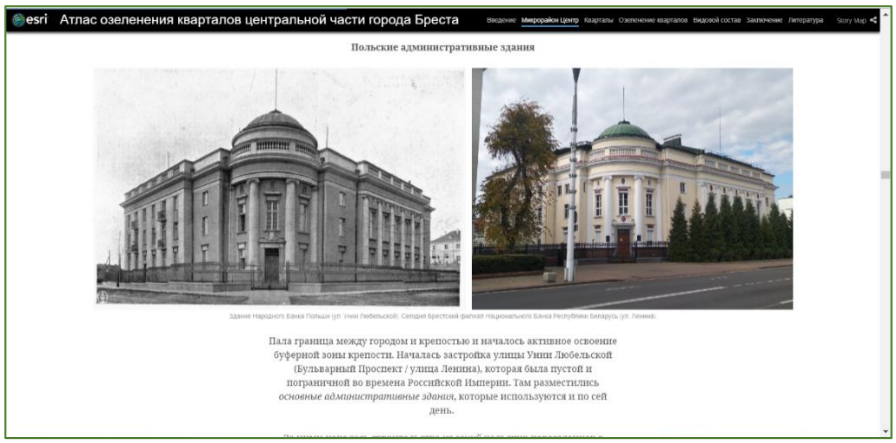


Рисунок 7 – Набор фотографий (старая и современная) в Атласе

Данный атлас имеет большую практическую значимость, т. к. отражает современное состояние и распространение видов деревьев в центральной части города и также объясняет исторические особенности его формирования. Атлас может быть использован в учебном процессе как при выполнении научных работ, а также на уроках географии, биологии и истории в школах. Материал атласа может использоваться для информирования организаций и населения об основных данных качественного и количественного состояния озеленения центральной части города.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (НИР «Разработка многоцелевой интерактивной геоинформационной модели зеленой инфраструктуры крупных городов Беларуси для оценки ее влияния на формирование качества городской среды»)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Атлас озеленения кварталов центральной части города Бреста // ESRI [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://arcg.is/bCTmu (дата обращения: 25.10.2019).

УДК 528.94 : 004

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ВЕБ-КАРТ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ТУРКМЕНИСТАНА

Н.И. Атабаева, А.Х. Балтаева
кафедра географии и природопользования географического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, brsu_turkmenistan@mail.ru

С.М. Токарчук
доцент кафедры географии и природопользования географического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест

В работе представлен опыт применения шаблона карт историй (Story Map) ArcGIS Online Tour при выполнении географических работ для территории Туркменистана. Показаны примеры создания веб-карт «Города Туркменистана» и «Заповедники Туркменистана». Описаны особенности данных приложений и их основное содержание.

Ключевые слова: Туркменистан; веб-карта; веб-приложение; города; заповедники.

Туркменистан – одно из государств Средней Азии, бывшая республика СССР. Граничит с Афганистаном и Ираном на юге, с Казахстаном и Узбекистаном на севере. На западе омывается внутренним Каспийским морем.

Общая площадь территории 491 200 км², по основным подсчетам в настоящее время в Туркменистане проживает около 5 850 000 человек.

Страна подразделяется на шесть административно-территориальных единиц, пять из которых являются велаятами, один — город с правами велаята. Столица государства — город Ашхабад, который является крупнейшим в стране.

В данной работе показан пример создания веб-карт с помощью программы ArcGIS Online, которые показывают отдельные географические объекты на территории Туркменистана.

Были созданы две карты (веб-приложения) с использованием шаблона карт историй ArcGIS Online *Story Map Tour*. Данный шаблон хорошо подходит для последовательного повествования на основе местоположений, сопровождаемого изображениями и видео. Каждая «точка повествования» тура имеет географическую привязку, что позволяет поочередно рассматривать их на веб-карте. Также пользователи могут пролистывать тур, используя или саму карту, или дополнительную ленту изображений в нижней части приложения [1].

Первая веб-карта была разработана по теме «**География городов Туркменистана**».

По состоянию на 1 октября 2018 года в Туркменистане насчитывается 51 город, из них: 1 город с правами велаята (Ашхабад), 11 городов с правами этрапа и 39 городов в этрапах (согласно Закону Туркменистана «О порядке решения вопросов административно-территориального устройства Туркменистана»).

Населённые пункты Туркменистана подразделяются на городские и сельские. К городским населённым пунктам относятся города и посёлки, к сельским – сёла.

Города подразделяются на следующие категории: города с правами велаята, города с правами этрапа (района) и города в этрапе.

С использованием облачной платформы картографирования ArcGIS Online шаблона «Story Map Tour» создано приложение «Города Туркменистана» [2].

В данном приложении на интерактивную карту-подложку *OpenStreetMap* были нанесены все города Туркменистана.

При создании приложения использовался целый ряд возможностей данного шаблона:

1. Была создана титульная страница, загружаемая на этапе открытия приложения (рисунок 1).

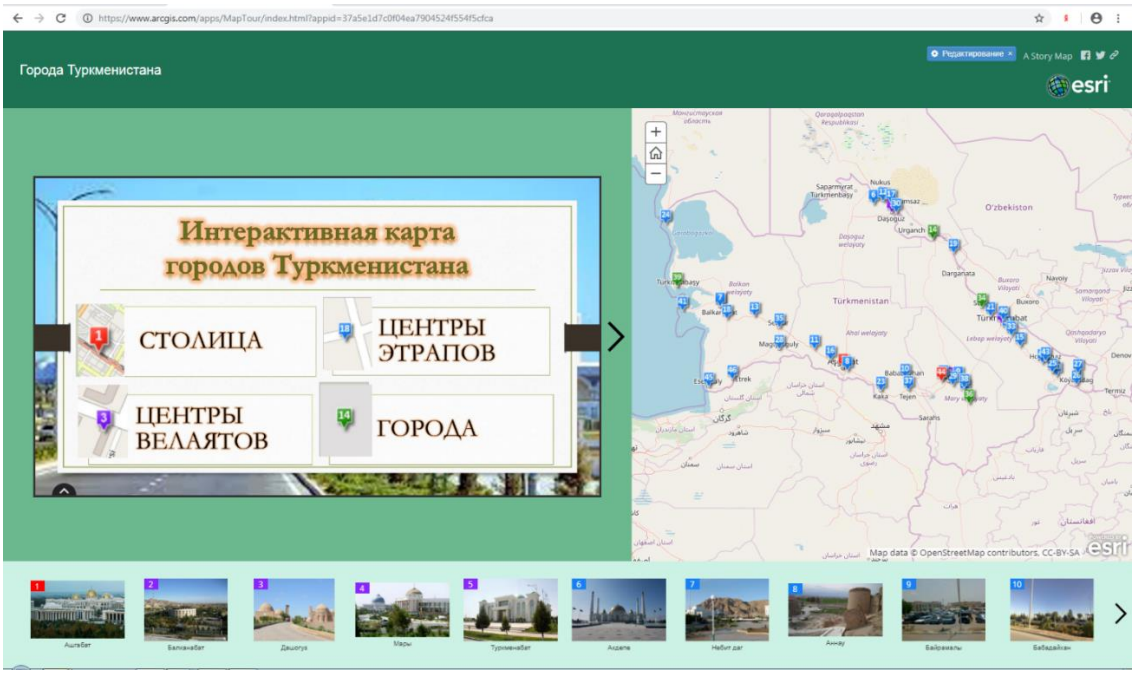


Рисунок 1 – Общий вид приложения

2. Использовались пунсоны разных цветов. Шаблон позволяет выставлять пунсоны четырех цветов. В итоге на карту были нанесены столица (красный пунсон), центры велаятов (фиолетовый), центры этрапов (голубой) (рисунок 2), просто города (зеленый).

3. Для крупных городов было использовано два типа изображения: общая фотография города, которая отображается на ленте изображений и фото-коллаж, который включает несколько фотографий, характеризующих разные особенности города (застройка, озелененность, достопримечательности и др.) и появляющийся на большой вкладке.

4. Имя точки соответствует названию города. Описание включает краткую характеристику города.

5. Экстент тура создавался таким образом, чтобы на карте находились все города Туркменистана.

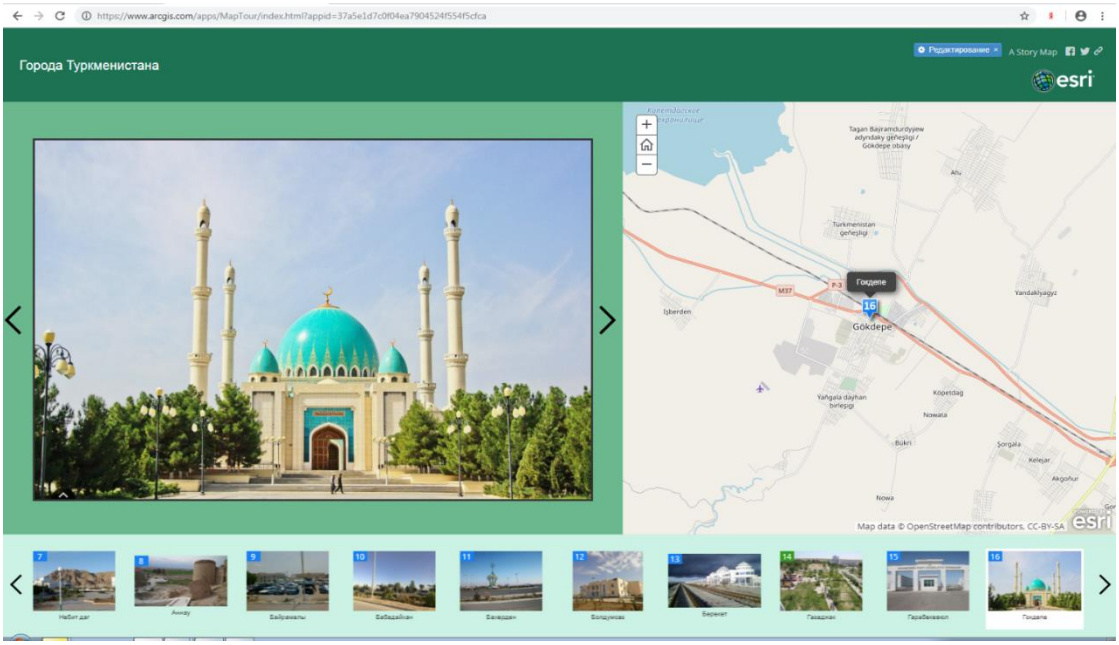


Рисунок 2 – Точка «Гокдепе» (центр этрапа)

6. При показе каждой отдельной точки приложения (т.е. каждого города) применялась возможность масштабирования, в данном случае выбирался такой уровень масштабирования, чтобы самый большой объект из созданного приложения при его отображении на карте показывался на все окно (т.е. в приложении самым большим по площади является город Ашхабад, столица Туркменистана, следовательно, был выбран 16 уровень масштабирования, который позволяет увидеть в окне карты весь город). В итоге все остальные точки также полностью видны на карте, но в более мелком масштабе.

Вторая веб-карта была сделана по теме «Особо охраняемые природные территории Туркменистана».

В Туркменистане имеется 9 государственных заповедников и 14 заказников. Была разработана веб-карта «Заповедники Туркменистана» [3]. К основным особенностями данной карты можно отнести следующие:

1. В качестве подложки используется космический снимок. Его изучение дает возможность увидеть основные особенности территории при увеличении карты.

2. При разработке приложения была создана титульная страница (рисунок 3).

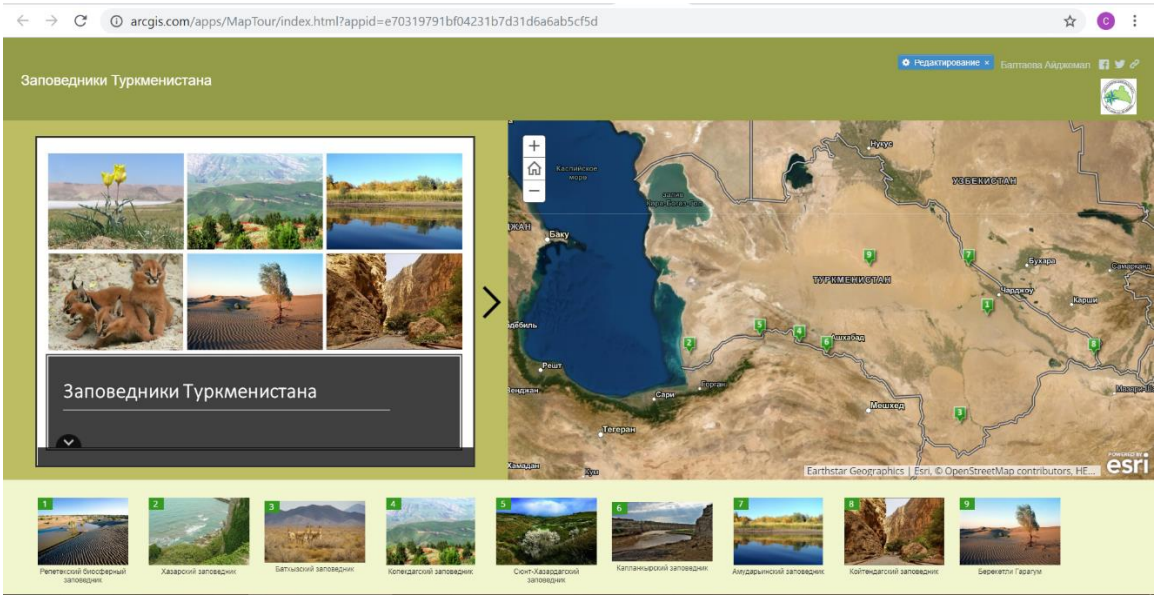


Рисунок 3 – Общий вид приложения

3. Все заповедники на карте были визуализированы одним цветом – зеленым.

4. Перечень заповедников был составлен в соответствии с датой их создания: первый заповедник Репетекский (1927 год создания), последний – Берекетли Гарагум (2013 год создания).

5. В рассматриваемом приложении использовались возможности вставки разных изображений на ленте (в нижней части окна приложения, в списке всех объектов) и на место основной картинки. В первом случае вставлялась фотография, которая показывает наиболее типичные ландшафты заповедника, а на место основного изображения – табличка-паспорт заповедника (рисунок 4).

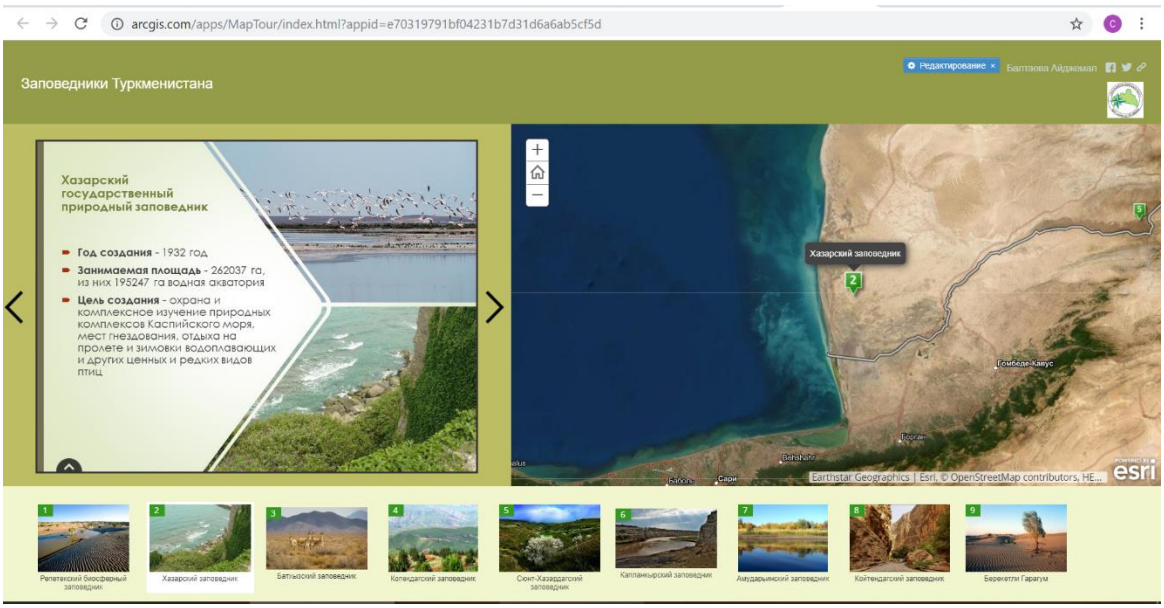


Рисунок 4 – Точка «Хазарский заповедник»

6. Масштабирование карты настроено так, чтобы была видна значительная часть Туркменистана и было понятно, где конкретно находится заповедник.

Таким образом, в настоящем исследовании представлены примеры создания веб-карт, которые помогают проводить исследования и показать необходимые объекты на карте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Тур по карте-истории // ESRI [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://storymaps-classic.arcgis.com/ru/app-list/map-tour (дата обращения 20.10.2019).

2. Города Туркменистана // ESRI. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arcg.is/0vv1Ly (дата обращения 25.10.2019).

3. Заповедники Туркменистана // ESRI [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arcg.is/0GHj5T (Дата обращения 25.10.2019).

УДК 528.8 : 004.932

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДДЗ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕПЛОВЫХ АНОМАЛИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ЛЕСНЫХ ЗЕМЛЯХ БЕЛАРУСИ

А.А. Смагина
кафедра почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики
Белорусского государственного университета, Минск, smalexsa@mail.ru

Н.В. Ковальчик
доцент кафедры почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики
Белорусского Государственного Университета, Минск

С использованием методов ДЗЗ и ГИС проанализированы тепловые аномалии земной поверхности на лесных землях Гомельской области за период 2015–2017 гг. Для анализа использованы данные снимков Landsat-8 и Sentinel-2, обработанные при помощи ПО ERDAS Imagine и ENVI. С помощью автоматизированного дешифрирования типов земель были выделены контуры лесных массивов. Определены наиболее пожароопасные участки лесов и временные интервалы, требующие повышенного внимания. Выявлена прямая корреляция между уровнем лесистости административных районов и количеством тепловых аномалий в год на их территории. Наиболее пожароопасными месяцами для лесов Гомельской области являются май, август и сентябрь.

Ключевые слова: тепловые аномалии земной поверхности; данные ДЗЗ; ГИС-технологии; лесные земли; пожароопасные участки.

Одним из перспективных направлений геоинформатики является обработка данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Проведение научных исследований в этой области необходимо для обеспечения информацией пользователей при решении определенных производственных задач, направленных на оптимизацию использования и охраны земель. Кроме того, ГИС-технологии позволяют систематизировать и анализировать полученную информацию с гораздо меньшими материальными и трудовыми затратами.

