

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ
БЕЛОРУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО



МАТЕРИАЛЫ I БЕЛОРУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО КОНГРЕССА

**К 90-ЛЕТИЮ ФАКУЛЬТЕТА ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
И 70-ЛЕТИЮ БЕЛОРУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА**

Минск, 8–13 апреля 2024 г.

В семи частях

Часть 3

**ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ГЕОДЕЗИИ, КАРТОГРАФИИ
И ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ЗЕМЛИ.
ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ**

Научное электронное издание

МИНСК, БГУ, 2024

ISBN 978-985-881-575-2 (ч. 3)
ISBN 978-985-881-572-1

© БГУ, 2024

УДК 528(06)
ББК 26.1я431

Редакционная коллегия:

кандидат географических наук, доцент *Е. Г. Кольмакова* (гл. ред.);
кандидат географических наук, доцент *Н. В. Гагина*;
кандидат географических наук, доцент *Ю. А. Гледко*;
кандидат географических наук, доцент *А. А. Карпиченко*;
кандидат геолого-минералогических наук, доцент *О. В. Лукашёв*;
кандидат географических наук, доцент *Е. В. Матюшевская*;
кандидат географических наук *Л. О. Сушкевич*;
кандидат географических наук, доцент *А. А. Топаз*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. Н. Червань*;
Т. С. Юдчиц (отв. секретарь)

Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апр. 2024 г. [Электронный ресурс]. В 7 ч. Ч. 3. Цифровая реальность в геодезии, картографии и дистанционном зондировании Земли. Проблемы геологии / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-985-881-575-2.

В рамках международного научного форума «I Белорусский географический конгресс» рассмотрены важнейшие вопросы геологии, геодезии, картографии и дистанционного зондирования Земли, включающие применение материалов комплексной аэро-, наземной и лидарной съемки, трехмерное моделирование рельефа и населенных пунктов, картографирование отдельных компонентов ландшафта, минералогии, геологической разведки, тектоники.

Минимальные системные требования:

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

Оригинал-макет подготовлен в программе Microsoft Word

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *Т. С. Юдчиц*

Подписано к использованию 03.04.2024. Объем 14,9 МБ

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

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ I ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ГЕОДЕЗИИ, КАРТОГРАФИИ И ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ЗЕМЛИ

<i>Афанасьева Е. М., Топаз А. А.</i> Подходы к картографированию и анализу структуры видов земель водосборных территорий	8
<i>Бабура Н. П., Муха М. В., Кафтанчикова А. Б.</i> Использование искусственного интеллекта для автоматизации создания цифровых государственных топографических карт масштаба 1:10 000	13
<i>Богданов А. О., Руденков О. В.</i> Геоинформационное обеспечение — перспективы развития в Вооруженных силах Республики Беларусь	18
<i>Герман А. Р.</i> Технология создания трехмерной художественной карты-панорамы городской среды рукописно-автоматизированным способом	23
<i>Десюкевич З. А., Пашкевич А. В., Балицкий О. Н., Гуцаки М. А.</i> Применение материалов комплексной аэро-, наземной и лидарной съемки при создании трехмерной модели местности населенных пунктов	28
<i>Жун С., Пейхвассер В. Н.</i> Мониторинг плодовых деревьев с применением данных БЛА и программы ENVI	36
<i>Истомин Е. П., Мартын И. А., Петров Я. А., Новожилова Е. С.</i> Создание оперативных цифровых 3D-карт оценки риска на основе гидрометеорологических факторов в акватории порта	42
<i>Кафтанчикова А. Б., Барсуков Д. А.</i> Картографическое обеспечение проверки прохождения Государственной границы Республики Беларусь	46
<i>Кварацхелия Е. В., Тюрин С. В.</i> Использование данных воздушного лазерного сканирования для планирования сетей сотовой связи	51
<i>Кислицын Д. А.</i> Выявление особенностей структуры классов земельного покрытия Оршанской возвышенности на основе данных дистанционного зондирования	56
<i>Кочетова А. В., Игнатенко Д. А.</i> Проблемы картографирования и измерения гидрографических объектов с помощью геоинформационных технологий	61
<i>Кравченко В. В., Кафтанчикова А. Б.</i> Автоматическая генерализация рельефа	66
<i>Кравченко О. В., Романкевич А. П., Топаз А. А.</i> О точности автономных определений координат навигационными GPS-приемниками	73
<i>Кудрявцева У. В., Мицевич Л. А.</i> Стереофотограмметрические методы при решении задач проектирования, реконструкции и определении параметров объектов строительства	78
<i>Кудрявцева У. В., Романкевич А. П.</i> Использование материалов цифровой топографической съемки для 3D-моделирования объектов	83

<i>Куклина П. П., Тюрин С. В.</i> Использование материалов воздушного лазерного сканирования для трехмерного моделирования местности	88
<i>Курочко П. И., Топаз А. А.</i> Создание Terrain-модели рельефа Беларуси для геопортала dzz.by	93
<i>Линкевич А. С., Топаз А. А.</i> Методология создания анимационных карт	98
<i>Лис К. Я., Кислицын Д. А.</i> Прикладные аспекты автоматизации выявления последствий лесных пожаров на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий	102
<i>Ломако А. А., Литвинович Г. С.</i> Особенности определения параметров для радиометрической коррекции мультиспектральных изображений, зарегистрированных с использованием беспилотных летательных аппаратов.....	107
<i>Львов А. С., Герман А. Р.</i> Создание карты диалектических зон атласа «Гаворкі і дыялекты Беларусі»	112
<i>Ляхова Г. П., Гвоздицкая Е. С.</i> О развитии тактильной картографии.....	116
<i>Медведев А. А., Волох Е. Д., Алексеенко Н. А.</i> Фотограмметрическая обработка данных БПЛА с целью обнаружения газогидратов	121
<i>Мороз У. А.</i> Динамика структуры видов сельскохозяйственных земель по данным дистанционного зондирования	126
<i>Никифорова А. А., Табуницкий В. А., Горбунова Т. Ю., Горбунов Р. В.</i> Анализ наземного покрова в бассейне р. Эль-Аси (Оронт) в 2021 г.: сравнение баз данных ESRI Land Cover и ESA World Cover.....	132
<i>Пейхвассер В. Н., Петроченко В. В., Добатовкин Е. А.</i> Создание виртуальной навигационной картографической информационной системы на примере факультета географии и геоинформатики БГУ в Mapbox GL JS API и Rapo2VR....	137
<i>Пейхвассер В. Н., Раков А. О.</i> Трехмерное моделирование объектов историко-культурного наследия Беларуси для туристских информационных систем с применением компьютерных технологий.....	143
<i>Радюк А. Г., Пейхвассер В. Н.</i> Геоинформационное картографирование в ГИС «Adobe Illustrator + MAPublisher».....	150
<i>Романкевич А. П., Левицкий Е. В.</i> Этапы создания нивелирной сети на территории Беларуси.....	156
<i>Романкевич А. П., Балицкий О. Н., Забагонский С. А.</i> К вопросу о подготовке специалистов по специальностям «космоаэрокартография» и «геоматика»	160
<i>Сапожникова Е. С., Каган М. Б., Артемьева О. В.</i> Использование методов дистанционного зондирования земли для анализа индекса роста городов Севера России	165
<i>Сидорина И. Е., Сюзюмов А. А.</i> Проблематика развития постсоветской и зарубежной картографических школ в аспекте геоинформационных технологий.....	170
<i>Смирнова Т. Ю., Каган М. Б., Позднякова Н. А.</i> Оценка состояния зеленых зон на примере города Калининграда	175

<i>Сорочинский Д. В., Кафтанчикова А. Б.</i> Применение ГИС «Панорама» для создания цифровой модели рельефа	180
<i>Третьяк А. В., Жумарь П. В.</i> Анализ проявления процессов деградации земель в Солигорском горнопромышленном районе с 2014 по 2022 гг.....	185
<i>Фомин Д. С., Фомин Дм. С., Полякова С. С.</i> Применение геоинформационных систем для анализа урожайности яровой пшеницы Каменка	190
<i>Черенко А. С.</i> Исторический анализ развития военного картографирования от традиционного к геоинформационному	195
<i>Шалькевич Ф. Е., Зайцева А. П.</i> Эффективность использования материалов дистанционных съемок при картографировании почвенного покрова.....	201
<i>Шунько А. С., Кафтанчикова А. Б.</i> Создание трехмерных условных знаков в ГИС «Панорама»	206
<i>Щукина О. Г., Абдукаримов М. М.</i> Технология производства ортофотопланов территории Ахангаранского водохранилища с использованием беспилотной аэрофотосъемки	211
<i>Юхтенко Л. В.</i> Оценка эффективности технологии съемки БПЛА при проведении топографической съемки местности	217
<i>Шастакоў М. А.</i> Стварэнне бібліятэкі спектральных дадзеных лесаўтваральных парод па мультыспектральных спадарожнікавых здымках Landsat-8/9 і Sentinel-2	223
<i>Davidovich Y. S., Shalkevich F. E.</i> Using radar remote sensing data to decipher the soil and vegetation cover of land types in Belarusian Polesie	228
<i>Zhao B., Chervan A. N.</i> A method of detecting soil degradation in the central ecological zone of Belarus based on open remote sensing images.....	233

РАЗДЕЛ II СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ

<i>Бибикова Е. В.</i> Нефтематеринские породы нижнефаменских отложений девона центрального ареала Припятского прогиба	239
<i>Бурмистров В. Н., Котов А. Б., Пискун О. А., Сальникова Е. Б., Толкачикова А. А., Степанова А. В., Гуринович М. П.</i> Возраст габбродолеритов «Большой дайки» юго-востока Беларуси: результаты U-Pb (ID-TIMS) геохронологических исследований бадделеита	244
<i>Березко О. А., Васнева О. В., Кононова Т. А., Черевач Е. М., Шиманович В. М., Боброва П. И.</i> Составление карт распространения основных водоносных комплексов на примере белорусской части бассейна реки Западный Буг с применением ГИС-технологий.....	249
<i>Вихарев Н. Г.</i> Перспективы использования георадиолокационного зондирования в инженерно-геологических изысканиях	254

<i>Войтеховский Ю. Л.</i> Проблема современной геологии: горная порода как пространство.....	259
<i>Войтеховский Ю. Л.</i> Система минералогии: классификации, пространства толерантности, структуры.....	264
<i>Галкин А. Н., Королёв В. А.</i> О гармонизации нормативной документации России и Беларуси по инженерным изысканиям	269
<i>Галкин А. Н., Королев В. А.</i> О необходимости учета особенностей эколого-геологических систем массивов торфяных грунтов при инженерно-экологических изысканиях.....	274
<i>Губин В. Н.</i> Поиски глубинной нефти в Припятском прогибе на основе дистанционного зондирования геофлюидодинамических структур	279
<i>Жидкова Т. А.</i> Анализ буровой изученности территории Минской области для проведения геологосъемочных работ нового поколения	285
<i>Захария И. Р., Силуянов В. Н., Асвинов Р. В.</i> Новые подходы к геологоразведочным работам.....	289
<i>Зуй В. И., Крошинский В. А., Силицкая О. В.</i> Геологическое картографирование четвертичных отложений Минской области	294
<i>Калина А. А., Самодуров В. П.</i> Цифровая петрография. Использование нейронных сетей в обработке и анализе шлифов минералов горных пород.....	299
<i>Комаровский М. Е.</i> Структура и происхождение березинских ледниковых ложбин в Беларуси	304
<i>Кузьменкова О. Ф., Воскобойникова Т. В.</i> Широтные сдвиговые деформации в структуре Брагинско-Лоевской седловины (запад Восточно-Европейской платформы)	308
<i>Кухарик Е. А., Данилович И. С., Костюченко И. В.</i> Развитие дефляции на территории Беларуси и факторы ее активизации	313
<i>Лисина Т. С.</i> Метод индукционного каротажа скважин.....	319
<i>Литвинюк Г. И., Силицкая О. В.</i> Новые данные о флоре разреза Гралево на Западной Двине	323
<i>Лукашёв О. В., Силицкая О. В.</i> Основные черты геохимии аллювиального литогенеза на территории Беларуси	328
<i>Матвеев А. В., Кухарик Е. А.</i> Особенности поля активных разломов территории центральной Беларуси	333
<i>Обуховская В. Ю., Саченко Т. Ф.</i> Биостратиграфическая характеристика отложений девонской системы разреза параметрической скважины 4П Климовичская.....	338
<i>Павловский А. И.</i> Особенности развития флювиальных процессов на территории Беларуси.....	344
<i>Самодуров В. П., Калина А. А., Ковалевич С. А.</i> Количественное определение содержания фосфатов в песчаниках месторождения Навай (Венесуэла)	350

<i>Самодуров В. П., Ковалевич С. А.</i> Изучение магматических и метаморфических горных пород методами цифровой макро- и микропетрографии.....	355
<i>Самодуров В. П., Филитович Е. С.</i> Изучение песчаных грунтов под строительство методами цифровой микропетрографии.....	360
<i>Силицкая О. В.</i> Региональные закономерности развития природы Восточно-Европейской платформы.....	364
<i>Творонович-Севрук Д. Л.</i> Особенности импорта и типизации геоданных в процессе развития искусственного интеллекта в науках о Земле	369
<i>Хибиев А. К., Козловский Н. В., Шеметило М. А.</i> Геофизические поля в зонах потенциально активных разломов на геодинамических полигонах Беларуси.....	373
<i>Хилькевич Е. В.</i> Морфогенетические разновидности субгляциальных водно-эрозионных ложбин.....	379
<i>Шкраба Д. В.</i> Проблемы геологии стран Южной Африки	383
<i>Шоназаров Б. Б.</i> Расчет устойчивости откосов и склонов в зоне формирования оползневых участков с учетом сейсмических воздействий (на примере Файзабадского района, Таджикистан)	388
<i>Ющенко И. С.</i> Геологическое строение Барсуковского месторождения нефти ..	394
<i>Рабавя С. А.</i> Землетрус ў Атласкіх гарах 8 верасня 2023 г. і спадарожныя яму варыяцыі крытычнай частаты F2 пласта іёнасферы	398
<i>Shmygaleva A. M.</i> Environmental issue of the extraction of low permeable reservoirs in the northern structural zone of the Pripyat trough.....	402

РАЗДЕЛ I

ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ГЕОДЕЗИИ, КАРТОГРАФИИ И ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ЗЕМЛИ

УДК 528.9+556.51+332.3

ПОДХОДЫ К КАРТОГРАФИРОВАНИЮ И АНАЛИЗУ СТРУКТУРЫ ВИДОВ ЗЕМЕЛЬ ВОДОСБОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Е. М. Афанасьева, А. А. Топаз

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, al659502@gmail.com, topaz_antonina@mail.ru*

Исследованы подходы к картографированию и анализу структуры видов земель водосборных территорий. Рассмотрены наиболее распространенные классификации видов земель. На основе анализа литературных источников выявлено, что изучение видов земель на водосборных территориях имеет реальную практическую ценность для управления земельными ресурсами, сохранения биологического разнообразия, адаптации к изменению климата и устойчивого использования водных ресурсов.

Ключевые слова: картографирование; виды земель; водосборные территории; классификации видов земель; землепользование.

APPROACHES TO MAPPING AND ANALYZING THE STRUCTURE OF TYPES OF WATERSHED LANDS

E. M. Afanasyeva, A. A. Topaz

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, al659502@gmail.com, topaz_antonina@mail.ru*

Approaches to mapping and analyzing the structure of the types of land in catchment areas are studied. The most common classifications of land types are considered. Based on the analysis of literary sources, it has been revealed that the study of land types in catchment areas has real practical value for land management, conservation of biological diversity, adaptation to climate change and sustainable use of water resources.

Keywords: mapping; types of lands; watershed; classifications of types of lands; land use.

Картографирование территорий водосборов играет важную роль в планировании использования земель с учетом их влияния на водоемы. Анализ видов земель позволяет проводить более эффективное планирование использования территории и ее защиту. Поэтому изучение динамики видов земель водосборных территорий является важной темой в сфере экологии и управления природными ресурсами.

Для визуализации использования земель водосборов применяется их картографирование согласно принятой в стране системе оценки земель. При этом в разных странах для выделения видов земель используются свои классификации и реестры земельного покрова.

Примерами успешных мировых проектов в области классификации земельных ресурсов, составления и обновления карт глобального и регионального охвата, характеризующих структуру земель, являются программы Corine Land Cover [6], Copernicus Land Cover Classification [7], GLOBELAND 30 [8].

Одна из наиболее широко используемых и известных классификаций — это система классификации земель CORINE. CORINE (Coordinated Information on the Environment) — европейская система классификации, разработанная Европейским агентством по окружающей среде. Она предназначена для унификации и стандартизации данных о земле в странах Европейского союза.

Одной из ключевых особенностей CORINE является использование менее детализированной классификации для создания общего обзора обстановки и более подробной классификации для изучения конкретных территорий. Система CORINE состоит из трех уровней классификации, где первый уровень включает более общие категории, а последующие уровни предоставляют более подробную информацию о типах земель.

Некоторые страны имеют собственные национальные классификации земель, которые могут быть адаптированы к местным условиям и потребностям. Например, в США используется система классификации земель, разработанная United States Geological Survey (USGS).

В Беларуси же используется разделение на категории и виды земель согласно Кодексу Республики Беларусь о земле. В соответствии со ст. 7 Кодекса РБ о земле, все земли подразделяются на 14 видов, выделяемых по природно-историческим признакам, состоянию и характеру использования.

Каждая система классификации видов земель имеет свои особенности и цели. Они могут различаться в зависимости от географического положения, климата, экологических условий и потребностей каждой страны. Однако все они направлены на обеспечение систематизированной информации о типах земель для планирования использования земли, оценки рисков, охраны окружающей среды и управления ресурсами.

У классификаций разных стран есть свои преимущества и недостатки. Например, главное преимущество системы CORINE заключается в возможности разделения классификации на несколько уровней, что позволяет использовать различные уровни детализации в зависимости от целей и требований исследования. Это обеспечивает гибкость и универсальность в применении системы относительно различных участков местности. Говоря о минусах данной классификации, стоит упомянуть ограничения в использовании для некоторых регионов, так как классификация создавалась для стран ЕС и не может полностью удовлетворять требованиям других стран и регионов.

Что касается разделения земель на виды и категории согласно Кодексу о земле Республики Беларусь, то в ней отсутствует такая гибкость, как в системе CORINE, имеет место ограниченность в интерпретации различных видов земель. Однако для территории Беларуси данная классификация является оптимальной, так как создавалась именно для нашей страны, в отличие от классификации CORINE, созданной для всего Европейского союза. В Республике Беларусь данная система эффективно помогает управлять ресурсами, планировать устойчивое использование территории и распределять земельные ресурсы между различными секторами экономики.

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время основные направления исследований по изучению структуры и динамики видов земель водосборных территорий касаются выявления и понимания изменений, происходящих с видами земель на водосборных территориях из-за изменения природных условий и антропогенного вмешательства в природную среду.

Так, широко раскрывает тему антропогенного влияния на водосборные территории публикация Mark S. Wigmosta, Stephen J. Burges [4]. В ней рассмотрены подходы к оценке изменений в землепользовании, связанные с урбанизацией территории и ее влиянием на земли водосборных территорий. Мотивацией исследования явилась разработка политики землепользования, которая сводит к минимуму неблагоприятное воздействие и сохраняет биоразнообразие и устойчивость экосистемы под воздействием человека. Сделан вывод о том, что изучая водосборы определенного региона (преимущественно на северо-западе Тихоокеанского региона Америки), а также влияние лесозаготовок и строительства дорог на речной сток и возникновение оползней, ученые могут сформировать принципы устойчивого управления окружающей средой со схожими гидроклиматическими и геоморфологическими условиями во всем мире.

Схожую тему развивает публикация Ang Kean Hua [5], где раскрывается влияние быстрой урбанизации водосборной территории реки Малакка

(Малайзия) на качество воды. В данном регионе антропогенное влияние осуществляется по двум сценариям: первый вариант включает промышленную деятельность и бытовые отходы, а второй — сельское хозяйство и очистные сооружения. Результаты исследования представляют полезную информацию для определения источников загрязнения речной воды для надлежащего управления территорией водосбора.

Существует ряд зарубежных исследований, касающихся конкретных водных объектов, мониторинга динамики земель на их водосборах и влияния данных изменений на сами водные объекты. Примером является публикация Costa R., Goncalves C., Fushita A., Santos J. [3]. В данной статье проведен сравнительный анализ динамики антропогенного вмешательства в земли водосборной территории реки Жакаре-Гуасу (Бразилия) на основе изменений землепользования за 10 лет (2004-2014 гг.). Публикация имеет практическое значение с точки зрения улучшения экологического планирования и управления. Данные за 10 лет получены на основе индекса урбанизации, который оценивает, насколько в природных ландшафтах доминируют измененные системы. Общая площадь водосборов демонстрировала преимущественно сценарий, вызванный антропогенным расширением сельскохозяйственных и несельскохозяйственных территорий, в основном за счет преобразования других видов земель под выращивание сахарного тростника.

В то же время анализ отечественных научных трудов показал, что на данный момент в белорусской науке недостаточно внимания уделяется вопросам, связанным с оценкой динамики видов земель водосборных территорий. Из имеющихся публикаций, раскрывающих влияние изменений в использовании земель водосборов на водные объекты, представляют интерес работы [1] и [2]. Так в исследованиях О. В. Токарчук, С. М. Токарчук [1] на основе анализа открытых данных дистанционного зондирования Земли и пяти временных срезов доступной топографической информации, литературных источников, справочных изданий выявлены направленность и интенсивность изменения гидрографической сети и поверхностных водосборов озер в пределах современной территории НП «Нарочанский» и его внешней охранной зоны. Достойной внимания также является совместная публикация БГУ и Силезского университета в Катовице (Институт наук о Земле), авторами которой являются Б. П. Власов, П. Щипек [2]. В публикации рассмотрены необратимые изменения гидрологических особенностей Ореховского озера, произошедшие из-за интенсивной гидромелиорации водосбора озера в течение последних 100 лет, ставшие причиной ухудшения качества воды, снижения насыщения кислородом, повышения минерализации воды и концентрации биогенов, снижения прозрачности воды.

Таким образом, на основе вышеизложенного материала, можно сделать вывод о перспективности развития данного направления исследований в Беларуси. Несмотря на то, что на данный момент тема в нашей стране является недостаточно изученной, опыт зарубежных исследователей показывает, что изучение видов земель на водосборных территориях имеет реальную практическую ценность для управления земельными ресурсами, сохранения биологического разнообразия, адаптации к изменению климата и устойчивого использования водных ресурсов.

Библиографические ссылки

1. Токарчук О. В., Токарчук С. М. Подходы к изучению изменений гидрографической сети поверхностных водосборов озёр территории национального парка «Нарочанский» // Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина, г. Брест. 2018.
2. Власов Б. П., Щупек Т. Изменение гидроэкологического состояния озера Ореховское под влиянием мелиорации водосбора // Белорусский государственный университет, Силезский университет в Катовице (Институт наук о Земле). 2020.
3. Costa R., Goncalves C., Fushita A. and Santos J. Land Use/Cover and Naturalness Changes for Watershed Environmental Management (Southeastern Brazil) // Journal of Geoscience and Environment Protection. 2017.
4. Mark S. Wigmosta, Stephen J. Burges. Land Use and Watersheds: Human Influence on Hydrology and Geomorphology in Urban and Forest Areas // American Geophysical Union; 1st edition. 2001.
5. Ang Kean Hua. Land Use Land Cover Changes in Detection of Water Quality: A Study Based on Remote Sensing and Multivariate Statistics // Journal of Environmental and Public Health, vol. 2017.
6. CORINE Land cover: Part 1 Methodology // European Environment Agency [Electronic resource]. Mode of access: http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-part2/land_coverPart2.1.pdf. Date of access: 10.03.2023.
7. Land Cover classification gridded maps from 1992 to present derived from satellite observations // Copernicus Climate Change Service [Electronic resource]. Mode of access: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-land-cover>. Date of access: 10.03.2023.
8. Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach / Jin Chen [et al.] // ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing. 2015. Vol. 103. P. 7–27.

УДК 528.931.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ МАСШТАБА 1:10 000

Н. П. Бабура¹⁾, М. В. Муха¹⁾, А. Б. Кафтанчикова²⁾

¹⁾Топографо-геодезическое республиканское унитарное предприятие «Белгеодезия»,
пр. Машерова, 17, 220029, г. Минск, Беларусь, yk@belgeodesy.by, morri_meyy@mail.ru

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, abkaft@rambler.ru

Исследована проблема распознавания и отображения картографических объектов на ортофотопланах масштаба 1:10 000 при создании цифровых государственных топографических карт. Целью является автоматизация данного процесса с использованием моделей машинного обучения. Разработана база данных эталонных картографических объектов для обучения новой модели.

Ключевые слова: искусственный интеллект в картографии; модели машинного обучения; создание цифровых государственных топографических карт.

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO AUTOMATE THE CREATION OF DIGITAL STATE TOPOGRAPHIC MAPS AT A SCALE OF 1:10 000

N. P. Babura¹⁾, M. V. Mukha¹⁾, A. B. Kaftanchikova²⁾

¹⁾The topographic and geodetic republican unitary enterprise «Belgeodesia»,
Masherov Av., 17, 2200299, Minsk, Belarus, yk@belgeodesy.by, morri_meyy@mail.ru

²⁾Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, abkaft@rambler.ru

The problem of recognizing and displaying cartographic objects on orthophotoplans at a scale of 1:10 000 when creating digital state topographic maps has been studied. The goal is to automate this process using machine learning technology. A database of reference cartographic objects was developed for training a new model.

Keywords: artificial intelligence in cartography; machine learning models; creation of digital state topographic maps.

Современные технологии искусственного интеллекта (далее – ИИ) находят все более широкое применение в различных областях, включая картографию. Создание и обновление картографических материалов и данных — сложная и трудоемкая задача. Традиционные методы составления

карт требуют больших ресурсов и времени. Однако с использованием ИИ можно значительно ускорить этот процесс и повысить точность цифровых государственных топографических карт масштаба 1:10 000 (далее – ЦТК).

Основные требования к ЦТК: наглядность, достоверность, своевременность и необходимая полнота содержания. При традиционном способе создания ЦТК в интерактивном режиме специализированного программного обеспечения по растровому изображению цифровой географической основы производится распознавание картографических объектов и присвоение им семантических описаний.

В 2023 г. топографо-геодезическим республиканским унитарным предприятием «Белгеодезия» проведена опытно-технологическая работа (далее – ОТР) по разработке набора моделей машинного обучения для создания, обновления и мониторинга состояния государственной навигационной карты Республики Беларусь.

Исходя из имеющихся на предприятии возможностей по доработке программных продуктов и перечня используемых технологий, выбор программного обеспечения для выполнения ОТР остановился на геоинформационном программном продукте ESRI ArcGIS Pro.

Результатом ОТР являются 4 модели машинного обучения, которые могут распознавать:

- площадные здания усадебной жилой застройки;
- площадные здания многоэтажной застройки;
- площадные объекты древесной растительности;
- площадные объекты гидрографии.

В основу этих моделей заложены параметры, учитывающие особенности отображения картографических объектов государственной навигационной карты.

Рассмотрим порядок применения искусственного интеллекта в картографии на примере полигона г. Шклова, который проводился в тестовом режиме.

В качестве основы были взяты 2 модели машинного обучения, такие как площадные здания многоэтажной и усадебной жилой застройки. Производилась апробация их использования для возможной автоматизации создания ЦТК. Выбор моделей обусловлен достаточно простым дешифровочным признаком зданий, которым является форма, чаще всего прямоугольная.

К отображению на ЦТК зданий предъявляются следующие требования:

- точный показ зданий, их размеров, формы и ориентировки производится по основанию (фундаменту);

— к площадным зданиям относятся объекты, длина которых на местности превышает 10 м, а ширина не менее 7 м. Характерные выступы архитектурных деталей отображают, если они составляют 3 м и более.

К точности отображения зданий на ОФП предъявляется следующее требование: ошибка опознавания границ контуров и объектов, отчетливо изобразившихся на ОФП относительно видимой фотолинии, не должна превышать 0,3 мм. [4, с. 5]

В качестве исходного картографического материала использовались ортофотопланы (далее – ОФП) масштаба 1:10 000, созданные по материалам аэрофотосъемки 2020, 2022 гг. Аэрофотосъемка осуществлялась с использованием цифровой аэрофотокамеры Leica ADS 100, с пространственным разрешением 30 см/пиксел.

В ходе выполнения работ выявлены недостатки.

1) Модели ориентированы на распознавание жилых зданий, игнорируя сараи и хозяйственные постройки. Поэтому недостающие и нераспознанные ИИ площадные здания необходимо доцифровывать вручную.

2) Неверное определение конфигурации зданий, а также отображение их характерных выступов.

3) Изображения отдельных зданий на ОФП состоят из освещенных частей крыш, собственных теней крыш и падающих теней построек. ИИ в некоторых случаях может ошибочно принять падающую тень на ОФП, похожую по конфигурации на здание, за само здание.

4) Модели чутко реагируют на изменение яркости фототона, в результате небольшие темные места иногда распознаются как здания.

5) Наслоение зданий друг на друга, полученных из 2 моделей: усадебной жилой застройки и многоэтажной застройки.

6) Смещение плановых очертаний зданий относительно фундамента выше допустимой нормы. Т. к. ИИ распознает здания по контурам крыш, в результате приходится выполнять их «усадку» на основания (фундаменты).

Результаты распознавания площадных зданий усадебной жилой застройки на ЦТК с использованием ИИ, можем видеть на рисунке.



Результаты распознавания площадных зданий усадебной жилой застройки

Синим цветом отображены площадные здания, верно распознанные на ОФП. Желтым — здания, конфигурация которых была отображена неверно, и их пришлось дорабатывать вручную. Розовым — здания, которые не были распознаны моделью.

Результаты анализа работы моделей машинного обучения ИИ по отображению площадных зданий на ОФП тестового полигона территории г. Шклова представлены в таблице.

Результаты распознавания площадных зданий

Классификация		Частный сектор, объектов	Многоэтажные, объектов
Определено моделью	Нераспознанные	2216	6
	Неверно определена конфигурация	1838	42
	Неверно определена площадь	606	0
	Наслоение усадебной жилой застройки на многоэтажную	28	267
	Смещение относительно фундамента выше допустимой нормы	8	28
	Отображение в несуществующем месте	69	60
	Верно отображенные	2086	5
	Всего	4887	464
Всего с доработанными до требований ЦТК		6148	81
Точность работы модели		33,9 %	6,2 %

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что полученные в ходе ОТР модели машинного обучения для отображения картографических объектов Государственной навигационной карты подходят для создания ЦТК, но требуют дальнейшей доработки. Т. к. к ЦТК предъявляются требования более высокой точности и детальной проработки ситуации.

В ходе проведения работ на тестовом полигоне вручную были доработаны недостающие здания с учетом требований ЦТК, которые будут внесены в базу данных эталонных картографических объектов для обучения новой модели.

Несмотря на высокий уровень технологического и технического развития, основным способом картографического производства остается ручная оцифровка картографических объектов местности. Использование технологий искусственного интеллекта для автоматизации создания ЦТК будет способствовать поддержанию их в актуальном состоянии, а также позволит создавать цифровые модели местности на основе ЦТК. В свою очередь, это снизит трудозатраты на камеральном этапе создания ЦТК масштаба 1:10 000, который является базовым для создания ЦТК производных масштабов.

Библиографические ссылки

1. СТБ 1753-2016 Цифровые карты местности. Правила цифрового описания информации, отображаемой на цифровых топографических картах и планах населенных пунктов.
2. ГКНП 05-016-2018 Условные знаки для топографической карты масштаба 1:10 000.
3. *Вольпе Р. И., Подобедов Н. С.* Топографическое дешифрирование аэроснимков при создании карт масштабов 10 000 и 25 000. Геодезиздат, 1961.
4. Инструкция по дешифрированию аэроснимков и фотопланов масштаба 1:10 000 (временная). Минск, 1999.
5. Технический отчет об опытно-технологической работе. Разработка набора моделей машинного обучения для создания, обновления и мониторинга состояния государственной навигационной карты Республики Беларусь (заключительный). Минск, государственное предприятие «Белгеодезия», 2023.

УДК 623.647

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ — ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. О. Богданов, О. В. Руденков

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, artem10042000@gmail.com, o-rudenkov@mail.ru*

В статье авторами даны предпосылки к модернизации и инновации Вооруженных Сил Республики Беларусь. Раскрыто понятие геоинформационного обеспечения, в качестве альтернативы топогеодезическому и навигационному обеспечению, боевых действий в Вооруженных Силах Республики Беларусь. Дано понятие комплексной специальной карты. Представлены тенденции развития геоинформационных технологий.

Ключевые слова: геоинформационные системы; геоинформационное обеспечение; топогеодезическое и навигационное обеспечение; национальная безопасность.

GEOINFORMATION SUPPORT – DEVELOPMENT PROSPECTS IN THE ARMED FORCES OF THE REPUBLIC OF BELARUS

A. O. Bogdanov, O. V. Rudenkov

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, artem10042000@gmail.com, o-rudenkov@mail.ru*

In this article, the authors provide the prerequisites for modernization and innovation of the Armed Forces of the Republic of Belarus. The concept of geographic information support is disclosed as an alternative to topographic, geodetic and navigation support for combat operations in the Armed Forces of the Republic of Belarus. The concept of a complex special map is given. The trends in the development of geographic information technologies are presented.

Keywords: geographic information systems; geographic information support; topographic, geodetic and navigation support; national security.

Сложная внешнеполитическая ситуация и наличие локальных вооруженных конфликтов на границе Республики Беларусь, являются движущими факторами развития и инноваций, происходящих в Вооруженных Силах Республики Беларусь. Согласно пункту 10 главы 4 Военной доктрины Республики Беларусь: «Тенденции развития военно-политической обстановки в своей совокупности расширяют спектр источников военных

угроз Республике Беларусь» [1, с. 5]. Заблаговременная подготовка к боевым действиям на территории Республики — важнейшая задача, поставленная Вооруженным Силам, для обеспечения национальной безопасности, территориальной целостности, суверенитета и независимости нашей страны.