Важной народнохозяйственной задачей, решаемой средствами ДЗЗ и ГИС, является своевременное обнаружение лесных пожаров и анализ их пространственного и временного распределения [1]. Основным условием достоверности результатов при дистанционном определении температуры поверхности по данным ДЗЗ из космоса и достижения максимально возможной точности измерений, является учет воздействующих на измерение факторов: температуры и влажности атмосферного воздуха, скорости ветра, облачности, прозрачности атмосферы, отражающих и излучающих свойств земной поверхности. Максимальная точность измерения температуры радиометром AVHRR и MODIS – 1^{o}C. Одним из наиболее используемых алгоритмов для определения тепловых аномалий является алгоритм Кауфмана [2].

Для анализа распределения тепловых аномалий на лесных землях Гомельской области в течение 2015–2017 гг. был определен участок оперативного наблюдения. При помощи данных ДЗЗ (снимков Landsat-8 и Sentinel-2, обрабо-

танных при помощи ПО ERDAS Imagine и ENVI) путем автоматизированного дешифрирования типов земель были выделены контуры лесных массивов.

Для более детального исследования регион был разделен на административные районы с определением доли площади лесных земель в пределах районов. Далее была построена карта участков первоочередного наблюдения пожароопасной территории. Населенные пункты и автомобильные дороги с прилегающими участками являются источниками повышенной пожароопасности. Поэтому вокруг объектов автодорожной инфраструктуры и сельских населенных пунктов с учетом расположения радиоактивно опасных земель были определены буферные зоны в пределах лесных земель. Площадь пожароопасной территории первоочередного наблюдения составила 10,7% от площади территории Гомельской области.

Для систематизации, актуализации, пространственного анализа и дальнейшей работы с большими массивами данных целесообразно использовать средства ПО ArcGIS. Была создана база геоданных, содержащая атрибутивную информацию о тепловых аномалиях на территории области, а также дополнительные таблицы и векторные слои, дополняющие её структуру.

По полученным данным была проанализирована повторяемость тепловых аномалий по месяцам, с целью выявления пиков наивысшей горимости. Результаты исследования показали, что в 2015 и 2016 гг. пики пожаров пришлись на май и сентябрь, в 2017 г. – на май и август-сентябрь (рисунок1).

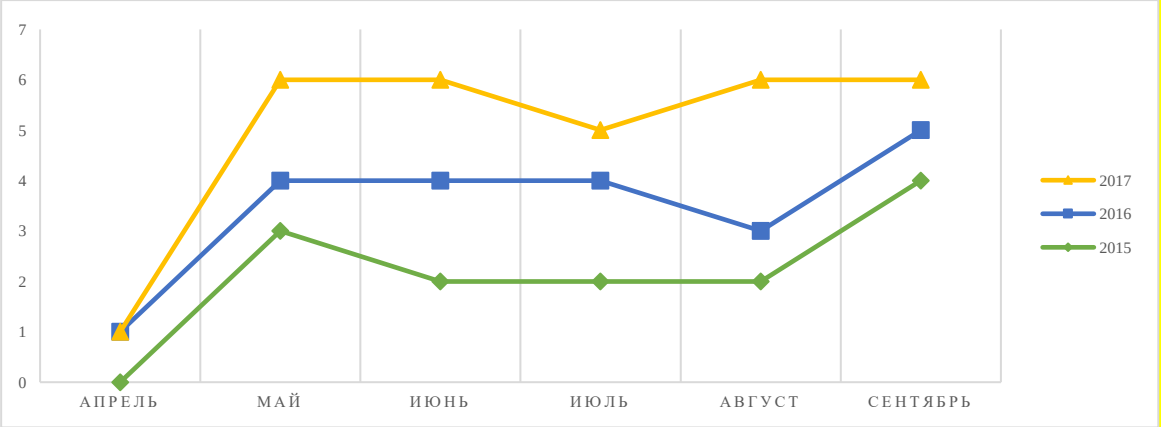


Рисунок 1 – Количество дней с тепловыми аномалиями
на лесных землях Гомельской области

Поскольку каждый выявленный пожар имел временную привязку (время начала и окончания), стало возможным создание анимации «Пространственно-временное распределение аномалий», показывающей динамику изменения пространственного положения точек тепловых аномалий (рисунок 2).

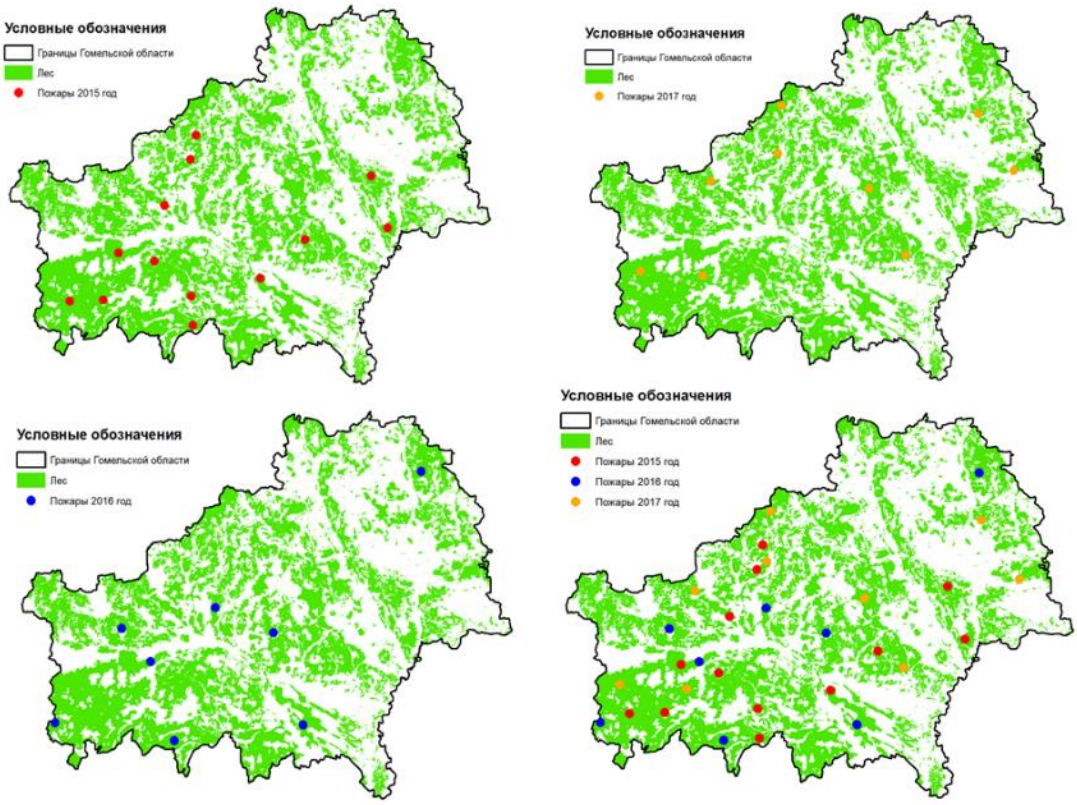


Рисунок 2 – Последовательное формирование общей карты тепловых аномалий Гомельской области

Для анализа повторяемости тепловых аномалий за период исследования проведено сопоставление полученных результатов с лесистостью административных районов (рисунок 3).

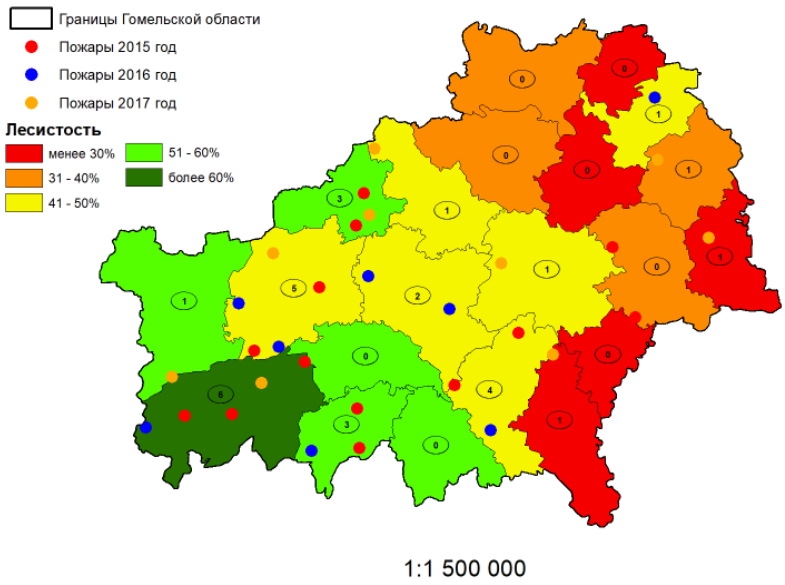


Рисунок 3 – Соответствие количества выявленных тепловых аномалий уровню лесистости административных районов Гомельской области

Выявлено, что наиболее пожароопасными районами в 2015–2017 гг. были Лельчицкий, Петриковский и Октябрьский районы. Путем выполнения корреля-

ционного анализа была подтверждена прямая линейная зависимость между процентом лесистости районов и количеством тепловых аномалий на их территории. Качественная характеристика связи оценена на основе коэффициента корреляции по шкале Чеддока – установлена высокая теснота связи (0,7–0,9).

На данный момент данные о тепловых аномалиях можно обработать с помощью российских информационных ресурсов «Космоснимки – пожары» и Лесной сервис ГК Сканэкс (рисунок 4) [3]. Создание подобного белорусского ресурса позволит достоверно идентифицировать тепловые аномалии и работать с их атрибутивной информацией.

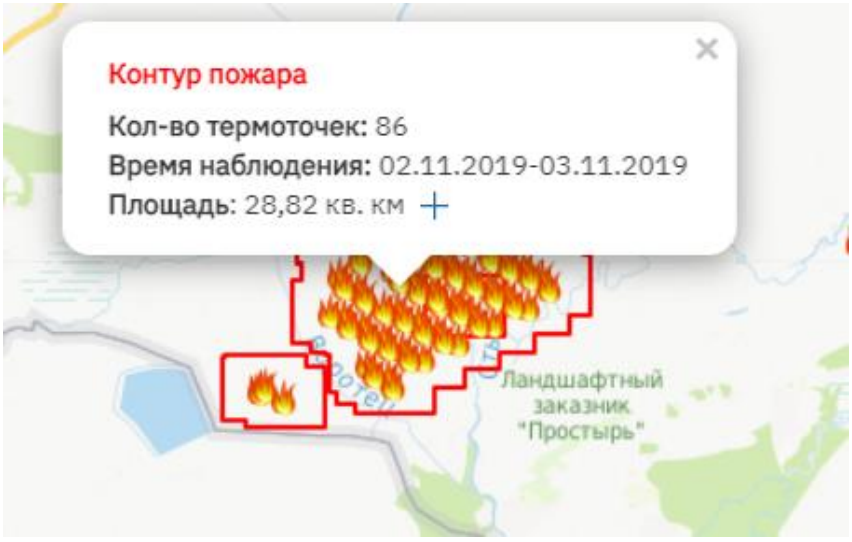


Рисунок 4 – Использование сервиса «Космоснимки-пожары»

Ведомственная разобщенность в предоставлении данных отрицательно влияет на возможности обновления слоя Land при картографировании лесной растительности в процессе создания ЗИС, ЦКМ, тематических карт. Использование космоснимков дает возможность проводить регулярные наблюдения и получать необходимую информацию для оперативного картографирования изменений в структуре лесного покрова, в том числе фиксировать момент появления гарей.

При обработке данных ДЗЗ особое внимание нужно уделять снимкам, сделанным в утренние часы, поскольку на них, как правило, тепловые аномалии плохо поддаются выявлению в связи с тем, что температуры подстилающей поверхности недостаточно высоки. Утренние тепловые аномалии – 9–10 часов по местному времени (6–7 UTC) – отличаются большей площадью и силой возгорания. Чаще всего тепловые аномалии выявляются на снимках, выполненных в 12–14 часов (9–11 UTC).

Таким образом, использование методов ДЗЗ и ГИС для анализа тепловых аномалий земной поверхности позволяет выявить наиболее пожароопасные участки лесных земель и временные интервалы повышенной опасности. Выявлена прямая корреляция между уровнем лесистости административных районов и количеством тепловых аномалий в год на их территории. Наиболее пожароопасными месяцами для лесов Гомельской области являются май, август и сентябрь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Гончарова А.В., Ковальчик Н.В. Анализ распределения тепловых аномалий на территории Беларуси по данным дистанционного зондирования Земли // ГИС-технологии в науках о Земле [Электронный ресурс]: материалы конкурса ГИС-проектов, Минск, 20 ноябр. 2013 г. / редкол.: Д.М. Курлович и др. Минск: БГУ, 2013. С. 16–20.

2. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: учебное пособие. Красноярск: СФУ, 2008.

3. Лесной сервис // Сканекс [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.scanex.ru/cloud/lesnoy-servis/ (дата обращения 02.04.2018).

УДК 631.4

РАЗРАБОТКА ГИС СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «ПОЛИМИР-АГРО»

К.В. Даниленко
кафедра почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики
Белорусского государственного университета, Минск, ilusa351@gmail.com

Н.В. Клебанович
заведующий кафедрой почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики
Белорусского государственного университета, Минск

Рассматривается геоинформационный подход при создании информационной и картографической базы данных агрохимических и кадастровых показателей сельскохозяйственного предприятия «Полимир-Агро». На основании данных агрохимических, почвенных и кадастровых исследований при помощи программы ArcGIS созданы почвенная карта, картограммы кислотности, содержания гумуса, подвижного калия и подвижного фосфора, а также карта кадастровой оценки земель. При помощи инструмента QGIS калькулятор растров рассчитан вегетационный индекс NDVI для определения эффективности внесения азотных подкормок. Создана цифровая модель рельефа территории предприятия.

Ключевые слова: символизация; картограмма; цифровая модель рельефа; вегетационный индекс; агрохимические показатели.

Унитарное сельскохозяйственное предприятие «Полимир-Агро» располагается в Полоцком районе Витебской области [1]. Центр предприятия – деревня Заозерье – находится в 12 км от г. Полоцка. Специализация предприятия – молочно-мясное направление с производством зерна и рапса. Организационная структура представлена: в растениеводстве полеводческой бригадой, в животноводстве двумя молочно-товарными фермами по 530 голов КРС, фермой по выращиванию и откорму КРС. Имеются машинно-тракторный парк, ремонтно-механизированная мастерская, складские помещения, нефтебаза и зерносушильные комплексы [2].

Площадь сельскохозяйственных земель составляет 3 885 га, из них пахотные – 2 234 га, луговые улучшенные – 1 436 га, луговые естественные – 206 га [2].

Доля сельскохозяйственных земель предприятия составляет 5,1% от общей площади сельскохозяйственных земель района [1], следовательно, УП «Полимир-Агро» играет достаточно важную роль в аграрном комплексе района. Это предприятие было выбрано в качестве объекта для создания электронной базы данных различных кадастровых и агрохимических показателей, получаемых на основе полевых исследований. Оптимальным решением представляется использование географических информационных систем, позволяющих интегрировать в единую систему разнородные данные, выполнять анализ и визуализацию агрохимических, почвенных и кадастровых данных. Для этого использовалась ГИС ArcGIS и QGIS.

Целью настоящего исследования является создание информационной и картографической базы данных агрохимических и кадастровых показателей. В качестве исходных данных была использована векторная карта земельных ресурсов УП «Полимир-Агро», почвенная карта сельскохозяйственных земель УП «Полимир-Агро» масштаба 1 : 10 000, картограммы кислотности, содержания фосфора и калия масштаба 1 : 20 000, векторная карта Полоцкого района.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие действия:

1. Набор данных «Земельные ресурсы УП Полимир-Агро» (рисунок 1) был получен в результате символизации векторной карты земельных ресурсов УП Полимир-Агро и векторной карты Полоцкого района.

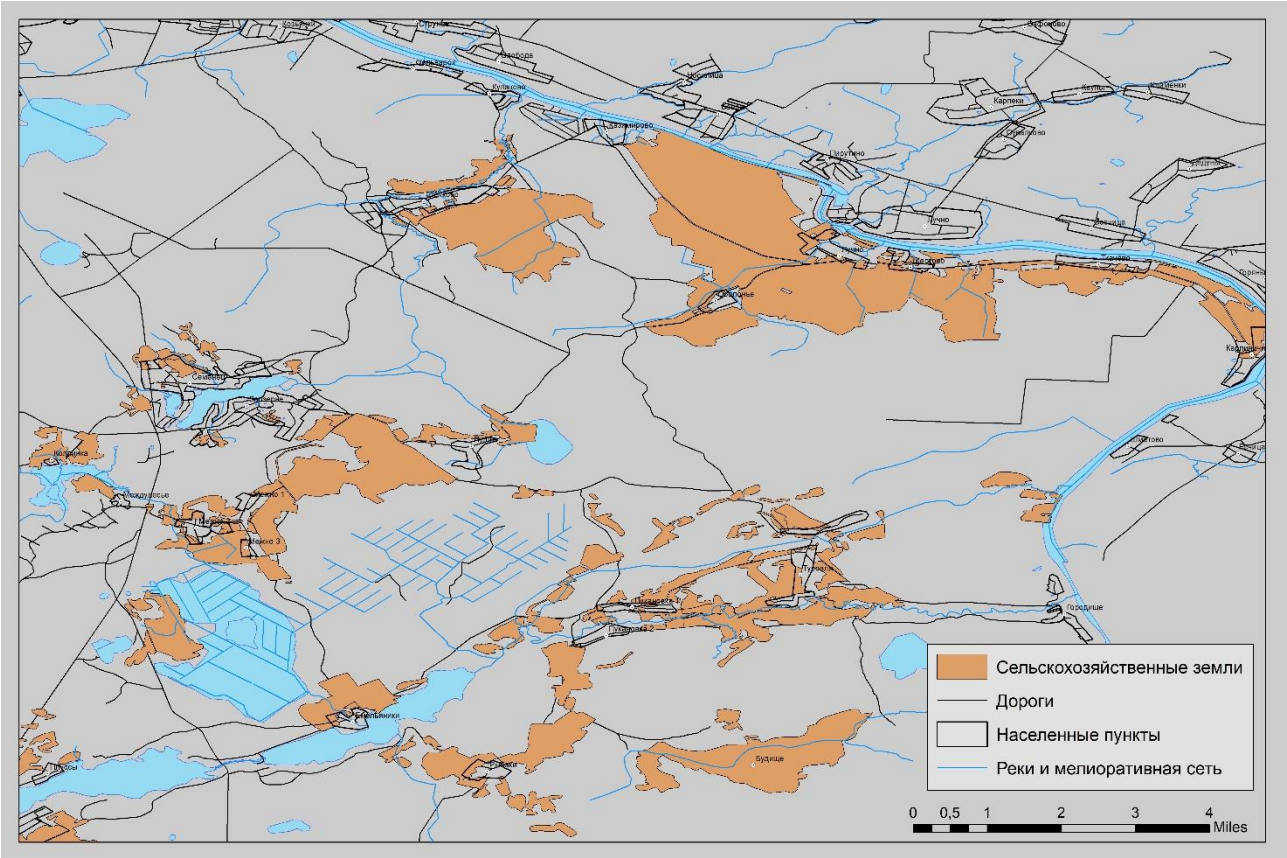


Рисунок 1 – Земельные ресурсы сельскохозяйственного предприятия «Полимир-Агро»

Данная карта дает наглядное представление о сельскохозяйственных землях предприятия. Главный агроном имеет возможность быстро вносить поправки в существующую базу данных и получать наглядное их отображение.

2. Оцифровка почвенной карты сельскохозяйственных земель УП «Полимир-Агро» масштаба 1 : 10 000 (данные были получены в землеустроительной службе района) (рисунок 2). Вышеназванное сельскохозяйственное предприятие обладает преимущественно дерново-подзолистыми временно избыточно увлажненными супесчаными, дерново-подзолистыми глееватыми песчаными, дерново-подзолистыми среднесмытыми суглинистыми почвами.

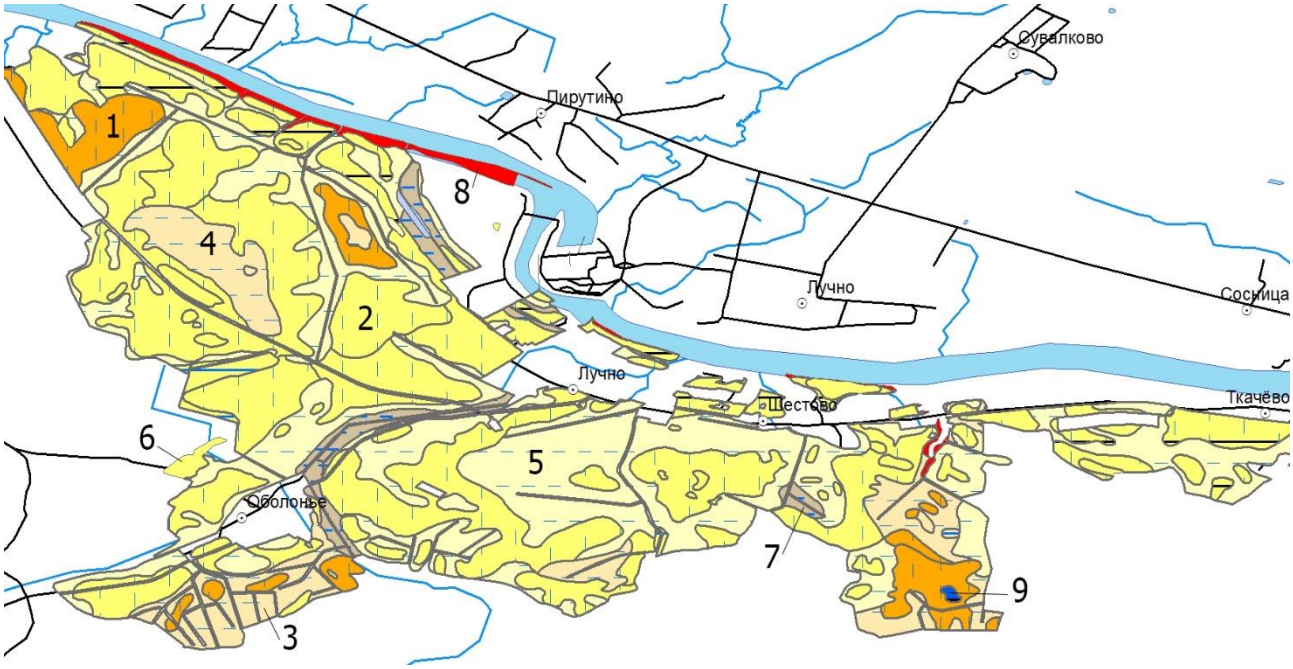
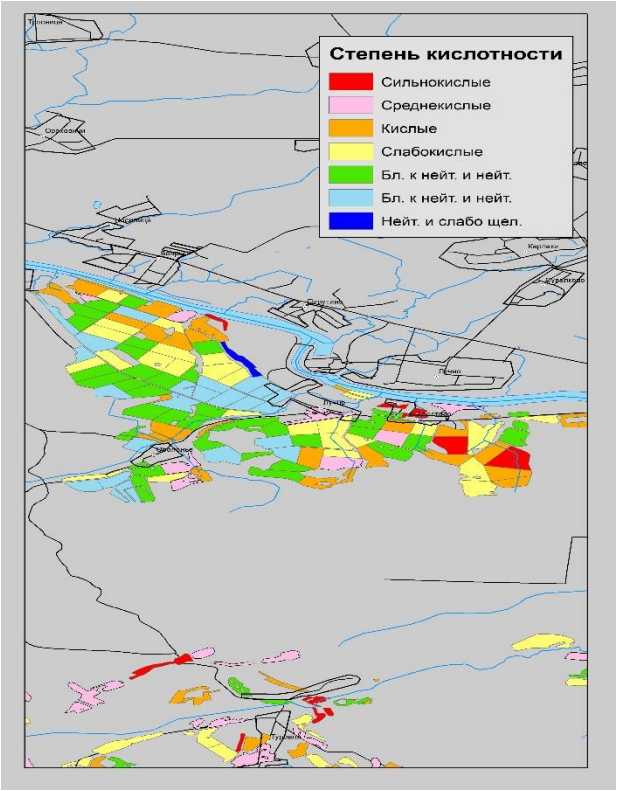


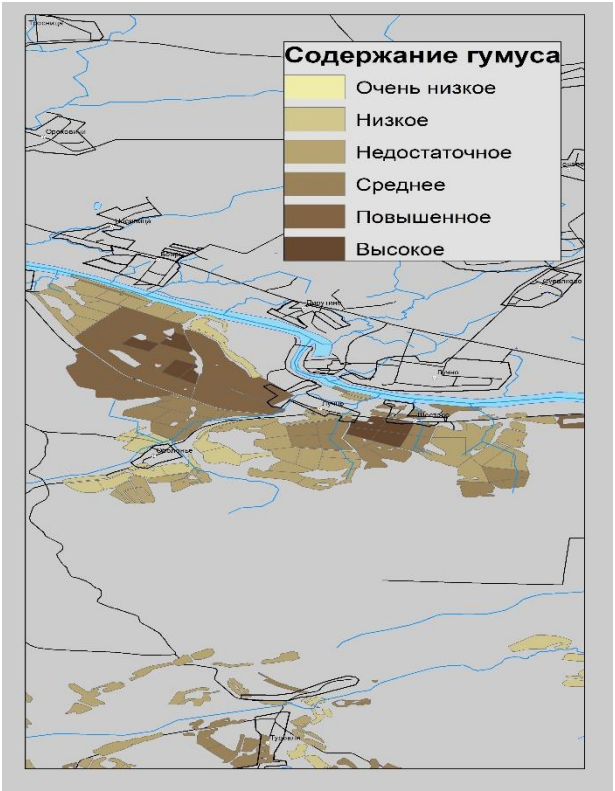
Рисунок 2 – Почвенный участок в райне д. Лучно, Оболонье, УП «Полимир-Агро»
Масштаб 1 : 50 000

1. Дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные супесчаные почвы на озерно-ледниковых рыхлых песчанисто-пылеватых супесях, сменяемых песком. **2.** Дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные супесчаные почвы на озерно-ледниковых связных супесях, сменяемых рыхлыми песками с глубины 0,3–0,5 м. **3.** Дерново-подзолистые глееватые супесчаные почвы на озерно-ледниковых рыхлых песчанисто-пылеватых, сменяемых связными песками с глубины 0,4–0,5 м. **4.** Дерново-подзолистые глееватые супесчаные почвы на озерно-ледниковых рыхлых песчанисто-пылеватых супесях, сменяемых песками с глубины 0,4–0,5 м. **5.** Дерново-подзолистые глееватые песчаные почвы на озерно-ледниковых связных песках, сменяемых рыхлыми песками с глубины 0,3–0,5 м. **6.** Дерново-подзолистые глеевые песчаные почвы на озерно-ледниковых связных песках, сменяемых рыхлыми песками с глубины 0,3–0,5 м. **7.** Дерново-глееватые песчаные почвы на озерно-ледниковых связных песках, сменяемых рыхлыми песками с глубины 0,3–0,5 м. **8.** Дегроторфяные торфяно-песчаные остаточно-оглеенные среднеминерализованные почвы, подстилаемые песками с глубины 0,4–0,5 м. **9.** Деградированные овражно-балочного комплекса супесчаные почвы на связных пылеватых супесях.

3. На основе данных агрохимических и кадастровых исследований были созданы, путем оцифровки, картограммы содержания фосфора, калия, гумуса и кислотности, распределения по полям балла плодородия земель (рисунки 3–5).

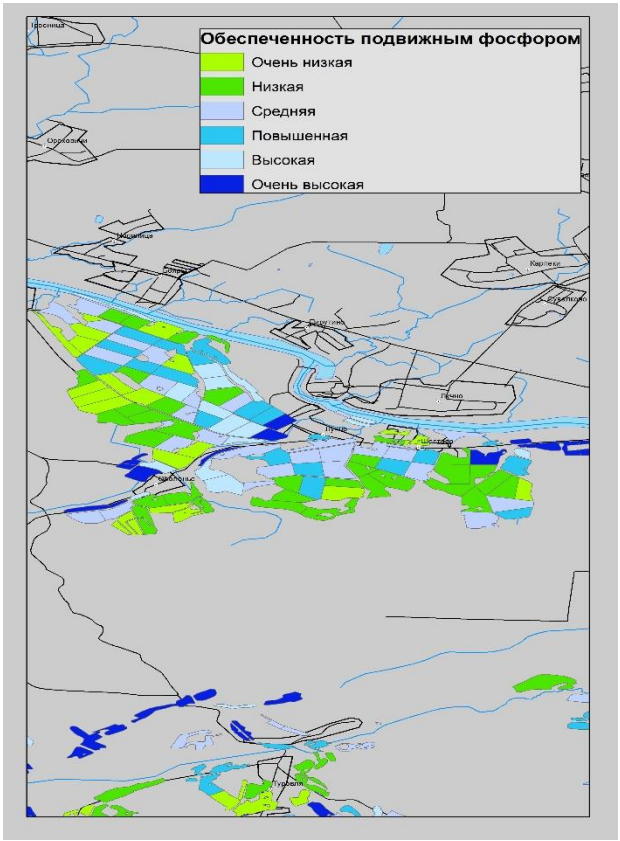


а

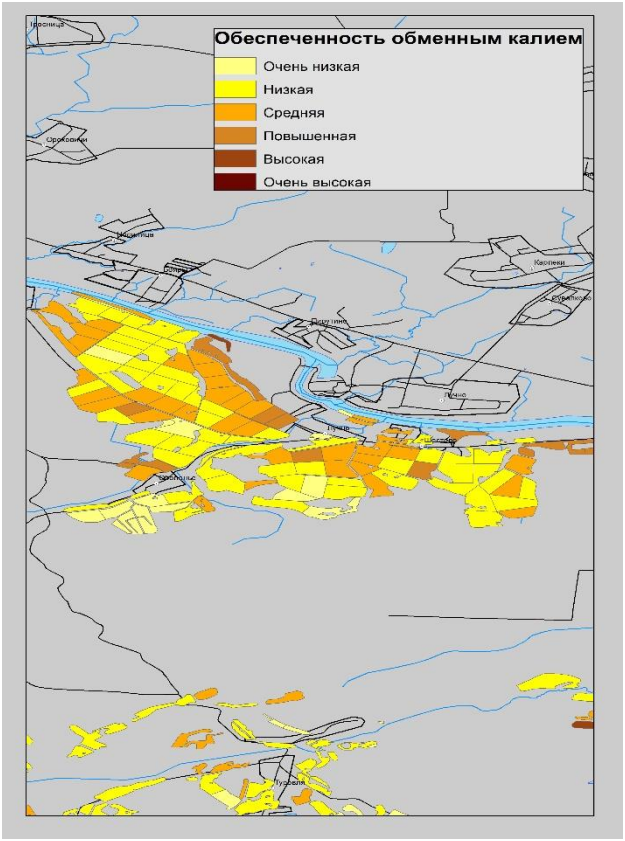


б

Рисунок 3 – а) Картограмма кислотности; б) Картограмма содержания гумуса



а



б

Рисунок 4 – а) Картограмма обеспеченности обменным калием;
б) Картограмма обеспеченности подвижным фосфором

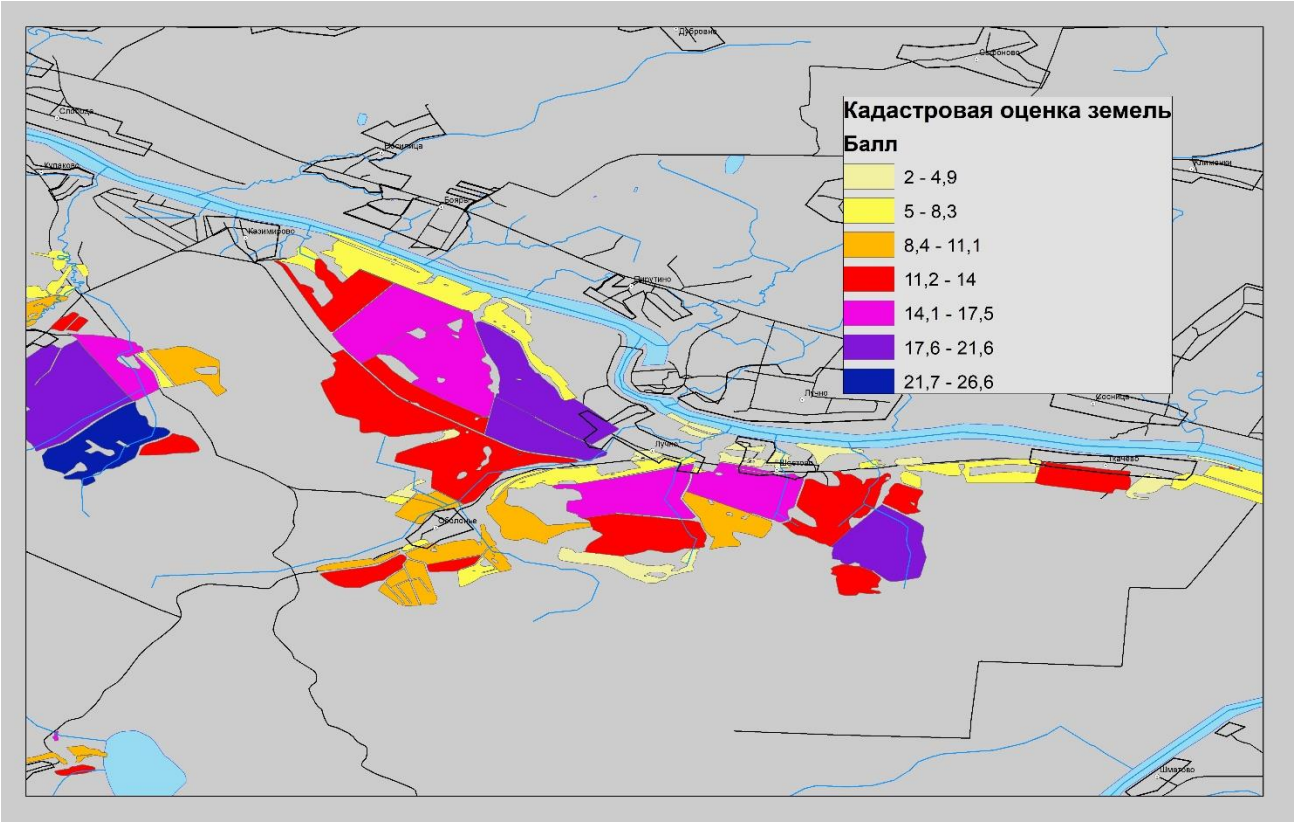


Рисунок 5 – Балл плодородия сельскохозяйственных земель предприятия

4. Была создана цифровая модель рельефа территории предприятия с наложением контуров сельскохозяйственных земель и почвенных разновидностей (рисунок 6).

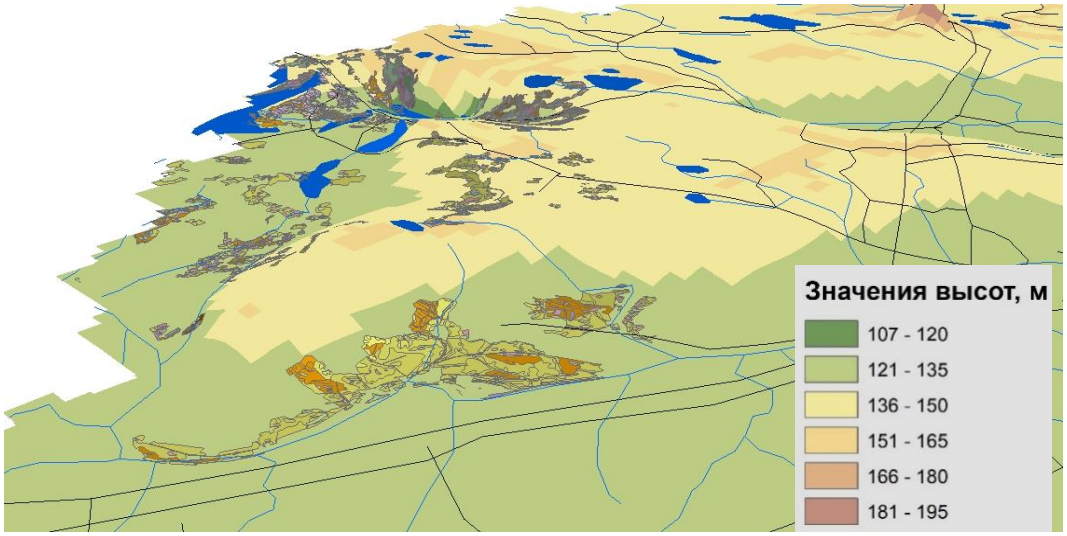


Рисунок 6 – Цифровая модель рельефа территории предприятия

Наложение выполнялось с целью наглядного отображения закономерностей в пространственном варьировании почвенных разновидностей и определенных форм рельефа. Была выявлена приуроченность наиболее плодородных почв – суглинистых к пониженным участкам рельефа, вблизи Гомельской группы озер.

Для создания ЦМР в качестве основы использовалась цифровая карта Полоцкого района. Метод интерполяции – ОВР (обратно взвешенных расстояний).