Тенденция расширения группировки войск НАТО возле границ Республики Беларусь и Союзного государства диктует необходимость заблаговременной подготовки территории государства к ведению боевых действий [2]. Вступление в Североатлантический альянс государств Прибалтики и Скандинавии увеличило военную напряженность в данном регионе. Возможности вероятного противника для апробации новейших военных решений и технологий в различных условиях местности, позволяют им проводить качественную модернизацию методов ведения боевых действий. Вооруженные Силы Республики Беларусь возможностями апробации технологий в условиях реального боя не располагают, мы — мирное государство, которое не участвует ни в одном вооруженном конфликте. Главная задача модернизации Вооруженных Сил Республики Беларусь — оценка существующих новейших технологий и методов, апробированных в результате вооруженных конфликтов, как Союзным государством, так и вероятным противником и взятие их на вооружение.

Информация о местности, представленная в виде топографических и специальных карт, каталогов координат пунктов государственной геодезической сети, цифровых и электронных карт и др., является составной частью топогеодезического и навигационного обеспечения боевых действий в Вооруженных Силах Республики Беларусь. Такая информация заблаговременно подготавливается в Вооруженных Силах большинства развитых государств, является обязательной составляющей для эффективного ведения боевых действий [3, с. 633].

Топографическая карта, являющаяся основным средством топогеодезической информации, необходимая командирам для принятия решений, не является исчерпывающим источником информации, так как отображает только общие данные местности, ее «дневную поверхность». Какие-либо дополнительные данные о местности, например условия проходимости, метеорологические данные, условия видимости, зоны затопляемости, доступность пунктов планово-съёмочных сетей и др., могут быть представлены в виде специальных карт. Заблаговременное картирование дополнительных данных, создание так называемых «комплексных специальных карт», например условий проходимости при конкретной метеорологической обстановке, позволит исключить ошибки в принятии решений при оценке состояния местности во время подготовки и в ходе ведения боевых действий. Под комплексными специальными картами подразумеваются карты, отображающие какие-либо тактические свойства местности

(проходимость, условия маскировки, условия ведения огня и др.) в совокупности с определенными дополнительными данными (время суток, метеорологические условия, время года и др.). Данный тип карт поможет комплексно оценить тактические свойства местности в конкретных условиях ведения боевых действий.

Современным подходом к восприятию территории боевых действий, оценки ее свойств в полной мере, исключающим ошибки и неточности интерпретации географического фактора, является переход от «топографического обеспечения и мышления» к «геоинформационному», под которым подразумевается: «комплекс мероприятий по добыванию и обработке геопространственной информации для описания, оценки и визуального отображения в системах управления войсками и оружием состояния природных объектов и процессов в земном (географическом) пространстве и их влияния на действия своих войск и противника» [4, с. 58].

Понятие геопространственной информации включает в себя:

- данные дистанционного зондирования Земли. Использование новейших систем получения информации о местности, в том числе геодезических беспилотных летательных аппаратов в Вооруженных Силах Республики Беларусь позволит выполнять ряд задач по рекогносцировке местности, оценке состояния своих сил и положения противника, повысит качество добываемой информации о местности и сократит сроки ее получения: «Таким образом использование геодезических квадрокоптеров облегчает выполнение ряда задач, стоящих перед навигационно-топографической службой Вооруженных Сил Республики Беларусь» [5, с. 90];

- глобальные навигационные системы. Применение технологий глобального спутникового позиционирования с использованием различных группировок спутников в военных целях для определения точного местоположения и позиций. Значительно упростит работы по целеуказанию ракетным войскам и артиллерии, сократит ошибки, количество промахов, что в свою очередь приведет к уменьшению вероятности демаскировки собственной позиции и увеличению вероятности огневого поражения противника [6, с. 1074].

- геоинформационные системы. Использование мобильных и инструментальных геоинформационных систем в военных целях, таких как AlpineQuest и Панорама, позволит в значительной мере облегчить мероприятия по геоинформационному обеспечению боевых действий в Вооруженных Силах Республики Беларусь: «Использование новых средств получения топогеодезической информации, в частности мобильной туристической ГИС AlpineQuest в особенности в боевом тандеме с разведывательным беспилотным летательным аппаратом, предоставляет возможности,

которые ранее были неосуществимы с такой скоростью и простотой реализации» [7, с. 47].

Процесс перехода на новый геоинформационный «тип мышления» сложен и трудозатратен. Данный переход должен осуществляться планомерно и постепенно, в первую очередь, начиная с подготовки специалистов геоинформационного профиля, которые будут в состоянии в полной мере оценить совокупность факторов и данных, влияющих на условия ведения боевых действий, а также дать свои рекомендации по принятию решений командирам: «Подготовка военных специалистов в современных условиях — важнейшая задача, поставленная государством, для поддержания боевой готовности Республики Беларусь в условиях напряженной обстановки в мире и на ближайших границах» [8, с. 149].

Таким образом сложная внешнеполитическая ситуация и увеличение сил блока НАТО на западной границе Республики Беларусь диктует необходимость инновации и модернизации Вооруженных Сил Республики Беларусь. Наличие достоверной информации о местности является сегодня обязательным условием для эффективного ведения боевых действий. Топографическая карта хоть и является универсальным средством топогеодезической информации, однако не несет дополнительных данных о местности. Поэтому создание комплексных специальных карт открывает возможности к более качественной и полной оценке тактических свойств местности.

Геоинформационное обеспечение военных действий — современный подход, который следует внедрять в практику планомерно и постепенно. Геопространственная информация включает в себя следующие элементы: данные дистанционного зондирования Земли, глобальные навигационные системы и геоинформационные системы. Заблаговременная геоинформационная подготовленность территории нашего государства к ведению боевых действий — одна из основ национальной безопасности, территориальной целостности, суверенитета и независимости Республики Беларусь.

Библиографические ссылки

1. Закон Республики Беларусь от 20 июля 2016 г. №412-З. Об утверждении Военной доктрины Республики Беларусь / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H11600412>. Дата доступа: 09.01.2024

2. *Вольфович*: НАТО рассматривает восточно-европейский регион как плацдарм для развязывания агрессии / Интернет-портал белорусского телевизионного агентства [Электронный ресурс]. Режим доступа : <https://www.belta.by/politics/view/volfovich-nato-rassmatrivaet-vostochno-evropejskij-region-kak-platsdarm-dlja-razvjazyvaniya-agressii-v-598309-2023>. Дата доступа : 09.01.2024

3. *Zakiev E. S., Kozhakhmetov S. K.* Prospects for using remote sensing data in the Armed Forces, other troops and military formations of the Republic of Kazakhstan / *Vojnotehnički glasnik*, vol. 69, no. 1, 2021, p. 612-638.

4. *Елюшкин В. Г.* Геоинформационное обеспечение военных действий. От достаточности к превосходству. М. Самиздат, 2-е изд. дополн. и исправл. 2019. 166 с.

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

6. *Kelly J. T.* Targeting Applications Relevant to the Military GPS Handhelds / *Proceedings of the 16th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS/GNSS 2003)*. Portland, OR. September 2003, – pp. 1074-1084.

7. *Богданов А. О.* Использование ГИС AlpineQuest в военных целях на примере целеуказания по позициям вероятного противника / ГИС-технологии в науках о Земле [Электронный ресурс] : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 15 нояб. 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. Н. Червань (гл. ред.) [и др.]. Минск : БГУ, 2023. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

8. *Богданов А. О.* Преимущества обучения геоинформационным системам военного назначения военных специалистов негеографического профиля / Геоинформационные системы военного назначения: теория и практика применения : материалы IX Респ. науч.-практ. конф., Минск, 12 мая 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. М. Бахарь (гл. ред.) [и др.] ; под общ. ред. А. С. Черенко. Минск : БГУ, 2023. С. 149-152.

УДК 528.9:004

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ КАРТЫ-ПАНОРАМЫ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ РУКОПИСНО-АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

А. Р. Герман

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, g11-14@yandex.by*

Описаны этапы создания трехмерных художественных картографических изображений по совмещенной рукописно-автоматизированной методике, уровни визуализации объектов картографирования. Оценены функциональные возможности использования библиотек конструктивных элементов, текстур и цветов при создании трехмерной художественной карты-панорамы городской среды.

Ключевые слова: трехмерные художественные изображения; карты-панорамы; рукописно-автоматизированная методика; технология создания карт-панорам; библиотеки знаков, текстур и цветов.

TECHNOLOGY FOR CREATION OF THREE-DIMENSIONAL ARTISTIC PANORAMIC MAPS OF THE URBAN ENVIRONMENT WITH HANDWRITTEN-AUTOMATED METHOD

A. R. German

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, g11-14@yandex.by*

The stages of creating of three-dimensional artistic cartographic images using a combined handwritten and automated method, and the levels of visualization of mapping objects are described. The functionality of the usage of libraries of structural elements, textures and colors for creation of three-dimensional artistic panoramic map of the urban environment was assessed.

Keywords: three-dimensional artistic images; panoramic maps; handwritten-automated method; technology for panoramic maps creation; libraries of signs, textures and colors.

Трехмерным отображением местности начали заниматься еще в средневековье. Особую группу картографических произведений представляли карты-панорамы. В контексте предмета исследования под *картой-панорамой* понимается картографическое изображение, выполненное с учетом линейной и воздушной перспектив по принципу художественной живописи и создающее иллюзорное ощущение

объемности [1, с. 5]. Таким образом, при трехмерном художественном картографировании городской среды формируется иллюзорное представление, при котором наблюдатель, рассматривая плоское двухмерное изображение города, воспринимает его как трехмерное, и может судить о внешних объемных формах изображенных сооружений. Карты-панорамы создавались преимущественно рукописным способом.

Эмпирическим путем доказано, что трудоемкая ручная работа может быть значительно упрощена при автоматизированном (с частичным участием человека) создании карт-панорам с применением различных библиотек, разработанных в цифровом виде и содержащих отдельные конструктивные элементы объектов городской среды. Такие библиотеки включают наборы архитектурных форм, которые используются для наполнения фасадов и детализации изображения; варианты элементов растительности, созданные вручную и дифференцированные по форме, размеру, контуру, цвету; текстуры и цвета, которые с некоторыми модификациями применяются для фоновой заливки площадных объектов при цветовом оформлении трехмерных художественных карт-панорам [1, с. 10; 2, с. 37; 3, с. 48; 4, с. 121]. С использованием разработанных образцов библиотек осуществляется визуализация объектов, которая предполагает несколько уровней. Они строятся по принципу от общего к частному, от простого к сложному, и отображают постепенный переход от двухмерных карт к трехмерным изображениям [1, с. 10; 2, с. 36]. Для минимизации недостатков рукописного способа и подчеркивания достоинств автоматизированного, предлагается совмещенная рукописно-автоматизированная методика построения трехмерного художественного картографического произведения, заключающаяся в рациональном сочетании работ, выполненных вручную и с применением графических редакторов. На ее основе предложена технология создания трехмерных художественных карт-панорам, которая включает несколько этапов.

На первом этапе — подготовительном — осуществляется сбор и анализ различных материалов с целью изучения территории, подлежащей картографированию. Здесь определяющим является выбор точки обзора и определение охвата местности, которая будет представлена на 3D-карте. На основе изображений, предоставленных картографическими информационными сервисами, в предварительно выбранном программном обеспечении (программе векторной графике Adobe Illustrator или CorelDRAW) составляется черновой план местности (векторизируются плановые очертания зданий, дорожная сеть, гидрография, парковые зоны), который в дальнейшем будет использован в качестве основы в ходе полевого обследования. При необходимости дополняются уже существующие, или создаются новые библиотеки условных знаков, текстур, цветов и элементов растительного покрова.

Второй этап предполагает полевое обследование территории: при посещении картографируемого объекта все здания фотографируются с видимой стороны; на черновом плане города фиксируются особенности конфигурации сооружений, наличие декоративных элементов, цвет фасадов и крыш, этажность зданий и др.

Третий этап создания 3D-изображения местности — камеральный — заключается в визуализации объектов городской среды, предполагающей несколько уровней (рис. 1).

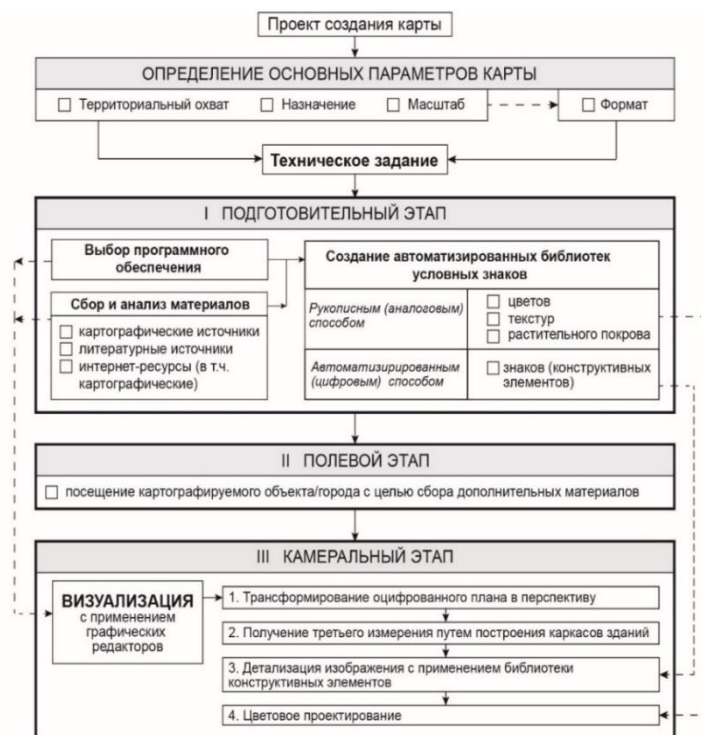
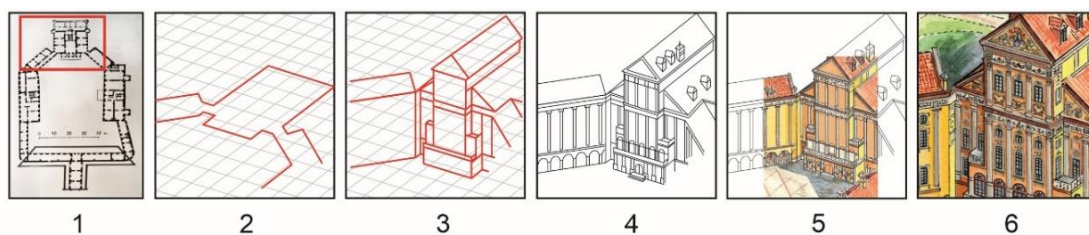


Рис. 1. Технологическая схема создания трехмерной художественной карты городской среды рукописно-автоматизированным способом [1, с. 12]

В первую очередь, черновой план картографируемой территории корректируется и дополняется на основе материалов полевого обследования (фотографий, схем, эскизов). Далее, в выбранной программе векторной графики, он переводится в перспективу. Эмпирическим путем было выявлено, что наиболее рациональное отображение граней объектов возможно при угле наклона между картографируемой поверхностью и лучом проецирования, равном 60° , поэтому трансформация плана в перспективу осуществляется до этой величины одновременно с уменьшением глубины изображения [1, с. 9; 5, с. 45].

Получение третьего измерения осуществляется путем построения каркасов зданий на основе материалов открытых картографических интернет-сервисов, а также выполненных в ходе полевого обследования фотографий. Ввиду наличия перспективы, высота зданий отличается на переднем, центральном и дальнем планах (по осевой линии), поэтому для передачи их относительной величины (изменения линейных размеров по мере удаления от точки наблюдения) выбираются конкретные значения, соответствующие одному этажу. Далее каркасы зданий детализируются, т. е. наполняются конструктивными элементами. По спутниковым изображениям определяется вид крыши (покатая или плоская, с выступами или без); отмечается местоположение входной двери, колонн, арок, пристроек, лестниц и прочих элементов; фасады заполняются окнами необходимой конфигурации из созданной ранее библиотеки знаков. Для этих целей используются соответствующие инструменты редактора, которые позволяют масштабировать и исказить стандартные конструктивные элементы, а также распределить необходимое количество окон с равным промежутком между ними в пределах контура фасада. В некоторых случаях количеством окон в ряду приходится пренебречь ввиду мелкого масштаба изображения. Этажность здания при этом сохраняется.

На завершающем этапе визуализации осуществляется цветовое оформление элементов городской среды (рис. 2). Для этого используются библиотеки текстур и цветов, включающие образцы, в первую очередь, площадного заполнения элементов содержания карты (освещенная и теневая стороны крыш, фасадов, тротуары, газоны, цвет падающей тени и др.): выполненные акварелью на ватмане и в дальнейшем оцифрованные для последующего использования в программе растровой графики (Adobe Photoshop), они позволяют сохранить художественную эстетичность изображения [6, с. 37-38; 7].



- 1 – план дворца; 2 – фрагмент плана дворца в перспективной проекции;
3 – построение каркаса; 4 – наполнение фасадов конструктивными элементами;
5 – первичное цветовое оформление; 6 – детализация рисунка

Рис. 2. Последовательность построения 3D-изображения Несвижского дворца по совмещенной рукописно-автоматизированной методике [1, с. 12]

Предложенные методика и технология ускоряют процесс составления карты-панорамы, по сравнению с исключительно рукописным способом. Кроме этого, анализ различных программных продуктов показал, что совместное использование графических редакторов (векторных и растровых) и приемов изобразительного искусства позволяет сделать картографическое изображение более красочным, выразительным и эргономичным, особенно для неподготовленного пользователя. Это достигается искусственным увеличением изображения основных достопримечательностей, что способствует их зрительному выделению на фоне прочих сооружений; расширением основных дорог с целью размещения пояснительных подписей; незначительным смещением зданий относительно друг друга для исключения нежелательных перекрытий разноудаленных объектов; красочным оформлением карты-панорамы с использованием естественных оттенков цветов (акварельных красок) [1, с. 13].

Библиографические ссылки

1. *Герман А. Р.* Трехмерное художественное картографирование городов-музеев Беларуси для информационного обеспечения туристической индустрии: автореф. дис. канд. геогр. наук: 25.03.10. Минск: БГУ, 2023.
2. *Atoyan R., German A.* New Technologies in 3-D Mapping // *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*. 2017. Vol. 12. P. 31–40.
3. *Атоян Р., Герман А.* Отображение растительности на картах. Обзор исторических и разработка современных автоматизированных способов художественного изображения элементов растительного покрова // *Земля Беларуси*. 2017. № 4. С. 42–48.
4. *Герман А. Р., Атоян Л. В.* Автоматизированный способ получения живописного трехмерного картографического изображения // *Журнал Белорусского государственного университета: География. Геология*. 2017. № 2. С. 114–123.
5. *Герман А. Р.* Отображение элементов архитектурных форм при создании перспективных картографических изображений // *Геоматика: образование, теория и практика: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–22 ноября 2019 г.* / БГУ; редкол.: А. П. Романкевич [и др.]. Минск, 2019. С. 43–46.
6. *Атоян Л., Герман А.* О методике построения и компьютерного дизайна трехмерного картографического изображения // *Земля Беларуси*. 2015. № 4. С. 36–40.
7. *German A.* 3D art cartography in Belarus: The historical development and achievements in the modern period [Electronic resource] // *Abstracts of the International Cartographic Conference, 15–20 July 2019, Tokyo*. 2019. Vol. 1. URL: <https://www.abstr-int-cartogr-assoc.net/1/94/2019/> (date of access: 01.08.2019).

УДК 528.721.28:629.735.4

**ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ КОМПЛЕКСНОЙ
АЭРО-, НАЗЕМНОЙ И ЛИДАРНОЙ СЪЕМКИ
ПРИ СОЗДАНИИ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ
МЕСТНОСТИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

З. А. Десюкевич¹⁾, А. В. Пашкевич¹⁾, О. Н. Балицкий²⁾, М. А. Гуцаки²⁾

*¹⁾Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16, 220030,
г. Минск, Беларусь, ²⁾Государственное предприятие «БелПСХАГИ»,
ул. Мира, 1а, 223011, аг. Прилуки, Беларусь*

В статье обобщены теоретические основы выполнения аэрофотосъемки, а также принципы ее выполнения с помощью БЛА, выполнена работа по построению трехмерной модели местности на заданную территорию в ПО Agisoft Metashape, рассмотрены области применения трехмерного моделирования.

Ключевые слова: 3D-модель; дистанционное зондирование; аэрофотосъемка с беспилотного летательного аппарата; Agisoft Metashape; трехмерная модель местности на территорию аг. Прилуки; БЛА.

**APPLICATION OF INTEGRATED AERIAL, GROUND AND LIDAR
IMAGING MATERIALS IN THE CREATION OF A THREE-
DIMENSIONAL TERRAIN MODEL OF SETTLEMENT AREAS**

Z. A. Desyukevich¹⁾, A. V. Pashkevich¹⁾, O. N. Balitsky²⁾, M. A. Gutsaki²⁾

*¹⁾Belarusian State University, st. Leningradskaya, 16, 220030,
Minsk, Belarus, ²⁾State Enterprise «BelPSHAGI», st. Mira, 1a, 223011, ag. Priluki, Belarus*

The article studied the theoretical foundations of aerial photography, as well as the principles of its implementation using UAVs, carried out work on constructing a three-dimensional terrain model for a given area in Agisoft Metashape software, and considered the areas of application of three-dimensional modeling.

Keywords: 3D model; remote sensing; aerial photography from an unmanned aerial vehicle; Agisoft Metashape; three-dimensional model of the terrain on the territory of the ag. Pryluky; UAV.

На сегодняшний день в дистанционном зондировании широкое распространение получили беспилотные летательные аппараты, которые позволяют оперативно получать данные о земной поверхности с использованием радиоуправляемых авиамodelей с установленным цифровым оборудованием. Современные беспилотные аэрофотосъемочные комплексы

позволяют обеспечить разрешение снимков от 1,5 см, и точность определения координат до 1 см на местности. К основным преимуществам БЛА относятся оперативное получение точной информации о небольшой территории местности, отдельных объектов, сооружений и зданий.

На данный момент на территории Республики Беларусь аэрофотосъемочные работы выполняются в основном при помощи самолетов либо же беспилотных летательных аппаратов. К преимуществам аэрофотосъемки с БЛА относятся возможность получения изображений с высокой точностью и разрешением, экономия времени и средств, возможность выполнения съемки в труднодоступных местах и динамической съемки, оперативность съемки. В целом, технология выполнения аэрофотосъемки с БЛА является надежным и эффективным способом получения информации о поверхности земли, который находит все большее применение в различных отраслях.

В настоящее время материалы БЛА используются в различного рода исследованиях, в том числе и для решения задач трехмерного моделирования. 3D-моделирование представляет собой процесс разработки математического представления любой поверхности объекта в трех измерениях с помощью специализированного программного обеспечения. Продуктом трехмерного моделирования является 3D-модель. Трехмерные модели представляют собой физическое тело, использующее набор точек в трехмерном пространстве, соединенных различными геометрическими объектами, такими как треугольники, линии, изогнутые поверхности и т. д. На их поверхности впоследствии могут накладываться различные текстуры.

Спектр применения трехмерных информационных моделей очень широк. В него входят:

- крупные инженерные работы;
- трехмерное городское планирование;
- взаимодействие с горожанами и принятие управленческих решений;
- ландшафтное проектирование;
- исследование и мониторинг окружающей среды;
- рынок недвижимости, маркетинг и реклама;
- учебные симуляторы, компьютерные игры.

Если обобщить различные сферы применения, 3D-моделирование и визуализация необходимы для:

- оценки физических и технических особенностей объекта еще до его создания в оригинальном размере, материале и комплектации;
- повышения качества управления;
- создания 3D-моделей будущего экстерьера/интерьера.

При создании 3D-модели местности для данной работы в качестве исходных данных использовались аэрофотосъемочные материалы, предоставленные государственным предприятием «БелПСХАГИ». Данные дистанционного зондирования получены в ходе аэрофотосъемки беспилотным летательным аппаратом DJI Phantom 4 Pro v2.0, а также DJI Matrice 300 RTK и наземная съемка при помощи смартфона iPhone. Преимуществом данного БЛА является сохранение GPS-координат (геотеггинг), что упрощает последующее построение и привязку 3D-модели (рис. 1).

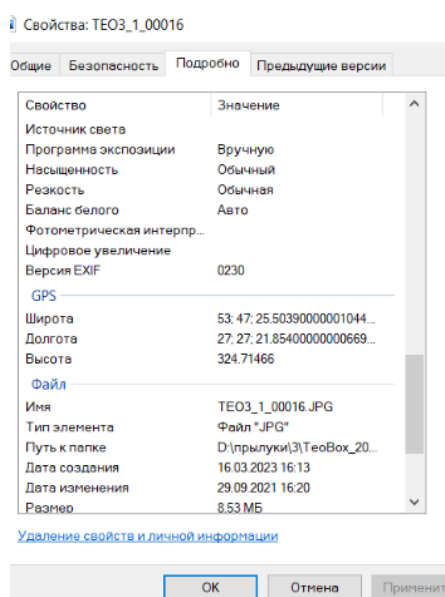


Рис. 1. Скан экрана свойств файла снимка

Для создания 3D-модели использовалось 1052 изображения территории аг. Прилуки. Обработка данных выполнялась при помощи специализированного ПО — программного продукта Agisoft Metashape версии 1.6.

Первым этапом при обработке данных аэрофотосъемки является выравнивание снимков. В ходе выравнивания снимков получены средние ошибки по координатам центров фотографирования, находящиеся в допуске (таблица).

Средняя ошибка по координатам центров фотографирования

Ошибка, X (м)	Ошибка, Y (м)	Ошибка, Z (м)	Ошибка XY (м)	Общая ошибка (м)
0,016345	0,019825	0,015961	0,030247	0,082378

Примечания. X – долгота, Y – широта, Z – высота

После выравнивания снимков создается плотное облако точек [1]. На основе плотного облака точек производится построение тайловой модели (рис. 2).



Рис. 2. Тайловая 3D-модель на территорию аг. Прилуки

Тайловая модель представляет собой особый формат модели, который содержит пирамиду масштабов в виде небольших блоков и позволяет визуализировать большие 3D-модели с высоким разрешением и детализацией. Формат иерархических тайлов удобно использовать при создании моделей объектов большой площади (например, населенных пунктов) [8].

Полученная тайловая 3D-модель является достаточно детализированной, поскольку съемка беспилотным летательным аппаратом производится на небольшой высоте. Точность камер БЛА — 5 см, что говорит о достаточно четких и выразительных данных. Для получения аэрофотоснимков хорошего качества учитываются погодные условия и наличие густой растительности.

Детальность трехмерной модели дает возможность определять основные характеристики объектов, такие как площадь земельных участков и капитальных строений, их высоту, оценивать местоположение и окружающую инфраструктуру исследуемого объекта, устанавливать материал изготовления строений и их цвет и возраст. Определение данных показателей сокращает время на полевое обследование объектов недвижимого имущества, а также позволяет проводить их кадастровую оценку.

Для повышения точности и детализации трехмерной модели выполняется съемка трех видов: комплексная, лидарная и наземная. Полученные материалы накладываются друг на друга и совмещаются в ПО Agisoft Metashape. Результатом проведения этих операций является тайловая модель с высоким пространственным разрешением (рис. 3).



Рис. 3. Фрагмент построения тайловой модели жилого здания на основе комплексной съемки

В дальнейшем применение современных ГИС с возможностью 3D-визуализации и наложения дополнительных слоев позволит перейти от использования традиционной ортофотоподложки в веб-ресурсах к трехмерным моделям местности, что будет олицетворять собой новую ступень развития геопространственных данных в целом.

Тайловые модели являются хорошими подложками для электронных карт. На их основе можно производить векторизацию улично-дорожной сети, ЛЭП, канализационных люков, а также контуров зданий для последующего нанесения атрибутивной информации.

Оцифровка объектов проводится в программном продукте Agisoft Metashape. Во избежание пробелов полигоны необходимо было связывать между собой. Возможность векторизовать объекты в 3D (то есть на модели) позволяет отобразить подвалы, фундаменты зданий и другие скрытые объекты, которые невозможно рассмотреть на ортофотоплане (рис. 4).

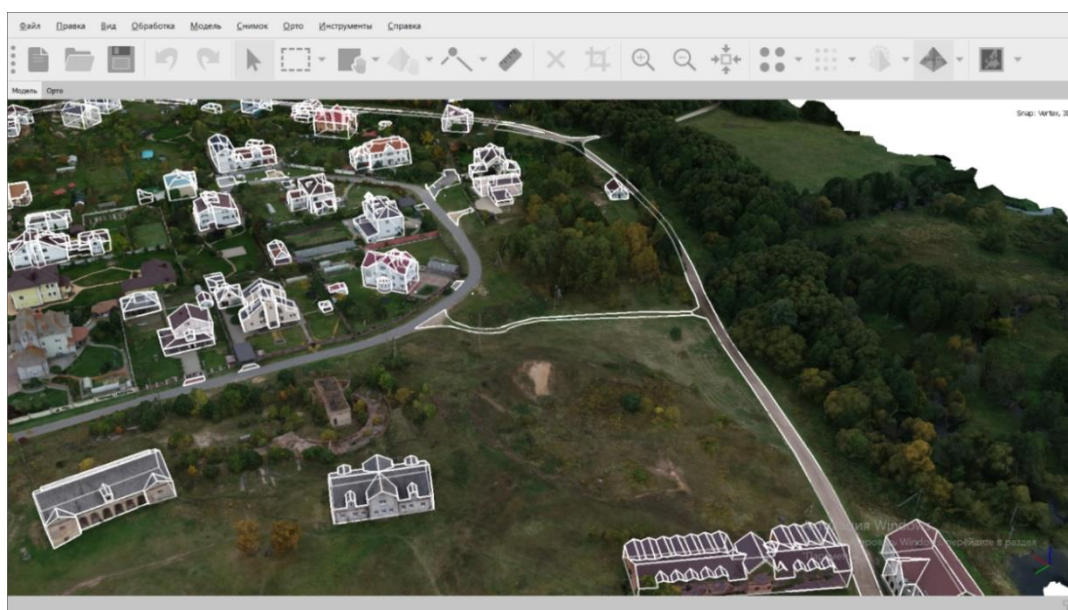


Рис. 4. Пример векторизации южной часть аг. Прилуки

Для добавления семантики объектов или атрибутов используется ПО Геоскан Спутник. Программный продукт поддерживает работу с тайловыми моделями и 3D-моделями.

Таким образом, на рисунке 5 отображены оцифрованные жилые строения и иные объекты недвижимости, с добавленной индивидуальной атрибутивной информацией, включающей параметры строений, материалы, применяемые при строительстве, указанием инвентарных номеров, информации о земельных участках.



Рис. 5. Оцифрованная южная часть населенного пункта в ПО ГеоСкан Спутник с атрибутивной информацией

Синими линиями показаны линии электропередач, которые автоматически построены программным обеспечением. Результаты построения довольно корректны и в некоторых местах можно наблюдать провисание проводов.

Таким образом, трехмерное моделирование объектов местности с использованием БЛА позволяет упростить решение задач землеустроительной и кадастровой деятельности, связанных с пространственным анализом земельных участков и объектов недвижимости, при этом сокращая затраты на их обследование. Визуализация объектов местности в трехмерном измерении позволяет более качественно проводить мониторинг земель, осуществлять планирование территорий и получать о них более детальную информацию, необходимую для составления тематических карт различного вида.

В настоящее время трехмерное моделирование является очень перспективным направлением во многих сферах жизни. С его помощью можно отобразить в объеме не только существующие, но и проектируемые объекты.

3D-модель позволяет получать справочную информацию об объектах недвижимости внутри населенных пунктов, такую как этажность зданий, наличие пристроек и хозяйственных построек, а также материалы зданий.

3D-технологии являются основой создания моделей «умный город», которые представляют собой трехмерные ГИС, позволяющие, не выходя из дома, получать наглядное представление об объектах инфраструктуры, быстро перемещаться по виртуальному городу, изучать обширные территории. Помимо визуального ознакомления с городом, такие ГИС дают возможность находить объекты путем ввода их адреса или координат и видеть, как они выглядят в реальности, в том числе в разное время суток, а также наблюдать за планами развития города.

Библиографические ссылки

1. *Чибуничев А. Г.* Фотограмметрия. Учебное пособие / Чибуничев А. Г. М. МИИГАиК, 2022. 328 с.
2. *Краснопевцев Б. В.* Фотограмметрия. Учебное пособие / Краснопевцев Б.В. М.: УПП «Репрография» МИИГАиК, 2008. 160 с.
- 3.. *Савиных В. П., Цветков В. Я.* Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. Учебное пособие / Савиных В. П., Цветков В. Я. М.: Картгеоцентр-Геодиздат, 2001. 228 с.
4. *Булавицкий В. Ф., Жукова Н. В.* Фотограмметрия и дистанционное зондирование территории. Учебное пособие / Булавицкий В. Ф., Жукова Н. В. Хабаровск: изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 113 с.