Также исследование включало расчет вегетационного индекса NDVI средствами ГИС QGIS на основе спутниковых снимков Landsat 8 (инфракрасный и красный каналы) с использованием инструмента «Калькулятор растров» и необходимой формулы для расчета, а также загрузки стиля цветовой шкалы NDVI для символизации полученных значений (рисунок 7).

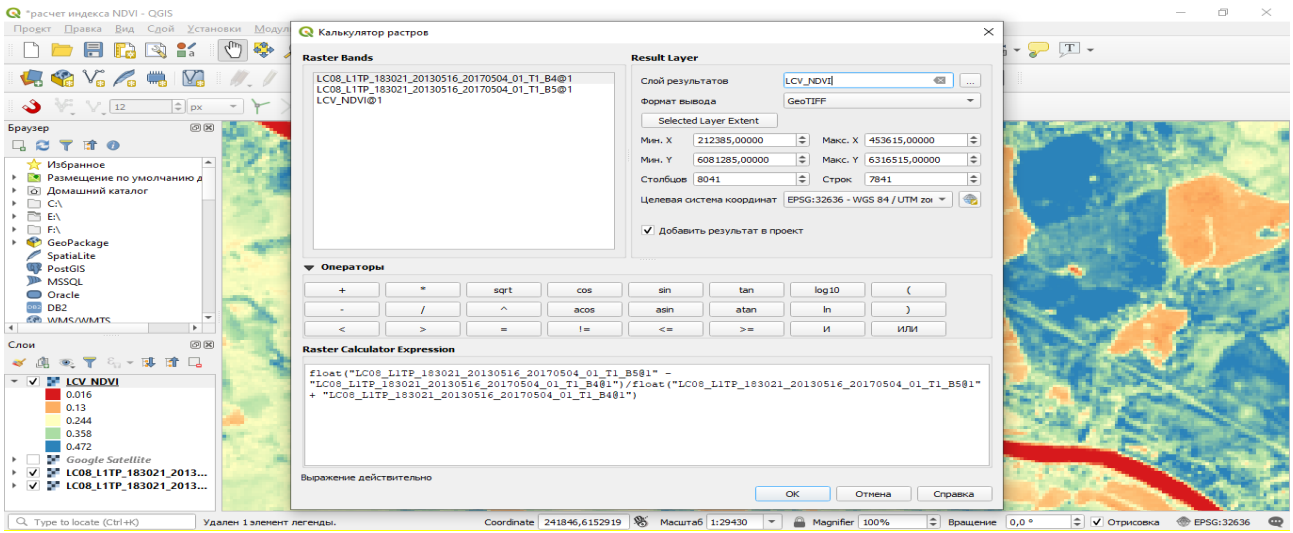


Рисунок 7 – Инструмент «Калькулятор растров» и формула для расчета NDVI

Предварительно была проведена оцифровка сельскохозяйственных полей данного предприятия в программе QGIS с использованием в качестве подложки картографического материала Google Maps (рисунок 8).

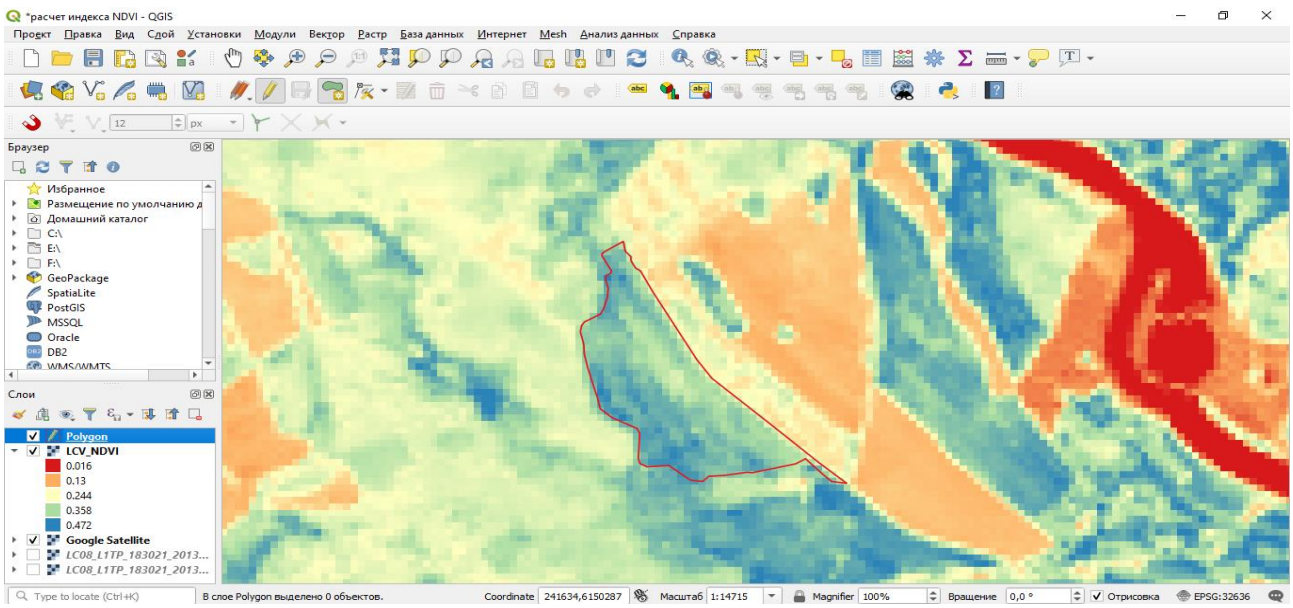


Рисунок 8 – Рассчитанный вегетационный индекс NDVI

Таким образом, используя совокупность вышеуказанных действий была создана электронная база данных ГИС, содержащая в себе цифровую модель рельефа исследуемой территории, наборы данных земельных ресурсов, почвенную

карту, картограммы содержания гумуса, кислотности, содержания фосфора и калия, карту результатов бонитировки почв.

Созданная база данных позволяет быстро получить доступ к необходимым данным, осуществить их корректировку, получить графическое отображение, исследовать динамику.

Расчет вегетационного индекса будет производится с целью оценки эффективности азотных подкормок для посевов в весенний период.

Созданная ГИС сельскохозяйственного предприятия позволит повысить эффективность управления с/х производством по направлениям:

- Информационная поддержка принятия решений.
- Планирование и мониторинг агротехнических мероприятий и состояния посевов.
- Компактность и доступность большой совокупности данных.
- Корректировки существующих данных.
- Необходимая визуализация происходящих процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Агрохимическое обследование земель УП «Полимир-Агро», Полоцкий район, 2014 год, 13 тур. – Витебск: КУПП «Витебская областная проектно-изыскательная станция химизации сельского хозяйства», 2014.

2. Бизнес-план УП «Полимир-Агро» на 2018 год. – д. Заозерье: Экономический отдел УП «Полимир-Агро», 2018. – 25 с.

УДК 343.97 : 911.3

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРЕСТУПЛЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ г. МИНСКА)

Е.О. Дорофеева
кафедра почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики
Белорусского государственного университета, Минск, dorofeeva14katya@gmail.com

Н.В. Жуковская
доцент кафедры почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики
Белорусского государственного университета, Минск

В работе представлен опыт использования ГИС-технологий для анализа статистики преступлений. С использованием инструментов ГИС ArcGIS выявлены «горячие точки» преступлений, построены модели повторяемости и плотности преступлений на территории г. Минска. Определены наиболее неблагоприятные с точки зрения преступности районы города: Фрунзенский и Московский районы, микрорайоны Уручье, Серебрянка и Шабаны. На основе дорожной сети города выделены зоны доступности пунктов милиции города.

Ключевые слова: география преступности; анализ горячих точек; географические информационные системы (ГИС); уровень преступности; пространственный анализ.

В настоящее время ГИС-технологии находят все более широкое применение при анализе статистики преступлений и работе правоохранительных органов в целом. Так в Соединенных Штатах и Канаде давно используются геоинформационные системы, позволяющие в режиме реального времени узнавать о совершающихся преступлениях. Использование ГИС эффективно для криминологического мониторинга, выявления причинно-следственных связей, оценки последствий и факторов преступности [1]. Целью данной работы является ГИС-анализ и картографирование преступлений на примере г. Минска.

Изучение опыта использования геоинформационных систем в анализе статистики преступлений позволило выявить основные используемые техники, в числе которых: анализ горячих точек, моделирование повторяемости преступлений, анализ точечного процесса и др. [2–4]. Предполагается что «горячие точки», выявленные по совершенным правонарушениям, позволяют прогнозировать будущие «горячие точки».

В ходе настоящей работы был создан проект в среде ГИС ArcGIS. Исходными данными для выполнения проекта послужили: векторные данные открытого сервиса OpenStreetMap [5–6], данные о локализации и виде преступлений на территории г.Минска [7].

Анализ горячих точек – один из самых распространенных методов анализа и «прогнозирования» преступности. Выявление горячих точек предполагает оценку пространственной автокорреляции с помощью одного из статистических показателей (Getis-Ord Gi, Moran’s I). Итоговые z-оценки и p-значения свидетельствуют о том, в какой области пространства кластеризуются объекты с высокими или низкими значениями. В настоящей работе использовался инструменты про-

странственной статистики ГИС ArcGIS *Анализ горячих точек* и *Оптимизированный анализ горячих точек* (рисунок 1).

а б

Рисунок 1 – «Горячие точки» преступлений на территории г.Минска

Модель повторяемости преступлений на территории г. Минска представлена на рисунке 2. Модель получена с помощью геостатистического метода интерполяции – ординарный кригинг. Наиболее часто преступления повторяются в Фрунзенском, Московском и Ленинском районах, также значительная повторяемость наблюдается в микрорайонах Шабаны и Уручье.

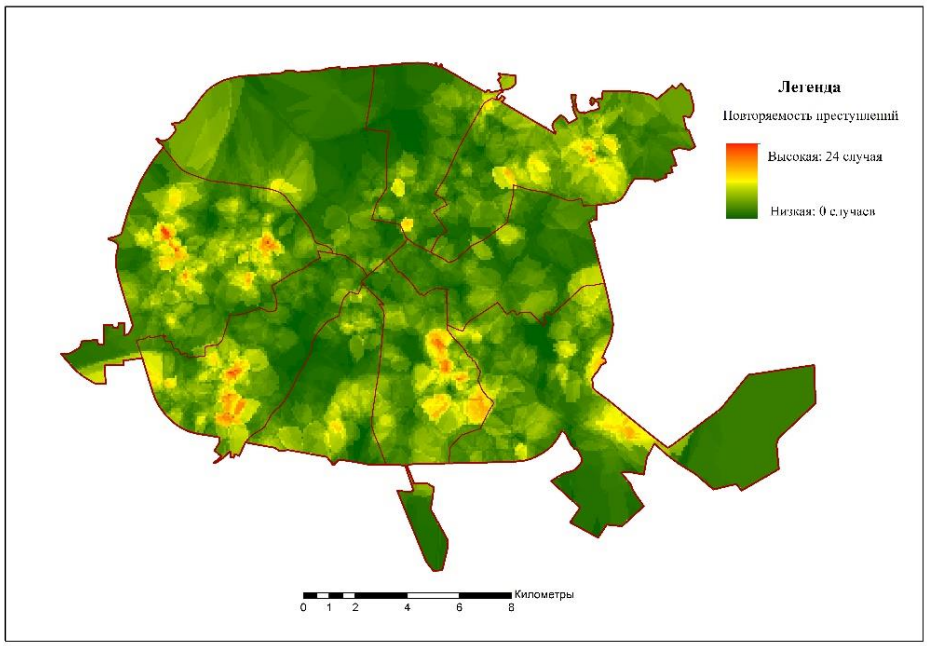


Рисунок 2 – Повторяемость преступлений на территории г.Минска

Широкое применение при анализе статистики преступлений нашли методы анализа точечных образов, а именно методы оценки плотности точек (метод квадратов и оценка в скользящем окне). Точечный образ – это реализация точечного процесса или, другими словами, набор событий, зафиксированных в исследуемой области [8].

Модель плотности преступлений на территории г. Минска создана с помощью инструмента ГИС ArcGIS «Плотность ядер», который вычисляет количество точек с указанным весом (число преступлений) на единицу площади, используя функцию ядра. Итогом данной модели является сглаженный растр плотности преступлений (рисунок 3). Как и в предыдущих моделях наибольшее число преступлений приурочено к жилым кварталам Фрунзенского и Московского районов, микрорайонам Уручье, Серебрянка и Шабаны.

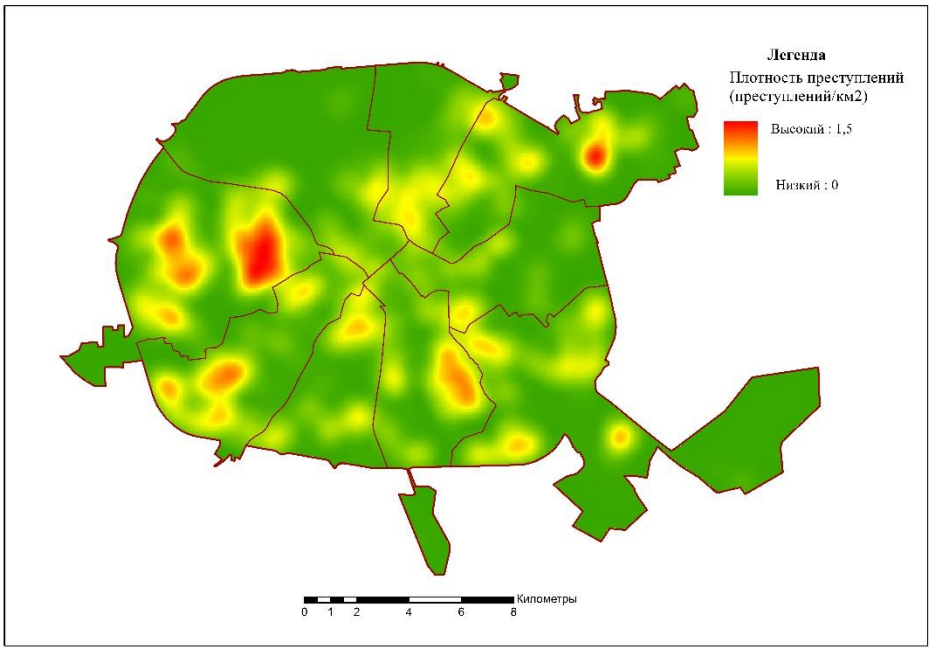


Рисунок 3 – Плотность преступлений на территории г.Минска

На рисунке 4 представлена картограмма, отражающая пространственное варьирование уровня преступности на территории г.Минска. Территориальной единицей анализа выступает ячейка регулярной сети 1 200 × 1 200 м. Уровень или коэффициент преступности рассчитывался для каждой ячейки как отношение числа преступлений к 10 000 населения. Количество жителей в каждом доме на территории Минска получено расчетным путем, как частное общей площади жилого помещения и показателя обеспеченности населения жильем в г. Минске. Наибольший уровень преступности отмечается в районе улицы Гурского, Макаенка, пер. Масюковщина.

Для анализа транспортной доступности специальных служб, а именно милиции, было решено использовать сетевой анализ модуля *Network Analyst* ГИС ArcGIS. Предварительно было построена сетевая модель дорог г. Минска. При построении сети, исходили из того, что спецслужбы г. Минска едут на вызовы, не взирая на сигналы светофора и ограничения скорости. Точечный слой, описывающий местоположение станций милиции получен на основе данных OSM [5]. Значения времени доступности задавались равными 1, 2, 3, 5, 7, 10 и более минут (рисунок 5).

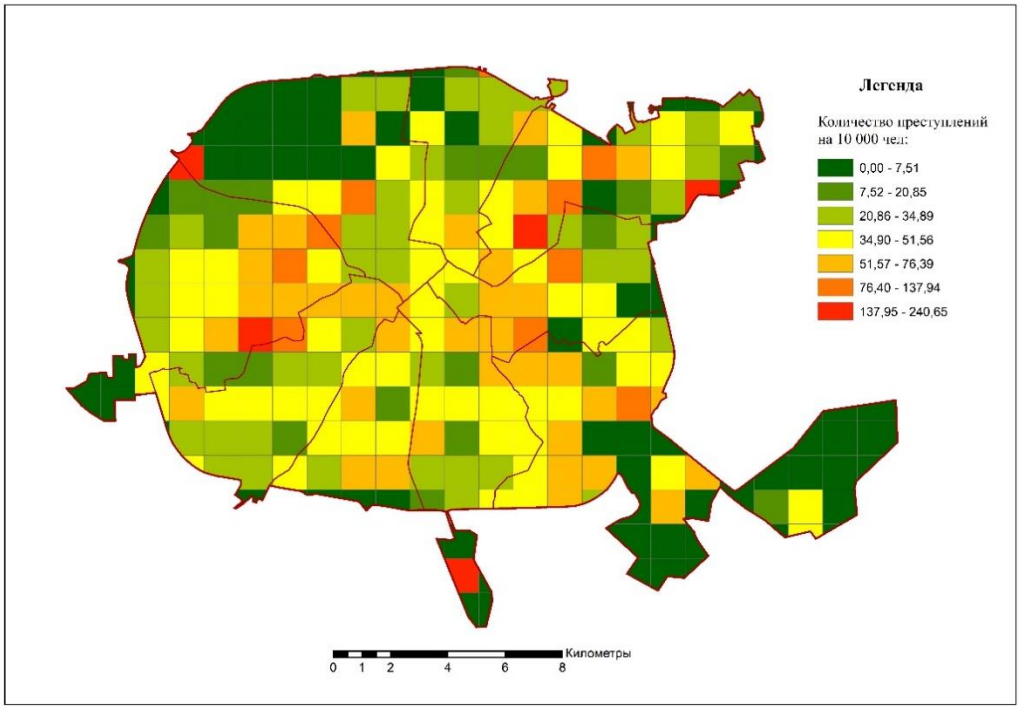


Рисунок 4 – Уровень преступности на территории г. Минска

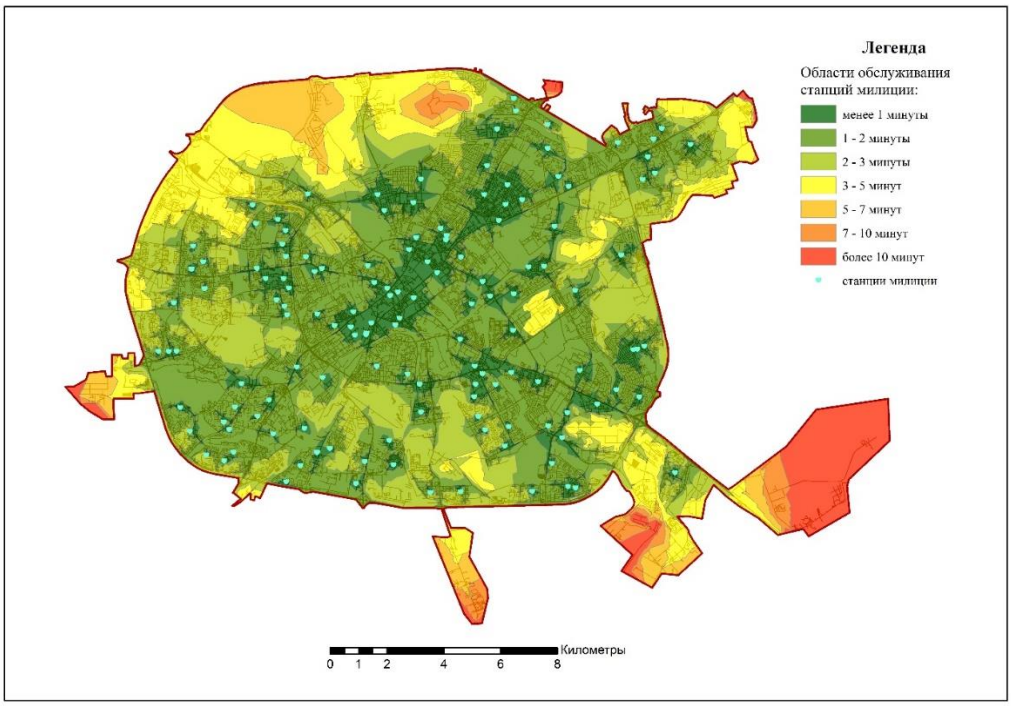


Рисунок 5 – Доступность станций милиции г. Минска

Выявлено, что к наименее благоприятным с точки зрения доступности станций милиции относятся северо-восточные, юго-восточные и северные окраины Минска (доступность 5 и более минут).

Геоинформационные системы являются эффективным инструментом анализа и визуализации данных о преступности, позволяют выполнить сопряженный

анализ для изучение причинно-следственных связей совершения преступлений и социально-географических предпосылок их возникновения, предоставляя тем самым качественно новые возможности формирования управленческих решений по предупреждению преступности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Махмудов Р.К., Горбань О.А. Картографо-геоинформационные методы в анализе преступности (на примере Ставропольского края) // Наука. Инновации. Технологии. 2015. №2. – С.86–98.

2. Groff E.R., La Vigne N.G. Forecasting the future of predictive crime mapping // Analysis for crime prevention. Monsey, NY: Criminal Justice Press, 2002. P.29–58.

3. Kalinic M., Krisp, J.M. Kernel Density Estimation (KDE) vs. Hot-Spot Analysis – Detecting Criminal Hot Spots in the City of San Francisco // Geospatial Technologies for All : short papers, posters and poster abstracts of the 21th AGILE Conference on Geographic Information Science. Lund University 12-15 June 2018, Lund, Sweden / Mansourian, A., Pilesjö, P., Harrie, L., von Lammeren, R. (Eds.) [Electronic resource]. Mode of access: https://agile-online.org/conference/proceedings/proceedings-2018.

4. Ferreira J., João P., Martins J. GIS for crime analysis: Geography for Predictive Models // The Electronic Journal Information Systems Evaluation [Electronic resourse]. 2012. Vol. 15. Issue 1. Mode of access: http://www.ejise.com/issue/download.html?idArticle=817.

5. OpenStreetMap [Electronic resource]. Mode of access: https://www.openstreetmap.org.

6. Download OpenStreetMap data for this region: Belarus // Geofabrik GmbH [Electronic resource]. Mode of access: http://download.geofabrik.de/europe/belarus.html.

7. Криминальная карта Минска // Resta [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://resta.by/pages/kriminalnaya-karta (дата обращения 14.02.2018).

8. Теория пространственных точечных процессов в задачах экологии и природопользования (с применением пакета R): учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. Ун-та, 2014.

УДК 314.17 : 912.43

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СФЕРЫ СОЦИАЛЬНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ

К.А. Орехов, Е.Г. Блинова
учащиеся ГУО «Гимназия №38 г. Минска», kirill.oriekhov.2004@mail.ru

О.М. Ковалевская
старший преподаватель кафедры почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск

В работе представлен опыт использования ГИС-технологий для анализа и оптимизации территориальной структуры сферы социального обслуживания населения г. Минска. Определены основные демографические параметры и изучены территориальные различия социального обслуживания населения г. Минска. В среде ГИС проанализированы демографические показатели, определяющие функционирование социальной инфраструктуры. Выявлены тенденции перспективного развития территориальных центров социального обслуживания населения г. Минска.

Ключевые слова: демографические проблемы; старение населения; социальное обслуживание населения; территориальные центры.

В современных условиях среди разнообразных демографических проблем особую тревогу вызывает повсеместное старение населения. Согласно общемировой классификации, население страны считается «старым», если количество граждан старше 65 лет превышает 7% от общего числа жителей страны. В Беларуси доля пожилых людей в общей структуре населения достигла 14 % и растет быстрее, чем какой-либо другой возрастной группы.

Исходя из их богатого жизненного и профессионального опыты, пожилые люди – ценнейший ресурс любого общества. Включить пенсионеров в социальную и общественную жизнь посредством их участия в различных организациях – значит дать им возможность оставаться полноправными, самостоятельными, активными членами гражданского общества. Во всех странах для того, чтобы удовлетворить потребности пожилых людей и лиц, ухаживающих за ними, ведется активная работа по трансформации устоявшихся культурных обычаев, формированию толерантного отношения общества к пожилым людям. Функционирование зарубежных социальных служб направлено на открытие разных учреждений, которые могут способствовать удовлетворению психологических, образовательных и духовных потребностей пожилых людей, связанных с организацией их свободного времени. В странах Европы широко распространена практика создания специализированных центров для пожилых людей. Как правило, это центры многоцелевой направленности, где происходит общение представителей различных возрастов и социального положения. Деятельность таких центров похожа на разностороннюю работу клубных объединений. Например, в Северной Европе наиболее популярны «дома совместного пребывания», в которых несколько часов в день могут находится пожилые люди, маленькие дети, инвалиды. Такие совместные занятия позволяют сформировать по-настоящему доброе, уважи-

тельное и внимательное отношение к тем, кто отличается по возрасту, психическим особенностям или физическим возможностям.

В Республике Беларусь в настоящий момент подобная деятельность осуществляется районными территориальными центрами социального обслуживания населения. Их основная цель – организационная, методическая и практическая деятельности по социальному обслуживанию граждан, находящихся в трудной жизненной ситуации. По состоянию на 1 сентября 2019 г. в г. Минске функционирует 9 ТЦСОН, а также 2 городских центра социальной помощи семьи и детям, в структуру которых входят отделения социальной адаптации и реабилитации, «кризисные комнаты».

Для создания информационной базы нами были отобраны данные из открытых источников Белстат, региональных сайтов министерств и ведомств [1– 5]. Был выполнен запрос в ТЦСОН по интересующим нас параметрам: количество пенсионеров в районе (чел.); количество одиноких пенсионеров (чел.); количество пенсионеров, состоящих на учете в ТЦСОН (чел.); общее количество человек, состоящих на учете в ТЦСОН (чел.).

Для создания картографического ГИС-проекта была использована программа ArcGIS 10.3. Используя встроенные инструменты этой программы, нами было выполнено соединение раннее подготовленных таблиц с векторной картографической основой и получены новые пространственные данные, загруженные в персональную базу данных в качестве классов объектов. Базовая картография в виде векторных слоев административных границ была загружена из открытого источника OSM – некоммерческого веб-картографического проекта по созданию подробной свободной и бесплатной географической карты мира [6–9].

Для пространственного и временного анализа всех параметров были построены серии картограмм, отражающих динамику фактических (абсолютных и относительных) показателей. Для их визуализации выполнялась классификация по заданным границам, т.к. по каждой группе параметров в отраслевой статистике введены свои критические параметры. Для удобства последующего комплексного анализа было выделено 5 классов. В частности, была рассчитана демографическая нагрузка на трудоспособное население – соотношение трудоспособного и нетрудоспособного населения на 1000 чел. (рисунок 1). Отметим, что сложная ситуация в 2019 г. – в Московском районе, где 100 трудоспособных жителей должен обеспечить в среднем 167 человек, т.е. самих себя и 67 нетрудоспособных (для сравнения в Центральном районе таких «всего» 39).

Аналогичные параметры были рассчитаны для 2011–2018 гг. На их основе была выявлена динамика изменения данного показателя. Статистические данные свидетельствуют о том, что с каждым годом становится всё больше людей пенсионного возраста. За весь период наблюдалось устойчивое увеличение демографической нагрузки во всех районах г. Минска. Особо отметим, что максимальные темпы характерны для 2019 г. Сегодня в Беларуси на 1 пенсионера приходится примерно 2 человека трудоспособного возраста (на 1000 работающих приходится более 570 пенсионеров), т.е. этот показатель хуже, чем в странах Европы, где на каждого европейского пенсионера приходится по 4 человека трудоспособного возраста. Поэтому были рассчитаны среднемноголетние показатели

демографической нагрузки для всей Беларуси, в дальнейшем используемые как фоновые. При общей неблагоприятной демографической обстановке в стране ситуация в районах г. Минска существенно отличается: в Советском и Ленинском районах обстановка несколько лучше, а в Московском и Первомайском – значительно хуже, чем в среднем по стране (рисунок 2).

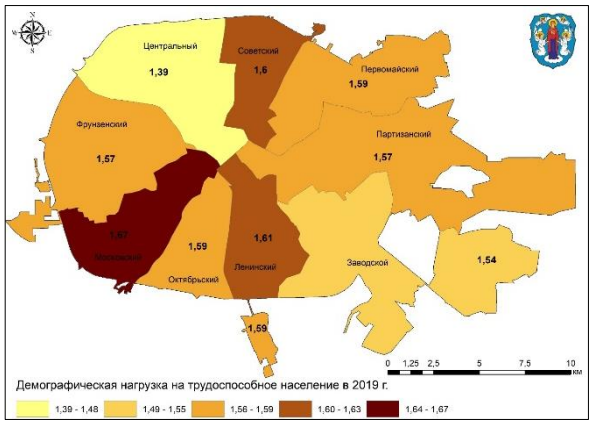


Рисунок 1 – Демографическая нагрузка на трудоспособное население

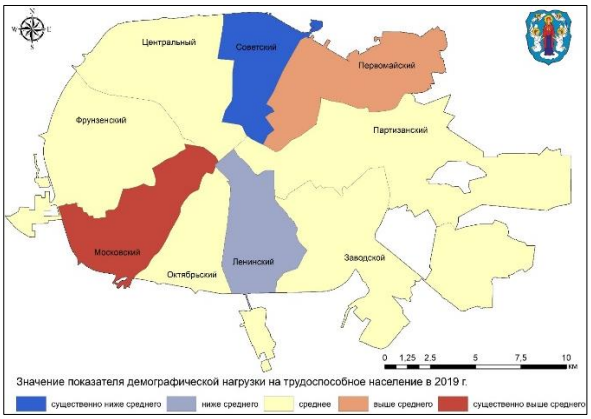


Рисунок 2 – Демографическая нагрузка на трудоспособное население г. Минска по сравнению с республикой Беларусь

Совершенно необъяснимы различия в доле пенсионеров, состоящих на учете в ТЦСОН (рисунки 3–4), – примерно в 10 раз: 57 % в Партизанском районе и 5,16 % в Центральном. При том, что ТЦСОН работают по принципу добровольного обращения для постановки на учет, подобные различия нельзя объяснить только демографическими процессами.

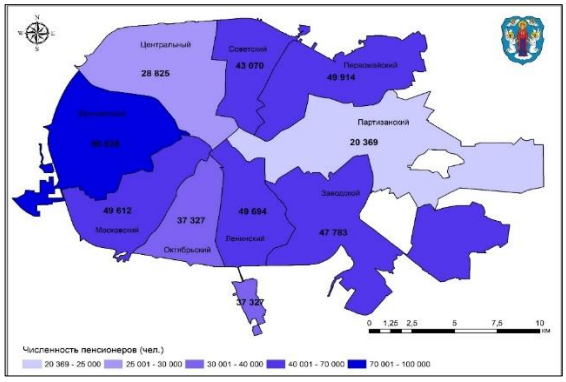


Рисунок 3 – Численность пенсионеров по районам г. Минска

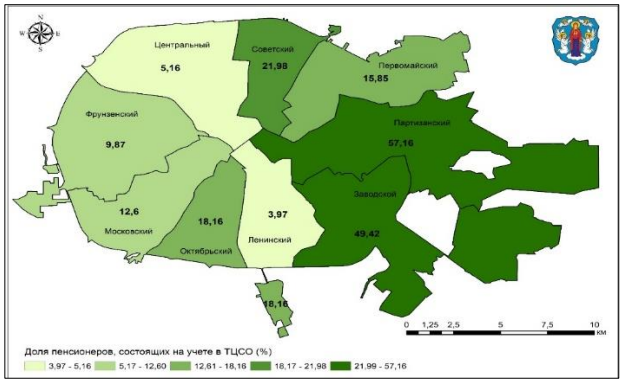


Рисунок 4 – Доля пенсионеров, состоящих на учете в ТЦСО

Очевидно, что существующая сеть социальных организаций не может в должном объеме выполнять свои функции. Поэтому было решено проанализировать удобство расположения ТЦСОН, поскольку пенсионеры даже не обращаются в ТЦСОН. Т.к. не существует методики для расчета подобного показателя, использовались стандартные механизмы расчета. Оно рассчитывалось как интегральный показатель близости к центру района, транспортной доступности

(как личным, так и общественным транспортом), близости остановочных пунктов. Оказалось, что в Партизанском районе при самом «неудобном» расположении ТЦСОН доля пенсионеров, обратившихся для постановки на учет, самая большая, так что причина не только в этом показателе. Тогда были рассчитаны зоны пешей доступности: определялась застроенная территория, население которой может добраться до ТЦСОН пешком. Мы исходили из того, что предельное расстояние, на которое обычно перемещаются пожилые люди пешком – 3 км. Была построена итоговая картограмма, отражающая удобство расположения ТЦСОН с учетом как транспортной, так и пешей доступности (рисунок 5).

В рамках нашего исследования были проанализированы данные не только о местоположении ТЦСОН, но и об особенностях их функционирования: перечень оказываемых услуг, «локация» услуги с учетом доступности (некоторые ТЦСОН «разделены» географически на несколько пунктов, каждый из которых оказывает весь спектр услуг или является узко специализированным), а также качество информационной обеспеченности. По этим параметрам каждому территориальному центру и пункту присваивались баллы: в сумме можно было набрать от 1 (минимальные набор услуг и информация о работе) до 5 (максимальные показатели). Оказалось, что некоторые ТЦСОН совершенно не освещают свою деятельность в информационной среде так, чтобы ознакомиться с проводимыми мероприятиями, необходимо прийти в ТЦСОН и искать информацию на стенде (Московский) или следовать по большому количеству ссылок на различные сайты (Партизанский).

По полученным данным была построена картограмма, отражающая территориальные особенности «качества» работы ТЦСОН (рисунок 6). Особо выделяется Фрунзенский район: при наибольшем количестве потенциальных потребителей социальных услуг здесь наблюдается максимальное информационное освещение, а территориальные пункты «рассредоточены» по территории и находятся в «комфортных локациях».

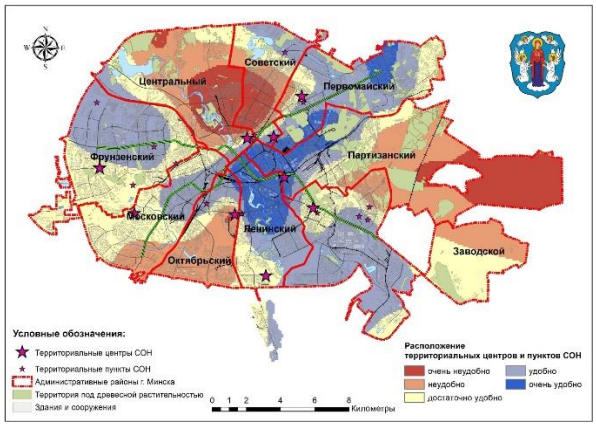


Рисунок 5 – Удобство расположения ТЦСОН с учетом пешей доступности

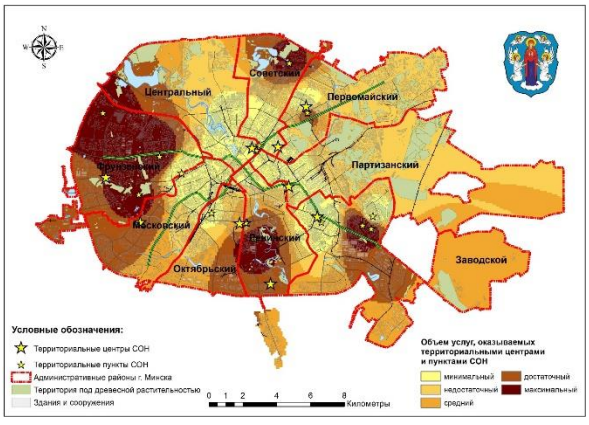


Рисунок 6 – Услуги, оказываемые ТЦСОН г. Минска

Проблема региональных диспропорций в осуществлении социального обслуживания пожилого населения г. Минска связана, в первую очередь с социально-экономическими особенностями функционирования административных

районов. Оптимизация существующей сети ТЦСОН приобретает особенную актуальность, т.к. наиболее уязвимым группам населения необходимо получить реальный доступ к нужным ресурсам. Особое внимание должно уделяться перспективному развитию социальной инфраструктуры с учетом изменения демографической ситуации и её территориальных особенностей.

Выполненная работа позволила сделать вывод, что территориальная структура социального обслуживания нуждается в оптимизации, т.к. в настоящий момент она не может обеспечить равный доступ к услугам в силу ряда объективных причин. В первую очередь это касается организации досуговых мероприятий. В стенах одного ТЦСОН физически невозможно принять всех пенсионеров района в рамках одного мероприятия, сложно организовать информационную кампанию для их привлечения и т.п. Кроме того, многие люди не примут участия в проводимых мероприятиях из-за опасений больших скоплений людей, невозможности комфортно добраться до места и т.п. Поэтому зачастую многие проекты, организуемые ТЦСОН, оказываются невостребованными, вызывают чувство неудовлетворенности у тех, кто потратил силы и время на их подготовку. Самое неприятное, что обе стороны начинают расценивать подобную деятельность как формальную.