5. Федотов Г. А., Неретин А. А. Основы аэрогеодезии и инженерно-геодезические работы. Учебное пособие / Федотов Г. А., Неретин А. А. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 272 с.
6. Тюкленкова Е. П. Фотограмметрия и дистанционное зондирование. Учебное пособие / Тюкленкова Е. П. Пемза: ПГУАС, 2016. – 112 с.
7. Королев А. А. Курс лекций и практических занятий /. Королев А. А. М.: МИИ-ГАиК., 2020. 40 с.
8. Панасюк М. В., Сафиоллин Ф. Н., Логинов Н.А., Пудовик Е. М. Картография, фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли. Учебное пособие / Панасюк М. В., Сафиоллин Ф. Н., Логинов Н.А., Пудовик Е. М. Кз, 2018. 121 с.
9. Обиралов А. И., Лимонов А. Н., Гаврилова Л. А. Фотограмметрия и дистанционное зондирование. Учебное пособие / Обиралов А. И., Лимонов А. Н., Гаврилова Л.А. М.: Колос С, 2006. 334 с.
10. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Учебное пособие / Шовенгердт Р. А. М., 2010. 560 с.
11. Руководство пользователя Agisoft Metashape Professional Edition, версия 1.5 [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf – Дата доступа: 07.10.2023 г.
12. Руководство пользователя ГИС Спутник, Выпуск 1.4 [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: https://download.geoscan.aero/sputnik/Sputnik_Manual_1.4_ru.pdf – Дата доступа: 13.09.2023 г.
13. Сайт «ГУСГЕОКОМ» [Электронный ресурс]. 2023. Режим доступа: <https://www.rusgeo.com/vyipolnenie-polnogo-kompleksa-rabot-po-aerofotosyomke-mestnosti>. Дата доступа: 22.09.2023 г.
14. Сайт программного комплекса Agisoft [Электронный ресурс]. 2023. Режим доступа: <https://www.agisoft.com/> Дата доступа: 03.09.2023 г.
15. Сайт ГК «Геоскан» [Электронный ресурс]. 2023. Режим доступа: <https://www.geoscan.aero/ru/software/sputnik/gis> Дата доступа: 10.04.2023 г.
16. Чудинов С. А. Технология аэрофотосъемки при изысканиях автомобильных дорог. Учебное пособие / Чудинов С. А. ЕК., 2020. 103 с.
17. Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В. Аэрокосмические методы географических исследований. Учебное пособие / Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В. М., 2011 416 с.

УДК528.854.2

МОНИТОРИНГ ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ БЛА И ПРОГРАММЫ ENVI

С. Жун, В. Н. Пейхвассер

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, marshmallowsnicole@gmail.com, mck57@mail.ru*

Рассматривается применение набора инструментов точного земледелия программы ENVI на основе данных ДЗ с БЛА для мониторинга информации о плодовых садах, включая количество и распределение по виду фруктовых деревьев, информацию о их росте и т. д. Исследования включают также расчет и анализ вегетационных индексов, подсчет числа фруктовых деревьев, экспорт полученных результатов и их картографирование.

Ключевые слова: данные ДЗЗ с БЛА; мониторинг здоровья плодовых деревьев; вегетационный индекс; инструменты и картографирование в ENVI.

MONITORING FRUIT TREES USING REMOTE SENSING BASED ON UAV DATA

X. Rong, V. N. Peikhwasser

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, email: marshmallowsnicole@gmail.com, mck57@mail.ru*

The application of a set of precision agriculture tools of the ENVI program based on remote sensing data from UAVs for monitoring information about orchards, including the number and distribution by type of fruit trees, information on their growth, etc., is considered. Research also includes the calculation and analysis of vegetation indices, counting the number of fruit trees, exporting the results and their mapping.

Keywords: remote sensing data from UAV; fruit tree health monitoring; vegetation index; tools and mapping in ENVI.

Для исследования мониторинга плодовых деревьев с помощью дистанционного зондирования на основе данных БПЛА взяты мультиспектральные изображения плодовых садов провинции Юньнань (Китай), сделанные с БЛА DJI MATRICE 300 RTK с разрешением 0,5 м (рис. 1).

В исследовании применялись наборы инструментов ENVI для мониторинга информации о плодовых садах, включая количество и распределение плодовых деревьев по виду, росту, отбор вегетационных индексов, вычисление числа деревьев, а также экспорт полученных результатов и их картографирование (рис. 1).

Одной из наиболее важных функций набора инструментов для точного земледелия ENVI является подсчет культур (Count Crops).

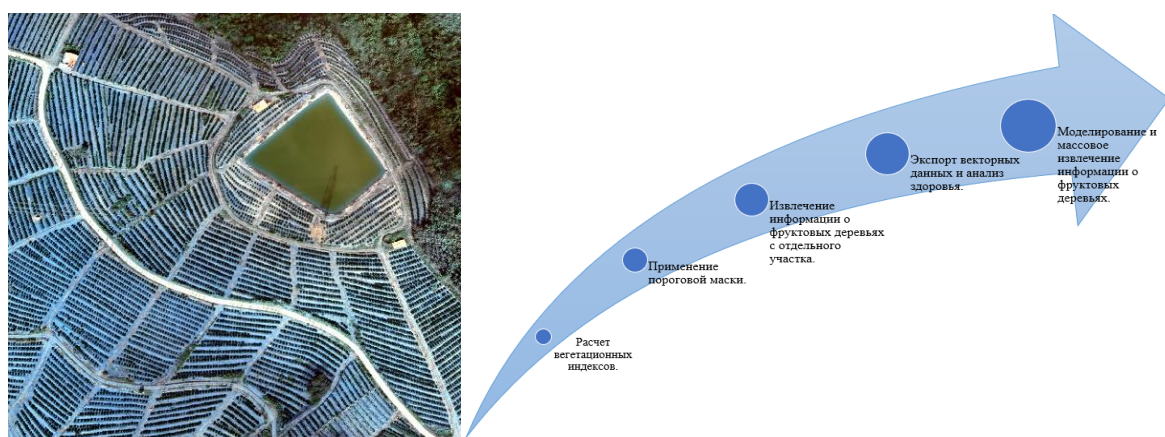


Рис. 1. Снимок плодового сада персиков с БЛА (выполнен 6-м Институтом космических исследований Китая) и схема процесса выполнения работ с применением ENVI (выполнена Жун С.)

Использовалась группа инструментов ENVI «Crop Science», дающая средства для точного земледелия и агрономического анализа: Count Crops – подсчет сельскохозяйственных культур; Calculate Crop Metrics – анализ состояния здоровья сельскохозяйственных культур; Convert Crops To Shapefile – экспорт площадей сельскохозяйственных культур в векторный формат; Spectral Indices – инструмент расчета спектральных индексов; Frame Subset via Shapefile – инструмент расширения для пакетной обработки и обрезки; ENVI Modeler – инструмент выделения и моделирования ENVI.

Обычно в исследованиях расчета индекса «Разности вегетации видимого спектра» (VDVI – Visible-band Difference Vegetation Index) применяются трехканальные изображения, а для расчета «Индекса зеленой разности вегетации» (GDVI – Green Difference Vegetation Index) – четырехканальные изображения, содержащие ближний инфракрасный цвет. Четырехканальные изображения с беспилотников встречаются намного реже, поэтому большинство снимков имеют только три канала — красный, зеленый и синий, и не содержат информацию о длинах волн. В данной работе для извлечения информации о плодовых деревьях использовался только индекс VDVI, в виду того, что инструментарий точного земледелия лучше всего подходит для изображений с высоким разрешением (БЛА). Для определения порогового значения индекса VDVI имеются два основных метода. Первый метод заключается в анализе статистической гистограммы. Если гистограмма имеет два пика, то пороговое значение обычно находится между этими двумя пиками.

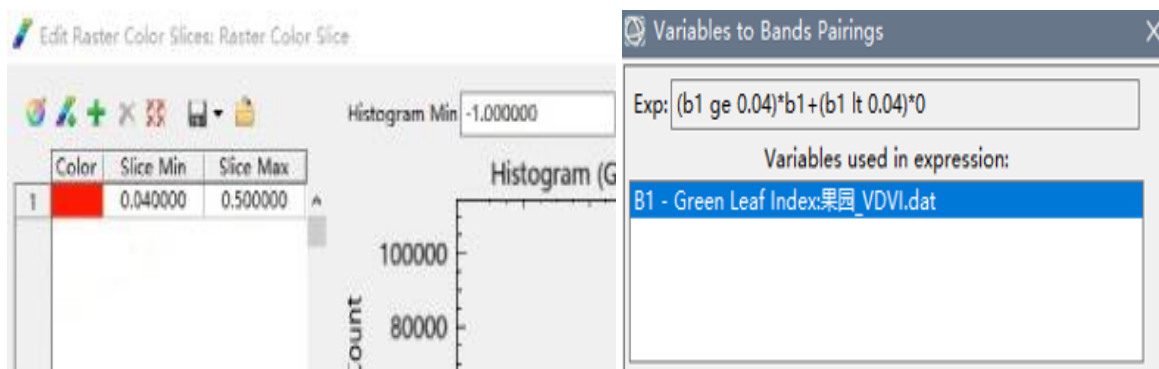


Рис. 2. Второй метод определения пороговых значений с помощью Raster Color Slice (выполнено Жун С.)

Второй метод заключается в использовании функции «Разрез по цветам растра» (Raster Color Slice), при котором пороговое значение определяется путем постоянных проб и ошибок. В данном исследовании применялся второй метод (рис. 2).

В результате измерений определены: минимальный радиус крон деревьев — 1 м, а максимальный — 2 м (рис. 3). Промежуточные параметры определялись с использованием функции предварительного просмотра.

Для больших садов при точном подборе параметров – временный сброс параметров входного растра — Spatial Subset, путем прямоугольной обрезки и маскировки (рис. 4).

В процессе исследования анализа состояния здоровья плодовых деревьев изучался также рост деревьев в садах. Для этих целей применялся ENVI «Calculate Crop Metrics» из раздела «Crop Science». Привлекая его, можно использовать данные ДДЗ для мониторинга и оценки здоровья садовых деревьев по спектральным диапазонам в изображениях. При площадном определении информации о плодовых деревьях в основном применяются два возможных подхода: 1. Использование языка программирования – IDL; 2. Применение программы ENVI.

Второй подход реализуется с помощью моделирования в программе ENVI Modeler (рис. 6). Его применяют для массового извлечения информации о деревьях в плодовых садах является наиболее эффективным методом автоматизированного анализа, который помогает пользователям обрабатывать и анализировать большие объемы данных дистанционного зондирования. Он предоставляет визуальную среду для проектирования рабочих процессов, позволяя пользователям заменять сложные процессы обработки данных методом перетаскивания, без необходимости написания программного кода, что намного проще, так не требует дополнительных знаний языка программирования.

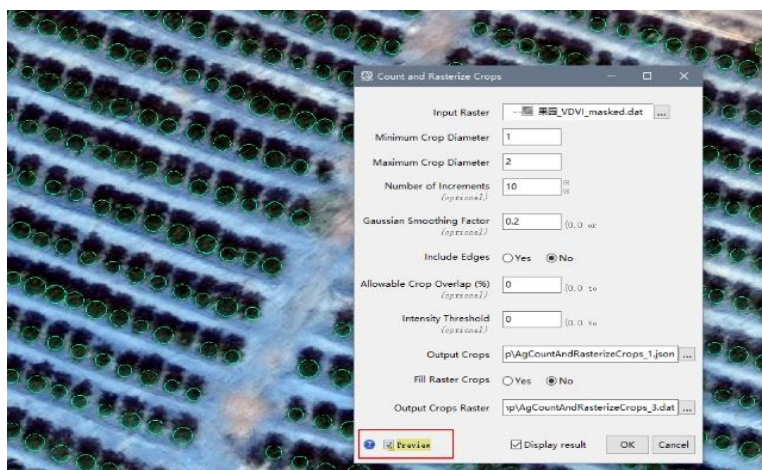


Рис. 3. Определение параметров плодовых деревьев для дальнейших исследований (выполнено Жун С.)

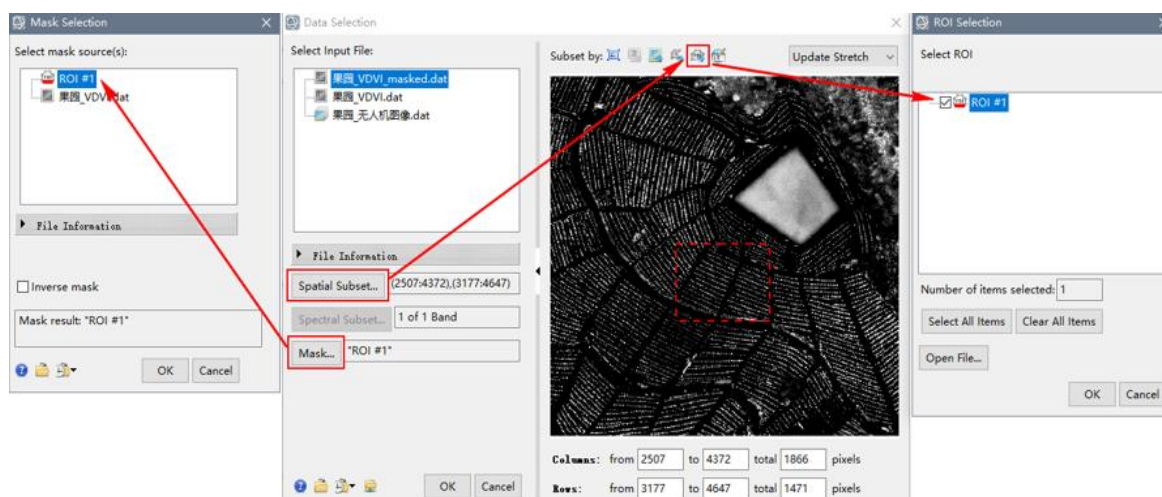


Рис. 4. Применение инструмента «Spatial Subset» (выполнено Жун С.)

Это методика более важна для специалистов в области дистанционного зондирования и аграриев, которым необходимо эффективно анализировать большие объемы данных для оценки и мониторинга состояния и роста сельскохозяйственных культур (рис. 7). Мониторинг о плодовых деревьях, включая сведения об их росте и предварительной оценки урожайности — наиболее эффективный и точный агротехнологический метод, который позволяет агрономам и исследователям проводить детальное наблюдение и анализ за садовыми насаждениями.



Рис. 5. Экспорт и полный анализ состояния здоровья растений: красно-коричневым отмечены 3 степени заболеваемости садовых деревьев; зеленым – степени здоровых садовых деревьев (выполнено Жун С.)

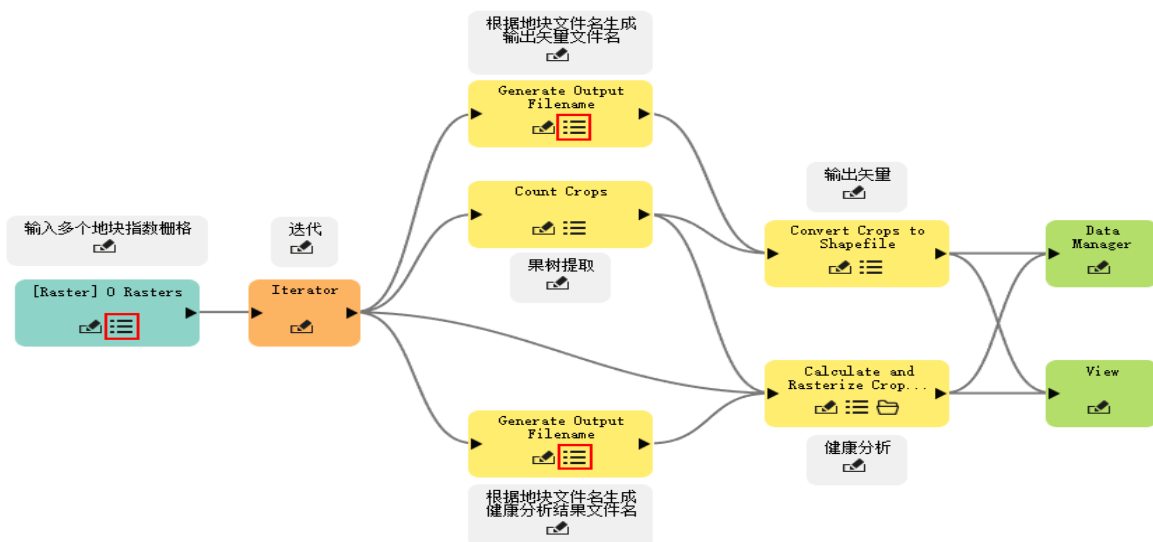


Рис. 6. ENVI Modeler. Логическая модель площадного определения информации о плодовых деревьях (выполнено Жун С.)

ENVI предоставляет возможность использования множество аналитических инструментов для обработки данных ДЗЗ, включая расчет вегетационных индексов, подсчет количества культур и мониторинг вредителей и болезней. Продвинутое функции обработки изображений в ENVI помогают определять зоны поражения болезнями, оценивать состояние здоровья растительности и отслеживать циклы роста культур, определять расположение каждого садового дерева или кустарника, что дает возможность проводить более детальный анализ, например, расчет плотности и мониторинг роста плодовых деревьев.



Рис. 7. Результаты пакетной экстракции плодовых деревьев (выполнено Жун С.)

Такие результаты анализа критически важны для управления садами при определении стратегий полива, внесения удобрений и контроля за вредителями и болезнями, что не только повышает эффективность управления садами, но и способствует здоровому росту плодовых деревьев, улучшая их продуктивность.

Библиографические ссылки

1. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. Учебное пособие. М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2001. 228 с.
2. Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В. Аэрокосмические методы географических исследований. Учебное пособие. М., 2011. 416 с.
3. ENVI 5.6. Release Notes – NV5 Geospatial [Electronic resources]. 2023. URL: <https://www.nv5geospatialsoftware.com> (date of access: 01.11.2023).
4. Топаз А. А., Шестаков Н. А. Цифровая обработка космических снимков : электронный учебно-методический комплекс для специальности: 1-31 02 03 «Космоаэрокартография» / БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. геодезии и космоаэрокартографии. Минск : БГУ, 2023. 95 с.
5. Carlson R. E. A trophic state index for lakes // Limnol. Oceanog. 1977. № 22 (2). P. 361–369.
6. Черепанов А. С. Вегетационные индексы // ГЕОМАТИКА. 2011. № 2. С. 98–102.

УДК 004.942

СОЗДАНИЕ ОПЕРАТИВНЫХ ЦИФРОВЫХ 3D-КАРТ ОЦЕНКИ РИСКА НА ОСНОВЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В АКВАТОРИИ ПОРТА

Е. П. Истомин, И. А. Мартын, Я. А. Петров, Е. С. Новожилова

Российский государственный гидрометеорологический университет, ул. Воронежская, 79, 192007, г. Санкт-Петербург, Россия, irma_martyn@mail.ru

Исследована проблема создания оперативных цифровых карт оценки риска наступления опасного явления на основе превышения заданного параметра ветровых волн на акватории порта. Цифровые карты представлены в формате 3D-карт для анализа в трехмерном пространстве. Апробация модели проводилась на акватории порта бухта Пяти Охотников и успешно прошла верификацию.

Ключевые слова: оценка рисков; картография; 3D-моделирование; ветровое волнение.

CREATION OF OPERATIONAL DIGITAL 3D RISK ASSESSMENT MAPS BASED ON HYDROMETEOROLOGICAL FACTORS IN THE PORT AREA

E. P. Istomin, I. A. Martyn, Ya. A. Petrov, E. S. Novozhilova

Russian State Hydrometeorological University, 79 Voronezhskaya str., 192007, St. Petersburg, Russia, irma_martyn@mail.ru

The problem of creating operational digital maps of the risk assessment of the occurrence of a dangerous phenomenon based on exceeding a given parameter of wind waves in the water area of the port is investigated. Digital maps are presented in the format of 3D maps for analysis in three-dimensional space. The model was tested in the waters of the port of Five Hunters Bay and successfully verified.

Keywords: risk assessment; cartography; 3D modeling; wind waves.

В работе используется, разработанная авторами, нестационарная двухмерная гидростатическая модель распространения волнения на замкнутой прибрежной акватории, в среде разработки Borland Delphi 7. При разработке модели вводится допущение, что море конечной глубины, т. е. глубина моря сопоставляется с длиной волны, параметр $kH \approx 1$. Модель, содержит уравнения движения и неразрывности, в которых учитывается возможная не гидростатичность динамики ветровых волн

$$\begin{aligned}\frac{du}{dt} &= -g \frac{dz}{dx} \\ \frac{d\vartheta}{dt} &= -g \frac{dz}{dy} \\ \frac{du}{dx} + \frac{d\vartheta}{dy} &= -\frac{k}{th(kh)} \frac{dz}{dt},\end{aligned}$$

где u, w – горизонтальная и вертикальная составляющая скорости; t – время; x, z – горизонтальные и вертикальные координаты; ρ – стандартная плотность воды; g – ускорение силы тяжести; k – волновое число.

Граничные условия для твердых боковых границ устанавливаются в виде условия непротекания:

$$(U \cdot n) = 0,$$

где U – вектор скорости; n – нормаль к боковой границе.

На жидкой боковой границе задается условие пропускания, заданное с помощью импедансного соотношения:

$$u = \frac{g}{c} z,$$

где c – фазовая скорость.

На поверхности $z=0$ задается отсутствие касательного напряжения трения ветра, на дне задается условие прилипания для горизонтальных составляющих скорости.

В качестве апробации гидродинамической модели разработана программа на ЭВМ в среде разработки Borland Delphi 7 на языке программирования Delphi для порта бухта Пяти Охотников Японского моря при штормовом ветре южного направления на период расчета 24 часа. Исходные данные массива глубин предоставлены непосредственно службами порта, как результат гидроакустической съемки. Данные представлены для прямоугольной сетки размерами 420x400 узлов с пространственным разрешением по вертикали 2 м и 1 м по горизонтали. Выбор метеорологических характеристик (параметров ветра) проводился с региональных баз Гидрометцентра России.

В результате анализа методик оценки риска разрабатывается методика оценки риска с возможностью расчета математического ожидания времени наступления опасного явления для замкнутой прибрежной акватории на основе двухпараметрической вероятностной модели при известных начальных значениях параметров (рис. 1).

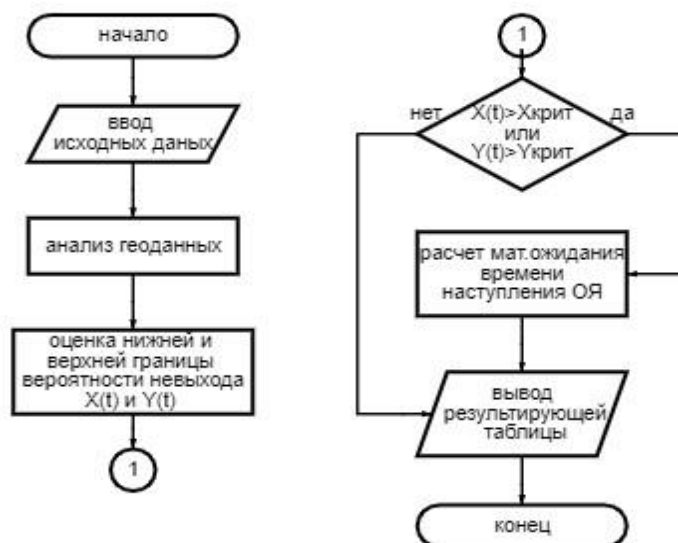


Рис. 1. Методика обеспечения безопасности деятельности морских объектов на замкнутых прибрежных акваториях

По расчетам под влиянием конфигурации рельефа дна и заданных характеристик ветра представлены карты пространственно-временного распределения высоты волн, скорости распространения волнения (рис. 2) и максимальной амплитуды высоты поверхности.

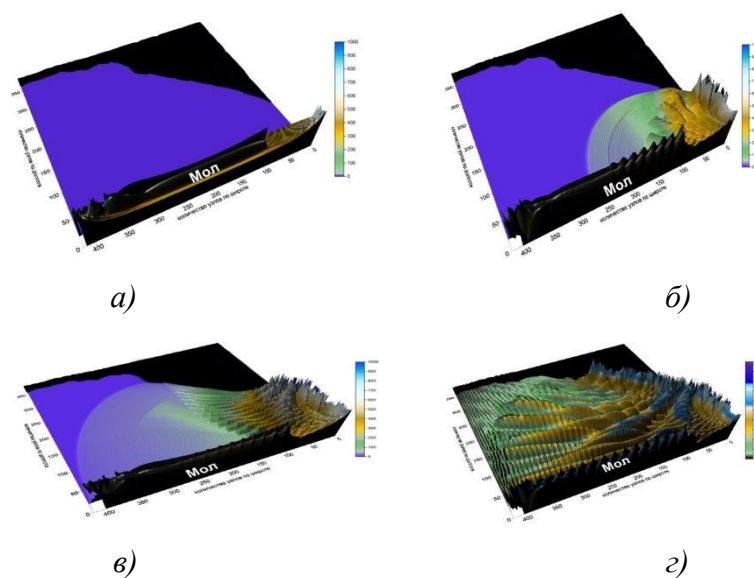


Рис. 2. Распределение возмущения уровня (мм) спустя: а) – 1 минуту; б) – 6 минут; в) – 12 минут; з) – 30 минут

Результаты, полученные по модели, не противоречат физическим законам. Верификация модели по натурным данным показала адекватность модели при уровне значимости 95 %, что говорит о возможности практического применения данной модели, а полученный характер динамических процессов может быть использован при дальнейшем освоении порта и оперативном гидрометеорологическом и геоинформационном обеспечении.

Библиографические ссылки

1. Мартын И. А. Моделирование волновых процессов на замкнутых акваториях мелководных районов / Истомин Е. П., Михеев В. Л., Петров Я. А. // Геоинформатика. 2021. № 3. С. 30-35.
2. Мартын И. А. Геомоделирование предельного усиления цуга волн при выходе на шельф / Истомин Е. П., Михеев В. Л., Петров Я. А. // Информация и космос. 2021. № 3. С.78-85.
3. Истомин Е. П., Петров Я. А., Мартын И. А. Моделирование поля течений и уровня моря с применением программного комплекса Cardinal // Геоинформатика. 2023. № 2. С. 26-31.
4. Sidorenko A., Petrov Y., Istomin E., Stepanov S., Martyn I. GIS conceptual model as a modern tool in the Arctic navigation // В сборнике: International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021. Switzerland, 2022. С. 1273-1280.

УДК 528.914+ 65.011.56

КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОВЕРКИ ПРОХОЖДЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. Б. Кафтанчикова, Д. А. Барсуков

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, Беларусь, abkaft@rambler.ru*

В работе рассмотрено демаркационное картографирование в Беларуси. Изучены карты территории Беларуси, методы картографирования. Сделаны выводы о значимости картографирования, понимании ее современного положения и перспективах последующего развития. А также определены критерии картографического оформления проверки прохождения Государственной границы Республики Беларусь.

Ключевые слова: демаркация; проверка прохождения; белорусско-латвийская граница; схема расположения листов демаркационной карты.

CARTOGRAPHIC SUPPORT FOR CHECKING THE STATE BORDER OF THE REPUBLIC OF BELARUS

A. B. Kaftanchikova, D.A. Barsukov

*Belarusian State University, Independence Ave., 4, 220030,
Belarus, abkaft@rambler.ru*

The work examines demarcation mapping in Belarus. Maps of the territory of Belarus and mapping methods have been studied. Conclusions are drawn about the importance of mapping, understanding its current situation and prospects for its subsequent development. The criteria for cartographic design of checking the passage of the State Border of the Republic of Belarus are also defined.

Keywords: demarcation; check of passage; Belarusian-Latvian border.

Главным признаком образования и существования любого государства и его суверенитета прежде всего есть четко определенная территория, пределы которой и являются государственной границей. Одним из важнейших условий гарантирования мира и безопасности в современном мире, а также реализации принципов международного права, на основе которого строятся взаимоотношения между странами, есть незыблемость государственных границ. Установление справедливых, с точки зрения

каждого государства, границ предполагает учет таких основных принципов международного права, как целостность и неприкосновенность государственной территории.

Под государственной границей Республики Беларусь понимается линия и проходящая по этой линии вертикальная поверхность, определяющие пределы территории Республики Беларусь (суши, вод, недр, воздушного пространства). [5, с. 3]

Рассмотрим некоторые особенности картографического обеспечения белорусско-латвийской государственной границы.

Договор между Правительством Латвийской Республики и Правительством Республики Беларусь о режиме латвийско-белорусской государственной границы подписан 10 апреля 2013 г. Вступил в силу 4 февраля 2014 г. В договоре отражены вопросы содержания государственной границы.

Демаркационная карта создается в соответствии с требованиями, установленными СМДК (масштаб, разграфка, размер листов, проекция, система координат и т. д.). Масштаб демаркационной карты должен обеспечить достаточно высокую точность прохождения границы, это, как правило, 1:10 000 или 1: 25 000, более мелкие масштабы на этапе демаркации границы не обеспечивают однозначно бесспорный перенос границы с карты на местность. [1, с. 15]

Демаркационная карта создается как минимум в двух экземплярах на государственных языках сопредельных государств.

Демаркационная карта должна:

- не вызывать разночтений в определении демаркационной линии границы;
- обеспечивать четкую читаемость демаркационной линии границы на всем протяжении.

Демаркационная линия границы должна однозначно и с максимальной точностью отображать:

- все выражающиеся в масштабе карты повороты границы;
- государственную принадлежность островов на реках, озерах, водохранилищах и иных водных объектах;
- государственную принадлежность инженерно-технических сооружений и иных трансграничных объектов с учетом территорий, необходимых для их обслуживания и эксплуатации. [2, с.11]

Демаркационная карта должна обеспечивать:

- охват территории, по которой проходит государственная граница
- отображение всех объектов местности, обеспечивающих привязку пограничных знаков;
- отображение физико-географических условий местности, по которой проходит государственная граница;

- геометрическую точность, достаточную для проведения картометрических работ (определений координат, расстояний и площадей) в принятом масштабе;

- соответствие ситуации, изображенной на демаркационной карте, ситуации на местности.

Ширина отображаемой полосы местности достаточна по 1 км в каждую сторону от государственной границы. [1, с. 23]

Целесообразно демаркационную карту создавать на основе материалов специально выполненной аэрофотосъемки ((иных видов съемки местности) – далее аэрофотосъемка). [5, с. 34]

С течением времени возникает необходимость проверки прохождения государственной границы. В современных условиях развития геодезии и картографии в мире, целесообразно провести редемаркацию. То есть, проверку прохождения белорусско-латвийской государственной границы целиком, а не только водного участка.

В целях выполнения картографического обеспечения был разработан макет Схемы расположения листов. Остановимся подробнее на процессе создания.

К основным требованиям относятся:

1. Схема должна уместиться на один лист.
2. Содержание Схемы должно предоставлять информацию о местоположении границы, а также листов демаркационной карты.
3. Схема должна соответствовать всем требованиям, предъявляемым к демаркационным документам.
4. Составляется в окончательном варианте в альтернатах и национальных языках.
5. Местоположение листов демаркационной карты должно соответствовать координатам углов рамок этих листов.
6. Схема составляется с учетом отображения пограничных и трансграничных объектов.
7. Наименования географических объектов подписываются на топографической карте:

- на территории Республики Беларусь на белорусском языке;
- на территории Латвии на латвийском языке.

В качестве вторых названий те же наименования географических объектов на территории Республики Беларусь подписываются на латвийском языке, на территории Латвии — на белорусском языке.

Разработанная Схема составлена в масштабе 1:200 000 (выполнение п. 1 требований). На листе показаны рамки и номенклатуры листов масштаба 1:100 000 для удобства работы с другими картографическими материалами.

Схема составлена в универсальной топографической проекции Меркатора (обусловлено переходом в настоящее время к подготовке демаркационных документов в общепринятых и наиболее распространенных проекциях и системах координат) на эллипсоиде WGS 84, балтийской системе высот 1977 г, 35 зона с осевым меридианом 27° (рисунок).



Схема расположения листов демаркационной карты

С целью «осовременивания» демаркационных документов выполняются:

- уточнение общей геодезической сети с последующим переуравнением;
- уточнение координат пограничных знаков;
- обновление демаркационной карты и протоколов пограничных знаков.

Для выполнения работ за основу предположительно будут взяты:

- масштаб 1:10 000;
- система координат WGS-84 (проекция UTM);
- Балтийская система высот 1977 г.;
- высота сечения рельефа – 2,5 м.

Разграфка листов топографической карты — свободно оптимизированная (минимальное количество листов топографической карты государственной границы).

Для выполнения измерений рекомендована Международная общеземная система отсчета ITRS.

Так же предполагается изменение размера Альбома карты. Размер листа буде 610*420 мм, в альбомном формате. Размер карты будет 380(высота)*540(ширина) мм. Это позволит сократить число листов карты с 40 до 30. [6, с.10]

Исходя из вышеизложенного, была разработана данная Схема. Полученный результат может быть использован СМДК для сокращения финансовых и временных затрат.

Библиографические ссылки

1. ГКНП 21-06-2010 Инструкция о геодезическом и картографическом обеспечении демаркации Государственной границы Республики Беларусь.
2. *Билич Ю. С., Васмут А. С.* Проектирование и составление карт // Учебник для вузов. М.: Недра, 1984.
3. ГКНП 05-003 2010 Руководство по картографическим и картоиздательским работам.
4. Делимитация и демаркация государственных границ в регионе ОБСЕ. Актуальные вопросы и способы их решения.
5. *Архинов А. И.* Формирование государственной границы Беларуси // Беларуская Думка Минск: Администрации Президента Республики Беларусь, 2018–№5 – С. 98-102
6. *Архинов А. И.* Установление и содержание государственной границы Республики Беларусь (1991-2010гг.)-Орша: Оршанская типография, 2011.

УДК 528.7:004.94

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Е. В. Кварацхелия, С. В. Тюрин

*Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб.,
д. 7–9, 199034, Санкт-Петербург, Россия, katyakvaracheliya@gmail.com*

В статье освещается тема использования данных воздушного лазерного сканирования в задачах планирования и оптимизации беспроводных сетей сотовой связи. Авторы рассматривают недостатки традиционных методов планирования, которые не учитывают комплексное влияние городских условий на распространение сигнала. Статья акцентирует внимание на необходимости использования данных воздушного лазерного сканирования для получения детальных данных о рельефе, растительности, строениях, дорожной сети и др.

Ключевые слова: воздушное лазерное сканирование; планирование беспроводных сетей связи; цифровые модели местности.