Так, количество ТЦСОН должно определяться в расчете на численность социальных групп, нуждающихся в обслуживании: примерно 1 ТЦСОН на 10 тыс. пенсионеров. Очевидно, что один центр не в состоянии донести и оказать всем пенсионерам не только перечень требуемых услуг, но даже информацию о своей деятельности донести до всех потенциальных посетителей крайне затруднительно. Расположение ТЦСО должно выбираться с учетом возможности пешей доступности от места их фактического проживания (выявлена максимальная корреляция показателей).

На наш взгляд, следует изменить сам подход к функционированию ТЦСОН, оставив за существующими центрами основные управленческие, финансовые вопросы, а для непосредственной работы организовать более густую сеть небольших, разнонаправленных пунктов (по аналогии с клубами пожилых людей в Европе). Если бы в основе территориальной организации деятельности ТЦСОН были не административные районы г. Минска, а более мелкие территориальные участки, то эффективность была бы намного выше. Кроме этого, для организации подобных участков не обязательно отдельное здание и большое количество штатных сотрудников. Среди пенсионеров обязательно найдутся энтузиасты, которые обладают необходимыми знаниями и умениями, силами и желанием поделиться своим опытом. Круг интересов не будет ограничиваться и будет определятся исключительно пожеланиями участников – от выпечки, рукоделия, цветоводства, активного отдыха до овладения навыками работы за компьютером. В этом есть еще один положительный момент – многие пенсионеры из категории «лиц, попавших в сложную жизненную ситуацию и нуждающихся в помощи», которые не нашедших сил и желания дойти до ТЦСО и обратиться за помощью, переходят в категорию «активистов волонтерского движения», имеющие интересный досуг, достаточный круг общения и сферу применения своих талантов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Главное статистическое управление города Минска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://minsk-city.belstat.gov.by.

2. Методика по расчету относительных статистических показателей естественного движения населения и коэффициента младенческой смертности: утв. Постановлением Национального статистического комитета Республики Беларусь 12.02.2013 № 14. [Электронный ресурс]. Режим доступа http://www.belstat.gov.by/metodologiya/metodiki-po-formirovaniyu-i-raschetu-statistichesk/

3. Министерство труда и социальной защиты Республики Беларусь // Официальный сайт [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://mintrud.gov.by/ru

4. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа http://www.belstat.gov.by

5. Стратегия устойчивого развития Минской области на 2016–2025 годы. 2015. 60 с.

6. Открытые базы геоданных PostGIS // Геоинформационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://gis-lab.info/qa/openbase.html.

7. Официальный сайт компании ArcGIS [Электронный ресурс] / Образовательный ресурс. Режим доступа: http://desktop.arcgis.com/ru/

8. Официальный сайт компании ERSI CIS [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.esri-cis.ru/

9. OpenStreetMap / Некоммерческий веб-картографический портал [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.openstreetmap.org/#map

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ И ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИС

УДК 520.84

СОЗДАНИЕ БИБЛИОТЕКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЭТАЛОНОВ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Ю.С. Давидович
кафедра геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск, seg98001@gmail.com

Л.В. Катковский
доцент, заведующий лабораторией дистанционной фотометрии отдела аэрокосмических исследований НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, Минск

В работе представлены результаты создания библиотеки спектральных эталонов по данным полевых спектрометрических измерений природных и антропогенных объектов тестового участка «Зябровка» (Гомельская обл., РБ), проведенных НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Рассмотрены основные библиотеки спектральных эталонов, используемые в прикладных исследованиях при дистанционном зондировании Земли, в том числе, включенные в поставку программного пакета ENVI. Отмечены основные преимущества и перспективы обработки космических снимков с использованием библиотек спектральных данных и сформулированы основные прикладные задачи их использования. Рассмотрена структура и особенности создаваемой библиотеки спектральных эталонов.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования Земли; библиотека спектральных эталонов; база спектральных эталонов; материалы дистанционных съемок.

Совместное использование данных полевых, авиационных и космических спектрометрических измерений подстилающих поверхностей является одним из перспективных подходов при дистанционном зондировании поверхности Земли. Решение обратной задачи дистанционной спектрометрии — восстановление параметров состояния и количественных характеристик объектов земной поверхности по их спектрам отражения в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне длин волн, является основной задачей дистанционных методов. Наиболее точные и достоверные результаты при обработке гиперспектральных и мультиспектральных изображений могут быть получены при использовании эталонных спектров отражения природных и антропогенных объектов.

В настоящее время хранение результатов спектрометрических съёмок обеспечивают различные библиотеки и базы данных. Среди наиболее известных библиотек спектральных данных можно выделить USGS, SPECMIN, ASTER, IGCP264 и VEG_LIB [1–3]. Подробнее следует рассмотреть спектральные биб-

лиотеки, включенные в поставку ENVI. Они содержат более 4 500 спектров различных объектов. Библиотеки распределены по следующим группам:

•USGS – спектральная библиотека геологической службы США, содержащая данные о спектральной отражающей способности минералов, горных пород, грунтов, растительности. Она собрана с помощью разнообразных инструментов, названия и характеристики которых закодированы в имени спектра;

•IGCP264 – спектральная библиотека Центра исследования Земли из космоса Университета Колорадо, включающая измерения 27 хорошо изученных минералов пятью различными спектрометрами;

•VEG_LIB – спектральная библиотека в диапазоне 0,4–0,8 мкм (с шагом 1 нм) и 0,8–2,5 мкм (с шагом 4 нм), предоставленная Chris Elvidge, содержащая спектры растительности и горных пород территории биологического резервата Jasper Ridge;

•ASTER – спектральная библиотека NASA ASTER Spectral Library Version 2, включающая более 2 000 спектров природных и антропогенных объектов в диапазоне 0,4–15,4 мкм. Эта коллекция также включает спектральные библиотеки Johns Hopkins University, Jet Propulsion Laboratory и USGS – Reston [4].

Среди баз спектральных данных стоит отметить базу данных GIS-Lab [5]. Она включает в себя данные как из вышеперечисленных библиотек, так и из различных литературных источников. Совсем недавно была создана децентрализованная база данных спектральных характеристик и параметров объектов земной поверхности Института географии РАН [6].

По результатам спектрометрических съемок с помощью спектрометров собственной разработки отдела аэрокосмических исследований НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ начаты работы по созданию собственной библиотеки спектральных эталонов. В данной работе представлены результаты формирования библиотеки спектральных эталонов по результатам наземных измерений.

Наземные измерения природных и антропогенных объектов производились в пределах тестового участка «Зябровка» солнечным спектрополяриметром ССП-600 Н, модернизированным для спектрометрирования поверхности (рис. 1) [7].

Рисунок 1 – Космический снимок тестового участка «Зябровка» [8]

Исследуемые объекты были разделены на 2 класса – искусственные объекты и природные образования. В 1 класс вошли участки бетонной взлетной полосы аэродрома «Зябровка» различного состояния. Во 2 класс вошли различные виды растительности: осока разных видов, цмин песчаный, одуванчик обыкновенный и др.

Спектральная библиотека данных наземного спектрометрирования создавалась в программном продукте ENVI. В ENVI спектральные библиотеки могут быть созданы пользователем из различных источников:

- ASCII-файлы результатов измерений спектрометрами, отформатированные в соответствии с требованиями ENVI;
- Выборка спектров из спектральных библиотек ENVI;
- Выборка спектров по изображению;
- Спектральные библиотеки, созданные на основе средних значений яркостей изображения внутри ROI (области интересов);
- Внешние спектральные библиотеки [4].

Библиотека спектральных данных создавалась с помощью инструмента Spectral Library Builder на основе обработанных и откалиброванных ASCII-файлов, содержащих коэффициенты спектральной яркости (КСЯ) и спектральную плотность энергетической яркости (СПЭЯ). Указанный инструмент предоставляет пользователю наиболее полный инструментарий для создания спектральных библиотек. Результаты создания библиотеки спектральных эталонов представлены на рисунках 2–3. КСЯ выражены в относительных единицах в диапазоне от 0 до 1, а СПЭЯ – в Вт/(м^2× мкм × ср).

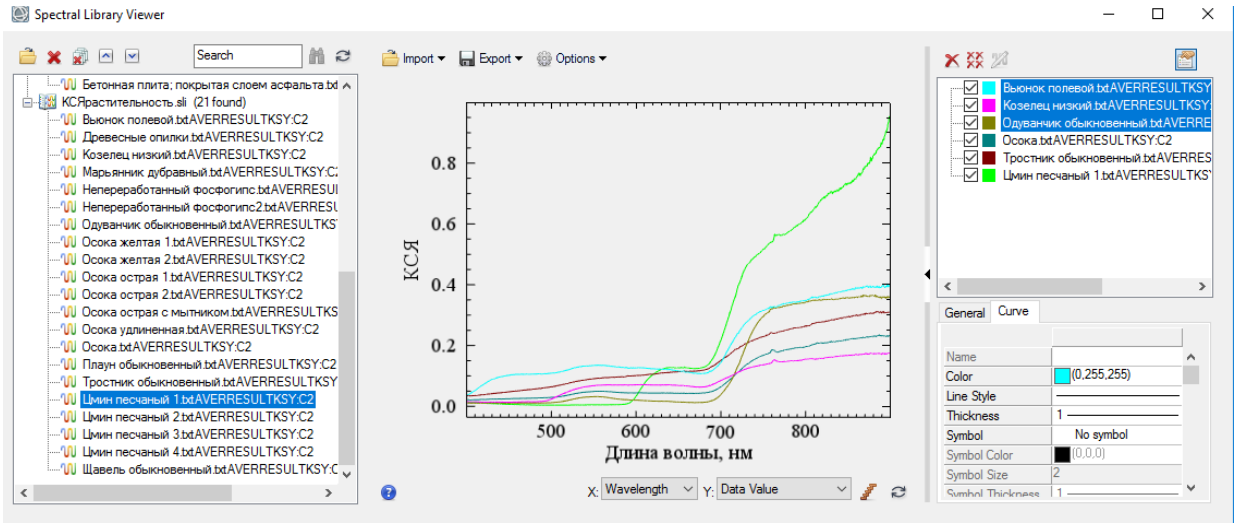


Рисунок 2 – Библиотека спектральных эталонов КСЯ,
построенная по данным наземного спектрометрирования

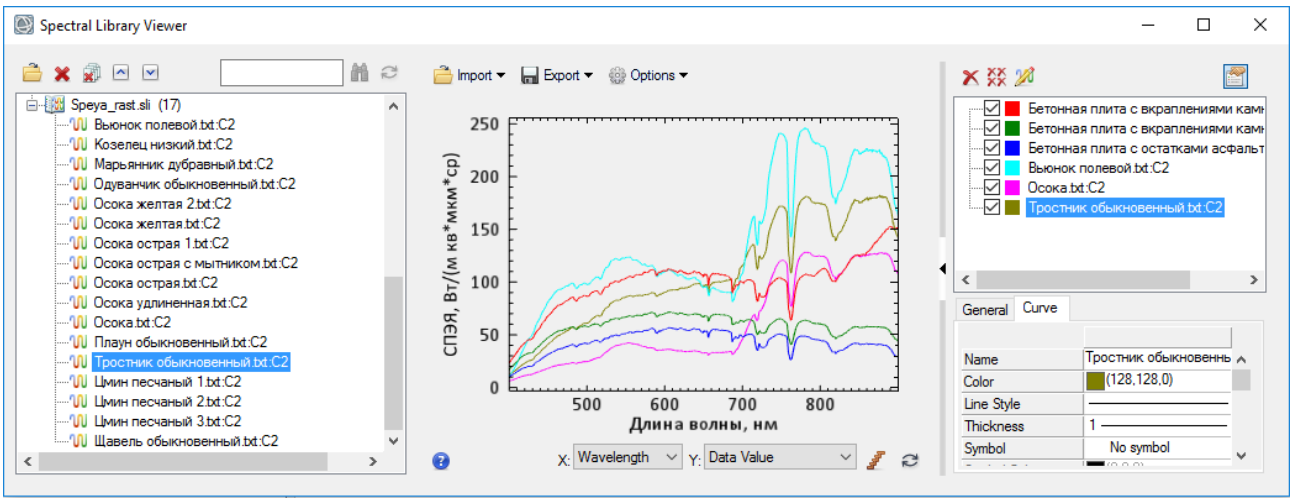


Рисунок 3 – Библиотека спектральных эталонов СПЭЯ,
построенная по данным наземного спектрометрирования

Информация о дате и времени съемки, а также координаты объектов помещены в специальный служебный файл (рисунок 4). Получить всю необходимую информацию об объекте библиотеки спектральных эталонов из служебного файла можно по названию – оно совпадает с названием исследуемого объекта библиотеки спектральных эталонов.

Служебный.txt — Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

```
Данный файл хранит служебную информацию о библиотеке спектральных эталонов НИУ"Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко" БГУ

Ключевой участок "Зябровка", наземная съемка:
1. КСЯ
Бетонная плита с вкраплениями камней 1: дата и время съемки - 01.08.2018 11.57.56; координаты - 52,3054 с.ш. 31,1657 в.д.
Бетонная плита с вкраплениями камней 2: дата и время съемки - 01.08.2018 12.03.01; координаты - 52,3054 с.ш. 31,1657 в.д.
Бетонная плита с вкраплениями камней 3: дата и время съемки - 01.08.2018 12.07.10; координаты - 52,3054 с.ш. 31,1657 в.д.
Бетонная плита с вкраплениями камней 4: дата и время съемки - 01.08.2018 12.14.06; координаты - 52,3054 с.ш. 31,1657 в.д.
Бетонная плита с вкраплениями камней 5: дата и время съемки - 01.08.2018 12.17.42; координаты - 52,3054 с.ш. 31,1657 в.д.
Бетонная плита с вкраплениями камней 7: дата и время съемки - 20.08.2018 10.51.16; координаты - 52.3055 с.ш. 31.1651 в.д.
Бетонная плита с вкраплениями камней 8: дата и время съемки - 20.08.2018 11.02.04; координаты - 52.3055 с.ш. 31.1651 в.д.
Бетонная плита с вкраплениями камней 9: дата и время съемки - 20.08.2018 11.08.42; координаты - 52.3055 с.ш. 31.1651 в.д.
Бетонная плита с вкраплениями камней 10: дата и время съемки - 20.08.2018 11.12.00; координаты - 52.3055 с.ш. 31.1651 в.д.
Бетонная плита с вкраплениями камней 11: дата и время съемки - 20.08.2018 11.53.47; координаты - 52.3055 с.ш. 31.1651 в.д.
Бетонная плита с вкраплениями камней 12: дата и время съемки - 20.08.2018 11.59.02; координаты - 52.3055 с.ш. 31.1651 в.д.
Бетонная плита с вкраплениями камней 13: дата и время съемки - 20.08.2018 12.00.49; координаты - 52.3055 с.ш. 31.1651 в.д.
Бетонная плита с вкраплениями камней 14: дата и время съемки - 20.08.2018 12.56.49; координаты - 52.3055 с.ш. 31.1651 в.д.
Бетонная плита с остатками асфальта 1: дата и время съемки - 20.08.2018 10.58.54; координаты - 52.3055 с.ш. 31.1651 в.д.
Бетонная плита с остатками асфальта 2: дата и время съемки - 20.08.2018 11.00.02; координаты - 52.3055 с.ш. 31.1651 в.д.
Бетонная плита, покрытая слоем асфальта: дата и время съемки - 20.08.2018 11.01.05; координаты - 52.3055 с.ш. 31.1651 в.д.
Вьюнок полевой: дата и время съемки - 20.08.2018 11.22.33; координаты - 52.3061 с.ш. 31.1655 в.д.
Древесные опилки: дата и время съемки - 20.08.2018 12.54.45; координаты - 52,3098 с.ш. 31,1429 в.д.
```

Рисунок 4 – Фрагмент служебного файла библиотеки спектральных эталонов

Данные спектральных библиотек могут иметь различные приложения в практике, например:

1. Создание обучающих выборок с дальнейшим использованием их при классификации космических снимков (например, классификация способом спектрального угла).

2. Хранение результатов спектрометрических исследований и возможность их быстрой графической интерпретации в виде кривых, возможность сглаживания результатов.

3. Проведение кросс-калибровки изображений с помощью данных наземного, авиационного и космического спектрометрирования [9].

4. Автоматизированная идентификация (целевой поиск) природных и антропогенных объектов на материалах (изображениях и спектрах) дистанционной съемки.

Создание библиотек и баз спектральных эталонов является довольно популярным и перспективным направлением развития дистанционных методов исследования Земли. В разработке находится библиотека спектральных эталонов, содержащая накопленные данные наземного, авиационного, космического и лабораторного спектрометрирования различных объектов, полученные за последние годы с различных участков земного шара сотрудниками НИУ «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Кравцов С.Л. Обработка изображений дистанционного зондирования Земли (анализ методов). Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2008. 256 с.

2. ASTER Spectral Library [Электронный ресурс]. Режим доступа: http//speclib.nasa.gov/search-1.

3. USGS DIGITAL Spectral Library [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html.

4. ENVI 5.1. Руководство пользователя. Москва: Совзонд, 2014. 242 с.

5. Спектральная библиотека GIS-Lab [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://gis-lab.info/projects/spectra.

6. Малышев В.Б., Фомин Б.Н. Децентрализованная база данных спектральных характеристик и параметров объектов земной поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 53–65.

7. Катковский Л.В., Беляев Б.И., Сосенко В.А., Абламейко С.В. Аппаратно-программный комплекс «Калибровка» для наземного спектрометрирования подстилающей поверхности и атмосферы // Седьмой Белорусский космический конгресс: материалы конгресса, Минск, 24–26 октября 2017 г.: в 2 т. / ОИПИ НАН Беларуси. Минск, 2017. Т. 2. С. 36–40.

8. Google Maps [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.google.com/maps/place/Зябровка.

9. Силюк О.О., Катковский Л.В. Методика и результаты кросс-калибровки изображений Белорусского космического аппарата и других съемочных систем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13 №4. С. 261–270.

УДК 528.88:235.41

РАСПОЗНАВАНИЕ УСЫХАНИЙ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ

Ю.С. Давидович

кафедра геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск, seg98001@gmail.com

Л.В. Катковский

доцент, заведующий лабораторией дистанционной фотометрии отдела аэрокосмических исследований НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, Минск

В работе представлены результаты интерактивного распознавания усыханий древесной растительности по мультиспектральным изображениям дистанционных съемок различного пространственного разрешения. Подробно рассмотрена классификация методом максимального правдоподобия и ее применение в проблеме усыхания древесной растительности. Для снимков Landsat 8 и Белорусского космического аппарата в каналах видимого и ближнего инфракрасного диапазонов выполнена процедура паншарпенинг – приведение пространственного разрешения данных каналов к более высокому разрешению панхроматических каналов указанных аппаратов. Проведено сравнение результатов классификации усыханий тестового участка по изображениям дистанционных съемок с различным пространственным разрешением: аэрофотосъемка и космическая съемка с различных платформ. Оценены и рассчитаны площади усыханий, определенные автоматическим дешифрированием.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования Земли; материалы дистанционных съемок; автоматизированное дешифрирование; классификация с обучением; распознавание усыханий.

Определение усыханий различных видов растительности в настоящее время является актуальной задачей сельского и лесного хозяйства. Важным вопросом является их автоматизированное определение на материалах дистанционных съемок. Этому направлению посвящено ряд работ отечественных [1–2] и зарубежных [3–4] специалистов.

Автоматизация обработки материалов дистанционного зондирования лесов – это повышение производительности обработки информации, увеличение точности и объективности результатов и в конечном итоге эффективное решение проблемы изучения лесных ресурсов и состояния лесов дистанционными методами. Реальный путь достижения указанной цели состоит в создании автоматизированной системы обработки аэрокосмической информации о лесах [5]. В Республике Беларусь уже производились различные работы и эксперименты по дистанционному изучению лесов [6], но задача машинного дешифрирования (в противоположность визуальному) усыханий древесной растительности остается актуальной. Для решения указанной задачи с необходимой точностью требуется проведение исследований, которые позволят определить пригодность материалов дистанционных съемок различного пространственного разрешения для этой задачи. Интерес представляет исследование потенциальной пригодности для изучения лесов снимков относительно высокого (30–100 м) пространственного

разрешения вместо дорогостоящих снимков очень высокого (1–10 м) и сверхвысокого (крупнее 1 м) разрешений. Перспективным направлением в автоматизированном дешифрировании различных природных объектов является использование методов классификации изображений в спектральном пространстве – автоматизированного подразделения всех пикселов снимка на группы (классы). Способы классификации по характеру распределения значений яркости делятся на непараметрические (распределение значений яркости внутри класса не учитывается и не описывается никакими параметрами) и параметрические (распределение значений яркости внутри класса подчиняются определенным законам). Выделяют два основных способа компьютерной классификации с обучением (контролируемой) и без обучения (неконтролируемой) [7].

В данной работе представлены результаты классификации методом максимального правдоподобия, который относится к способам классификации с обучением с использованием заданного спектрального образа объекта. Этот способ предполагает, что статистические характеристики для каждого класса в каждом канале подчиняется закону нормального распределения. Плотность вероятности принадлежности пикселя к определенному классу вычисляется с использованием теоремы Байеса в качестве решающего правила. Пиксель относится к тому классу, вероятность принадлежности к которому наибольшая. Если порог вероятности не задан, все пиксели будут классифицированы [8].

Достоинствами метода максимального правдоподобия являются: наиболее точное из всех решающих правил (если значения признаков пикселей каждого класса распределены по нормальному закону); учитывает дисперсию значений признаков классов, используя матрицу ковариации. Основными недостатками данного способа являются: сложное уравнение, требующее значительных вычислительных затрат; имеет тенденцию к сверх-классифицированию (присваивание значений яркости эталонных областей, связанному с относительно большими значениями в матрице ковариации) [9].

Рассмотренный способ является наиболее оптимальным и реализован не только в специализированных программах для обработки аэрокосмических снимков (ENVI, ERDAS и др.), но и в геоинформационных системах (ArcGIS и др.).

Для определения усыханий древесной растительности использовались следующие материалы дистанционных съемок: аэрофотоснимок с пространственным разрешением 1 м; мультиспектральный космический снимок Белорусского космического аппарата (БКА) с пространственным разрешением 10,5 м; мультиспектральный космический снимок Landsat 8 с пространственным разрешением 30 м. Для космических снимков выполнена операция радиометрической коррекции.

Для улучшения визуализации и точности выделения объекта исследований был произведен паншарпенинг мультиспектральных снимков БКА и Landsat. Эта операция подразумевает объединение информации, содержащейся в панхроматическом снимке, с информацией в цветовых каналах более низкого пространственного разрешения. В итоге получается мультиспектральный снимок с детальностью и пространственным разрешением панхроматического. Паншарпе-

нинг мультиспектральных космических снимков БКА и Landsat 8 выполнялся в программном пакете ENVI с помощь операции Gram-Shmidt Pan Sharpering. Операция проводилась с помощью панхроматических снимков, входящих в поставку материалов дистанционного зондирования, соответственно, БКА и Landsat 8. В результате были получены мультиспектральные снимки более высокого пространственного разрешения. Пространственное разрешение мультиспектрального изображения БКА улучшилось с 10,5 м до 2,12 м, а Landsat – с 30 м до 15 м.

Первым этапом проведения классификации методом максимального правдоподобия было выделение тестового (ключевого) участка лесного массива. Ключевой участок строго совпадал на всех трех снимках по координатам углов. Данный участок был выбран так, чтобы была возможность определить присутствие усыхания древесной растительности как на материалах аэрофотосъемки, так и на космических снимках.

На втором этапе производился выбор участков, включающих обучающие выборки для каждого класса. Обучающие выборки – это совокупности пикселей (значений спектральной яркости) в пределах эталонного участка, для которых известно, что они относятся к определенному классу (на основе, например, визуального дешифрирования, подтвержденного наземными обследованиями). Выбор эталонных участков производился с помощью инструмента Region of Interest (ROI) Tool программного продукта ENVI. Количество выделенных классов для каждого снимка было разным, так как из-за более низкого пространственного разрешения космического снимка Landsat 8 выделение некоторых объектов было трудновыполнимой задачей. Для каждого снимка ROI искомого класса (усыхания) выделялись по-разному: на аэрофотоснимке они выделялись небольшими по площади участками, чтобы избежать выделения пикселей, которые могут привести к ошибочной классификации (тени и др.); аналогичным образом ROI усыханий выделялись на снимке БКА, но охватывали большую площадь; на снимке Landsat области интересов выделялись так, чтобы охватить наибольшее количество пикселей, соответствующим объекту исследования. Как показано на рисунке 1, области интересов отличаются по своей площади, но если их наложить друг друга то они будут перекрываться, из чего можно сделать вывод о том, что они охватывают один и тот же объект исследования (усыхания).

В итоге на аэрофотоснимке было выделено 4 класса («усыхания», «лес без повреждений», «участки, не покрытые лесом» и «тень»), на космическом снимке БКА – 3 класса («усыхания», «лес без повреждений» и «тень»), а на космическом снимке Landsat 8 – 2 класса («усыхания» и «лес без повреждений»).

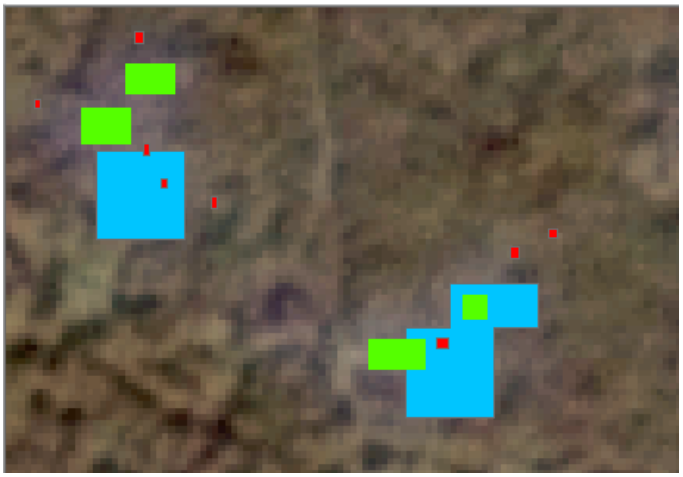


Рисунок 1 – Области интересов (ROI) усыханий, выделенные по аэрофотоснимку (красный цвет), космическим снимкам БКА (зеленый цвет) и Landsat (синий цвет)

На третьем этапе была произведена классификация ключевого участка мультиспектральных изображений. Операция производилась с помощью функции Maximum Likelihood Classification в программном продукте ENVI. В результате классификации были получены изображения, с выделенными участками (классами).

На последнем этапе производилась пост-обработка – фильтрация полученных данных (с помощью инструмента Sieve Classes) и выделение самих усыханий на исходных изображениях. Результаты выделения усыханий древесной растительности представлены на рисунках 2–4.

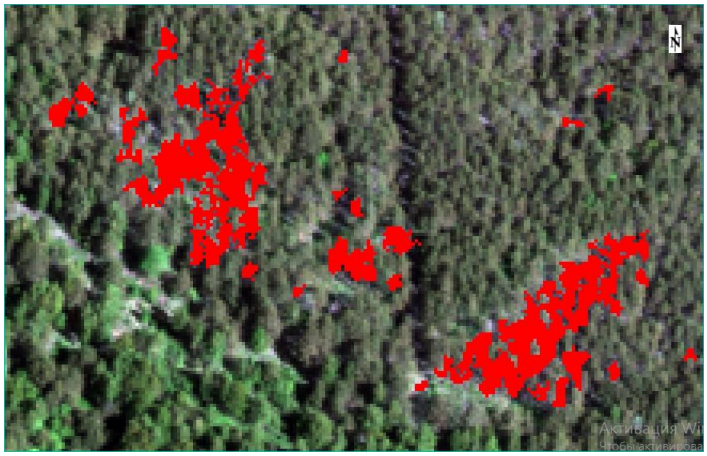


Рисунок 2 – Усыхания древесной растительности, выделенные на аэрофотоснимке

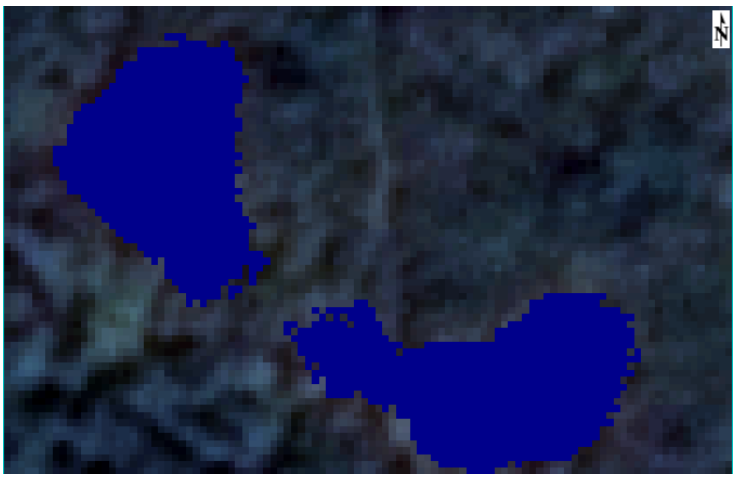


Рисунок 3 – Усыхания древесной растительности, выделенные на мультиспектральном снимке БКА

Рисунок 4 – Усыхания древесной растительности, выделенные на мультиспектральном снимке Landsat 8

Результаты автоматизированного выделения усыханий были сопоставлены с результатами визуального дешифрирования. В итоге можно сделать вывод о том, что наиболее точным является выделение усыханий по материалам аэрофотосъемки (вплоть до единичных экземпляров сухих деревьев). Площадь выделенных усыханий на ключевом участке по аэрофотосъемке составила 2 555 м^2. Площадь усыханий, выделенных по материалам космической съемки БКА составила 6 719 м^2, а по снимку Landsat – 13 102 м^2. Как видно из полученных результатов, при ухудшении пространственного разрешения снимка происходит увеличение площадей определяемых усыханий. Это можно объяснить тем, что на аэрофотоснимке определяются единичные усыхающие деревья, а при переходе к более низкому пространственному разрешению космических снимков происходит переход к определению именно площадей усыханий. Так же важным фактором является время проведения съемки – аэрофотосъемка производилась весной, а космическая съемка – летом, когда усыхания растительности занимают

куда более крупные участки. Необходимо так же учитывать особенности съемочных систем.

Автоматизированное определение различных природных объектов является перспективным направлением развития дистанционных методов исследования. В совокупности с мощными вычислительными способностями геоинформационных систем, а также систем автоматизированной обработки космической информации можно решать многие задачи мониторинга объектов сельского, лесного хозяйства, рационального природопользования, почвоведения, геоэкологии и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Варфоломеев Ю.А., Гурьев А.Т., Алешко Р.А. Методические и технические аспекты космического мониторинга биоповреждения и усыхания еловых лесов // Лесной журнал. 2010. №5. С. 149–156.

2. Крылов А.М., Владимирова Н.А. Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космической съемки // Геоматика. 2011. № 3. С. 53–57.

3. Improving near-real time deforestation monitoring in tropical dry forests by combining dense Sentinel-1 time series with Landsat and ALOS-2 PALSAR-2 / J. Reiche [et al] // Remote Sensing of Environment. 2018. № 204. P. 147–161.

4. Shojanoori R., Shafri H.Z.M., Mansor S., Ismail M.H. Generic rule-sets for automated detection ofurban tree species from very high-resolution satellite data // Geocarto International. 2017. №33. P. 1–36.

5. Атрощенко О.А., Толкач И.В. Дистанционные методы зондирования лесов и геоинформационные системы в лесном хозяйстве. Минск: БГТУ, 2003.

6. Авиационный аппаратно-программный комплекс ВСК-2 для контроля состояния лесов / Б.И. Беляев [и др.] // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады III Всерос. конф., посвящ. памяти Г.Г. Самойловича, Москва, 18–19 апреля 2002 г. Москва, 2002. С. 115–118.

7. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. Москва: Издательский центр «Академия», 2011.

8. ENVI 5.1. Руководство пользователя. Москва: Совзонд, 2014.

9. Кравцов С.Л. Обработка изображений дистанционного зондирования Земли (анализ методов). Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2008.

УДК 528.85

ОБРАБОТКА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЁМКИ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА SOVZOND AIR-CON 3

Д.А. Гутовский, Д.С. Каменев
кафедра геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск, danilagut2908@gmail.com

Е.О. Хрущёва
преподаватель кафедры геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, Минск

В статье рассмотрены основы мультиспектральной аэрофотосъёмки, её применение, а также обработка мультиспектральных данных. В июне 2019 года в результате запусков беспилотного летательного аппарата Sovzond Air-Con 3 были получены материалы, послужившие исходными для их последующей обработки и расчёта вегетационных индексов. Были рассчитаны индексы NDVI, GNDVI, NDRE.

Ключевые слова: мультиспектральная съёмка; аэрофотосъёмка; беспилотный летательный аппарат, мультиспектральная камера; вегетационные индексы.

Мультиспектральная съёмка – вид фотосъёмки, в процессе которой происходит получение фотографических изображений одновременно в различных зонах спектра электромагнитных волн. Такая фотосъёмка эффективнее аэрофотосъёмки в отдельно взятой спектральной зоне, так как в зависимости от длины волны меняется отражательная способность как природных, так и искусственных объектов. Выбор зон спектра для проведения съёмки обычно осуществляется исходя из задачи, которую необходимо решить с применением спектрозональной съёмки, либо же исходя из спектральных свойств исследуемых объектов и их компонентов.

Основной областью применения мультиспектральной съёмки является сельское хозяйство. Она даёт возможность максимально точно определить качество растительности на поверхности земли. Каждый год фермеры теряют большие суммы из-за неточных или отсутствующих данных о состоянии полей. Спектральная съёмка позволяет значительно сократить потери. Анализ спектральных фотоснимков позволяет в режиме реального времени выявить очаги распространения вредителей, либо заражённые участки, что даёт возможность предотвратить их дальнейшее распространение и максимально быстро устранить. На основе спектральных фотоснимков можно составить карты качества почв, что может понадобиться в дальнейшем при внесении удобрений.

На беспилотный летательный аппарат возможно установить камеры двух типов: модифицированные и мультиспектральные. Камера первого типа имеет усовершенствованную линзу, которая фиксирует излучение в ближней инфракрасной области спектра. Такие камеры не отличаются высокой точностью, что сделало их значительно дешевле мультиспектральных, где количество линз может достигать 12. Каждая такая линза фиксирует излучение в узкой области спектра, позволяя получить более точные данные.

Для получения изображений в различных зонах спектра на гексакоптере Sovzond Air-Con 3 используется мультиспектральная камера Parrot *Sequoia*. С помощью *Sequoia* фермеры получают данные о состоянии растений на определённом участке и могут решать проблемы точечно. Это позволяет сократить использование удобрений и пестицидов, распространяя их по мере надобности, а также анализировать поведение растений после полива. Это, в свою очередь, позволяет контролировать издержки производства и увеличивать урожайность.

Комплект камеры *Sequoia* включает в себя два сенсора (рисунок 1). Мультиспектральный сенсор снимает цвет, который отражают растения, в 4 разных диапазонах: зелёный и красный свет и два инфракрасных канала, невидимых для человеческого глаза. Размещённый на верхней части дрона сенсор освещённости регистрирует интенсивность света, излучаемого солнцем, для 4 диапазонов.

Рисунок 1 – Мультиспектральная камера Parrot Sequoia

Внутри мультиспектрального сенсора *Sequoia* встроен собственный GPS приёмник, что значительно повышает точность съёмки. Для получения собственных координат камеру не нужно подключать к дрону, беспилотнику, самолёту или трактору. Внутренние датчики постоянно передают информацию о высоте, скорости и положении во время полёта. Таким образом камера сама формирует скорость съёмки, в зависимости от внешних условий [1].

Мультиспектральная аэрофотосъёмка проводилась 1 июня 2019 года на территории ГС «Западная Березина». Высота полёта беспилотного летательного аппарата Sovzond Air-Con 3 составляла 100 метров. Была выбрана оптимальная скорость полёта – 8 м/с. Продольное перекрытие фотоснимков в процессе аэрофотосъёмки с целью исключения разрывов в изображаемой на них местности составило 80%, а поперечное – 60%. В программе управления камерой эти параметры позволяют выбрать оптимальное время между регистрируемыми изображениями, которое рассчитывается автоматически в самой программе.

Обработка снимков проводилась в программе Agisoft PhotoScan. Для этого полученные в результате аэрофотосъёмки фотографии загружались в программу, проводилось выравнивание снимков. После этого было построено плотное облако точек для лучшей детализации рельефа. Затем создавалась модель местности. На основании модели рельефа местности проводилось ортотрансформирование фотографий. В результате получился ортофотоплан в четырёх спектральных диапазонах.

Для визуализации и практического использования полученной мультиспектральной информации используются различные индексы. Состояние растительности определяется посредством вегетационных индексов. Наиболее распространённый индекс для определения количества фотосинтетически активной биомассы – нормализованный вегетационный индекс (NDVI). Для его расчёта используется ближний инфракрасный и красный каналы. NDVI используется для оценки активности вегетации растений. Для оценки угнетённой и стареющей растительности по содержанию азота в листьях используется нормализованный разностный Red Edge индекс (NDRE) (рисунок 2). Для растительности индекс NDRE принимает положительные значения, чем выше содержание азота в листьях растений, тем больше значения индекса. Данный индекс использует отражение в ближней инфракрасной и крайней красной области спектра. При отсутствии крайнего красного канала для этой цели используется GNDVI, в котором вместо Red Edge используется зеленый канал [2].