USING AIRBORNE LASER SCANNER DATA FOR CELLULAR NETWORK PLANNING

E. Kvaracheliya, S. Tyurin

*St Petersburg University, 7/9 Universitetskaya Emb., 199034, St Petersburg, Russia,
katyakvaracheliya@gmail.com*

This article highlights the topic of using airborne laser scanning data in the tasks of planning and optimizing wireless cellular networks. The author examines the disadvantages of traditional planning methods that do not take into account the complex influence of urban conditions on signal propagation. The article focuses on the need to use airborne laser scanning to obtain detailed data on terrain, vegetation, buildings, road network, etc.

Keywords: aerial laser scanning; planning of wireless communication networks; digital terrain models.

Эффективное планирование и оптимизация сетей требуют учета множества факторов, включая географические, топографические и урбанистические характеристики местности. Именно здесь воздушное лазерное сканирование (ВЛС) представляет перспективный инструмент, способный внести существенный вклад в развитие и усовершенствование беспроводных сетей сотовой связи.

Традиционные методы планирования беспроводных сетей часто основываются на упрощенных цифровых моделях местности (ЦММ) и не учитывают множество важных аспектов, таких как: рельеф, растительность и грунты, строения, дорожная сеть и другие препятствия, влияющие на распространение сигнала.

Это может приводить к неоптимальному размещению оборудования, ухудшению качества связи и повышенным затратам на обслуживание и модернизацию сети.

Особенно актуально применение ВЛС в городских условиях, где плотная застройка, разнообразие архитектурных форм и динамичное изменение ландшафта создают сложные условия для распространения сигнала. ВЛС позволяет детально анализировать условия, определять «мертвые зоны» и эффективно планировать размещение элементов сети для их устранения. Это способствует повышению уровня доступности и качества связи, что является ключевым фактором в условиях повышающейся конкуренции между операторами связи.

Внедрение ВЛС в процесс планирования и оптимизации беспроводных сетей открывает новые перспективы для операторов связи, позволяя не только улучшить качество услуг, но и существенно снизить затраты на развертывание и обслуживание сетевой инфраструктуры. Однако, несмотря на значительные преимущества, применение ВЛС сталкивается с рядом вызовов, включая необходимость в высококвалифицированных специалистах для обработки и анализа больших объемов данных, а также вложений в специализированное оборудование и программное обеспечение.

Внедрение ВЛС открывает новые возможности для повышения эффективности и устойчивости инфраструктуры сетей связи.

Анализ линий видимости — это ключевой аспект при планировании сетей сотовой связи, который напрямую влияет на способность антенн передавать и принимать сигналы. В контексте планирования сетей связи представляют интерес два вида распространения сигнала: в условиях прямой видимости (LOS — Line of Sight) и в условиях отсутствия прямой видимости (NLOS — Non Line of Sight) [1]. В условиях городской застройки характерно отсутствие прямой видимости. Всегда присутствуют многократные отражения сигнала от зданий и иных сооружений, поглощение зданиями, листвой деревьев и т. п.

В пределах прямой видимости основными факторами, негативно влияющими на качество приема электромагнитных волн, являются:

- потери в свободном пространстве;
- состояние атмосферы;
- наличие отражающих объектов;
- эффект Доплера;
- шумы и др. [2]

Распространение сигнала в условиях отсутствия прямой видимости (NLOS — Non Line of Sight) представляет собой ситуацию, когда сигнал между передатчиком и приемником (например, между базовой станцией и мобильным устройством) препятствует физическое препятствие, такое как здания, холмы, деревья или другие объекты. В таких условиях сигнал может достигать приемника не напрямую, а обходя препятствия через различные феномены, такие как дифракция, отражение и рассеяние.

Распространение сигнала в NLOS условиях часто сопровождается увеличением задержек, уменьшением скорости передачи данных и повышением уровня ошибок из-за множественных путей распространения и интерференции. Это может существенно ухудшить качество связи и требует использования различных технических решений для улучшения приема, таких как адаптивная антенная решетка, MIMO (Multiple Input Multiple Output) [3] технологии, а также усовершенствованные алгоритмы обработки сигнала [4].

Для учета NLOS условий при планировании сетей связи используют сложные модели распространения сигнала, которые могут включать статистические данные о плотности застройки, типах растительности и других характеристиках местности [5]. Данные ВЛС могут значительно повысить точность этих моделей, предоставляя детализированную информацию о физических препятствиях на местности.

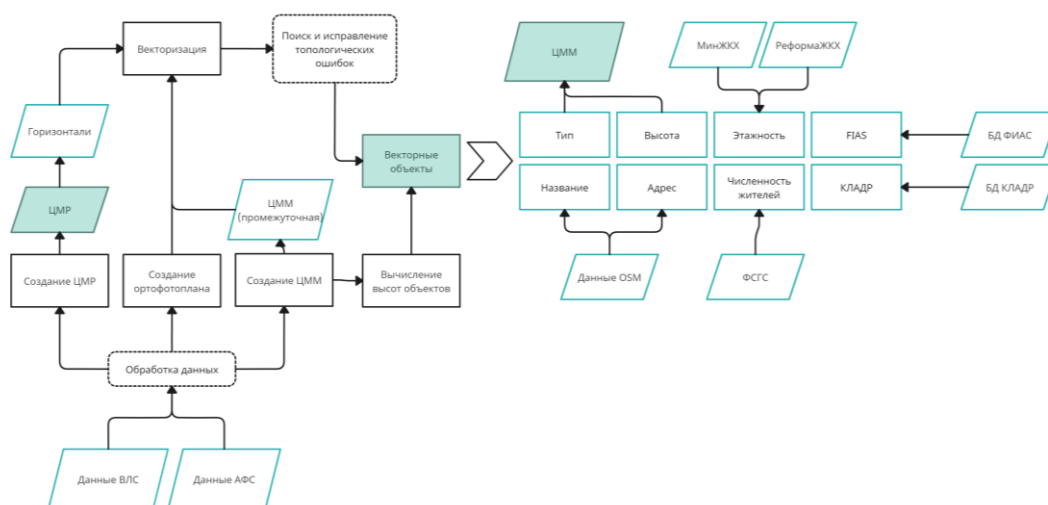
Данные ВЛС при совместном использовании с аэрофотосъемкой (АФС) позволяют с высокой точностью определить:

- 1) как высоту местности, так и высоту объектов, которые могут стать помехами для распространения сигнала;
- 2) тип растительности, который может значительно влиять на проникновение сигналов, особенно на более низких частотах (ВЛС позволяет оценить плотность и высоту растительности на изучаемой территории);
- 3) типы застройки и строений. Здания могут отражать или поглощать сигналы, материалы, из которого они построены имеют различные свойства отражения и поглощения радиоволн.

Интеграция вышеупомянутых данных позволяет создавать полные модели местности (цифровые модели как местности, так рельефа) и «клаттерные» модели, которые включают в себя типы инфраструктуры и ландшафты, их состав, высоты, в случае со строениями тип (жилой/нежилой, численность жителей) и т. д. Это включает в себя анализ потенциальных точек для установки антенн, пути распространения сигнала и возможные зоны помех.

В нашем случае для создания таких наборов данных в состав аэрофотосъемочного оборудования входили камера Leica RCD30 и лазерный сканер Leica ALS80.

На следующей блок-схеме представлены этапы работы над созданием модели местности на примере векторных объектов зданий (рисунок).



Технологическая схема создания ЦМР, ЦММ и «клаттерных» моделей

Рассмотрим подробнее каждый из этапов.

1. Процесс начинается с обработки исходных данных. Данные ВЛС обеспечивают ЦМР и ЦММ. Вместе с данными АФС, по которым необходимо построить ортофотопланы, они составляют основу для дальнейшей обработки.

2. Создание ЦМР. ЦМР используются для расчета высоты местности и создания горизонталей и являются основой для определения линий видимости и зон покрытия сети.

3. Векторизация и создание ЦММ. После создания ЦМР следует векторизация, при которой растровые данные преобразуются в векторный формат, удобный для анализа и редактирования. На этом этапе также создаются цифровые модели местности (ЦММ), которые включают в себя информацию о зданиях, растительности и других объектах.

4. Поиск и исправление топологических ошибок. Этот шаг включает проверку и исправление ошибок в данных, что важно для точности последующего моделирования сети.

5. Следующий шаг — комплексная обработка данных, включая анализ высоты объектов и других параметров, необходимых для планирования сети. Высота объектов, тип, название, адрес и другие атрибуты векторных объектов используются для создания подробной карты местности.

6. Интеграция с внешними базами данных. Для уточнения и дополнения данных о местности производится сбор данных из внешних источников, таких как ФИАС (Федеральная информационная адресная система) и

КЛАДР (Классификатор адресов России) для поиска уникальных идентификаторов объектов, из ресурсов МинЖКХ и Реформа ЖКХ собираются данные об этажности, ФСГС (Федеральная Служба Государственной Статистики) предоставляет данные о численности населения, названия объектов и адреса импортируются из OSM (OpenStreetMap) из других открытых источников.

Таким образом ВЛС обеспечивает исключительную точность в определении характеристик местности, что позволяет с высокой долей уверенности моделировать распространение сигнала и определять оптимальные позиции для базовых станций и антенн. Такой подход гарантирует значительное повышение качества связи, позволяя преодолевать «мертвые зоны» и адаптироваться к сложным городским условиям.

Анализ LoS и NLoS условий с использованием данных ВЛС и АФС дает возможность создать полную модель местности, что является краеугольным камнем для планирования беспроводных сетей нового поколения. Комбинируя ВЛС с другими данными, появляется возможность создания точных моделей, которые учитывают не только физические объекты, но и динамические и социальные факторы городской среды.

Библиографические ссылки

1. *Фокин Г. А.* Позиционирование в условиях отсутствия прямой видимости с использованием цифровых моделей местности // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Том 13. № 11. С. 4-13.
2. *Гармонов А. В.* Основы теории мобильной и беспроводной связи: учеб. пособие / А.В. Гармонов. Воронеж: ФГБОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011. 173 с.
3. Технологии ММО в мобильных сетях нового поколения / И. В. Федоренко, А. А. Нерсисянц, А. И. Мясникова. // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2011. № 1. С. 29-32.
4. Системы ММО: принципы построения и обработка сигналов / В. И. Слюсар. // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2005. № 8. С. 52-58.
5. *Битнер В. И.* Нормирование качества телекоммуникационных услуг: учебное пособие для вузов / В. И. Битнер, Г. Н. Попов. Горячая линия – Телеком, 2009. 312 с.

УДК 504.064.37:528.8

ВЫЯВЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРЫ КЛАССОВ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ОРШАНСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Д. А. Кислицын

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

В статье изложены результаты выявления особенностей структуры классов земельного покрытия Оршанской возвышенности на основе комплексного использования данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий. Цель исследования: проведение анализа структуры земельного покрытия Оршанской возвышенности в рамках сельсоветов и определение участков луговых земель, на которых за период с 2000 по 2023 гг. произошло зарастание древесно-кустарниковой растительностью.

Ключевые слова: земельное покрытие; автоматизированное дешифрирование; Оршанская возвышенность; рельеф; обнаружение изменений.

IDENTIFICATION OF FEATURES OF THE STRUCTURE OF LAND COVER CLASSES OF THE ORSHA UPLAND BASED ON REMOTE SENSING DATA

D. A. Kislitsyn

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

The article presents the results of identifying the features of the structure of land cover classes in the Orsha Upland based on the integrated use of remote sensing data and GIS technologies. The purpose of the study is to analyze the structure of land cover in the Orsha Upland within the framework of selsoviets and identify areas of meadow lands on which for the period from 2000 to 2023 overgrowth with trees and shrubs occurred.

Keywords: land cover; automated interpretation; Orsha Upland; relief; change detection.

Актуальность темы исследования в значительной степени обусловлена тем, что почвы и растительность являются одним из ключевых компонентов природно-ресурсного потенциала любой территории. На основе результатов автоматизированного дешифрирования космоснимков можно выявить основные тренды по изменению классов земельного покрытия с

учетом их пространственного распределения, а также оценить структуру землепользования на различных уровнях (в рамках районов, сельсоветов).

Теоретические и прикладные аспекты автоматизированного дешифрирования космоснимков Landsat для изучения динамики земельного покрова подробно описаны в зарубежном обзоре [1]. Результаты автоматизированного дешифрирования космоснимков Landsat использованы для оценки пространственно-временной структуры природно-антропогенных ландшафтов Белорусской возвышенной провинции [2]. Анализ процессов автоматизации контролируемой классификации космоснимков на основе использования модели геообработки в среде ArcGIS, созданной в ModelBuilder и Erdas Imagine Analysis Tools, и оценка точности для различных методов классификации представлены в статье А. В. Ольшевского [3]. Пространственно-временной анализ индекса NDVI для различных ландшафтов на территории Брестского и Гомельского Полесья приведен в исследованиях В. А. Мороза [4] и А. П. Гусева [5] соответственно.

Для изучения особенностей структуры классов земельного покрытия выбрана территория Оршанского, Толочинского и Сенненского районов Витебской области, которые составляют основную часть Оршанской возвышенности. Для проведения исследования использовались космоснимки Landsat 7 и Landsat 9 (28.05.2000, 20.05.2023), которые имеют уровень обработки Collection 2 Level 2. Использование дополнительных космоснимков Landsat 7 и Landsat 9 (август-сентябрь 2002 г. и 2020–2022 гг. соответственно) для вычисления минимальных значений индекса NDVI позволило более точно разделить пахотные и луговые земли. Автоматизированное дешифрирование на основе метода максимального правдоподобия выполнено нами в ENVI 5.3. На основе применения авторской модели геообработки, которая включает в себя различные инструменты из групп «Spatial Analyst» и «Конвертация», проведена постклассификационная обработка классифицированного раstra и его автоматическая векторизация.

При анализе космоснимка серии Landsat 7 нами были выделены 8 классов объектов с учетом видов и групп видов земель, а также гидроморфизма почв. Морфометрические показатели рельефа, такие как вертикальное расчленение (в м/км²) и уклон (в градусах), а также значения индекса NDVI использовались для уточнения различных классов земельного покрытия. При проведении автоматизированной обработки космоснимка Landsat 9 было выделено 10 классов объектов, в том числе два дополнительных класса объектов на основе информации о морфометрии рельефа и вегетационного индекса NDVI: лесные земли и под древесно-кустарниковой растительностью (ДКР) на овражно-балочной сети, реке на обрывах; пахотные земли на эродированных почвах.

Следует отметить, что за период с 2000 по 2023 гг. произошло заметное уменьшение площади луговых земель, которое обусловлено зарастанием древесно-кустарниковой растительностью наименее продуктивных участков естественных луговых земель, а также связано с отнесением при классификации части улучшенных луговых земель, которые подверглись в этот период перезалужению, к пахотным землям. Для определения участков лесных земель и под ДКР, которые возникли на месте луговых земель за период с 2000 по 2023 гг., нами был использован «Мастер обнаружения изменений» в ArcGIS Pro 3.0. Затем выполнена генерализация векторных контуров для отображения только тех участков, которые имеют площадь более 3 га. Общая площадь луговых земель, на которых за исследуемый период произошло зарастание древесно-кустарниковой растительностью, составляет около 13 354 га, а наибольшие площади характерны для Сенненского района (6 553 га), что обусловлено более низким кадастровым баллом и мелкоконтурностью луговых земель.

Сельскохозяйственные земли на гидроморфных почвах имеют тенденцию к уменьшению доли от общей площади исследуемой территории (от 3,1 % в 2000 г. до 1,8 % в 2023 г.). Уровень сельскохозяйственной освоенности изменяется от 41,8 % для Сенненского района до 55,4 % для Оршанского района. Удельный вес лесных земель и под ДКР на автоморфных и полугидроморфных почвах от общей площади сельсовета превышает 68 % для Ореховского и Богущевского сельсоветов, в то же время два сельсовета в Оршанском районе имеют очень низкий удельный вес данного класса объектов (около 9-10 %): Крапивенский и Борздовский. Лесные земли и под ДКР на гидроморфных почвах вследствие особенностей рельефа занимают небольшие площади и в основном представлены в юго-западной части Толочинского района (в Славновском сельсовете — 11,5 % от общей площади сельсовета), а также на северо-востоке Оршанской возвышенности в Ореховском и Богущевском сельсоветах. Населенные пункты, коммуникации и дороги характеризуются относительно высоким удельным весом (от 9,5 % до 16,3 %) для 7 сельсоветов Оршанского района. Высокий (более 50 %) удельный вес пахотных земель на автоморфных и полугидроморфных почвах характерен для 7 сельсоветов в Оршанском районе и 2 сельсоветов в Толочинском районе, что в основном обусловлено высоким баллом кадастровой оценки сельскохозяйственных земель. Пахотные земли на эродированных почвах в основном приурочены к долинам рек Днепр и Адров в окрестностях Орши, и для 5 сельсоветов Оршанского района доля данного класса объектов превышает 3 %. Лесные земли и под ДКР на овражно-балочной сети, реже на обрывах, в основном расположены в Крапивенском, Заболотском и Андреевщинском сельсоветах, где их удельный вес составляет порядка 1,0-1,6 % (рис. 1).

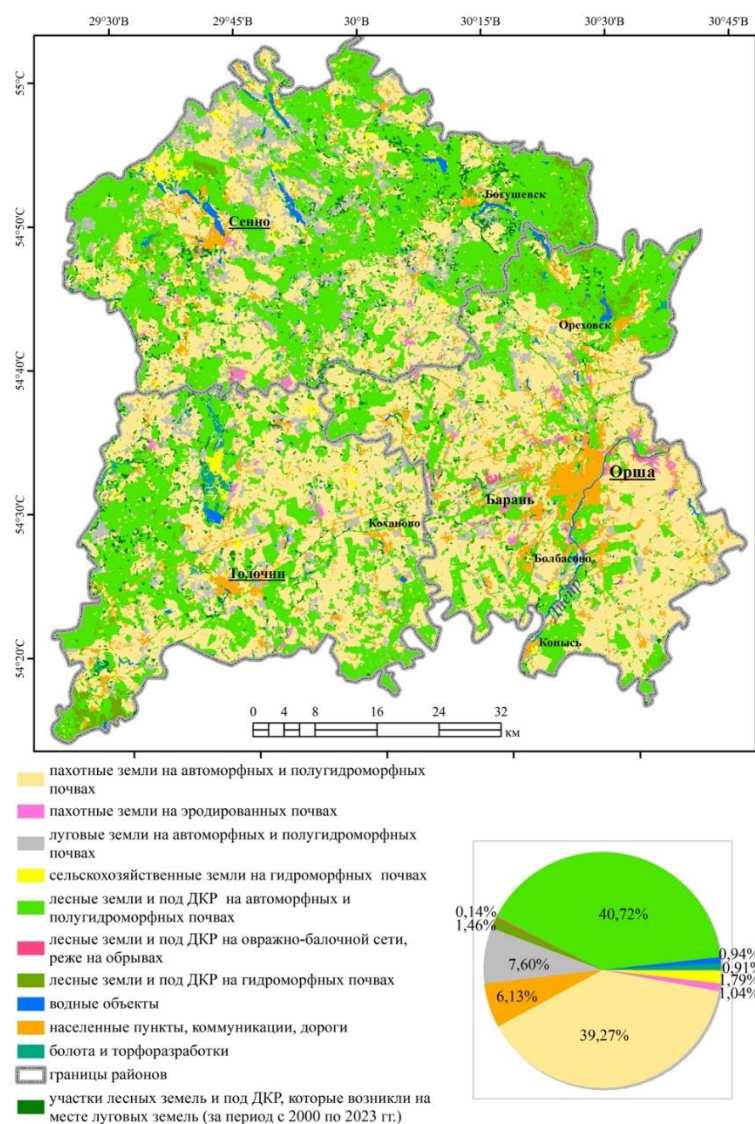


Рис. 1. Карта-схема структуры земельного покрытия Оршанской возвышенности в 2023 г. (на основе космоснимка Landsat 9)

Сенненский район характеризуется более высоким удельным весом луговых земель на автоморфных и полугидроморфных почвах по сравнению с Оршанским и Толочинским районами (Ходцевский и Студенковский сельсоветы имеют удельный вес данного класса объектов 25,2 % и 15,4 % соответственно) (рис. 2).

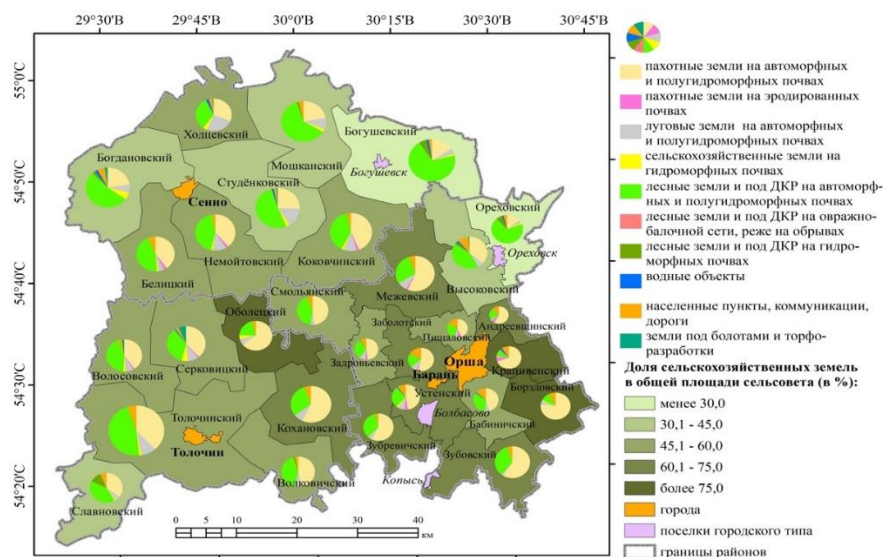


Рис. 2. Картодиаграмма структуры земельного покрытия по сельсоветам Оршанской возвышенности в 2023 г. (на основе Landsat 9)

Таким образом, для комплексного изучения структуры и динамики классов земельного покрытия необходимо использовать новейшие методики с применением геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования, что позволит оперативно выявлять процессы деградации почвенного покрова с последующим их картографированием.

Библиографические ссылки

1. Phiri D., Morgenroth J. Developments in Landsat land cover classification methods: A review // Remote Sensing. 2017. № 9 (967).
2. Скачкова А. С., Курлович Д. М. Природно-антропогенные ландшафты Белорусской возвышенной провинции: классификация, пространственная структура, районирование // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2017. № 1. С. 3–13.
3. Ольшевский А. В. Разработка геоинформационной модели автоматизированной классификации многозональных космических снимков // Земля Беларуси. 2013. № 1. С. 36–39.
4. Мороз В. А. Оценка эффективности землепользования на основе анализа вегетационных индексов (на примере модельных полигонов Брестского Полесья) // Природные ресурсы. 2018. № 2. С. 5–13.
5. Гусев А. П. Изменения NDVI как индикатор динамики экологического состояния ландшафтов (на примере восточной части Полесской провинции) // Вестник ВГУ, Серия: География. Геоэкология. 2020. № 1. С. 101–107.

УДК 528.931.2

ПРОБЛЕМЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. В. Кочетова, Д. А. Игнатенко

*Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб.,
7/9, 199034, г. Санкт-Петербург, Россия,
st110592@student.spbu.ru, st110672@student.spbu.ru*

На примере р. Северной Двины рассмотрены проблемы использования геоинформационных технологий при работе с гидрографическими данными и пути их решения. Авторами исследованы направления от получения исходных данных (особенности работы с цифровой моделью местности высокого пространственного разрешения), до измерения объектов гидрографии (алгоритм для определения длин линий по дугам окружностей) и их корректного автоматизированного отображения (алгоритм для визуализации по нескольким параметрам).

Ключевые слова: получение гидрографических данных; ArcticDEM; длины извилистых линий; картометрия в ГИС; визуализация гидрографической сети; автоматизированное отображение гидрографии.

THE ISSUES OF MAPPING AND MEASURING HYDROGRAPHIC OBJECTS USING GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

A. V. Kochetova, D. A. Ignatenko

*Saint-Petersburg State University, Universitetskaya embankment, 7/9, 199034,
Saint Petersburg, Russia, st110592@student.spbu.ru, st110672@student.spbu.ru*

This article examines the challenges associated with utilizing geoinformation technology when working with hydrographic data and suggests some solutions. The Northern Dvina River is used as an example in the study. The authors investigated the several research directions: from obtaining initial data (aspects of working with a digital terrain model of high spatial resolution are highlighted) to measuring hydrography (an algorithm for determining the lengths of lines by circular arcs) and their correct automated selection (an algorithm for tapered visualization).

Keywords: obtaining hydrographic data; ArcticDEM; arc lengths; cartometry in GIS; hydrographic network visualization; tapered hydrography.

Векторная гидрографическая основа — необходимый элемент электронных карт и атласов. Ее используют для проведения гидрологических

исследований и гидрографических расчетов, для пространственно-временного моделирования речных систем, в том числе для автоматизированного определения порядка водотоков сети и др. Поэтому предъявляются высокие требования к достоверности и соответствию объектов своему реальному положению в пространстве.

В статье изложен опыт применения геоинформационных технологий для работы с гидрографическими объектами на примере р. Северной Двины. В результате проведенных исследований, сформулированы основные проблемы в этой области.

1) *Сложности получения исходных векторных гидрографических данных.* Большинство векторных гидрографических основ создаются путем автоматизированного выделения водотоков по глобальным цифровым моделям местности (ЦММ) и цифровым моделям рельефа (ЦМР). При этом, полученные гидрографические данные не соответствуют требованиям, предъявляемым к цифровой картографической основе [1]. Одной из причин является недостаточно высокое пространственное разрешение (30 м).

С течением времени в открытом доступе стали появляться более подробные данные о рельефе некоторых территорий, а с ними и новые задачи. Результаты обработки региональной ЦММ высокого пространственного разрешения ArcticDEM [2] в целях извлечения векторной гидрографической основы, позволяют сделать следующие выводы:

- полученная модель характеризуется нарушением целостности потока (рис. 1). В некоторых местах наблюдаются ложное положение русла или нереалистичные (угловатые) формы;

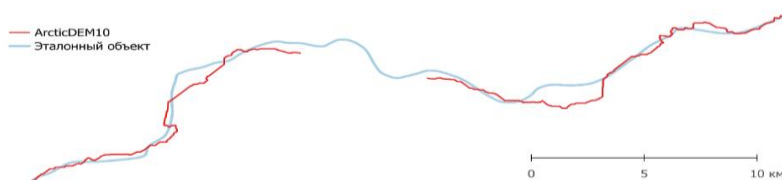


Рис. 1. Сравнение выделенного по ArcticDEM водотока с эталонным объектом

- причин возникновения ошибок может быть несколько. Во-первых, ЦММ, в отличие от ЦМР, включает значения высот растительности, зданий и других объектов, т. е. истинный рельеф искажен. Во-вторых, алгоритм извлечения водотока основан на вычислении направления стока по уклону, а Северная Двина — это равнинная река, с незначительными перепадами высот. Чем выше пространственное разрешение, тем меньше разница высот между соседними пикселями. В-третьих, исходные данные могут содержать ошибки и неточности, которые сложно идентифицировать;

- важным моментом является процедура оценки точности как исходного растрового слоя, так и векторной основы. В первом случае необходимо иметь эталонную поверхность, чтобы вычислить горизонтальную и вертикальную точность, значения которой производителем ArcticDEM не оценены [3]. Данная информация в таком крупном масштабе также недоступна. Во втором случае отсутствует система оценки, как таковая. Один из наиболее распространенных оцениваемых показателей — это длина реки. В рамках данной работы вручную был создан эталонный объект участка р. Северной Двины, протяженность которого составляет 664 км [4]. Но из-за нарушения целостности водотока, выделяемого по ArcticDEM, возможности сравнения с эталонным объектом ограничены.

2) *Измерение длин с помощью картометрических инструментов геоинформационных систем.* Использование автоматизированных инструментов измерений является одним из основных направлений исследований. В качестве примера рассмотрим одну из наиболее простых, но при этом важных характеристик — длину водотока.

Водотоки в природе имеют плавные очертания. В геоинформационных системах (ГИС) они зачастую представлены в виде сопряженных отрезков. Даже в случае визуализации линейных объектов в виде кривых, измерения проводятся по ломаным линиям, как было выяснено авторами в предыдущей работе [5]. Среди причин можно выделить как отсутствие замкнутой формы решения интеграла, определяющего длину кривой (к примеру, для кубических кривых Безье), так и сложность и нецелесообразность вычисления длин кривых, для которых такие решения возможны.

Однако можно учесть опыт измерений по аналоговым картам: существуют методы, позволяющие определить длину извилистой линии с помощью описания её дугами окружностей. Взяв данную идею за основу, можно через каждые три точки на измеряемой линии провести окружность, радиус (r) которой при умножении на угол между крайними точками в радианах (α) позволит рассчитать длину дуги (рис. 2).

Протяженность водотока, измеренная данным способом, неизбежно имеет большие значения, ввиду сглаживания очертаний — 667 км (относительно 664 км для эталонного объекта, измеренного ломаными линиями). Данный способ позволяет учесть сглаженные формы природных объектов: избежать расчетов как по ломаным линиям (срезающим часть дуги по прямой), так и по истинным кривым (требующим сложных вычислений).

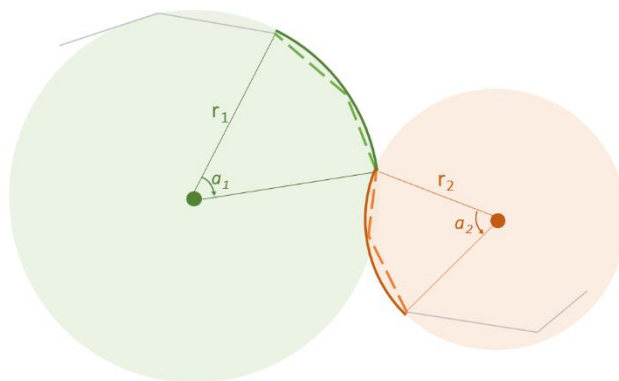


Рис. 2. Схема расчета длины сегментов через дуги окружностей

3) *Отображение иерархии речных систем средствами ГИС.* При автоматизированном картографировании речных систем в ГИС объекты гидрографии либо имеют одинаковое обозначение, либо варьируются по цвету и/или толщине линии в зависимости от их порядка. Это, в лучшем случае, позволяет учитывать лишь иерархию притоков, но недостаточно хорошо отображает направление их течения.

Предлагается способ, позволяющий задать рекам еще и направление (рис. 3). Первоначально, каждый сегмент водотока преобразовывается в отдельный линейный объект. Затем линии переводятся в полигоны путем задания буфера, уникального по ширине для каждого сегмента:

$$B = k \cdot \frac{1}{(Or+1)} \cdot \log_{10} L \cdot \frac{N}{C},$$

где B – ширина буфера, задаваемого для конкретного сегмента линии; k – пользовательский (масштабный) коэффициент; Or – порядок водотока; L – длина водотока; N – порядковый номер конкретного сегмента; C – общее количество сегментов водотока.

Таким образом, ширина каждого сегмента варьируется в зависимости от порядка водотока, его длины и участка течения (отношение данного сегмента к общему количеству сегментов водотока).

Так, разработанные алгоритмы определения порядка водотоков и отображения речных систем позволяют существенно сократить время, затрачиваемое на подготовку гидрографической основы для карт: вместо ручной обработки каждого водотока данная задача решается запуском программного модуля в QGIS.

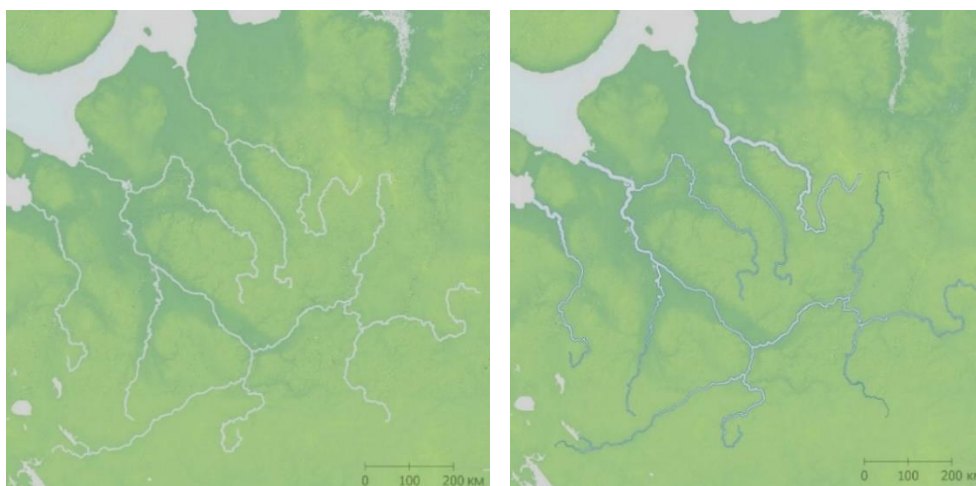


Рис. 3. Автоматизированное отображение гидрографических объектов без учета (слева) и с учетом (справа) иерархии и направления течения водотоков

В итоге выявлены проблемы инструментария ГИС при работе с гидрографическими объектами, а также разработаны новые приемы.

1. Изучены возможности автоматизированного выделения гидрографических объектов по ЦММ высокого пространственного разрешения.

2. Исследованы возможности измерения длин рек как ломанными отрезками, так и с помощью дуг окружностей.

3. Разработан и апробирован программный модуль для отображения иерархии речных систем.

Библиографические ссылки

1. СТО ГГИ 52.08.48–2020. Выбор цифровой картографической основы для определения гидрографических характеристик. Санкт-Петербург: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ») Росгидромет, 2020. 83 с.

2. Porter C., et al. ArcticDEM, Version 4.1 // Harvard Dataverse, V1. 2023. DOI: 10.7910/DVN/3VDC4W.

3. PGC DEM Products – ArcticDEM, REMA, and EarthDEM. 2023 [Electronic resource]. URL: <https://www.pgc.umn.edu/guides/stereo-derived-elevation-models/pgc-dem-products-arcticdem-rema-and-earthdem/> (date of access: 01.02.2024).

4. Распоряжение от 19 декабря 2002 г. № 1800–р «Об утверждении Перечня внутренних водных путей Российской Федерации с изменениями на 19 июля 2022 г.» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901836096> (дата обращения: 10.02.2024).

5. Игнатенко Д. А., Кочетова А. В. Проблема измерения длин извилистых линий в геоинформационных системах на примере р. Северная Двина // Сборник материалов участников XIX Большого географического фестиваля, Санкт-Петербург, 7–9 апр. 2023 г. С.724–729.

УДК 528.914+ 65.011.56

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ РЕЛЬЕФА

В. В. Кравченко, А. Б. Кафтанчикова

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, Беларусь, vctrkrvchnk1406@gmail.com, abkaft@rambler.ru*

Изучены способы автоматической генерализации и возможности редактора ГИС «Панорама», выполнена работа по построению карты рельефа.

Ключевые слова: генерализация рельефа; автоматическая генерализация; ГИС «Панорама»; геоинформационные системы; крупномасштабные карты; обработка данных.

AUTOMATIC TERRAIN GENERALIZATION

V. V. Kravchenko, A. B. Kaftanchikova

*Belarusian State University, Independence Ave., 4,
2203030, Belarus, vctrkrvchnk1406@gmail.com, abkaft@rabler.ru*

The methods of automatic generalization and the capabilities of the GIS editor «Panorama» have been studied, work has been done on the construction of a relief map.

Keywords: terrain generalization; automatic generalization; GIS «Panorama»; large-scale maps; data processing.

Под генерализацией понимается отбор и обобщение изображаемых на карте объектов и явлений соответственно назначению, масштабу, содержанию карты и особенностям картографируемой территории [1,2]. Смысл генерализации состоит в передаче на карте основных, типичных черт объектов, их характерных особенностей и взаимосвязей.

Генерализация проявляется в обобщении качественных и количественных характеристик объектов [6], замене индивидуальных понятий собирательными, отвлечении от частных и деталей для показа главных черт пространственного размещения [3].

Генерализация дает составителю карты возможность определить: сколько объектов действительности и каких размеров может быть нанесено на составляемую карту (рис. 1), какие именно объекты и какие именно подробности должны быть отображены [4].

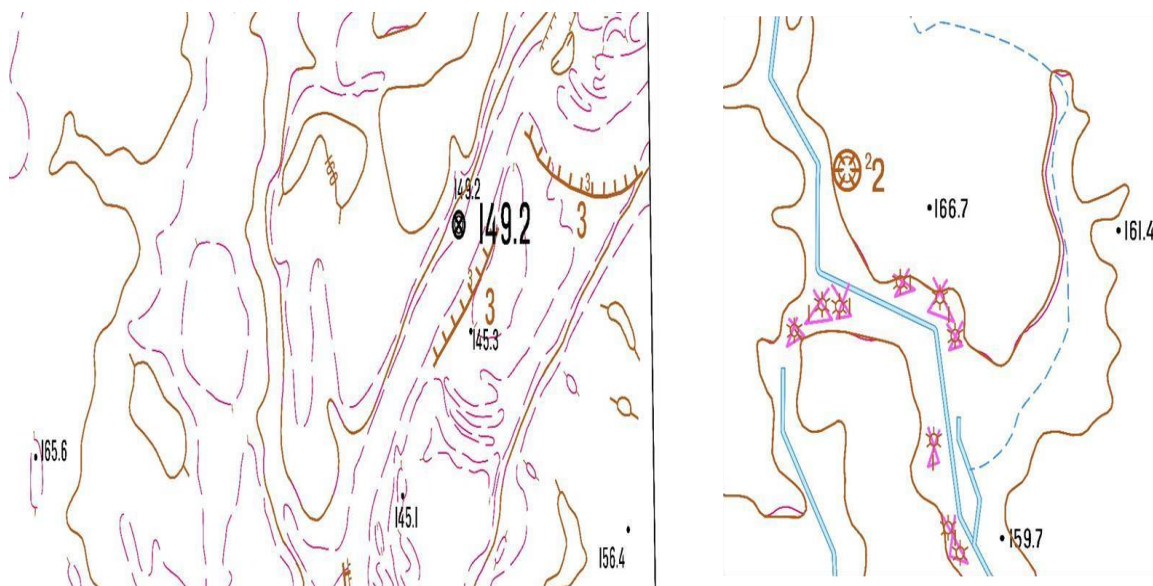


Рис.1. Отбор горизонталей и полугоризонталей. Генерализация объектов малой площади

Процесс преобразования карты состоит из ряда этапов:

- 1) формирование номенклатурного листа карты производного масштаба;
- 2) формирование математической основы;
- 3) перекодировка объектов;
- 4) генерализация опорных пунктов;
- 5) генерализация гидрографии и гидротехнических сооружений;
- 6) генерализация населенных пунктов;
- 7) генерализация рельефа;
- 8) генерализация кварталов;
- 9) генерализация объектов малой длины или площади;
- 10) свodka со смежными листами.

Формирование номенклатурного листа карты производного масштаба выполняется в каталоге исходной карты с именем, соответствующим номенклатуре производного листа. По окончании формирования номенклатурного листа производного масштаба выполняется создание математической основы [5].

При перекодировке объектов выполняется смена классификатора карты. Производная карта формируется во вложенном каталоге исходной карты (Тороген). Имя паспорта карты сохраняется. Например, исходная карта с именем `c:\Data\N-36-121.map` сохраняется с именем `c:\Data\Topogen\N-36-121.map`.

Дальнейшая обработка выполняется в том же каталоге (Topogen). При выполнении генерализации населенных пунктов автоматически создается служебная карта с расширением SIT.

При выполнении каждого этапа, следующего после формирования математической основы, автоматически сохраняются резервные копии производной и служебной карт в формате SXF. Имя SXF-файла соответствует имени MAP-файла с добавлением номера копии (с:\Data\Topogen\N-36-121_1.sxf). Номер копии соответствует порядковому номеру выполненного этапа генерализации. Порядок выполнения этапов, с указанием времени начала выполнения записывается в журнал регистрации процессов генерализации (диалог Параметры генерализации).

Восстановление данных на момент начала выполнения одного из предыдущих этапов производится в диалоге Параметры генерализации. Для выбора точки восстановления необходимо выделить строку в журнале регистрации процессов генерализации и нажать кнопку «Восстановить». Таким образом обеспечивается возможность повторной обработки карты с изменением входных параметров, а также восстановление карты в непредвиденной ситуации [1].

Восстановление данных на момент начала выполнения перекодировки не требуется, так как состояние производной карты, полученной по окончании формирования номенклатурного листа, при выполнении следующих этапов генерализации сохраняется. Для возврата к началу перекодировки необходимо открыть соответствующую карту в исходном каталоге.

Процедура перекодировки используется для смены классификатора карты. При этом выполняется настройка таблиц соответствия ключей объектов и кодов семантических характеристик классификатора исходной карты ключам объектов и кодам семантических характеристик классификатора производной карты [1].

При первом открытии диалога перекодировки выполняется автоматическое заполнение левой части таблиц только теми объектами, которые не имеют соответствующего ключа в классификаторе производной карты. Правая часть таблиц (список объектов классификатора производной карты) заполняется в ручном режиме.

При отсутствии ключа объекта классификатора производной карты код объекта сохраняется. Такие объекты при отображении на экране с применением нового классификатора принимают вид служебных объектов (лилового цвета) и выводится сообщение об ошибке в протокол ошибок.

Для выявления пар объектов, имеющих одинаковые ключи, но разные названия (виды), используется Контрольная таблица объектов. При выявлении такой пары объектов необходимо перенести объект левой части Контрольной таблицы объектов в Таблицу объектов (перенос объекта

выполняется при помощи контекстного меню, открывающегося при нажатии правой клавиши мыши на строке Контрольной таблицы объектов). Активизировать Таблицу объектов и выбрать объект классификатора производной карты (двойной клик мыши в правой части таблицы) [1].

Для выявления пар семантических характеристик, имеющих одинаковые коды, но разные названия, используется Контрольная таблица семантик. При выявлении такой пары семантических характеристик необходимо перенести семантическую характеристику левой части Контрольной таблицы семантик в Таблицу семантик (перенос семантической характеристики выполняется при помощи контекстного меню, открывающегося при нажатии правой клавиши мыши на строке Контрольной таблицы семантик). Активизировать Таблицу семантик и выбрать семантическую характеристику классификатора производной карты в правую часть таблицы [1].

Контрольные таблицы открываются при включении кнопки Показать контрольную таблицу в закладках диалога Таблица объектов и Таблица семантик. Таблицы соответствия ключей объектов и кодов семантических характеристик сохраняются в файле с расширением IRC.

В процессе генерализации рельефа выполняется: удаление или преобразование горизонталей, удаление бергштрихов удаленных горизонталей, удаление подписей удаленных горизонталей, удаление или преобразование точечных объектов с абсолютной высотой.

В процессе обработки некоторые горизонталы могут быть удалены или преобразованы к горизонталям другого типа. Типы обрабатываемых горизонталей содержатся в закладках диалога: Утолщенные, Основные, Дополнительные, Вспомогательные.

При обработке горизонталей запрашивается значение высоты из семантики, код которой задан параметром диалога Код семантики Абсолютная высота.

При удалении горизонталей малой длины и площади используются параметры, заданные в группе Условия удаления изолинии: минимальная длина, минимальная площадь, удалять изолинии на рамке листа.

При преобразовании типа горизонталей обеспечивается преемственность места расположения горизонтали.

Метрика полученных горизонталей может быть сглажена. Для этого при настройке параметров следует задать Коэффициент сглаживания (число, большее 0 и меньшее 1, рекомендуемое значение 0,5). При нулевом значении коэффициента сглаживание метрики не выполняется [2].

В процессе генерализации объектов малой длины или площади обрабатываются линейные и площадные объекты карты. Степень малости длины определяется установленной в параметрах задачи характеристикой Минимальная длина объекта (в миллиметрах на карте), степень малости

площади — характеристикой Минимальная площадь объекта (в миллиметрах на карте). При обработке объектов выполняются следующие процессы:

1. сшивка линейных незамкнутых объектов малой длины;
2. сшивка площадных объектов малой площади;
3. замена типа линейных и площадных объектов на точечные объекты.

Близлежащие линейные незамкнутые объекты малой длины одного типа и площадные объекты одного типа сшиваются. Сшивка линейных объектов выполняется при размещении в допуске близости между концевыми точками метрик (характеристика Максимальное расстояние сшивки линейного объекта). Сшивка площадных объектов выполняется при размещении в допуске близости самих объектов (характеристика Максимальное расстояние сшивки площадного объекта).

Несшитые объекты малой длины или площади преобразуются в точечные объекты в соответствии с таблицей перекодировки. Таблица перекодировки содержится в файле с расширением ISM.

Сводка номенклатурных листов электронной карты подразумевает программно-визуальный контроль и редактирование сведений об объектах, выходящих на рамку с целью определения однозначных, согласованных характеристик смежных объектов в соответствии с правилами цифрового описания.

После выполнения прикладной задачи Сводка смежных листов (Задачи / Запуск приложений) средствами редактора векторной карты производится визуальный анализ результатов обработки. При наличии сообщений об ошибках сводки, устраняются причины, вызвавшие эти сообщения и выполнение процедуры повторяется. При наличии сообщений об ошибках сводки, устраняются причины, вызвавшие эти сообщения. По окончании устранения ошибок сводки выполнение процедуры повторяется.

В ходе работы посредством программы ГИС «Панорама» была изучена технология автоматической генерализации и преобразована карта масштаба 1:50 000 в карту масштаба 1:100 000.

Карта рельефа масштаба 1:50 000 была создана самостоятельно, благодаря данным, которые предоставило предприятие «Белгеодезия» (рис. 3), затем данная карта преобразована с помощью технологии автоматизированной генерализации, применяемой на производстве в ГП «Белгеодезия».

На отдельных фрагментах карты отображены: отметки высот; рельеф местности, элементы гидрографии и гидротехнических сооружений (рис. 2), а также основные изменения, происходящие после автоматической генерализации рельефа местности (рис. 2) с объектами малой длины или площади [5].

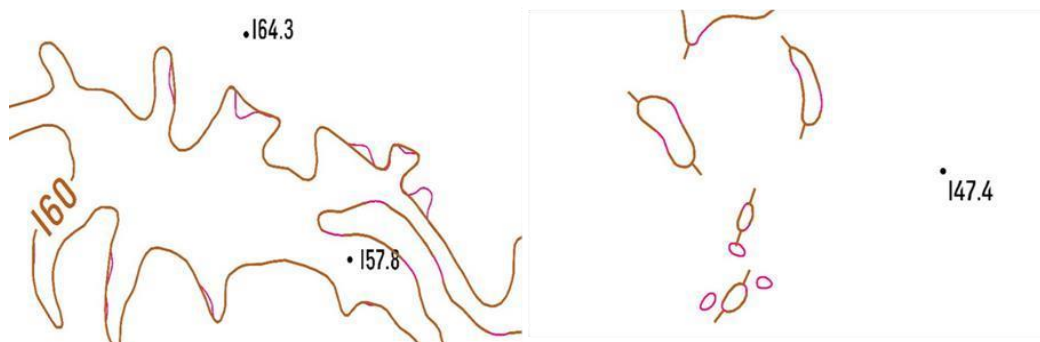


Рис. 2. Сглаживание горизонталей и отбор бергштрихов

В ходе работы посредством программы ГИС «Панорама» была изучена технология автоматической генерализации и преобразована карта масштаба 1:50 000 в карту масштаба 1:100 000. Карта рельефа масштаба 1:50 000 была создана самостоятельно, благодаря данным, которые предоставило предприятие «Белгеодезия» (рис. 3), затем данная карта преобразована с помощью технологии автоматизированной генерализации, применяемой на производстве в ГП «Белгеодезия». Результатом работы является карта масштаба 1:100 000 в формате MAP, SIT, SITX (рис. 3).



Рис. 3. Карта рельефа

Данная работа позволила расширить знания и практические навыки в области геодезии, картографии, обработки данных, а также подчеркнула актуальность использования современных технологий. Также раскрывает методику работы в редакторе ГИС Панорама 14 версии и технологию автоматической генерализации рельефа.

Библиографические ссылки

1. Берлянт, А. М. Картография. Москва: Аспект-Пресс, 2002. 336 с.
2. Билич, Ю. С., Васмут А. С. Проектирование и составление карт: Учебник для вузов. М.: Недра, 1984. 364 с.
3. Багратуни Г. В. Инженерная геодезия: Учебник для вузов / Багратуни Г. В., Ганьшин В. И., Данилевич Б. Б. и др. 3-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1984. 344 с.
4. Большакова В. Д. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве. Под ред. В. Д. Большакова. М., «Недра», 1976, 335 с.
5. Востокова, А. В., Кошель, С. М., Ушакова, Л. А. Оформление карт. Компьютерный дизайн: Учебник/под ред. Востоковой А.В.М.: АспектПресс, 2002. 288 с.
6. Дементьев В. Е. Современная геодезическая техника и ее применения: Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е. М.: Академический Проект, 2008. 591 с. (Фундаментальный учебник).

УДК 528.7/.8:630*585

О ТОЧНОСТИ АВТОНОМНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ КООРДИНАТ НАВИГАЦИОННЫМИ GPS-ПРИЕМНИКАМИ

О. В. Кравченко¹⁾, А. П. Романкевич²⁾, А. А. Топаз²⁾

¹⁾УО «Белорусский государственный технологический университет»,
ул. Свердлова, 13А, 220006, г. Минск, Беларусь, ov.kravchenko@belstu.by

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, rom.bsu@mail.ru, topaz_antonina@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы оценки точности автономных определений координат навигационными приемниками Garmin GPSmap 60C и Etrex 30. Приведены результаты точности координатных определений в стандартном режиме и с подключением функции приема сигналов со спутников EGNOS. Сделаны предложения по повышению точности и надежности результатов спутниковых измерений.

Ключевые слова: автономное позиционирование; навигационный GPS-приемник; координаты пунктов; погрешности измерений; оценка точности измерений.

ON THE ACCURACY OF AUTONOMOUS DETERMINATIONS OF COORDINATES BY NAVIGATION GPS-RECEIVERS

O. V. Kravchenko¹⁾, A. P. Romankevich²⁾, A. A. Topaz²⁾

¹⁾Belarusian State Technological University, st. Sverdlova, 13A,
220006, Minsk, Belarus, ov.kravchenko@belstu.by

²⁾Belarusian State University, Independence Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, rom.bsu@mail.ru, topaz_antonina@mail.ru

The article discusses the issues of assessing the accuracy of autonomous coordinate determinations by Garmin GPSmap 60C and Etrex 30 navigation receivers. The results of the accuracy of coordinate determinations in standard mode and with the connection of the function of receiving signals from EGNOS satellites are presented. Proposals have been made to improve the accuracy and reliability of satellite measurement results.

Keywords: autonomous positioning; navigation GPS receiver; point coordinates; measurement errors; assessment of measurement accuracy.

Выполнение геодезических измерений с применением GPS-оборудования имеет существенные преимущества перед традиционными методами наземных геодезических измерений. Такие методы дают возможность автоматизировать процесс сбора измерений, исключают необходимость прямой видимости между пунктами, позволяют выполнять наблюдения в любую погоду, как в дневное, так и в ночное время и др.

В зависимости от класса точности спутниковых приемников, их количества координатные определения выполняют относительными или автономными методами позиционирования.

В учебном освоении спутниковых съемок студенты знакомятся с методами автономного и относительного позиционирования. Относительное позиционирование по праву считается наиболее точным. Автономное же позиционирование — менее точный метод определения координат пунктов. Однако, после того как в мае 2000 г. был отменен режим «селективного доступа» сигналов спутников GPS точность автономных определений координат значительно повысилась и достигла уровня, достаточного для решения многих производственных задач.

Целью исследований является анализ точности результатов автономных определений координат навигационными приемниками Garmin GPSmap 60C и Etrex 30.

Эти недорогие навигационные устройства GPS-позиционирования допустимо использовать в процессе проведения учебных практик по геодезическим дисциплинам. Таким образом студенты знакомятся с методом автономного позиционирования, ориентируются на местности, определяют координаты точек, принадлежащие границам различных контуров местности, производят плановую привязку аэрофото- и космических снимков.

GPSmap 60C фирмы Garmin это 12-ти канальный навигационный приемник, способный принимать дифференциальные поправки, непрерывно отслеживать и использовать до 12 спутников для расчета и обновления собственного местоположения. В приемниках ведется автоматическая запись текущей траектории, а также сохраняются 10 последних траекторий, что позволяет с легкостью повторить путь в любом из направлений. Каждый двухсторонний маршрут может включать до 50 точек. Данные, получаемые со спутников, один раз в секунду непрерывно обновляются [1].

Garmin Etrex 30 оснащен GPS-приемником, который поддерживает системы GPS и ГЛОНАСС. При использовании сигналов от спутников ГЛОНАСС на расчет местоположения требуется в среднем на 20 % меньше времени по сравнению с использованием одной системы GPS. При совместной работе двух систем GPS и ГЛОНАСС приемник может получать данные с 24 дополнительных спутников. Приемник имеет цветной 2,2-дюймовый дисплей с разрешением 176x220 пикселей, оснащен встроенным 3-осевым компасом, автономное время работы составляет 25 часов. При необходимости загрузки дополнительных карт предусмотрен слот для карт памяти microSD [2].

Для оценки точности автономного определения координат навигационными приемниками было выполнено определение координат опорных

пунктов учебного полигона в стандартном режиме и с подключением функции приема сигналов со спутников EGNOS.

В результате полевых измерений были получены координаты опорных пунктов в геоцентрической системе WGS-84.

Для оценки точности результатов автономных определений координат выполнили преобразование геоцентрических координат в местную систему координат учебного полигона. Сравнили координаты опорных пунктов из каталога координат с полученными значениями. На основании такого сравнения вычислили погрешности определений координат пунктов по формулам:

$$\begin{aligned} m_x &= X_{изм} - X_{ист} \\ m_y &= Y_{изм} - Y_{ист} \end{aligned} \quad (1)$$

где m_x , m_y – погрешности в определении положения пункта по осям координат; $X_{ист}$, $Y_{ист}$ – координаты пунктов из каталога координат; $X_{изм}$, $Y_{изм}$ – координаты, измеренные навигационными приемниками.

Аналогичным образом вычислили погрешности в определении положения пунктов, закоординированных навигационными приемниками с подключением функции приема сигналов со спутников EGNOS. Результаты оценки точности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Погрешности определения координат пунктов, м

№	Приемник GPSmap 60C				Приемник Etrex 30			
	стандартный режим		приема сигналов со спутников EGNOS		стандартный режим		приема сигналов со спутников EGNOS	
	m_x	m_y	m_x	m_y	m_x	m_y	m_x	m_y
1	5,19	4,53	4,23	7,45	1,86	7,73	8,38	4,12
2	8,07	7,24	0,65	10,42	1,16	5,19	3,45	9,78
3	5,68	11,79	7,89	10,14	1,55	6,75	9,36	10,45
4	1,5	4,81	14,52	8,12	8,3	6,59	11,33	6,70
5	6,46	5,92	0,95	9,54	7,67	0,22	5,28	16,56
	0,08	3,44	3,79	9,80	7,81	2,54	2,70	18,50
7	1,19	6,56	4,90	1,17	6,35	16,88	0,46	3,94
8	0,96	2,61	0,96	9,54	3,19	3,03	5,11	10,56
9	1,56	7,80	18,25	2,27	2,56	6,23	3,56	8,04
10	7,54	7,20	6,98	4,32	3,89	7,32	8,99	8,56
11	6,70	13,55	5,67	12,45	8,11	4,89	10,05	6,89
12	13,55	2,94	13,45	8,32	6,21	6,03	9,61	10,34

Средние квадратические погрешности по осям координат определили по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{[m_i^2]}{n}}, \quad (2)$$

где n – количество определяемых пунктов.

Средняя квадратическая погрешность положения пункта в плане рассчитана по формуле:

$$M_{x,y} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, \quad (3)$$

В результате получены следующие погрешности (табл. 2).

Таблица 2

Результаты оценки точности навигационных определений, м

Режим измерений	Приемник GPSmap 60C			Приемник Etrex 30		
	m_x	m_y	$M_{x,y}$	m_x	m_y	$M_{x,y}$
Стандартный режим	6,45	7,61	9,98	5,57	7,24	9,13
Прием сигналов со спутников EGNOS	7,88	8,46	11,56	7,33	10,41	12,74

Проанализировав данные табл. 1 и табл. 2 по результатам оценки точности положения пунктов, определенных навигаторами с подключением сигнала со спутников EGNOS можно с определенной долей уверенности сказать, что использование сигналов EGNOS не только не улучшает, а даже ухудшает точность определения координат. Это объясняется отсутствием на территориях нашей республики сети базовых станций, которые бы могли правильно и точно вычислять ионосферные задержки и через геостационарные спутники ретранслировать их пользователям. Передаваемые поправки псевдодальностей, измерены и вычислены для спутников, расположенных над территорией Европы.

Данные исследований свидетельствуют о том, что точность определения координат опорных пунктов навигационными приемниками, находится в пределах 9-10 м в плане, что вполне достаточно для выполнения привязки аэро- и космических снимков. Эти данные соответствуют данным приведенным в [3–5].

Если использовать для привязки материалов аэрокосмических съемок существующие планы или карты, то следует учитывать, что средняя

погрешность положения точек и контуров на таких картах и планах обычно составляет 0,75 мм в масштабе карты [3].

Например, точность определения контуров на топографической карте масштаба 1:50 000 соответствует на местности расстоянию в 30-40 м, а с использованием GPS-приемника дает точность в пределах 10 м. Причем точность определения координат опорных пунктов навигационными приемниками можно повысить путем выбора соответствующих мест расположения опорных точек, а при возможности и необходимости, с помощью незначительной расчистки этих мест от растительности.

Библиографические ссылки

1. Garmin GPSmap 60C. Руководство пользователя // Garmin. U.S.A. 2010. 96 с.
2. Обзор-тестирование Garmin eTrex 10/20/30 [Электронный ресурс]. URL:https://www.garmin.by/reviews/obzor_testirovanie_garmin_etrex_10_20_30/ Дата обращения: 25.01.2024.
3. Парахин С. В., Бейчук О. Н., Терентьева Л. С. Поиск пунктов ГГС с помощью навигационного приемника GPS и ГИС «Карта 2005» // Геопрофи. 2007. № 2. С.16-18.
4. Манович В. Н., Максимук В. В. Применение навигационных приемников GPS для построения цифровых карт и планов лесных ресурсов // Геопрофи. 2003. № 5. С. 7-8.
5. Кравченко О. В. Исследование точности автономных и относительных методов спутниковых определений координат под пологом древостоя // Труды БГТУ. Минск: БГТУ, 2014. С. 23-25.

УДК 528.7

СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, РЕКОНСТРУКЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

У. В. Кудрявцева, Л. А. Мицевич

*Государственное предприятие «Белгеодезия», пр. Машерова, 17,
220029, г. Минск, Беларусь, photogrammetry@geo.by, photogrammetry@geo.by*

В исследовании представлено применение стереофотограмметрических методов при решении отраслевых задач, основанных на наблюдении и измерении ориентированной пространственной модели (стереоскопической модели) местности, и получения количественных характеристик зданий и сооружений при их проектировании и мониторинге. Основным преимуществом дистанционного метода измерений является возможность оперативного получения точной метрической и семантической информации об объектах сложной конфигурации и возможность пространственного моделирования при выносе проектов в натуру.

Ключевые слова: фотограмметрия; стереомодель; стереофотограмметрические методы в строительстве; количественные характеристики; пространственное моделирование, проектирование в архитектуре; отраслевые задачи.

METHODS OF STEREOPHOTOGRAMMETRY FOR SOLVING PROBLEMS OF DESIGN, RECONSTRUCTION AND DETERMINING PARAMETERS OF CONSTRUCTION FACILITIES

U. V. Kudryavtseva, L. A. Mitsevich

*State enterprise «Belgeodeziya», Masherova Ave., 17,
220029, Minsk, Belarus, photogrammetry@geo.by*

The study presents the stereophotogrammetry methods in industry problem solving for obtaining quantitative characteristics of buildings and structures during their design and monitoring. The technics are based on observation and measurement of 3D spatial model (stereoscopic model), built on the remote sensing stereoscopic imagery. The main advantages of the remote measuring are the ability to obtain accurate metric and semantic information about complex configuration objects and the possibility of spatial modeling when projecting in situ.

Keywords: photogrammetry; stereo model; stereophotogrammetry for construction; quantitative characteristics; 3D spatial modeling, construction projects; industry objectives.

Для решения задач проектирования, реконструкции и определения параметров объектов строительства, необходима пространственная информация об исследуемой местности. Традиционным методом получения данной информации является выполнение наземной геодезической съемки, результатом которой является топографический план. Применение данных аэрокосмических съемок позволяет создавать точные фотограмметрические модели территории, при использовании которых с помощью стереотопографических методов могут решаться различные отраслевые задачи [1]. При расчете занимаемой сооружением площади без возможности проведения полевого обследования участка нередко измерения параметров объектов проводятся по аэроснимку или ортофотоплану. В таких случаях площадь измеряется по контуру крыш, что может значительно превышать реальную площадь здания, измеренную по углам фундамента, и привести к неточностям кадастровой информации. При измерении по ортофотоплану, выполненному в картографических проекциях с коэффициентом масштабирования, отличным от 1,0, количественные характеристики объектов могут значительно отличаться от реальных. Измерение параметров сложных по конфигурации строений и крыш при наземной геодезической съемке также становится затруднительной задачей.

При проектировании и расчете естественного освещения на этапе разработки новых или реконструкции существующих архитектурных объектов, используется комплекс специализированного программного обеспечения и плагинов, для работы в котором необходимо создание BIM-модели. Создание такой модели требует значительных затрат по времени и бюджету и предполагает наличие специалиста узконаправленного профиля. Поэтому большинство строительных организаций находят нерентабельным внедрение инновационной разработки и отдают предпочтение традиционным методам в виде чертежей [2].

При использовании фотограмметрических моделей, построенных по данным аэросъемки или космической съемки с учетом отраслевых требований к точности и детализации, появляется возможность достоверных измерений количественных параметров, визуальной оценки состояния объектов, создания проектов для отраслей строительства и архитектуры.

С применением ориентированных стереомоделей становится возможным определение и исправление реестровых (кадастровых) ошибок без необходимости проведения полевых работ. При наличии проекта по реконструкции объектов недвижимости количественные показатели (периметр, площадь, вертикальные размеры и т. п.), необходимые для выполнения оценки объема затрат на проведение реконструкционных работ также могут быть определены по результатам стереофотограмметрических методов измерений [3, 4].

В стереомодели участка земной поверхности, выбранного для строительства, предоставляется возможность проектирования естественного освещения строительных объектов при помощи моделирования падения солнечных лучей в заданное время и дату. Функция векторизации позволяет создавать точные модели зданий с возможностью оперативного изменения их конфигурации с учетом естественного рельефа местности в камеральных условиях. Для работ не требуется установка дополнительного комплекса программных продуктов. Таким образом, очевидными преимуществами методов измерения и трехмерного моделирования объектов в стереомодели являются существенная экономия времени и стоимости работ [5].

Для построения стереофотограмметрических моделей, представленных в исследовании, использована цифровая фотограмметрическая система (ЦФС) «PHOTOMOD» (Ракурс, РФ). С использованием инструментов цифровой стереофотограмметрической системы (ЦФС) «ИНСОТ» (УСГИК, РФ) достигается оптимальный переход между стереопарами и их автоматический подбор, что позволяет наблюдать объект с различных ракурсов и проводить измерения внешних контуров сооружений с высокой достоверностью в камеральных условиях.

При выполнении пространственных измерений по стереомодели и расчете количественных показателей объектов также учитываются параметры уклона, что позволяет получить наиболее точные пространственные данные.

На примере местности с сельскохозяйственной застройкой по стереомодели с точностью 35 см были проведены измерения площади объектов строительства (таблица):

- по периметру фундамента строения — в стереорежиме;
- по периметру крыши с коньком — по ортофотоплану.

Измерения площади объектов

Объект, № п/п	Площадь по фунда- менту, м ²	Площадь по коньку крыши, м ²	Разница в изме- рениях, м ²
1	204,60	239,29	34,69
2	104,13	135,52	31,39
3	152,38	194,06	41,68
4	130,01	157,07	27,06
5	107,00	134,83	27,83
6	229,11	296,79	67,68
7	344,96	379,74	34,78

Окончание таблицы

Объект, № п/п	Площадь по фунда- менту, м ²	Площадь по коньку крыши, м ²	Разница в измере- ниях, м ²
8	89,54	111,43	21,89
9	123,79	133,44	9,65
10	37,29	53,85	16,56
Среднее значение			30,95

Из измерений видна разность в площадях строений от 9,65 до 67,68 м², что может существенно исказить кадастровую информацию об объектах (рис. 1).

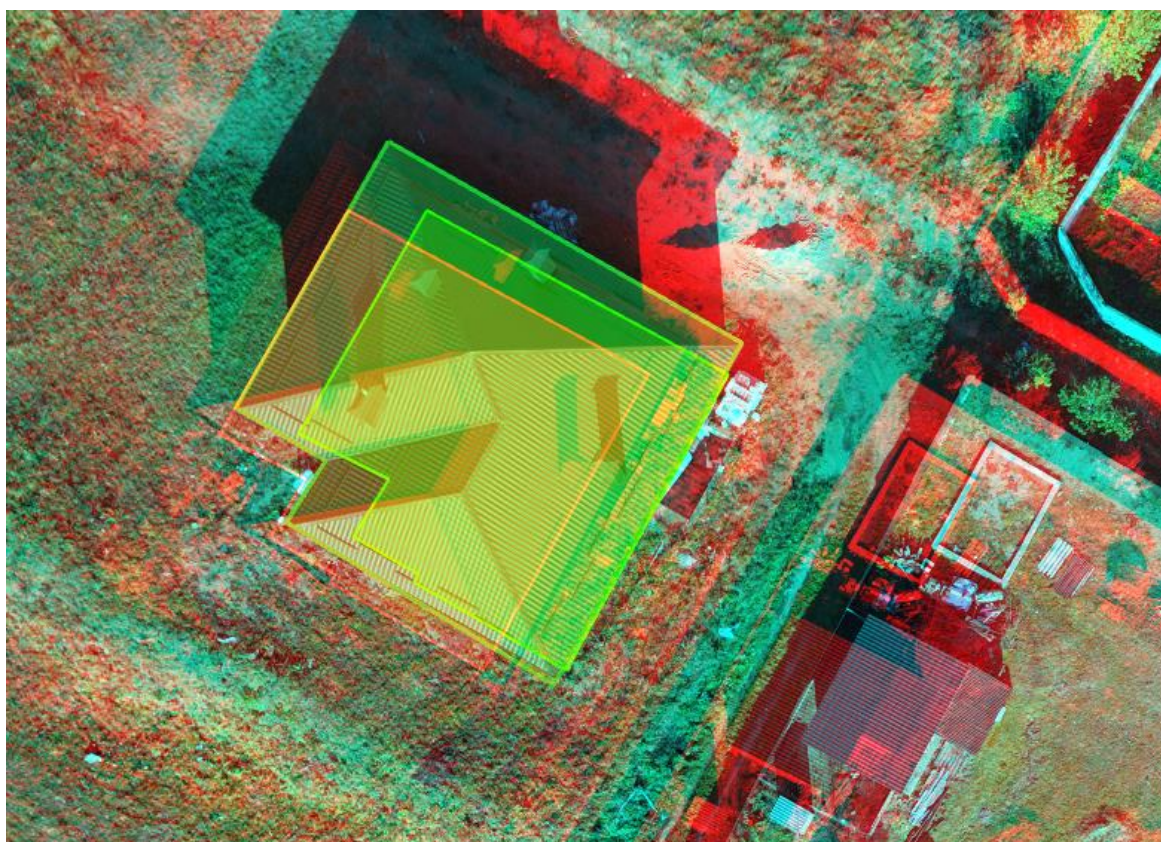


Рис. 1. Разница измерений по фундаменту и по коньку крыши

В целях демонстрации возможности проектирования естественного освещения строительных объектов с помощью функции векторизации смоделирован жилой квартал, объекты которого имеют разную высоту.