Рисунок 2 – Ортофотоплан, полученный с использованием NDRE

Рисунок 3 – Ортофотоплан, полученный с использованием NDVI

В Agisoft PhotoScan расчёт индексов производится с помощью инструмента калькулятор растра [3]. Для этого задаётся формула индекса, выбирается градиент и границы отображаемых значений. В рамках данной работы были рассчитаны индексы NDVI, GNDVI, NDRE. На рисунке 3 чётко дифференцируется древесная растительность – более тёмным и насыщенным зелёным цветом. Так как съёмка проводилась в период активного роста растительности различия между индексированными изображениями минимальны. Однако, увеличение частоты съёмки позволит проследить динамику вегетации растительности.

Материалы мультиспектральной съёмки являются важным источником информации о растительности, а их анализ позволяет проводить эффективный мониторинг сельскохозяйственных угодий. Использование беспилотных летательных аппаратов позволяет максимально оперативно отслеживать изменения, происходящие с растительным покровом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Романкевич А.П., Хрущёва Е.О., Лукашик А.А., Черняков Г.В. Воздушная съёмка с использованием гексакоптера Sovzond Air-Con 3 на территории ГС «Западная Березина» // ГИС-технологии в науках о Земле: материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 14 нояб. 2018 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Н. В. Жуковская (отв. ред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2018. С. 128–133.

2. Геоаналитика.Агро // Sovzond Company [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://agro.geoanalitika.com/ru/products/rastitelnost/ (дата обращения: 10.10.2019).

3. Расчет NDVI с помощью Agisoft Photoscan // Группа компаний Геоскан [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.geoscan.aero/ru/blog/781 (дата обращения: 10.10.2019)

УДК 504.064.37:528.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ БЕЛОРУССКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ АГРОМОНИТОРИНГА

Д.О. Авсеенко, Н.А. Бык
кафедра геодезии и фотограмметрии землеустроительного факультета БГСХА, Горки, avceenko_dima@mail.ru

Т.Н. Мыслыва
заведующий кафедрой геодезии и фотограмметрии землеустроительного факультета БГСХА, Горки

Оценена возможность использования данных, полученных с Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли, для определения ряда вегетационных индексов и получения достоверной информации о состоянии растительного покрова части территории Горецкого района. Посредством интеграции ГИС-технологий и данных ДЗЗ, полученных с БелКА–2, были созданы разновременные карты развития сельскохозяйственных культур для территории землепользования РУП «Учхоз БГСХА» (Горецкий район Могилевской области). Полученная в ходе выполнения исследований научная и практическая информация может быть использована местными органами исполнительной власти, в частности, управлениями сельского хозяйства, а также сельскохозяйственными организациями для мониторинга роста и развития сельскохозяйственных культур как в пределах Горецкого, так и в пределах других административных районов Республики Беларусь.

Ключевые слова: дистанционное зондирование; данные; классификация; вегетационные индексы; агромониторинг.

Агромониторинг – главный источник информации о состоянии посевов, а также о наличии сорняков, болезней и других проблем на поле. Он позволяет своевременно выявить отклонения в росте и развитии растений, определить их причины и принять оперативные управленческие решения. Однако это довольно трудоемкий процесс, требующий затрат сил, средств и времени. Минимизировать временно-трудовые затраты и получить достоверную и оперативную информацию о развитии основных сельскохозяйственных культур возможно посредством использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Данные ДЗЗ объективны, достоверны, наглядны, при этом затраты на получение информации об исследуемой территории существенно ниже стоимости проведения наземных работ [1].

Республика Беларусь имеет национальную космическую систему дистанционного зондирования Земли (БКС ДЗЗ), состоящую из наземной системы сбора, обработки и распространения спутниковых данных и двух спутников – белорусского БелКА–2 и российского Канопус–В. Съемка со спутника БелКА–2 выполняется по 4-м мультиспектральным (разрешение 10,6 м) и одному панхроматическому (разрешение 2,1 м) каналам (таблица 1). Уровень обработки 3 (С) предполагает, что данные предоставляются в виде ортотрансформированного изображения местности, полученного с использованием наземных опорных точек и цифровой модели рельефа.

Таблица 1. – Основные характеристики съемочной системы спутника БелКА-2 БКСДЗЗ

Параметр	Панхроматическая система визуализации (PIS или PAN)	Мультиспектральная система визуализации (MIS или MUL)
Тип орбиты	Гелиосинхронная	
Высота орбиты Н, км	510	
Активная продолжительность жизни, лет	Более 5	
Основное разрешение (надир), м	2,1	10,5
Ширина полосы, км	Более 20	
Спектральный диапазон	0,52-0,86 мкм	Blue – 0,45 – 0,52 мкм Green – 0,51 – 0,61 мкм Red – 0,64 – 0,70 мкм NIR – 0,73 – 0,86 мкм
Центральная длина волны	0,660 мкм	Blue – 0,492 мкм Green – 0,558 мкм Red – 0,675 мкм NIR – 0,782 мкм
Количество спектральных каналов	1	4
Радиометрическое разрешение	8 бит на пиксел	
Формат продуктов	Geotiff	
Формат метаданных, версия	XML, v.1.2.3	

Периодичность съемки составляет 5 дней. Для некоммерческого использования данные предоставляются бесплатно. Их поставщиком является научно-техническое республиканское унитарное предприятие «Геоинформационные системы» – национальный оператор Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли и официальный государственный поставщик данных ДЗЗ из космоса в Беларуси. Эта организация была создана 8 ноября 2000 года и действует под эгидой Национальной академии наук Беларуси.

Оптимизировать процесс агромониторинга возможно, применяя данные дистанционного зондирования высокого и сверхвысокого разрешения. В частности, данные, полученные с БелКА–2 и имеющие разрешение 10,6 м, пригодны для определения ряда вегетационных индексов и оценки состояния развития посевов сельскохозяйственных культур. Для определения вегетационных индексов была использована сцена, полученная 21 мая 2018 г. на территорию Горецкого района в пределах землепользования РУП «Учхоз БГСХА».

Перед использованием сцены с помощью опции «Объединить каналы» модуля ArcToolBox ГИС ArcGIS версии 10.5 была создана комбинация каналов 3–2–1 – естественные цвета. В этой комбинации используются каналы видимого диапазона, поэтому объекты земной поверхности выглядят похожими на то, как они воспринимаются человеческим глазом. После объединения каналов сцены, используя возможности опции «Анализ изображений» создавали композитный снимок из каналов 3–2–1 (рисунок 1).

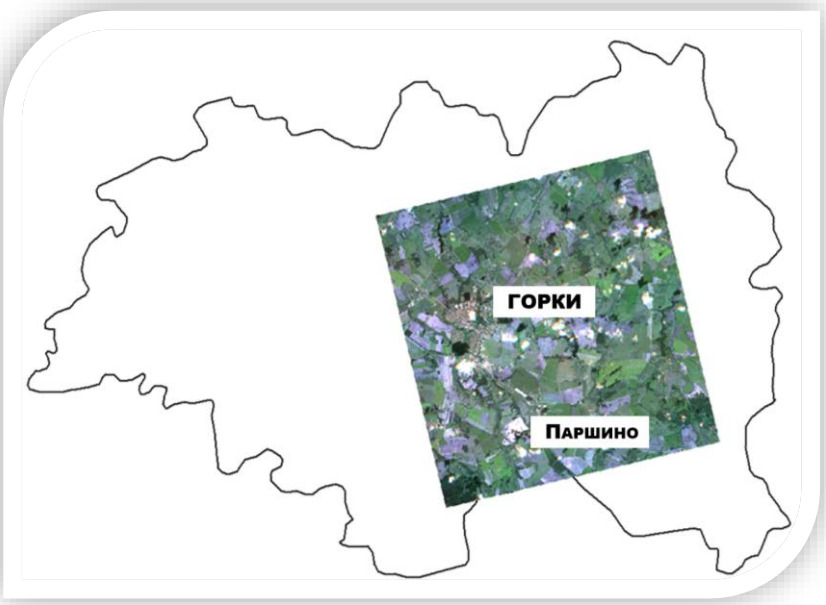


Рисунок 1 – Результаты компоновки каналов 3–2–1 сцены БКС ДЗЗ
и создания композитного снимка

Исходя из того, что при выполнении исследований были использованы сцены, полученные при съемке в видимом красном, зеленом и синем, а также ближнем инфракрасном спектральным каналам, оказалось возможным определить следующие вегетационные индексы (таблица 2).

Таблица 2 – Формулы расчета вегетационных индексов, определяемых с помощью мультиспектральных каналов сцены БелКА-2 [2]

Название вегетационного индекса	Формула расчета и краткое описание вегетационного индекса
Относительный ВИ (Ratio VI, RVI, Simple Ratio (SR))	$RVI = \left\{\frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RED}}\right\}$
Нормализованный разностный ВИ (Normalized Difference VI, NDVI)	$NDVI = \left\{\frac{\rho_{NIR}-\rho_{RED}}{\rho_{NIR}+\rho_{RED}}\right\}$
Инфракрасный вегетационный индекс (Infrared Percentage VI, IPVI)	$IPVI = \left\{\frac{\rho_{NIR}}{\rho_{NIR}+\rho_{RED}}\right\}$
Разностный вегетационный индекс (Difference VI, DVI)	$DVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED})$
Трансформированный вегетационный индекс (Transformed Vegetation Index, TVI)	$TVI = \sqrt{NDVI = 0{,}5}$
Почвенный вегетационный индекс (Soil Adjusted VI, SAVI)	$SAVI = \left\{\frac{\rho_{NIR}-\rho_{RED}}{\rho_{NIR}+\rho_{RED}+L}\right\} * (1 + L)$
Индекс глобального мониторинга окружающей среды (Global Environmental Monitoring Index, GEMI)	$GEMI = E*(1-0{,}25*E) - \left\{\frac{\rho_{RED}-0{,}125}{1-\rho_{RED}}\right\}$ $E = \left\{\frac{2(\rho_{NIR}^2-\rho_{RED}^2)+1{,}5*\rho_{NIR}+0{,}5*\rho_{RED}}{\rho_{NIR}+\rho_{RED}+0{,}5}\right\}$
Вегетационный индекс, устойчивый к влиянию атмосферы (Atmospherically Resistant Vegetation Index, ARVI)	$ARVI = \left\{\frac{\rho_{NIR}-R_b}{\rho_{NIR}+R_b}\right\}$ $Rb = \rho_{RED} - a * (\rho_{RED} - \rho_{BLUE})$

Примечание: 1) ρ_{NIR} = значения пикселов из ближнего инфракрасного канала; 2) ρ_{RED} = значения пикселов из красного канала; ρ_{BLUE} = значения пикселов из синего канала.

Для расчета вегетационных индексов использовали функциональные возможности калькулятора растров набора инструментов «Алгебра карт» модуля ArcToolBox ГИС ArcGIS версии 10.5. Всего были рассчитаны восемь вегетационных индексов, позволяющих выполнить комплексную оценку состояния посевов (таблица 3).

Таблица 3. – Характеристики растров, полученных по результатам определения вегетационных индексов

Название индекса	Характеристики значений растра			
	min	max	med	Sd
NDVI	-0,12	0,73	0,42	0,20
RVI	0,1	6,0	2,4	1,2
TVI	0,62	1,11	0,95	0,11
DVI	-26	156	51	46
ARVI	-0,35	0,49	0,24	0,13
SAVI	-0,17	1,09	0,43	0,39
IPVI	0,44	0,87	0,71	0,10
GEMI	0,12	1,94	1,32	0,81

Относительный вегетационный индекс RVI для зеленой растительности принимает значения больше 1 и возрастает с увеличением объема зеленой фитомассы и сомкнутости растительности (обычно принимает значения от 2 до 8). Он позволяет более четко идентифицировать наиболее угнетенные участки растительности (рисунок 2).

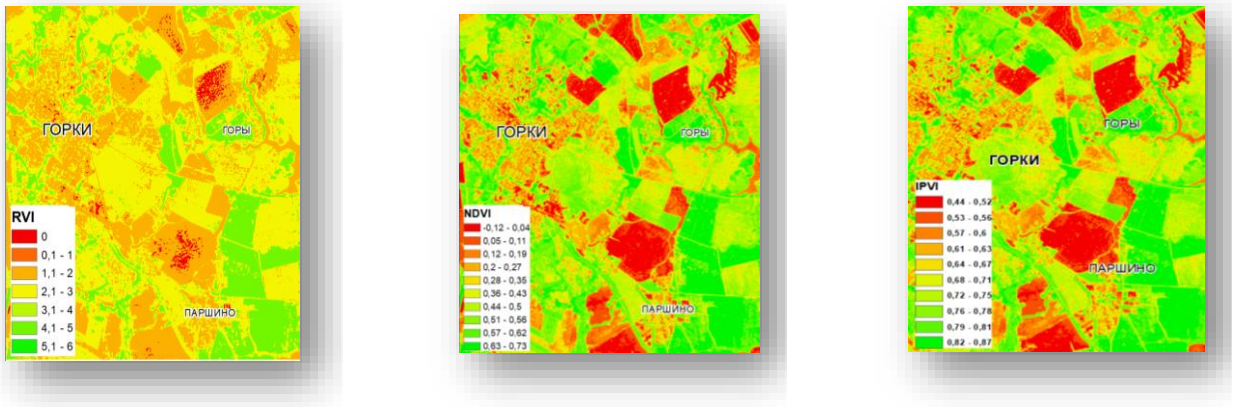


Рисунок 2 – Растры, полученные в результате определения вегетационных индексов RVI, NDVI и IPVI по сценам, полученным со спутника БелКА-2

Инфракрасный вегетационный индекс IPVI функционально эквивалентен NDVI и может принимать значения от 0 до 1. Для зеленой растительности характерны значения от 0,6 до 0,9. На полученном растре значения индекса изменяются от 0,44 до 0,87. Трансформированный вегетационный индекс TVI также функционально эквивалентен NDVI, а его значения колеблются в диапазоне от

0,62 до 1,11, тогда как почвенный вегетационный индекс SAVI принимает значения от -0,17 до 1,09 (рисунок 3–4). Устойчивый к влиянию атмосферы вегетационный индекс ARVI использует значение отражения в синей части спектра, чтобы устранить влияние атмосферы на коэффициенты отражения в красной зоне. Его значения изменяются от –1 до 1, а в нашем случае колеблются в пределах от -0,36 до 0,49.

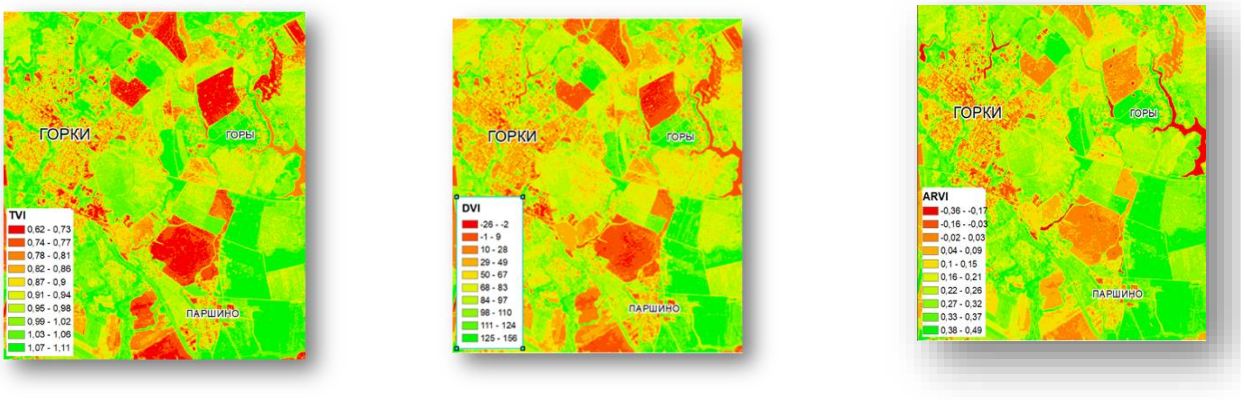


Рисунок 3 – Растры, полученные в результате определения вегетационных индексов TVI, DVI и ARVI по сценам, полученным со спутника БелКА-2

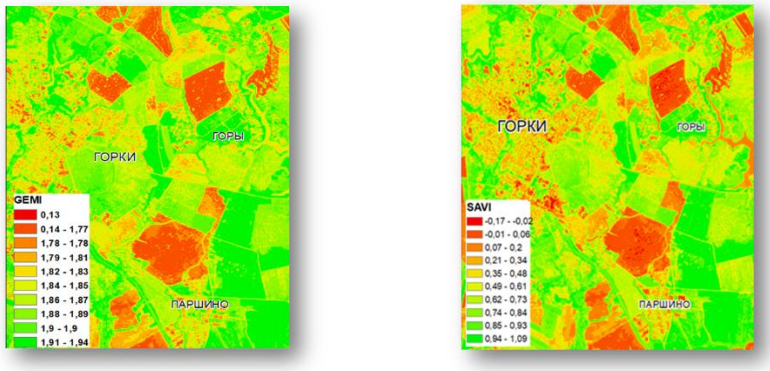


Рисунок 4 – Растры, полученные в результате определения вегетационных индексов SAVI и GEMI по сценам, полученным со спутника БелКА-2

Нелинейный индекс растительности GEMI также подобен NDVI, но менее чувствителен к влиянию атмосферы. На него влияет обнаженная почва; поэтому его не рекомендуется использовать в областях с редкой или умеренно густой растительностью. Выполнив с помощью ГИС-технологий классификацию полученных растров и их конвертацию в векторные данные, а также использовав возможности зональной статистики, можно получить карты с площадями культур с той или иной степенью развития. Это позволит более эффективно планировать мероприятия по уходу за посевами и посадками. Результатом такого планирования станет повышение эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения, снижение себестоимости сельскохозяйственной продукции и уменьшение техногенного воздействия на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Мыслыва Т.Н., Бык Н.А., Авсеенко Д.О. Использование данных, полученных с Белорусской космической системы дистанционного зондирования земли, для целей агромониторинга / М-ли Міжнародної науково-практичної конференції. Житомир: Вид-во «ЖНАЕУ», 2019. С. 87–89.

2. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. 2011. №2. С. 98–102.

3. Миклашевич Т.С., Барталев С.А. Метод определения фенологических характеристик растительного покрова на основе временных рядов спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 9–24.

Научное издание

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ

Материалы
республиканского научно-практического
семинара студентов и молодых ученых

Минск, 13 ноября 2019 г.

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *О. М. Ковалевская*

Электронный ресурс 11,7 Мб

Белорусский государственный университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/270 от 03.04.2014.
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.