Для данной задачи выбраны дни зимнего и летнего солнцестояния — 22 декабря и 22 июня (рис. 2).

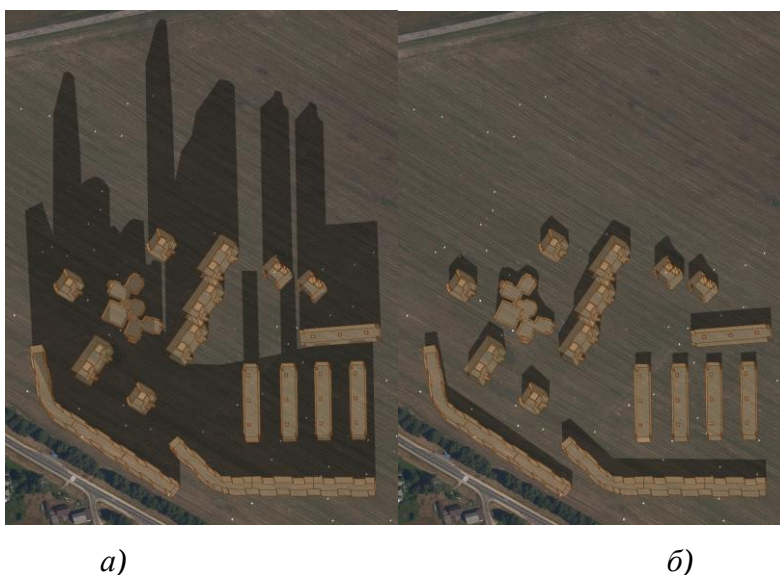


Рис. 2. Освещение квартала: а) – 22 декабря и б) – 22 июня в 12:00

Следуя вышеизложенному, можно сделать вывод, что при современном уровне развития аэрокосмосъемочных технологий и фотограмметрических методов обработки пространственных данных, становится рентабельным решение инженерных задач, ранее требующих существенных трудозатрат на полевые работы и применение комплекса программных продуктов. При учете требований к решению задач проектирования, реконструкции и определения параметров объектов строительства, стереофотограмметрические методы могут применяться со значительным улучшением качества результатов и снижением затрат на производство работ.

Библиографические ссылки

1. Федоров В. И. Инженерная аэрогеодезия: учебник для вузов // В. И. Федоров. М.: Недра, 1988. 212 с.
2. Яковлева С. А. Преимущества и недостатки использования BIM при проектировании // StudArctic forum. № 3 (7), 2017. С. 25.
3. Алябьев А. А., Кобзева Е. А., Литвинцев К. А. Фотограмметрический метод в кадастровых работах: цифровые стереомодели и ортофотопланы // Геопрофи, № 2, 2018. С. 4-8.
4. Литвинцев К. А. Применение стереомodelей для эффективного муниципального управления // International journal of Professional Science № 5, 2020. С. 96-100.
5. Мигалина И. В., Щепетков Н. И. Расчет и проектирование естественного освещения помещений: учебно-методические указания к курсовой расчетнографической работе // И. В. Мигалина, Н. И. Щепетков. М.: МАРХИ, 2011. 68 с.

УДК 004.94

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ЦИФРОВОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

У. В. Кудрявцева, А. П. Романкевич

¹Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4
220030, г. Минск, Беларусь, jk.tx2a@gmail.com, rom.bsu@mail.ru

Исследован функционал программного обеспечения (ПО) компании Autodesk (AutoCAD, Civil 3D, 3ds Max) для создания 3D-модели на основе высокоточной объемной поверхности рельефа, составленной по результатам цифровой топографической съемки. Инструментарий ПО 3ds Max позволил построить сложную геометрию объектов ландшафта и архитектуры. Для 3D-визуализации плагин Corona Render предоставил широкий спектр вариантов текстурирования, что позволило создать реалистичные текстуры и материалы для разработки и создания 3D-модели фасада корпуса факультета географии и геоинформатики.

Ключевые слова: 3D-моделирование; архитектурные объекты; модель рельефа; поверхность Civil; рендеринг; материалы Corona; модификаторы 3ds Max.

THE USE OF DIGITAL TOPOGRAPHIC SURVEY MATERIALS FOR 3D-MODELING OF OBJECTS

U. V. Kudryavtseva, A. P. Romankevich

Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4
220030, Minsk, Belarus, jk.tx2a@gmail.com, rom.bsu@mail.ru

The functionality of Autodesk software (AutoCAD, Civil 3D, 3ds Max) to create a 3D model based on a high-precision volumetric terrain surface, compiled based on the results of a digital topographic survey, has been studied. The 3ds Max toolkit allowed us to build a complex geometry of landscape and architecture objects. For 3D-visualization, the Corona Render plugin provided a wide range of texturing options, which made it possible to create realistic textures and materials for the development and creation of a 3D-model of the facade of the faculty of geography and geoinformatics building.

Keywords: 3D-modeling; architectural objects; relief model; Civil surface; rendering; Corona materials; 3ds Max modifiers.

Современные технологии позволяют создавать высококачественные 3D-модели, которые находят широкое применение в различных сферах деятельности. Метод исследования в построении 3D-модели включает различные этапы, для каждого из которых требуется наиболее подходящий

адаптированный программный продукт. Для сбора информации и создания слоя точек по результатам цифровой топографической съемки был использован программный продукт компании Autodesk — AutoCAD, позволяющий пользователям создавать точные карты, планы и модели, соответствующие отраслевым стандартам. Материалы съемки в электронном формате DWG после обработки в ПО AutoCAD были экспортированы в ПО Civil 3D и по отметкам точек местности произведена интерполяция с построением структурных линий функции вычисления триангуляции Делоне [1]. Применение инструмента «Сглаживание поверхности» позволило получить контуры без перекрытий и далее — итоговый объемный вид поверхности (рис. 1).

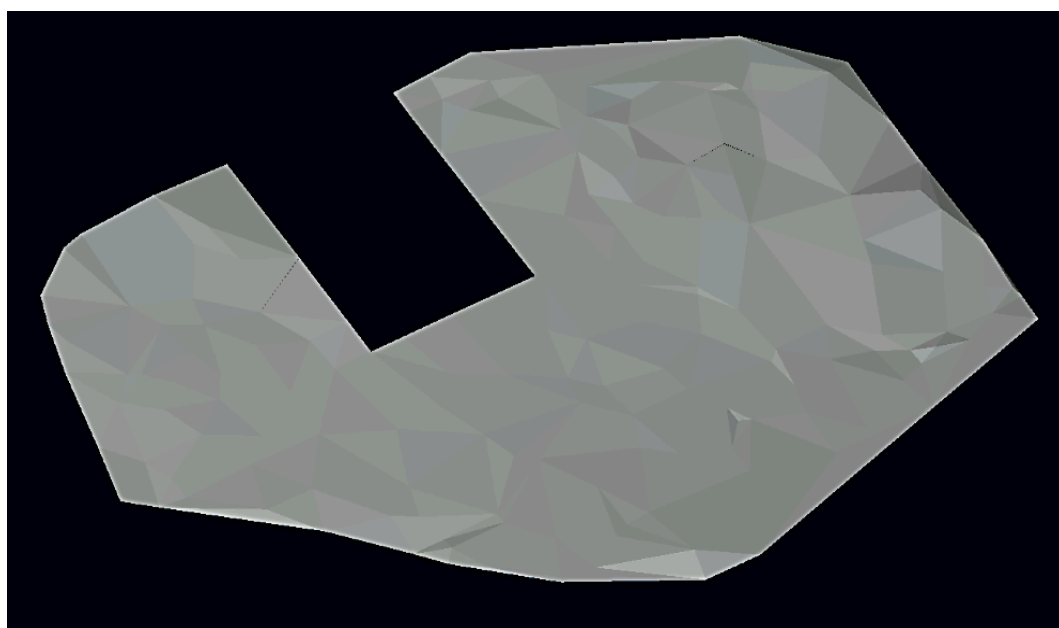


Рис. 1. Итоговая объемная модель поверхности в ПО Civil 3D

Для дальнейшей обработки данных и построения 3D-модели применялось ПО 3ds Max которое позволяет с помощью программных модификаторов создавать элементы объектов архитектуры различной степени сложности [2]. ПО 3ds Max предоставляет широкий спектр вариантов текстурирования и материалов для создания реалистичной текстуры и элементов для построения 3D-моделей, а также дает возможность пользователям создавать сложную геометрию с достаточной точностью. Результат импорта фрагмента цифровой модели местности в ПО 3ds Max представлен на рис. 2.

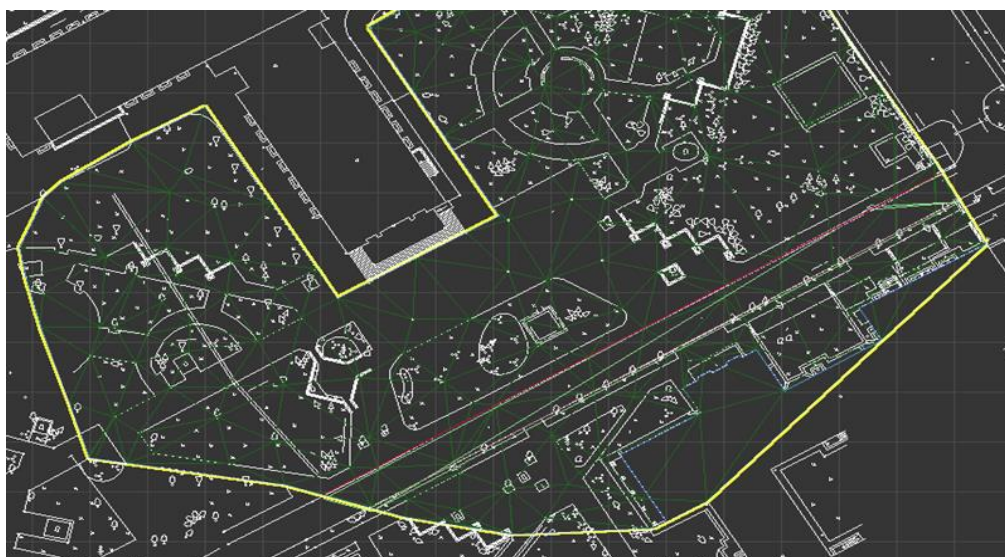


Рис. 2. Фрагмент цифровой модели местности в ПО 3ds Max

Установка плагина Corona Render позволяет выполнять моделирование используя широкий ассортимент библиотеки материалов Corona Library и обладает возможностью высококачественного рендеринга, а в итоге создавать реалистичные текстуры и материалы для различных элементов 3D-модели [3].

Моделирование фасада здания факультета географии и геоинформатики на рельефную поверхность осуществлялось с использованием модификаторов «Inset» и «Extrude» [2]. Изменения в текстуру элементов модели вносились из библиотеки материалов Corona Library (рис. 3).



Рис. 3. Объемная модель фасада здания в 3ds Max

С применением импорта моделей блоков создавались газоны, а также хвойная и лиственная растительность. С помощью создания простых объектов выполнено моделирование вентиляции Минского метрополитена и, используя модификаторы «Connect» и «Extrude», производилось построение бордюров вдоль проезжей части (рис. 4).



Рис. 4. Объемная модель вентиляции Минского метрополитена

Результатом исследования явилась итоговая 3-D модель фасада корпуса факультета географии и геоинформатики БГУ и прилегающей территории, представленная на рисунке 5.



Рис. 5. Итоговая объемная модель фасада корпуса географического факультета и прилегающей территории (вид в перспективе)

Созданная объемная модель, в дальнейшем, может быть использована для создания визуализаций, анимации, прототипирования или дальнейшего 3D-проектирования.

Библиографические ссылки

1. Autodesk Civil 3D [электронный ресурс] – Autodesk. Режим доступа: <https://autodesk.by/index.php/ru/arkhitektura-proektirovanie-i-stroitelstvo/civil-3d>.
2. Autodesk 3ds Max [электронный ресурс] – Autodesk. Режим доступа: <https://autodesk.by/index.php/ru/dizajn-i-media/3d-studio-max>.
3. Corona Render [электронный ресурс] – Media Contented. Режим доступа: <https://media.contented.ru/glossary/corona-renderer/>.
4. *Бутранов А. В.* Сравнительный анализ инструментов прототипирования, используемых при разработке программного обеспечения // Студенческая наука для развития информационного общества. Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции. 2018. Т. 2. С. 58–61.
5. *Панькин В. А.* Прототипирование пользовательского интерфейса как один из важнейших этапов проектирования программного обеспечения // Наука и образование: актуальные исследования и разработки. Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции. Чита. 2020. С. 46–49.
6. *Притула Е. В.* Исследование эффективности технологии прототипирования в разработке web-проектов // Прикладные информационные системы: первая Всероссийская НПК (г. Ульяновск, 26–30 мая 2014 г.): сборник научных трудов. 2014. С. 32–40.

УДК 528.7:528.8:004.94

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕСТНОСТИ

П. П. Куклина, С. В. Тюрин

*Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб.,
д. 7–9, 199034, Санкт-Петербург, Россия, polinakuk00@gmail.com, st3353@yandex.ru*

Проведено исследование по использованию материалов воздушного лазерного сканирования для трехмерного моделирования местности. Рассматривается современное значение 3D-моделей местности. В статье представлены результаты исследования по созданию моделей с использованием данных воздушного лазерного сканирования, рассмотрены применимость материалов, виды моделирования, определены технологические процессы и сделаны выводы.

Ключевые слова: воздушное лазерное сканирование; аэрофотосъемка; полигональная модель; объектная модель; трехмерная модель местности.

USE OF AIRBORNE LASER SCANNING MATERIALS FOR THREE-DIMENSIONAL LANDSCAPE MODELLING

P. P. Kuklina, S. V. Tyurin

*St Petersburg University, 7/9 Universitetskaya Emb., 199034, St Petersburg,
Russia, polinakuk00@gmail.com, st3353@yandex.ru*

The authors investigate the use of airborne laser scanning materials for 3D landscape modelling. They review the current importance of 3D terrain models. The authors in the article present the results of a study on model creation using airborne laser scanning data, review the applicability of scanning materials, types of modelling, define the technological processes and make conclusions.

Keywords: aerial laser scanning; aerial photography; polygonal model; object model; three-dimensional model.

Трехмерное моделирование является передовым способом представления информации об окружающем мире. Технология получила распространение в различных сферах деятельности благодаря множеству преимуществ. В области пространственных данных эти преимущества следующие: 3D-модель более информативный источник данных, чем ее двумерный аналог; она эффективна для отображения и анализа пространственной

информации; также трехмерная модель является хорошим иллюстративным материалом, так как позволяет рассматривать объекты с различных точек пространства. Технология используется для моделирования не только существующих объектов, но и проектируемых или виртуальных. В последние годы использование трехмерной геоинформации стремительно развивается. Для многих городов мира созданы 3D-модели разного уровня детализации [1, 2, 3], отвечающие разным задачам, например, используются городскими службами для визуализации или принятия решений, позволяют моделировать потоки воздуха, рассчитывать процент освещенности [3], проводить пространственный анализ.

При этом общая тенденция построения технологического прогресса — снижение затрат. В данном случае, затрат, связанных с получением пространственной информации и созданием модели местности. Для этого активно используют современные геодезические технологии, такие как лазерное сканирование и фотограмметрическая съемка, а также инструменты автоматизации обработки данных.

Каждая из перечисленных технологий сбора данных может использоваться для 3D-моделирования самостоятельно, но их комбинация может привести к наилучшему результату. Лазерное сканирование необходимо для восстановления корректной геометрии объектов, оно также имеет меньше ограничений по условиям выполнения работ, позволяет получить поверхность стен или земли под растительностью. Данные фотограмметрической съемки незаменимы для создания детализированных, текстурированных моделей в естественных цветах. Поэтому для создания трехмерных моделей местности применяются аэрофотосъемка (АФС) и воздушное лазерное сканирование (ВЛС).

Современных возможностей для оперативного сбора пространственной информации с воздуха множество: используются беспилотные воздушные суда (БВС), аэросъемочные комплексы с несколькими сканерами и фотокамерами, вертолеты. Съемка может проводиться с наклоном к поверхности земли, могут выполняться облеты с помощью БВС объектов будущей модели.

Необходимо отметить, что при выполнении воздушного лазерного сканирования для получения топографической информации, используемой для 3D моделирования местности, следует учитывать несколько аспектов, чтобы удовлетворить требования в отношении точности, достоверности и полноты информации. Важнейший аспект — возможные ошибки сбора и первичной обработки информации (систематические и случайные) [4]. В качестве примера, выделим одну из самых значимых, на наш взгляд, это плановая ошибка положения координат из-за дивергенции лазерного луча. Поэтому работы должны обязательно сопровождаться

оценкой точности на разных этапах. Требования к точности должны разрабатываться с опорой на конкретные задачи и ожидания от 3D-модели местности, с учетом внутри государственных и международных стандартов, определяющих требования по выполнению ВЛС (Lidar Base Specification, документы ASPRS[5]).

Создание трехмерных моделей местности (определение пространственного положения, текстурирование и добавление атрибутивной информации) может выполняться по различным исходным материалам. В связи с этим, выделяют следующие виды трехмерных моделей местности:

- картографическая (объекты, созданные по векторным данным, высота извлечена из атрибута или растра);
- полигональная (непрерывная поверхность);
- объектная (объекты состоящие из геометрических примитивов, твердотельные, содержащие атрибутивную информацию).

ВЛС может быть применимо для создания любого из видов 3D-моделей, но оно становится незаменимым при построение высокоточной полигональной модели, а также разработке объектных моделей с высоким уровнем детализации LOD1, LOD2, LOD3 по стандарту CityGML 2.0 [6].

Создание полигональных моделей по данным АФС и ВЛС можно представить совокупностью технологических процессов, представленных в блок-схеме (рис. 1). Основные виды работ:

- 1) фотограмметрическая обработка данных АФС, создание и классификация плотного облака точек;
- 2) обработка данных ВЛС;
- 3) интеграция АФС с данными ВЛС;
- 4) полигональное моделирование, текстурирование модели и редактирование.

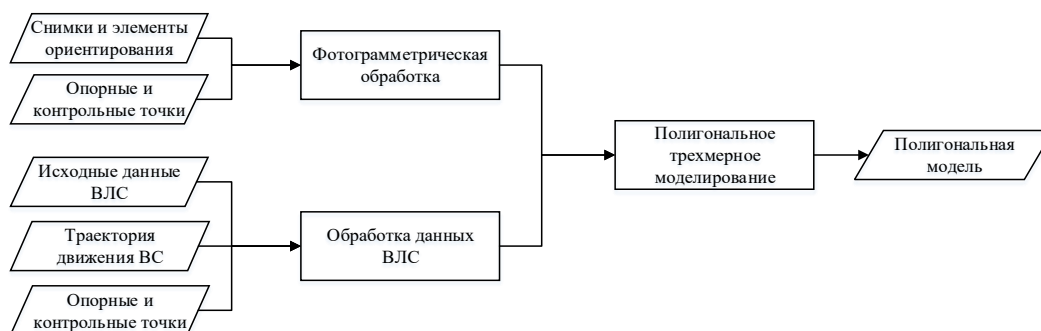


Рис. 1. Блок-схема процессов создания полигональной трехмерной модели местности по данным АФС и ВЛС

Общая технологическая схема создания объектных моделей местности представлена на рисунке 2, и состоит из четырех основных блоков обработки, каждый из которых имеет свои особенности:

- 1) обработка данных ВЛС;
- 2) подготовка векторных данных для моделирования;
- 3) трехмерное объектное моделирование;
- 4) создание текстур моделей зданий.

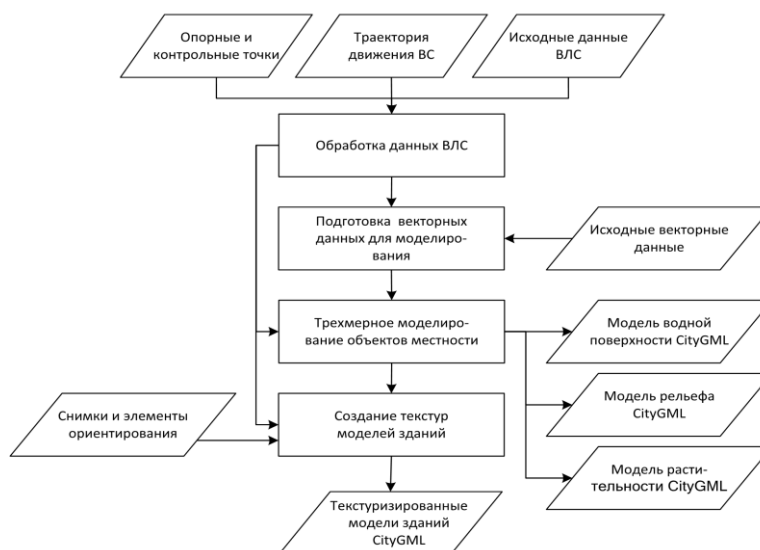


Рис. 2. Общая технологическая схема создания объектных моделей местности по данным ВЛС и АФС

Как видно из технологических схем (рис. 1 и 2), воздушное лазерное сканирование является важнейшим элементом при создании трехмерной модели. Необходимо отметить, что многие процессы, входящие в технологическую схему автоматизированы, но на данном этапе для повышения корректности модели приходится прибегать к ручному редактированию, что увеличивает трудоемкость процесса.

Возможность использования ВЛС как для полигонального, так и объектного моделирования была исследована на практике. Использовались материалы АФС и ВЛС, полученные с комплекса Leica ALS80 HP + RCD30 и Leica CityMapper 2. Для фотограмметрической обработки и полигонального моделирования использовалось программное обеспечение (ПО) Agisoft Metashape, работа с облаками точек ВЛС проводилась в ПО TerraSolid, для объектного моделирования использовались инструменты TerraSolid и ПО с открытым кодом 3dfier, Geoflow. Лазерное сканирование позволило получить геометрически более точную полигональную модель в сравнении с моделью, построенной исключительно по материалам аэрофотосъемки. Также использование материалов

ВЛС позволило автоматизировать процесс создания объектной модели местности LOD 2.2. Другими результатами исследования стали обзор существующих 3D-моделей и требований к ним, обзор программного обеспечения, разработанные технологические процессы и метод по совершенствованию объектов гидрографии в полигональных моделях [7]. Некоторые из моделей, полученных в ходе исследования, представлены на рис. 3.



Рис. 3. Фрагменты объектной и полигональной моделей местности, созданных в рамках исследования

Библиографические ссылки

1. 3D модели Хельсинки [Электронный ресурс]. URL: https://hri.fi/data/en_GB/dataset/helsingin-3D-kaupunkimalli (дата обращения: 15.01.2024).
2. Берлин 3D [Электронный ресурс]. URL: <https://www.businesslocationcenter.de/berlin3D-downloadportal/?lang=en> (дата обращения: 15.01.2024).
3. PLATEAU, проект под руководством Министерства земли, инфраструктуры, транспорта и туризма по разработке, использованию и преобразованию 3D-моделей городов по всей Японии в открытые данные [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mlit.go.jp/plateau/> (дата обращения: 15.01.2024).
4. Lemmens, M., Fortuin, E. H. W. Error analysis of airborne laser altimetry [Electronic resource] // Survey Department Rijkswaterstaat – Delft. – 1997. – 70 p. (date of access: 15.01.2024).
5. ASPRS Guidelines Vertical Accuracy Reporting for Lidar Data: Version 1.0 : drafted May 15, 2004 : released by the National Digital Elevation Program (NDEP) May 24, 2004 : submitted to the Federal Geographic Data Committee (FGDC) / ownership ASPRS Lidar Committee (PAD) : editor M. Flood. 2004. 20 p. [Electronic resource] URL: https://www.asprs.org/a/society/committees/lidar/Downloads/Vertical_Accuracy_Reporting_for_Lidar_Data.pdf (date of access: 15.01.2024).
6. OGC. OGC Standards: CityGML [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ogc.org/standards/citygml> (дата обращения: 15.01.2024).
7. Kuklina P. P.; Tyurin S. V.; Artemyev O. V. The use of breaklines of hydrographic objects in three-dimensional modeling of cities. // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2023; Vol. XLVIII-1/W2-2023. p. 21-26. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W2-2023-21-2023>.

УДК 528.7

СОЗДАНИЕ TERRAIN-МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА БЕЛАРУСИ ДЛЯ ГЕОПОРТАЛА DZZ.BY

П. И. Курочко, А. А. Топаз

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, geo.kurochko@bsu.by, topaz_antonina@mail.ru*

В работе представлены методологические аспекты создания Terrain-модели рельефа Республики Беларусь в программном комплексе ArcGIS. Изложен алгоритм публикации Terrain-модели рельефа и подобных сервисов на геопортале dzz.by. Проведен сравнительный анализ данной модели с глобальными ЦМР по основным критериям.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа; Terrain-модель; картографический веб-сервис.

CREATION OF TERRAIN MODEL OF BELARUS FOR GEOPORTAL DZZ.BY

P. I. Kurochka, A. A. Topaz

*Belarusian State University, 4, Niezaliezhnasci Av., 2203030, Belarus,
geo.kurochko@bsu.by, topaz_antonina@mail.ru*

The paper presents methodological aspects of creating Terrain model of the relief of the Republic of Belarus in ArcGIS software package. The algorithm of publishing Terrain model of relief and similar services on the geoportal dzz.by is described. The comparative analysis of this model with global DEMs by main criteria is carried out.

Keywords: digital elevation model; terrain model; cartographic web-service.

На сегодняшний день изучение рельефа земной поверхности является важной задачей в области географии и геодезии. Одним из источников информации о местности является цифровая модель рельефа (ЦМР). ЦМР — трехмерное отображение земной поверхности, представленное в виде массива точек с определяемой высотой. Она содержит информацию о высоте только истинного рельефа, без учета растительности, зданий и других антропогенных объектов. Цифровые модели рельефа позволяют быстро и удобно получать большое количество различных показателей и использовать их для строительства и моделирования сложных природных явлений [1].

Публикация данных ЦМР производится с использованием набора данных представления поверхностей Terrain. Набор данных представления поверхностей Terrain — это созданная на основе TIN поверхность с переменной разрешающей способностью, построенная на основе пространственных объектов базы геоданных (БГД).

Целью данного исследования является выявление особенностей процесса создания Terrain-модели рельефа территории Беларуси на основании данных ЦМР с помощью ПО ArcMap и ее публикация посредством ArcGIS Server для последующего размещения на геоинформационном ресурсе dzz.by, а также сравнительный анализ модели с существующими на данный момент глобальными ЦМР.

Для получения исходных данных в проводимых исследованиях использовался метод аэрофотосъемки. Полученные во время аэрофотогеодезических работ в 2019-2022 гг. снимки обрабатывались в программном комплексе Trimble INPHO, что позволило получить следующие исходные данные:

- 1) мультиточечные классы пространственных объектов — облака точек LAS, созданные фотограмметрическим извлечением;
- 2) линейные классы пространственных объектов, созданные фотограмметрическим методом в стереоскопическом режиме — горизонталы, структурные линии.

Формируются Terrain-модели в программной среде ArcGIS. Исходные данные загружаются в базу геоданных (БГД). На каждую административную область создаётся отдельная БГД и набор данных. Для модели используются 4 уровня пирамидных слоев. Размер ячейки — 8 метров.

В результате программных расчетов формируется Terrain-модель.

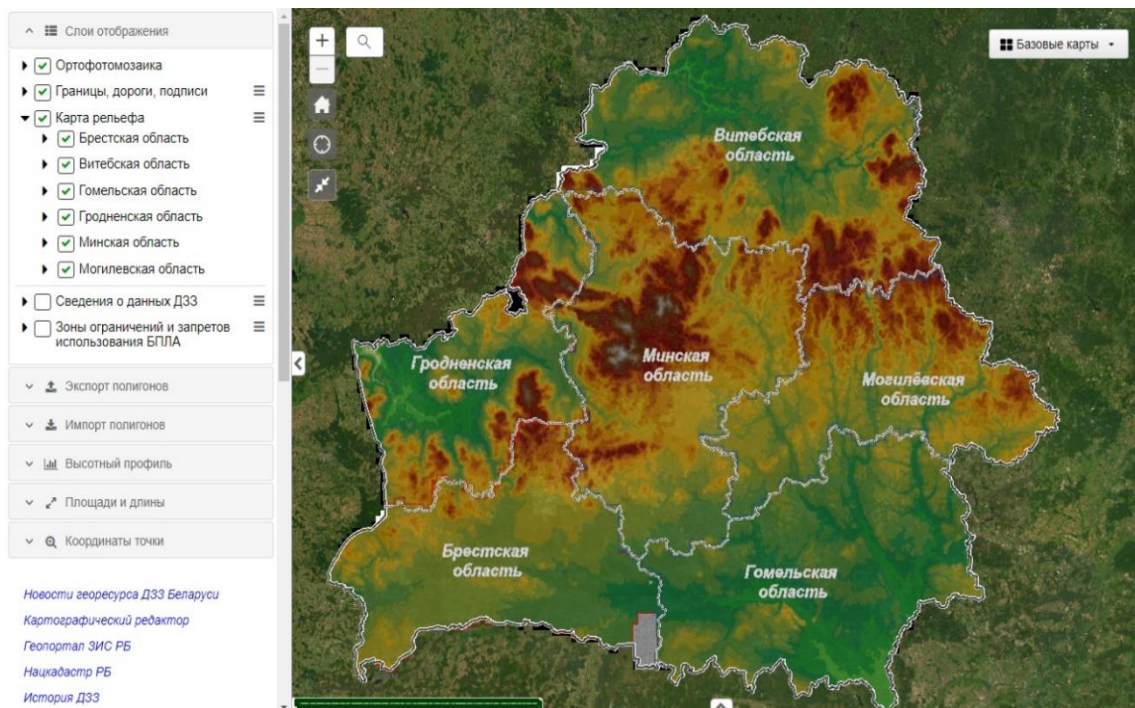
Публикация веб-сервисов на геопортале dzz.by производится с помощью ArcGIS Server. ArcGIS Server представляет собой компонент серверного программного обеспечения, который делает географическую информацию доступной для других пользователей [2].

Благодаря данному программному комплексу на сервере был опубликован картографический сервис с Terrain-моделью рельефа для территории Беларуси. В данный момент он доступен на геопортале dzz.by в качестве функционального слоя (рисунок). ЦМР содержит в себе 8 пирамидальных слоев. В результате, при приближении к необходимому участку местности соответственно масштабу генерируется модель рельефа различной степени детальности.

С помощью инструментов «шторка» или «прозрачность» пользователям доступна возможность сопоставления рельефа с аэрофотомозаикой, что может быть использовано в исследовании географических особенностей выбранной территории.

Нажатием левой кнопки мыши можно получить в необходимой точке данные по рельефу, такие как абсолютная высота территории или уклон. Кроме этого, благодаря соответствующему инструменту можно построить высотный профиль по заданной линии.

В настоящее время предприятием «БелПСХАГИ» распространяется коммерческая версия Георесурса данных ДЗЗ. В данной версии ЦМР становится доступной потребителю для оперативной загрузки через Интернет в свои прикладные геоинформационные системы и программы.



Функциональный слой «Карта рельефа» на геопортале dzz.by

Информацию о рельефе территории Беларуси можно также получить путем использования глобальных ЦМР (таблица). Глобальные цифровые модели рельефа — это ЦМР, охватывающие всю или почти всю территорию Земли. Строятся они в основном на основе космической съемки. Распространение данных моделей производится как на коммерческой основе, так и на бесплатной.

Сравнение популярных глобальных ЦМР с моделью на геопортале dzz.by

ЦМР	Dzz.by	WORLDDDEM	NextMap World 10	ALOS AW3D	SRTM	ASTER GDEM
Год создания	2023	2015	2015	2016	2000, 2011	2011
Разработчик	РДАУП «Бел-ПСХАГИ», Беларусь	Airbus Defence and Space, Германия	Intermap, США	NTT DATA, RESTEC (Япония)	NASA, NGA (США), DLR (Германия)	METI (Япония), NASA (США)
Распространение	Свободный доступ/Коммерческая основа	Коммерческая основа	Коммерческая основа	Коммерческая основа	Свободный доступ	Свободный доступ
Покрытие	Территория РБ	Вся земная поверхность	Вся земная поверхность	Вся земная поверхность	60° с.ш. – 56° ю.ш.	83° с.ш. – 83° ю.ш.
Размер ячейки сетки, м	8x8	12x12	10x10	5x5	30x30	30x30
Особенности	Загрузка ЦМР доступна в коммерческой версии	- WorldDEMcore – необработанная ЦММ - WorldDEM™ – обработанная ЦММ с добавлением гидрографии - WorldDEM DTM – ЦМР с исключением объектов растительного покрова и антропогенных объектов.	Создана путем интеграции данных космической съемки и ЦМР (SRTM, ASTER GDEM2, GTOPO30), а также данных лазерного сканирования со спутника ICESat	Доступно множество уровней обработки	Существуют 2 версии: C-band (2000) и C-band (2011)	В свободном доступе распространяется с некоторыми ограничениями

Таким образом, для работы с территорией Беларуси построенная ЦМР имеет ряд преимуществ над другими доступными моделями. Множество функций, такие как уклон рельефа и высота, находятся в общем доступе непосредственно на сайте dzz.by без необходимости загрузки моделей в растровом формате и обработки в специальном ПО. Однако в случае, если базовый набор инструментов не соответствует поставленным задачам, в коммерческой версии георесурса есть возможность скачивания ЦМР. В целом, отечественная ЦМР является одним из лучших решений для задач на территории РБ.

Библиографические ссылки

1. 3D цифровые модели с помощью беспилотников // Вестник ГЛОНАСС [Электронный ресурс]. 2024. Режим доступа: vestnik-glonass.ru/~izzxR/ – Дата доступа: 31.12.2023.
2. ArcGIS Enterprise [Электронный ресурс]. 2024. Режим доступа: <https://enterprise.arcgis.com/ru/> – Дата доступа: 28.01.2024.
3. Геоинформационный Ресурс Данных Дистанционного Зондирования Земли (Геоинформационный Ресурс ДЗЗ): Руководство ГИС-оператора. а.г. Прилуки: Бел-ПСХАГИ, 54 с.
4. Георесурс данных ДЗЗ [Электронный ресурс]. 2024. Режим доступа: <https://dzz.by/> – Дата доступа: 15.02.2024
5. Глобальные цифровые модели рельефа // ГЕОМАТИКА. 2015. №3 (12). С. 78–82.
6. Программное геоинформационное обеспечение : практикум для магистрантов фак. географии и геоинформатики / А. А. Сазонов, Н. В. Жуковская. Минск : БГУ, 2022. 39 с.
7. Создание набора данных Terrain с использованием мастера Новый Terrain [Электронный ресурс]. – 2023. Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/manage-data/terrains/building-a-terrain-dataset-using-the-terrain-wizard.htm> – Дата доступа: 27.08.2023.

УДК 528.946

МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ АНИМАЦИОННЫХ КАРТ

А. С. Линкевич, А. А. Топаз

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030,
г. Минск, Беларусь, geo.linkevicAS@bsu.by, topaz_antonina@mail.ru*

Статья представляет обзор и детальное рассмотрение вопросов, связанных с теорией и методологией создания анимационных карт. В рамках исследования освещаются ключевые аспекты, начиная от теоретических основ анимационной картографии, до конкретных методологических подходов, применяемых в разработке таких карт.

Ключевые слова: динамическое картографирование; анимационная картография.

THE METHODOLOGY OF CREATING ANIMATED MAPS

H. S. Linkevich, A. A. Topaz

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, geo.linkevicAS@bsu.by, topaz_antonina@mail.ru*

The article provides an overview and detailed consideration of issues related to the theory and methodology of creating animated maps. This study highlights key aspects, ranging from the theoretical foundations of animation cartography to specific methodological approaches used in the development of such maps.

Keywords: dynamic mapping; animation cartography.

В противовес статическим картографическим изображениям еще в начале второй половины XX в. было предложено использование анимационной картографии и предсказывалось, что ее повсеместное использование начнется совсем скоро. Но этого не произошло, и почти до самого конца XX в. анимационная картография оставалась лишь предположением. Причин у этого много, одна из самых главных, это отсутствие технической базы, технологий, которые бы позволили качественно передавать анимационные карты пользователю, а пользователь в свою очередь смог бы получать к ним доступ.

Традиционная картография в основном направлена на отображение статических данных и явлений. В то же время в вопросах изображения и наглядности динамики различных процессов традиционная картография

мало что может предложить пользователю. Основными способами изображения динамики явлений во времени и пространстве являются векторные знаки (стрелки), расширяющиеся ареалы, изолинии скоростей изменения явлений. Однако, данные способы недостаточно наглядны, так как пользователь должен сам представлять перемещение динамических явлений в пространстве, основываясь на статических изображениях с использованием динамических способов изображения.

В традиционной картографии известны три способа отражения динамики явлений и процессов, их возникновения, развития, изменений во времени и перемещения в пространстве [2]:

- показ динамики на одной карте с помощью стрелок или лент движения, «нарастающих» знаков и диаграмм, расширяющихся ареалов, изолиний скоростей изменения явлений и т. п.;
- показ динамики с помощью серий разновременных карт, снимков, фотокарт, блок-диаграмм и др., фиксирующих состояния объектов в разные моменты (периоды) времени;
- составление карт изменения состояний явления, когда показывается не сама динамика, а лишь результаты происшедших изменений (ареалы изменений).

В практике традиционного и геоинформационного картографирования порой трудно разграничить динамические процессы и исторические изменения. Поэтому, учитывая опыт картографии, примем в качестве определения, что:

Динамические геоизображения — это геоизображения, которые показывают возникновение, развитие, прошлые состояния, изменения во времени и перемещения в пространстве каких-либо явлений [1].

Возможности отображения динамики геосистем существенно возрастают с внедрением в практику картографических анимаций — особых динамических последовательностей карт-кадров, создающих при демонстрации эффект движения.

На данный момент не существует устоявшегося определения анимационной картографии, однако некоторые исследователи в качестве определения предлагают принять, что анимационная картография, это раздел картографии, обеспечивающий отображение динамики окружающего мира путем сочетания методов и приемов традиционной картографии и компьютерной анимации. Реализуется анимационная картография на базе геоинформационных технологий, программных и технических средств, позволяющих осуществлять интеграцию картографического изображения с эффектами динамики и движения с учетом временного масштаба [4].

Таким образом, практическое применение анимационной картографии сегодня опережает ее теоретическую и методическую основу. Еще не определены в достаточной степени сущность, содержание, базовые понятия, принципы, основные характеристики и параметры, не разработаны типовые приемы и технологические схемы создания, оформления и воспроизведения анимационных карт и другие вопросы [5].

Использование анимации в картографии — мощное средство визуализации динамической информации, однако оно не заменяет традиционную статичную картографию, а дополняет ее новыми средствами. Связь между объектами и явлениями и процессами может быть проанализировано как в течение времени, так и в течение конкретного временного отрезка.

Методологий созданий анимационных карт множество, они разнятся в зависимости от технического варианта реализации, который используются для создания анимации, а также в зависимости от качества и количества исходных данных. Так, при создании анимации движения четвертичных оледенений на территории Европы мы столкнулись с проблемой малого количества исходных данных, в связи с чем методология была изменена [3].

При создании картографической анимации движения четвертичных оледенений на территории Европы, разработана и апробированна следующая методология создания анимационных карт.

1. *Сбор исходных данных.* Первым этапом в процессе формирования картографической анимации движения четвертичных оледенений в Европе является тщательный исследовательский сбор исходных данных, включающий в себя анализ геологических, климатических и археологических параметров.

2. *Создание «ключевых» карт-кадров.* На втором этапе осуществляется создание «ключевых» карт-кадров, представляющих собой точные отражения изменений ледникового покрова в различные периоды времени. Эти карты становятся фундаментом для последующей анимации, ярко выделяя ключевые этапы эволюции ледников в регионе.

3. *Загрузка карт-кадров в программу для создания анимации.* После этого происходит загрузка разработанных карт-кадров в специализированное программное обеспечение, предназначенное для создания динамичных анимации. Это обеспечивает возможность эффективной обработки и управления визуальными элементами будущей картографической анимации.

4. *Создание переходных карт-кадров.* Для придания плавности и непрерывности движению ледников, в анимации создаются переходные карт-кадры, которые эффективно соединяют ключевые моменты изменений. Это позволяет создать единый поток изменений ледникового покрова на протяжении всей анимации.

5. *Настройка временного масштаба.* На этапе настройки временного масштаба производится оптимизация временных интервалов между кадрами, что обеспечивает точное отображение динамики изменений в зависимости от выбранного временного промежутка.

6. *Экспорт.* Завершающим этапом является экспорт готовой анимации в удобный формат, который позволяет эффективно представлять и распространять результаты исследования.

Также важно отметить, что, несмотря на значительный прогресс в области анимационной картографии, она все еще находится в стадии активного развития. Отсутствие устоявшихся определений, стандартов и методологий подчеркивает динамичность направления. Исследователи и картографы продолжают работать над совершенствованием технологий, анализом эффективности различных методов и расширением возможностей анимационных карт в широком спектре областей.

Библиографические ссылки

1. *Берлянт А. М.* Теория геоизображений / А. М. Берлянт. Москва : ГЕОС, 2006. 262 с.
2. *Картоведение: Учебник для вузов / А. М. Берлянт, А. В. Востокова, В. И. Кравцова [и др.] ; под ред. А. М. Берлянта – Москва : Спект Пресс, 2003. 477 с.*
3. *Линкевич А. С.* Динамическое картографирование распространения покровного оледенения квартала на территории Европы : дипломная работа / А. С. Линкевич. Минск : БГУ, 2023. 55 с.
4. *Лисицкий Д. В.* Мультимедийная картография [Текст] : учеб. пособие / Д. В. Лисицкий, Е. В. Комиссарова, А. А. Колесников. Новосибирск : СГУГиТ, 2016. 108 с.
5. *Лисицкий Д. В., Хорошилов В. С., Колесников А. А.* Анимационная картография – сущность, характеристики и перспективы // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № 4. С. 91–97.

УДК 528.852

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

К. Я. Лис, Д. А. Кислицын

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, lis.lis-karina@yandex.ru*

В статье изложены прикладные аспекты автоматизации определения последствий лесного пожара (на примере территории в западной части Хойникского района) по данным космоснимка Sentinel 2 на основе спектральных индексов NDVI, NBR и применения ГИС-технологий. Целью исследования является разработка методического подхода для автоматизированного выявления последствий лесных пожаров с использованием авторских моделей геообработки в ModelBuilder в ArcGIS 10.7.

Ключевые слова: автоматизированное дешифрирование; лесной пожар; модели геообработки; спектральные индексы; геоинформационные технологии.

APPLIED ASPECTS OF AUTOMATION OF THE CONSEQUENCES OF FOREST FIRES BASED ON REMOTE SENSING DATA AND GIS TECHNOLOGIES

K. Y. Lis, D. A. Kislitsyn

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, lis.lis-karina@yandex.ru*

The article outlines the applied aspects of automating the determination of the consequences of a forest fire (using the example of a territory in the western part of the Khoiniki district) based on Sentinel 2 satellite image data based on the spectral indices NDVI, NBR and the use of GIS technologies. The purpose of the study is to develop a methodological approach for automated identification of the consequences of forest fires using proprietary geoprocessing models in ModelBuilder in the ArcGIS 10.7.

Keywords: automated interpretation; forest fire; geoprocessing models; spectral indices; geoinformation technologies.

Исследования, которые направлены на применение современных методов обработки изображений для анализа данных ДЗЗ, являются актуальными и способны существенно ускорить и повысить качество решения задач по выявлению последствий лесных пожаров и оценки пострадавших территорий.

Данные такого исследования, как представленные Harris S., Hook S., Veraverbeke S. в статье [1], позволяют говорить об эффективности нормализованного индекса сгорания NBR в рамках одновременного (после пожара) подхода. Согласно результатам данной работы, полученный из данных КА Landsat NBR используется в США в качестве инструмента оперативного управления в рамках проекта по восстановлению после сгоревших территорий (BAER), который создает карты тяжести пожара в США [1]. В работе Tran B. N. и соавторами [2] сделан вывод, что оптимальный спектральный индекс для количественной оценки тяжести пожара зависит от типа леса, но есть возможность группировать леса по структуре и стратегии регенерации огня, чтобы упростить классификацию степени опасности пожара в разнородных лесных ландшафтах [2]. В работе French Nancy H. F. и соавторов приведены обобщающие материалы по оценке опыта использования разностного нормализованного индекса сгорания dNBR [3].

В работе Карпова А. А. [4] представлены основные аспекты по разработке методики для выявления и оценки площадей, пройденных лесными пожарами, с использованием данных дистанционного зондирования и оценены перспективы развития — использование данных спутников Sentinel-1 и Sentinel-2. В монографии Д. Г. Груммо «Наземные и дистанционные методы оценки состояния экосистем особо охраняемых природных территорий» особый научный интерес вызвало описание дистанционных методов при комплексном мониторинге лесных экосистем и методики оценки состояния экосистем [5].

Исследуемая территория расположена в окрестностях г. Наровля преимущественно в Наровлянском и Хойникском районах, а также частично в Мозырском и Калинковичском районах Гомельской области Республики Беларусь. Общая площадь территории исследования составляет около 13407 га, на левом берегу Припяти (на противоположном берегу от Наровли в Хойникском районе) расположен участок Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. Мультиспектральные космоснимки Sentinel 2 с уровнем обработки L2A (даты съемки: 03.09.2019 г. и 03.10.2019 г.) использованы в качестве исходных данных. При определении территории, пострадавшей от лесного пожара, нами были использованы разновременные космоснимки Sentinel 2 для оценки уровня вегетации экосистем на основе спектральных индексов NDVI (рассчитывается на основе спектральных каналов NIR и Red (8-й и 4-й каналы соответственно)) и NBR (рассчитывается на основе спектральных каналов NIR и SWIR2 (8-й и 12-й каналы соответственно)).

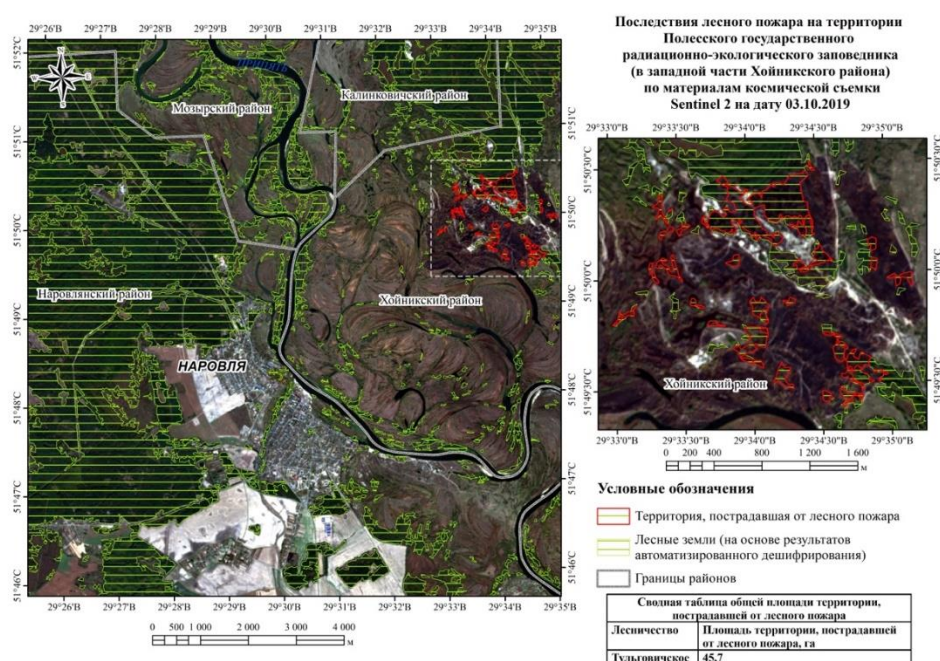
Две модели геообработки, которые созданы нами в ModelBuilder в ArcGIS 10.7, использованы для автоматизации процесса по определению

территории, пострадавшей от лесного пожара. Первая модель геообработки состоит из 22 инструментов и использует индексные критерии (на основе разницы индексов NBR, NDVI (за период 03.09–03.10.2019 г.) и по индексу NBR в начале октября) для предварительного определения участков выгоревших территорий. Вторая модель геообработки (состоит из 14 инструментов) используется для выполнения автоматизированного дешифрирования лесных земель методом максимального правдоподобия на основе космоснимка Sentinel 2 (03.09.2019 г.), а также для генерализации и векторизации классифицированного растра, затем происходит пересечение полученного слоя лесных земель с векторным слоем на основе индексных критериев NBR, NDVI, генерализация итогового результата.

Вычисление спектральных индексов NBR, NDVI и их разницы за период с 03.09. по 03.10.2019 г. выполнено с помощью инструмента «Калькулятор растра». Следует отметить, что за сентябрь происходит заметное снижение уровня вегетации в лесных и луговых экосистемах, поэтому для индекса NDVI статистически значимая разница на основе разновременных космоснимков Sentinel 2 (до и после пожара) составляет более 0,32, а для индекса NBR — более 0,39. Затем определяются участки на растре с использованием критериев для разницы индексов NDVI и NBR за исследуемый период, а также выполняется генерализация и векторизация данных участков (на основе инструментов из групп «Spatial Analyst» и «Конвертация»). Следующим этапом является пересечение векторных результатов, которые получены на основе критериев для индексов NBR и NDVI, а также проведение геометрической генерализации с использованием инструментов «Сгладить полигон» и «Удалить часть полигона».

Для полученных векторных контуров рассчитывается среднее значение индекса NBR на дату 03.10.2019 г. и проводится выборка контуров со значениями данного индекса менее -0,1. В восточной части исследуемой территории заметна территория природного пожара с общей площадью около 256 га (на основе использования индексных критериев). Однако, к юго-западу от Наровли по индексным критериям ошибочно выделены небольшие участки на пахотных землях (общая площадь — 35,6 га), что связано с заметным снижением индексов NBR и NDVI за период с начала сентября до начала октября из-за проведения уборки урожая. Для повышения точности при определении площади лесных земель, пострадавших от пожара, следует использовать пространственную информацию о лесных землях. Автоматизированное дешифрирование лесных земель выполнено нами на основе метода максимального правдоподобия. Генерализация и переклассификация результата дешифрирования выполняется на основе последовательности инструментов из группы «Spatial Analyst», что позволяет осуществить фильтрацию классифицированного растра и удалить

контуры, имеющие площадь менее 20 пикселей (около 0,2 га, так как для проведения контролируемой классификации использовались 4 спектральных канала Sentinel 2, имеющие пространственное разрешение 10 м). Затем выполняется автоматическая векторизация результата контролируемой классификации, а геометрическая генерализация осуществляется на основе инструмента «Удалить часть полигона». Далее происходит пересечение векторного результата контролируемой классификации лесных земель и слоя, полученного на основе применения индексных критериев NBR, NDVI, а затем выполняется генерализация результирующего слоя с использованием инструментов «Сгладить полигон» и «Выборка». В данной модели геообработки также рассчитывается площадь участков лесного пожара в гектарах (рисунок).



Карта-схема последствий лесного пожара в западной части Хойникского района (на основе космической съемки Sentinel 2 (03.10.2019 г.))

Общая площадь лесного пожара в западной части Хойникского района (на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в Тульговичском лесничестве) по материалам космической съемки Sentinel 2 на дату 03.10.2019 г. составила 45,7 га, что несколько меньше, чем при проведении визуального дешифрирования (50,0 га), так как нередко участки кустарниковой растительности и закустаренных лугов достаточно близко примыкают к участкам леса, что несколько снижает точность автоматизированного дешифрирования. Общая точ-

ность представленной методики составляет порядка 85–90 %, что подтверждает эффективность ее применения. Расчет разницы индексов NDVI, NBR по разновременным космоснимкам Sentinel 2 (до и после пожара) предоставляет возможность определять статистически значимые изменения уровня вегетации для лесных земель, что может использоваться для выявления лесных пожаров, но при этом необходимо учитывать даты съемки космоснимков за вегетационный период.

Таким образом, основное перспективное направление развития рассматриваемой темы — применение комплексного использования спектральных индексных показателей и геоинформационных технологий на основе данных дистанционного зондирования Земли, для целей мониторинга динамики восстановления территории после пожара. Реализация указанного направления в рамках данной работы является нецелесообразной, так как, согласно обобщающим исследованиям, следует избегать спутникового дистанционного зондирования, без надлежащей полевой калибровки. Картографирование выявленных последствий лесных пожаров по данным дистанционного зондирования Земли с использованием геоинформационных технологий для автоматизации процесса в связи с потенциалом большого охвата территории, быстрого анализа при помощи компьютерных программ, снижение работ, выполняемых в полевых условиях, является эффективным и целесообразным методом.

Библиографические ссылки

1. *Harris S., Veraverbeke S., Hook S.* Evaluating spectral indices for assessing fire severity in Chaparral ecosystems (Southern California) Using MODIS/ASTER (MASTER) Airborne Simulator Data // *Remote Sens.* 2011. № 3. P. 2403–2419.
2. Evaluation of spectral indices for assessing fire severity in Australian Temperate Forests / B. N. Tran, M. A. Tanase; L. T. Bennett, C. Aponte // *Remote Sens.* 2018. № 10 (1680).
3. Using Landsat data to assess fire and burn severity in the North American boreal forest region: an overview and summary of results / French Nancy H. F., Kasischke Eric S., Hall Ronald J., Murphy Karen A., Verbyla David L., Hoy Elizabeth E., Allen Jennifer L. // *International Journal of Wildland Fire.* 2018. № 17. P. 443–462.
4. *Карпов А. А.* Разработка методики выявления и оценки площадей, пройденных лесными пожарами, с использованием данных дистанционного зондирования. ИМИКТ Архангельск, 2016. 103 с.
5. Наземные и дистанционные методы оценки состояния экосистем особо охраняемых природных территорий / Д. Г. Груммо [и др.] ; под общ. ред. Д. Г. Груммо, А. В. Судника ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича. Минск : Беларуская навука, 2023. 351 с.

УДК 528.8

**ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ
РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ
МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ,
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

А. А. Ломако, Г. С. Литвинович

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем
имени А. Н. Севченко» Белорусского государственного университета,
ул. Курчатова, 7, 220045, г. Минск, Беларусь, alekseylomako@gmail.com*

В работе указывается на необходимость радиометрической коррекции изображений, регистрируемых мультиспектральными камерами, установленными на беспилотные летательные аппараты. Описывается математическая модель пересчета цифровых значений яркости пикселей изображений в абсолютные значения физических величин яркости. Представлены известные варианты определения функций спектрального отклика и коэффициентов радиометрической калибровки каналов мультиспектральных камер, а также разработанный способ, основанный на использовании высотного пункта радиометрических калибровок в физическом эксперименте.

Ключевые слова: калибровка; спектральный отклик; БПЛА; спектральные каналы; высотный калибровочный пункт.

**RADIOMETRIC CORRECTION PARAMETERS ESTIMATION
FEATURES FOR MULTISPECTRAL IMAGES
OBTAINED WITH UAV**

A. A. Lamaka, H. S. Litvinovich

*A. N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of Belarusian State University,
7 Kurchatov str., 220045, Minsk, Belarus, alekseylomako@gmail.com*

The paper shows the need for radiometric correction of images obtained with multispectral cameras mounted on unmanned aerial vehicles. A mathematical model is described for converting digital values of images pixel brightness into physical quantities absolute values. Known estimation variants for the spectral response functions and the radiometric calibration coefficients of multispectral cameras bands are presented. The alternative method based on the use of a high-altitude radiometric calibration station in a physical experiment is also presented.

Keywords: calibration; spectral response; UAV; spectral bands; high-altitude calibration station.

На сегодняшний день использование в исследованиях данных дистанционного зондирования Земли, зарегистрированных с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), является одним из наиболее быстро развивающихся направлений. При этом БПЛА применяется при мониторинге состояния растительности, в точном земледелии, лесном хозяйстве и т. д. Такой подход обеспечивает высокое пространственное разрешение регистрируемых изображений, быстроту сбора информации, относительно низкую стоимость [1].

Одним из вариантов съемочной аппаратуры, которая устанавливается на БПЛА, являются мультиспектральные камеры. В настоящее время в большей части исследований при использовании данных от таких камер вследствие сложности не учитываются функции чувствительности сенсоров и не применяются радиометрические калибровки [2]. Вместо этого используются нормализованные вегетационные индексы, причем наиболее часто рассчитывается индекс NDVI [3], который является неинформативным в большинстве задач. Тем не менее, радиометрическая коррекция сигнала, регистрируемого камерами, является крайне важной для возможности сопоставления зарегистрированных БПЛА мультиспектральных изображений с данными, зарегистрированными на других уровнях измерений, например, со спутниковыми снимками. Кроме того, применение такой калибровки позволяет осуществлять расчет значений ненормализованных вегетационных индексов, которые часто позволяют с большей точности определять специализированные параметры (например, индексы GEMI [4] и LCI [5], которые могут быть использованы при мониторинге состояния деревьев [6]).

В данном исследовании радиометрическая коррекция осуществляется для камеры DJI Phantom 4 Multispectral (далее – P4M) [7]. Она позволяет регистрировать RGB-изображения (R — *англ.* red, красный; G — *англ.* green, зеленый; B — *англ.* blue, синий), а также изображения в пяти спектральных каналах: синем (450 ± 16 нм), зеленом (560 ± 16 нм), красном (650 ± 16 нм), красном крае (*англ.* red edge — RE) (730 ± 16 нм) и ближнем инфракрасном (*англ.* near infrared — NIR) (840 ± 26 нм). В то же время, описываемая методика может быть применена и к другим мультиспектральным камерам.

В общем виде математическую модель преобразования «сырых» значений яркости пикселей j -го канала мультиспектральной камеры в физические значения спектральной плотности энергетической яркости можно определить по формуле:

$$I_j = \frac{C_j (D_j(\tau) - n_j(\tau))}{\tau_j}, \quad (1)$$

где C_j – калибровочный коэффициент для пересчета значений яркости j -го канала; $D_j(\tau)$ – «сырые» значения яркости пикселей, полученные при экспозиции τ ; $n_j(\tau)$ – значение уровня шумового сигнала на сенсоре, зависящее от экспозиции; I_j – абсолютные значения яркости.

Немаловажную роль в определении калибровочных коэффициентов также играет функция спектрального отклика каналов. С физической точки зрения абсолютные значения яркости отраженного излучения, определяемые в (1), можно представить в следующем виде:

$$I_j = \frac{\int_{\lambda} R_j(\lambda) E(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} R_j(\lambda) d\lambda}, \quad (2)$$

где λ – длина волны излучения; $R_j(\lambda)$ – функция спектрального отклика для j -го канала камеры; $E(\lambda)$ – истинный энергетический спектр отраженного солнечного излучения.

Для определения функций спектрального отклика каналов камеры существует большое количество методик, в том числе, по результатам физического эксперимента с использованием монохроматического излучения [8] или по математической модели с использованием глубокого обучения [9]. Для определения калибровочных коэффициентов пересчета значений яркости в каналах камеры может применяться калибровка по фотометрической сфере [10]. Однако в случае с камерой Р4М существует особенность, связанная с автоматическим подбором времени экспозиции от яркости кадры и невозможностью жесткой установки величины экспозиции. Следствием этого становится сложность получения полного набора данных для определения калибровочных коэффициентов по фотометрической сфере, а также невозможность прямого определения величины шумового сигнала на различных экспозициях.

Для разрешения неопределенностей, описанных выше, предлагается с целью определения коэффициентов радиометрической коррекции использовать опытный образец стационарного высотного калибровочного пункта, предназначенного для валидации измерений и калибровки спутниковых сенсоров [11]. Он представляет собой сканирующую систему, одной из функций которой является регистрация гиперспектральных изображений тестовых объектов в диапазоне 400-900 нм (далее – система «СКАН»). При этом каждый пиксель такого изображения может быть представлен в виде спектра в величинах спектральной плотности энергетической яркости за счет проведенных

лабораторных калибровок по фотометрической сфере. В случае, если синхронно с регистрацией гиперкуба данных системой «СКАН» провести съемку этих же тестовых объектов камерой Р4М (рисунок), за счет разнородности объектов с использованием формул (1) и (2) можно определить значения калибровочных коэффициентов в каналах камеры.



Схема проведения эксперимента для калибровки

Дискретные функции спектрального отклика необходимо получить экспериментально (например, при использовании монохроматического излучения). А далее можно определить калибровочные коэффициенты, решив задачу оптимизации с использованием следующей формулы:

$$C_j = \frac{\tau_j^k \sum_{\lambda} R_{\lambda}^j E_{\lambda}^k}{(D_j^k - n_j^{\tau}) \sum_{\lambda} R_{\lambda}^j},$$

где R_{λ}^j – значения дискретной функции спектрального отклика j -го канала, зависящие от длины волны λ ; E_{λ}^k – абсолютные значения спектральных отражательных характеристик, зарегистрированных системой «СКАН» для k -го тестового участка; D_j^k – «сырые» значения яркости пикселей камеры Р4М для k -го тестового участка; τ_j^k – значение экспозиции в j -м канале при съемке k -го тестового участка; n_j^{τ} – значение уровня шума для заданной экспозиции.

Таким образом, в работе предложен способ определения функций спектрального отклика и коэффициентов радиометрической калибровки в каналах мультиспектральной камеры DJI Phantom 4 Multispectral. Описанный способ позволяет решить проблему пересчета значений пикселей мультиспектральных изображений для возможности их сопоставления со спутниковыми данными. Проведение радиометрической коррекции данных позволяет осуществлять мультивременные научные исследования с использованием спектрозональных сенсоров, а также использовать в исследованиях ненормированные вегетационные индексы.

Библиографические ссылки

1. *Lu H, Fan T, Ghimire P, Deng L.* Experimental evaluation and consistency comparison of UAV multispectral minisensors // *Remote Sensing*. 2020. V. 12(16). Article 2542.
2. *Di Gennaro S.F., Toscano P., Gatti M. et al.* Spectral Comparison of UAV-Based Hyper and Multispectral Cameras for Precision Viticulture // *Remote Sensing*. 2022. V. 14. Article 449.
3. *Tucker C.J.* Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // *Remote Sensing of Environment*. 1979. V. 8(2). P. 127–150.
4. *Bannari A., Morin D., Bonn F., Huete A. R.* A review of vegetation indices // *Remote Sensing Reviews*. 1995. V. 13. No. 1. P. 95–120.
5. *Datt B.* A new reflectance index for remote sensing of chlorophyll content in higher plants: tests using Eucalyptus leaves // *J. Plant Physiology*. 1999. No. 154. P. 30–36.
6. *Ломако А. А.* Методика обработки данных авиационных мультиспектральных измерений для мониторинга состояния отдельных деревьев // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2023. Т. 20. № 5. С. 9–27.
7. P4 Multispectral [Electronic resource]. URL: <https://www.dji.com/p4-multispectral> (date of access: 08.02.2024).
8. *Tominaga S., Nishi S., Ohtera R.* Measurement and Estimation of Spectral Sensitivity Functions for Mobile Phone Cameras // *Sensors*. 2021. V. 21. Article 4985.
9. *Dong H., Jian W., Yiming Q., Yee-Hong Y.* Learning to Recover Spectral Reflectance from RGB Images // *Journal of Latex Class Files*. 2021. V. 14. No. 8. P. 1 – 13.
10. Методика радиометрической калибровки метрологического комплекса «Камя» / И. М. Цикман, Ю. В. Беляев, А. П. Попков // *Приборостроение 2014: материалы 7-ой Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19-21 ноября 2014 г. / БНТУ; редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]*. Минск: БНТУ, 2014. С. 227-228.
11. Опытный образец высотного калибровочного пункта для калибровки спутниковых сенсоров и валидации измерений / П. В. Ивуть, Н. Г. Щербаков, А. В. Гуторов, А. А. Ломако, Ю. В. Голубев, Б. И. Беляев, В. А. Сосенко, Г. С. Литвинович, А. Д. Хомицевич // *Приборостроение-2023 : материалы 16-й Международной научно-технической конференции, 15-17 ноября 2023 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]*. Минск: БНТУ, 2023. С. 328-329.

УДК 528.946

СОЗДАНИЕ КАРТЫ ДИАЛЕКТИЧЕСКИХ ЗОН АТЛАСА «ГАВОРКІ І ДЫЯЛЕКТЫ БЕЛАРУСІ»

А. С. Львов, А. Р. Герман

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, andrew.lwow@mail.ru*

Изучены особенности проектирования и составления лингвистических карт, составлена диалектическая карта в программе Adobe Illustrator.

Ключевые слова: составление карт; Adobe Illustrator; лингвистическая география; компьютерные технологии.

CREATION OF A MAP OF DIALECTICAL ZONES OF THE ATLAS «GAVORKI AND DYALECTS OF BELARUS»

A. S. Lvov, A. R. German

*Belarusian State University, Independence Ave., 4, 2203030, Belarus,
andrew.lwow@mail.ru*

The features of designing and compiling linguistic maps have been studied, and a dialectical map has been compiled in Adobe Illustrator.

Keywords: Mapping; Adobe Illustrator; linguistic geography; computer technolog.

Картографический метод всегда отличался рядом преимуществ: возможность показать объемную информацию, четко определить распределение явления, также карта способна предоставить широкий перечень данных для анализа в наглядной форме. Лингвистическая география предполагает проектирование и создание карт, поскольку данная предметная область подразумевает под собой наличие большого количества качественной информации [9].

При создании лингвистических карт используют информацию об особенностях диалектической ситуации местности, а затем эти карты сами становятся источниками таковой. Поэтому характерно использование таких способов картографического изображения, как способа значков и качественного фона с проведением изоглосс, обозначающие границы распространения какого-либо языкового явления [10].

Диалектическое картографирование белорусского языка в пределах территории страны относится к созданию атласов 1963 и 1969 гг. под эгидой академии наук и института языкознания Якуба Коласа. Таким образом, переиздание диалектического атласа Беларуси (в том числе и в цифровом варианте) может стать отправным пунктом в новом векторе лингвогеографических исследований белорусского языка [12].

Составление диалектической карты было осуществляется в два этапа: составление основы и нанесение на нее тематического содержания. Географическая основа заимствуется с общегеографических карт. Географическая основа карты включает математические элементы (масштаб, картографическую проекцию) и элементы общегеографической карты (гидрографическую сеть, населенные пункты, пути сообщения, границы).

Географическая основа помогает ориентироваться на карте, «читать» ее, локализовать содержание проектируемой карты. В конкретных случаях при использовании качественного фона как способа картографического изображения основа выполняет «опорную функцию», позволяет территориально корректно отобразить картографируемые явления [11].

В ходе исследования было решено составить карту диалектических зон Республики Беларусь в масштабе 1:3 000 000 (рис. 1).

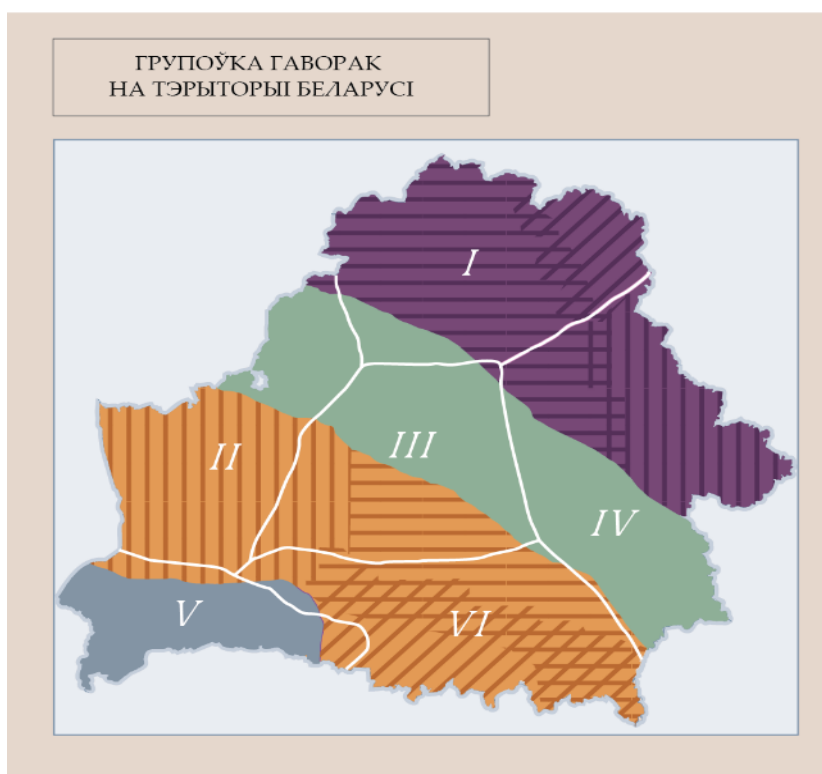


Рис. 1. Диалектическая карта «Групоўка гаворак на тэрыторыі Беларусі» (сост. авт.)

Для составления карты «Гаворкі і дыялекты Беларусі» использована нормальная равноугольная коническая проекция. По территориальному охвату карта отражает исключительно границы Республики Беларусь. По виду компоновки на конкретной тематической карте масштаб не отображается, легенда и название карты отображены на полях карты (рис. 2).



Рис. 2. Легенда диалектической карты «Групоўка гаворак на тэрыторыі Беларусі» (сост. авт.)

На последующих этапах планируется проектирование и составление лексических и морфологических карт будущего атласа.

Результаты проделанной работы могут быть использованы для таких предметных областей, как тематическое картографирование топонимика, лингвистика, лингвистическая география. Полученные сведения могут оказаться полезными не только для картографов и лингвистов, но и для широкого круга пользователей карт. Кроме того, создание подобных картографических произведений усиливает интерес к родному языку и знакомит с диалектическими особенностями регионов Беларуси.

Библиографические ссылки

1. Adobe [Электронный ресурс]/ Режим доступа: www.adobe.com – Дата доступа: 20.12.2023.
2. Аванесов Р. И. Очерки русской диалектологии. Ч. 1. М.: Наука, 1949. 336 с.
3. Атлас русских народных говоров центральных областей к востоку от Москвы (под ред. Р. И. Аванесова, 1957).
4. Атлас болгарских народных говоров в СССР (1958).

5. Атласул лингвистик молдовенеск (ред. Р. Удлер, В. Комарницки; бол 1–2, 1968–72).
6. Атлас української мови (т. 1–3, 1984–2001).
7. *Атоян, Л. В.* Компьютерная картография: Курс лекций. / Л. В. Атоян. Мн.: 2004г. 77 с.
8. *Баранский, Н. Н.* Экономическая картография / Н. Н. Баранский, А. И. Преображенский. М.: Изд-во географической литературы, 1980. 286 с.
9. *Берлянт А. М.* Картоведение: Учебник для вузов / А. М. Берлянт, А. В. Востокова, В. И. Кравцова и др.; под ред. А. М. Берлянта. М.:Аспект Пресс, 2003. 477 с. (серия «Классический университетский учебник»).
10. *Берлянт, А. М.* Картография: Учеб. для вузов. / А. М. Берлянт. М.: Аспект Пресс, 2001. 336 с.
11. *Билич, Ю. С.* Проектирование и составление карт: Учебник для вузов./ Ю. С. Билич, А. С. Васмут. М.: Недра, 1984 364 с.
12. *Вендина, Т. И.* Лингвогеография и проблема декодирования языка карты // Лингвистика. Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского, 2010, № 4 (2). С. 457-460.

УДК 528.94-056.262

О РАЗВИТИИ ТАКТИЛЬНОЙ КАРТОГРАФИИ

Г. П. Ляхова, Е. С. Гвоздицкая

*РУП «Белкартография», пр. Машерова 17А, 220029, г. Минск,
Беларусь, kartograf@belkarta.by*

Создание безбарьерной среды — важный этап развития общества. В статье исследовано развитие тактильной картографии в мире и Республике Беларусь, описаны способы издания тактильного изображения, рассмотрены преимущества и недостатки каждого из методов. Описаны основные принципы генерализации и построения тактильного картографического изображения, раскрыты проблемы создания подобных произведений и пути их решения.

Ключевые слова: тактильная картография; шрифт Брайля; рельефное изображение; безбарьерная среда.

ON THE DEVELOPMENT OF TACTILE CARTOGRAPHY

Н. Р. Liakhova, K. S. Hvazdzitskaya

*RUE «Belkartografiya», Masherova Av., 17A, 220029, Minsk, Belarus,
kartograf@belkarta.by*

Creating a barrier free environment is an important stage in the development of society. In the article studies the development of tactile cartography in the world and the Republic of Belarus, describes methods of publishing tactile images. Consider the advantages and disadvantages of each method. Describes the main principles of generalization and construction of tactile cartographic images. Revealed the problems of creating such works and ways of solution.

Keywords: tactile cartography; Braille; relief image; barrier-free environment.

С давних времен одним из главных средств познания мира является карта. Благодаря ей люди узнают о его устройстве, как в масштабах планеты или страны, так и отдельного района, города. Однако не все (в силу физических особенностей) способны воспринимать визуальную информацию, представленную на карте [1].

Так, незрячие или слабовидящие люди способны познавать мир преимущественно через тактильное ощущение, из-за чего возникает необходимость создавать карты с учетом состояния здоровья и ограничений возможностей данного сегмента пользователей. Для этого в картографии есть

специальный раздел — тактильная картография. Ее задачей является проектирование и создание рельефной карты через «перевод» визуального образа пространства в простую модель действительности рельефных (выпуклых) условных знаков и подписей, выполненных рельефно-точечным шрифтом Брайля. В результате создаются тактильные и тифлографические карты, содержащие и цветное изображение, и тактильные элементы.

Основными пользователями тактильных карт являются учащиеся специализированных учебных заведений, люди, потерявшие зрение уже во взрослом возрасте и люди с частичным нарушением зрения (слабовидящие). Благодаря тактильным картам формируются пространственные навыки и представления о чтении тактильной графики, создается картина мира и преодолеваются информационные барьеры.

Учебная и художественная продукция для незрячих и слабовидящих людей в Беларуси успешно выпускается с 1997 г., однако производства учебных картографических пособий долгое время не существовало. Ситуация изменилась в 2021 г., когда РУП «Белкартография» начало выполнять первые в стране разработки в данном направлении.

Первый тактильный атлас в мире был создан еще в XIX в., а к 1950-м гг. это направление получило свое дальнейшее развитие [2]. Созданием подобной продукции занимаются производственные объединения или организации при национальных ассоциациях слепых и слабовидящих, реабилитационных центрах и специализированных школах. Самые крупные школы в данном направлении картографии созданы и работают в Польше, Бразилии, Чили, Канаде, США и Российской Федерации.

Несмотря на большое количество разработок, тема создания картографической продукции для незрячих и слабовидящих недостаточна изучена. Также в мире существует ограниченное количество изданных рельефных карт [3]. Во многом это связано с отсутствием апробированной методики, которую можно было бы принять в качестве типовой для создания карт различной тематики, масштаба и способа изготовления, в том числе с использованием геоинформационных систем [4].

Также сложность заключается в разнородности технологических процессов, применяемых к созданию продукции данного типа.

На данный момент существуют следующие способы изготовления тактильных карт:

- печать на микрокапсульной рельефообразующей бумаге, полученные методом термоформования;
- аппликация (коллаж);
- изготовление карт на пластике, получаемом в процессе вакуумного термоформования (для тифлографической продукции);

- печать на УФ-принтерах с использованием быстро затвердевающих лаков и чернил;
- применение устройств по тиснению на бумаге и 3D-принтеров [5].

Наиболее приемлемыми типами оборудования для предприятия РУП «Белкартография» являются ультрафиолетовый планшетный принтер и устройство для микрокапсулирования (устройство для печати тактильной графики PIAF). Данные методики не требуют многоступенчатости технологии производства и позволяют еще на этапе разработки протестировать создаваемую картографическую продукцию.

Печать на микрокапсульной рельефной бумаге производится путем образования рельефного изображения черной краской под воздействием высоких температур (рис. 1). Основными плюсами данного метода являются простота и скорость создания продукции, а также возможность комбинирования черной краски и цветной печати, что важно для произведений, ориентированных на слабовидящих людей. К минусам такой печати можно отнести одноуровневость создаваемого рельефа, его быструю изнашиваемость и сложность в совмещении на карте нескольких рельефных элементов содержания одновременно, из-за чего читаемость такой карты резко снижается.



Рис. 1. Образец печати на микрокапсульной бумаге

Технология печати на УФ-принтере на пластике быстро затвердевающими (отверждаемыми) чернилами и лаком состоит в следующем: специальный материал (лак или чернила) наносится на поверхность специализированного пластика несколькими слоями, благодаря чему создается рельефность. Затем под воздействием УФ-излучения производится его сушка и затвердевание, в результате чего изображение на карте становится рельефным.

Данный метод имеет ряд преимуществ, в сравнении с печатью на микрокапсульной бумаге: меньшая изнашиваемость готовой продукции, сохранение четкости контуров рельефа, возможность проявления большей гибкости в выборе изобразительных средств при создании

тактильных поверхностей, а также совмещения объемной визуализации и цветного изображения в продукции для людей с остаточным зрением (рис. 2). Однако при этом печать на УФ-принтере на пластике требует дорогостоящего специального оборудования и расходных материалов.



Рис. 2. Образец печати на УФ-принтере

В перспективе предприятием рассматривается использование метода термоформования рельефов на пластике, совмещенного с цветной печатью на бумаге для изготовления больших объемов продукции.

Удобочитаемость — главное условие тактильных карт, которое достигается за счет упрощения и генерализации визуального содержания карты-основы и ее тематической нагрузки. Данная задача реализуется в несколько этапов.

Сначала проводится содержательная генерализация карты-основы: убираются те тематические и общегеографические элементы, которые будут лишними для будущей тактильной карты; упрощаются существующие сложные понятия, обобщаются качественные и количественные характеристики, сокращается разнообразие классификаций и градаций шкал. Все это приводит к уменьшению количества контуров, цветов, условных знаков, что существенно снижает графическую нагрузку карты. Также на этом этапе производится предварительный отбор данных на основе разработанных норм и цензов.

Следующий шаг связан непосредственно с оформлением карты.

При создании тактильных условных обозначений карты, используется либо черная краска (для создания рельефной графики при печати на микрокапсульной бумаге), либо другие четко различимые цвета (при печати на УФ-принтере). В последнем случае наращивание рельефности выполняется специальным прозрачным лаком, либо с применением чернил.

В процессе оформления карты должен соблюдаться баланс между тактильной удобочитаемостью (для незрячих людей) и визуальной цветопередачей (для слабовидящих людей). Первое не должно ухудшаться из-за плоскочечатного изображения, а второе — из-за

снижения контрастности и малого разнообразия цветов. Поэтому все подписи на карте (в большинстве своем это топонимы, общегеографические термины и пояснительные подписи) выполняются шрифтом Брайля и крупным шрифтом (кириллицей) черного цвета для слабовидящих (при печати на УФ-принтере). Вспомогательная информация (численность населения, административно-территориальное деление и т. п.) должна быть вынесена в приложение к карте в рельефно-графическом виде или в аудиоформате.

На данный момент РУП «Белкартография» создано несколько произведений в области тактильной картографии: тактильная карта «Физическая карта Беларуси» масштаба 1:1 500 000, а также схема «Планеты солнечной системы», атлас для 4-го класса «Чалавек і свет. Мая Радзіма Беларусь». Данные пособия прошли апробацию в ГУО «Специальная общеобразовательная школа № 188 для детей с нарушением зрения г. Минска», по результатам которой материалам была дана положительная оценка.

При работе над учебно-картографическими пособиями была отмечена потребность в создании данного вида продукции и обеспечения ею разного вида организаций: от учебных учреждений и центров социального обслуживания, занимающихся реабилитацией незрячих и слабовидящих людей, до культурных объектов. Такую востребованность отмечают и представители общественного объединения «Белорусское товарищество инвалидов по зрению».

Однако создание тактильной картографической продукции — сложный и трудоемкий процесс, требующий больших временных и финансовых затрат как на ее проектирование, так и на печать.

Библиографические ссылки

1. *Медведев А. А.* Тактильная и тифлокартография: основные достижения // Геодезия и картография. – 2017. т. 78 Спецвыпуск. С. 56–66.
2. *Gardiner E. A. H.* (2001) The Role of Tactile Maps in Environmental Education and Recreation in Areas of Managed Countryside. University of Manchester, PhD. Thesis.
3. *Андрюхина Ю. Н., Пошивайло Я. Г., Ананьев В. А.* К вопросу разработки типовой методики создания тактильных карт // Геодезия и картография. 2018. т. 79. №11, С. 25–33.
4. *Андрюхина Ю. Н.* Исследование возможности использования современных методик 3D-печати при создании тактильных карт и планов // Вестник СГУГиТ. 2019, т. 24. № 1, С. 72–82.
5. *Медведев А. А.* Создание тактильных и тифлографических карт // Москва, 2019., С. 24.

УДК 528.489

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ БПЛА С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ

Медведев А. А.¹⁾, Волох Е. Д.²⁾, Алексеенко Н. А.^{1),2)}

¹⁾Институт географии РАН, Старомонетный переулок, 29, стр. 4,
119017, г. Москва, ²⁾Московский государственный университет, Ленинские горы, 1
119991, РФ, Москва, Российская Федерация a.a.medvedeff@gmail.com,
evolokh000@gmail.com, valtuz@mail.ru

С целью разработки алгоритма обнаружения газогидратов было предпринято две экспедиции на озеро Байкал для сбора данных. В рамках экспедиций проводилась съемка участка с подтвержденными запасами газогидратов, в камеральных условиях проводилась фотограмметрическая обработка снимков, полученных с БПЛА и фотокамеры с четырнадцати высотных эшелонов. Результатом стал разработанный алгоритм выявления газогидратов по скоплениям пузырей метана во льду.

Ключевые слова: газогидраты; Байкал; фотограмметрическая обработка; облака точек.

PHOTOGRAMMETRIC PROCESSING OF UAV DATA FOR THE PURPOSE OF GAS HYDRATE DETECTION

Medvedev A. A.¹⁾, Volokh E. D.²⁾, Alekseenko N. A.^{1),2)}

¹⁾Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetnyi lane. 29, 119017,
Moscow, Russian Federation ²⁾Moscow State University, Leninskie Gory, 1 119991,
Russian Federation, Moscow a.a.medvedeff@gmail.com, evolokh000@gmail.com,
valtuz@mail.ru

In order to develop an algorithm for detecting gas hydrates, two expeditions were undertaken to Lake Baikal to collect data. As part of these expeditions, a survey of an area with confirmed reserves of gas hydrates was carried out, and photogrammetric processing of images obtained from a UAV and a camera from fourteen altitude levels was carried out under office conditions. The result was an algorithm for identifying gas hydrates based on accumulations of methane bubbles in ice.

Keywords: gas hydrates; Baikal; photogrammetric processing; point clouds.

Запасы нефти и газа относятся к иссякаемым невозобновимым природным ресурсам, поэтому внимание мирового сообщества на сегодняшний день приковано к различным альтернативным источникам энергии. В

том числе таким источником энергии могут являться газогидраты, представляющие заключенные в молекулы воды (их водородную структуру) соединения низкомолекулярных газов [1-5].

В рамках работы была поставлена следующая цель: разработка алгоритма обнаружения скоплений газогидратов с помощью комбинации аэрофотосъемки и обработки данных на базе фотограмметрического программного обеспечения. В качестве исходных материалов использованы данные съемки БПЛА *DJI Phantom 4* (разрешение камеры 20 МП), *DJI Mavic 2 Pro* (разрешение камеры 48 МП) с различных высотных эшелонов. Обработка данных производилась на базе программного обеспечения *Agisoft Metashape 1.5.5*, *Global Mapper 22.1*, *ArcGIS 10.5*.

Газогидраты сохраняют стабильность только при определенных термобарических условиях, частое нарушение которых характерно для рифтовой зоны оз. Байкал. При дестабилизации гидраты распадаются на газ и воду [6]. Пузыри газа поднимаются к поверхности водной толщи и в период ледостава вмерзают в лед.

В рамках сбора данных для разработки алгоритма организовано 2 экспедиции на озеро Байкал в 10 километрах к югу от устья реки Голоустная, где донные отложения содержат подтвержденные исследованиями сотрудников Лимнологического института СО РАН запасы газогидратов [7]. В феврале 2018 г. была произведена съемка первого из исследуемых участков на 3 высотных эшелонах: 375, 440, 460 м. Суммарно было получено 930 снимков. Повторная экспедиция была предпринята в феврале 2021 г., съемка с БПЛА проводилась на тех же участках, но с большим диапазоном высотных эшелонов: 10 м, 20 м, 50 м, 100 м, 150 м, 200 м, 300 м, 350 м, 400 м, 500 м. Для каждого из снимаемых участков были зафиксированы координаты 3 точек с точностью 3-5 м с использованием GPS-приемника. При последующей фотограмметрической обработке эти точки использовались для привязки разреженных и плотных облаков точек.

Более того, с земли были отсняты различные типы пузырей: скопления мелких пузырьков, наиболее крупные пузыри, «многоэтажные» пузыри. Съемка проводилась с использованием зеркального фотоаппарата Canon 550D с фокусным расстоянием в 35 мм с целью минимизации дисторсии объектива. Таким образом, в результате наземной и воздушной съемки получено более 7000 снимков, подлежащих дальнейшей фотограмметрической обработке и анализу.

Для каждого из высотных эшелонов съемки 2021 г. также были построены плотные облака точек (рис. 1), анализ которых производился по



Рис. 1. Пузырь метана (слева) и построенное для него облако точек (справа)

следующим параметрам: глубина перспективы, плотность точек, а также их цвет. Первый параметр представляет собой «выбросы» в местах скопления гидратов на плотном облаке точек. Для анализа второго параметра на базе ПО *Global Mapper* каждое из полученных облаков точек классифицировалось с точки зрения плотности (рис. 2). Стоит отметить, что цвет не является абсолютной характеристикой, так как зависит от погодных условий во время съемки, а также от размера и конфигурации пузырей, вмерзших в лед. Тем не менее, при классификации по цвету скопления пузырей можно отличить от заснеженной поверхности, торосов, трещин и открытого льда. Для каждого из высотных эшелонов также построены цифровые модели рельефа (рис. 3) и ортофотопланы, по которым выполнялось сравнение. Всего построено семьдесят одно плотное облако точек, и восемнадцать цифровых моделей местности и ортофотопланов, подвергнутых дальнейшему анализу.

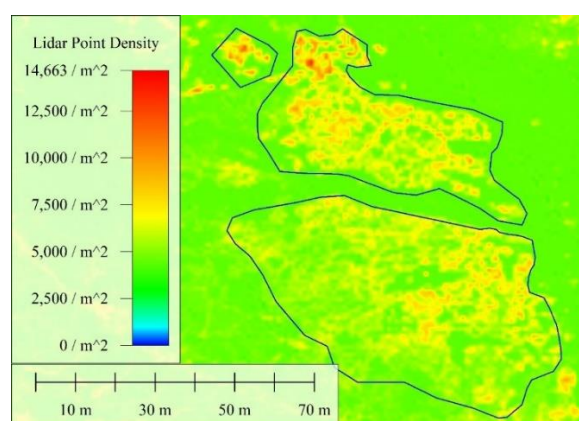


Рис. 2. Классификация по плотности облака точек, построенного по данным съемки с высоты 50 м с разрешением 20 МП

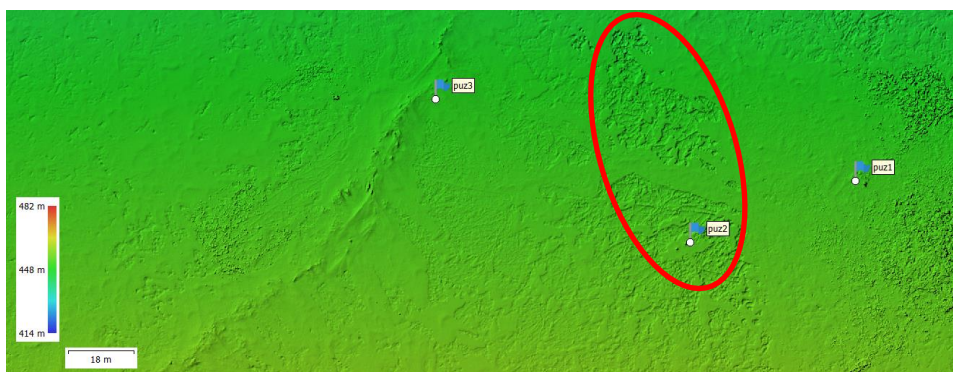


Рис. 3. Локальные понижения, соответствующие скоплениям пузырей метана, на ЦМР, полученной по данным съемки с высоты 100 м с разрешением 20 МП

Таким образом, процесс идентификации залежей газогидратов по вмерзшим в лед пузырькам метана состоит из следующих этапов:

- сначала необходимо произвести съемку исследуемой территории с высоты от 300 до 500 м в зависимости от необходимого охвата и имеющегося оборудования (чем больше площадь исследуемой территории, тем больше высота съемки);
- на базе полученных данных последовательно строятся разреженное и плотное облака точек, цифровая модель рельефа и ортофотоплан;
- далее на базе полученного ортофотоплана производится кластеризация, позволяющая выделить следующие классы: открытую ледовую поверхность, заснеженные участки и промежуточный класс, к которому относятся наледи, трещины, а также скопления пузырей метана (в данной работе этот этап выполнялся на базе ПО ArcGIS 10.5, но для его выполнения может использоваться любое программное обеспечение, поддерживающее обработку растровых изображений). Таким, образом, выделив данный промежуточный класс, можно сократить площадь исследуемой территории до площади участков, попавших в него. Наличие данных о выделенных участках из других источников может помочь сократить их количество или повысить внимание к некоторым;
- на следующем этапе необходимо провести съемку участков, выделенных ранее, с более низких высотных эшелонов (50 м, 100 м (в случае слишком большого количества участков));
- по полученным с высоты 100 м данным также необходимо последовательно построить плотные облака точек и цифровые модели местности;
- при наличии на участке локальных понижений (позволяет отсечь участки с наледями, выделенные на предыдущем участке, описанных в предыдущем параграфе, необходимо классифицировать плотное облако точек, полученное с высоты 50 м по плотности. Если одним и тем же

участкам соответствуют максимальная плотность облака точек, полученного по данным, снятым с высоты 50 м, а также наличие локальных понижений на цифровых моделях местности, полученных по данным съемки с высот 50 и 100 м, можно говорить о запасах газогидратных отложений на рассмотренных участках.

В результате проведенного анализа, созданы карты идентификации залежей газогидратов к югу от устья реки Голоустная, а также определен оптимальный алгоритм обнаружения запасов газогидратов, который может впоследствии применяться в комплексе с другими методами на начальных этапах поиска гидратных отложений в тектонических озерах, таких, как Рица и Байкал. Результаты исследования могут быть полезны как для топливной промышленности, так как запасы газогидратов Байкала содержат около 1 трлн м³ газа [7], так и при изучении глобального потепления или контроля за разрушающимися склонами водных объектов.

Библиографические ссылки

1. R. Leon, L. Somoza, C.J. Gimenez-Moreno et al. A predictive numerical model for potential mapping of the gas hydrate stability zone in the Gulf of Cadiz // Elsevier. Marine and Petroleum Geology. 2009 г. Т. 26 С. 1564-1579.
2. L. Liu, B. Ryu, Zh. Sun et al. Monitoring and research on environmental impacts related to marine natural gas hydrates: Review and future perspective // Elsevier. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2019 г. Т. 65 С. 82-107.
3. E. Attias, K. Weitemeyer, S. Holz и др., High-resolution resistivity imaging of marine gas hydrate structures by combined inversion of CSEM towed and ocean-bottom receiver data [Журнал]// Geophysical Journal International. 2018 г. С. 1-33.
4. M. Engram, K. W. Anthony, F. J. Meyer и др., Synthetic aperture radar (SAR) backscatter response from methane ebullition bubbles trapped by thermokarst lake ice [Журнал]// Canadian Journal of Remote Sensing. 2012 г. Т. 38 № 6 С. 667-682.
5. P. R. Lindgren, G. Grosse, K. M. Walter Anthony и др., Detection and spatiotemporal analysis of methane ebullition on thermokarst lake ice using high-resolution optical aerial imagery [Журнал]// Biogeosciences. 2016 г. Т. 3 С. 27-44.
6. Neftegaz.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://neftegaz.ru/science/petrochemistry/332034-gazovye-gidraty/>; (Дата обращения: 15.02.2024).
7. О. М. Хлыстов (Лимнологический институт СО РАН), Результаты поиска и изучения Байкальских газовых гидратов [Доклад] – Москва 2017 г.

УДК 528.8

ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ВИДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

У. А Мороз

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

Изложены результаты исследования динамики структуры видов сельскохозяйственных земель по данным дистанционного зондирования. Особенности изменений представлены посредством разновременных аэрокосмических снимков, на которых прослеживается динамика изменения структуры видов сельскохозяйственных земель. На основе съемок дистанционного зондирования с помощью мониторинга проанализированы снимки определенной территории с различными временными интервалами.

Ключевые слова: динамическая информация; мониторинг и анализ изменений, дистанционное зондирование земли; разновременные аэрокосмические снимки; сельскохозяйственные земли.

DYNAMICS OF THE STRUCTURE OF AGRICULTURAL LAND TYPES ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA

U. A. Moroz

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

The results of a study of the dynamics of the structure of agricultural land types according to remote sensing data are presented. The features of these changes are presented through multi-temporal aerospace images, which trace the dynamics of changes in the structure of types of agricultural land. Based on remote sensing images using monitoring, images of a certain territory at different time intervals were analyzed.

Keywords: dynamic information; monitoring and analysis of changes, remote sensing of the earth; multi-temporal aerospace images; agricultural lands.

В настоящее время дистанционные съемки становятся все более популярным и эффективным способом получения информации о различных объектах и явлениях. Они позволяют получать данные о местности, климате, растительности, геологии и других аспектах окружающей среды без необходимости физического присутствия на месте.

Материалы дистанционных съемок, дают объективное и детальное отображение земной поверхности, обеспечивают оперативное и с высокой степенью достоверности получение информации о состоянии и динамике окружающей среды [1].

Одним из ключевых аспектов дистанционных съемок является получение динамической информации, то есть данных об изменениях, происходящих во времени. Получение динамической информации позволяет анализировать процессы, происходящие в реальном времени, и делать прогнозы на основе этих данных.

Земли сельскохозяйственного назначения нуждаются в комплексном мониторинге с целью сохранения и дальнейшего развития. Также, мониторинг, несомненно, необходим в случае с нерациональным использованием земель.

Динамическое дешифрирование аэрокосмических снимков заключается в качественном анализе динамики природных и социально-экономических явлений по разновременным снимкам. Изучение динамики географических объектов основано на использовании повторных снимков. Сущность повторных съемок сводится к получению разновременного ряда снимков, на которых динамика объектов проявляется в изменении геометрических, тоновых и структурных характеристик изображения [2].

Главными задачами мониторинга сельскохозяйственных земель являются определение площадей, засеянных различными культурами, и чистого пара, а также оперативный мониторинг динамики развития посевов. Определение земельных угодий пашен, залежей; кормовых угодий выгонов, сенокосов и т. п. Определение продуктивности пастбищ и сенокосов. Изучение нарушенности угодий, сбитости и стравленности пастбищ, эродированности пахотных земель, закустаренность сенокосов и т. п. Определение посевов сельскохозяйственных культур — зерновых, многолетних трав, технических культур — и их состояния (фаза вегетации, повреждения, заболевания). Наблюдение за развитием сельскохозяйственных культур по материалам повторных съемок. Подсчет площадей, занятых различными сельскохозяйственными культурами. Контроль за проведением агротехнических мероприятий — определение типов севооборотов, наличие площадей под паром и многолетними травами, противоэрозионных мероприятий, полосных посевов и т. д. Контроль за нарушениями о мелиорации земель. Анализ территориальной организации хозяйств, контроль за осуществлением проектов землеустройства. Определение производственной направленности хозяйств. Составление земельного кадастра. Сельскохозяйственное картографирование.

Прямые признаки дешифрирования — это свойства и характеристики объектов, напрямую отображаемые на аэрофотоснимке. Эти признаки

воспринимаются зрительно или с помощью технических средств и дают точный и достоверный результат при расшифровке снимков.

В зависимости от свойств объектов прямые признаки дешифрирования разделяют на:

геометрические: форма, размер, тень;

яркостные: уровень яркости, цвет, фототон;

структурные: рисунок, структура, текстура;

Геометрические признаки. Форма — один из наиболее надежных прямых признаков, так как позволяет получить основную информацию об объекте. Объекты антропогенного происхождения, как правило, имеют геометрически правильные формы.

Размеры объектов в плане и по высоте позволяют распознавать и дифференцировать объекты похожей формы. По размерам на снимках различают поля зерновых и кормовых севооборотов, спелый лес и лесную поросль, здания различного функционального назначения и т. д.

Яркостные признаки. Уровень яркости (тон) — это зрительное восприятие объектов из-за яркостных и цветовых контрастов. На черно-белом аэрофотоснимке изображение объектов передается через сочетание различных тонов, которое может значительно варьировать.

Цвет объектов на снимке зависит от их спектральной отражательной способности в различных диапазонах длин волн электромагнитного спектра. Различия в цвете помогают идентифицировать вегетацию, почвы, водоемы и другие объекты.

Структурные признаки. Рисунок — совокупность линий, характеризующих форму и расположение составляющих объекта. Рисунок может использоваться для распознавания строений, дорог, рек и других линейных элементов.

Структура — внутреннее устройство объекта, характеризующее его составные части и их пространственное расположение. Структура позволяет различать типы почв, растительных сообществ и геологических образований.

Текстура — характер поверхности объекта, определяемый ее микро-рельефом и степенью неоднородности. Текстура помогает идентифицировать типы почв, горных пород и водных поверхностей [5].

Для изучения динамики природных и антропогенных объектов используются не только однократные снимки, но и повторные съемки, которые могут быть:

многократные: получение большого количества разновременных снимков;

регулярные: систематические съемки с определенной периодичностью;

эпизодические: съемки для выявления изменений на местности или фиксации последствий катастрофических событий [3].

Повторные съемки позволяют: отслеживать изменения ландшафтов в результате мелиорации и эрозионных процессов, наблюдать за развитием овражно-балочной сети, выявлять изменения на местности после наводнений, лесных пожаров и других стихийных бедствий (рис.1).

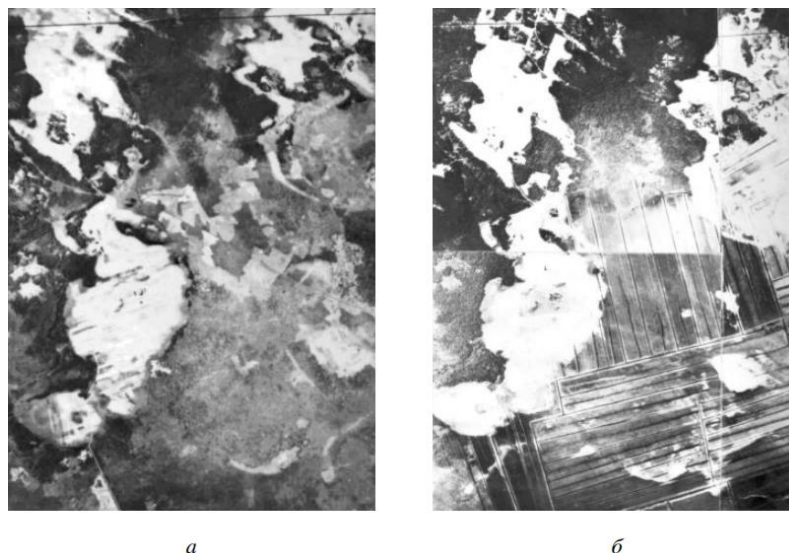


Рис. 1. Аэрофотоснимки одной и той же территории: *а* – до мелиорации; *б* – после мелиорации [7]

Таким образом, прямые признаки дешифрирования объектов на аэрофотоснимках являются важнейшей основой для распознавания и идентификации объектов, изучения их свойств и динамики изменений. Использование повторных съемок значительно расширяет возможности дешифрирования и позволяет проводить комплексный анализ природных и антропогенных объектов [4].

Важным условием при изучении географических объектов является получение используемых снимков при помощи однотипной аппаратуры в одних и тех же спектральных диапазонах, при одних ракурсах и высотах, при одинаковых оптикометеорологических условиях. Всякое отклонение от идеальных условий сокращает объем получаемой информации о динамике, усложняет обработку разновременных снимков и снижает точность получаемых результатов.

Процесс извлечения динамической информации со снимков включает выявление изменений, их графическое отображение и содержательную интерпретацию. Для выявления изменений по разновременным снимкам их нужно сопоставить между собой путем поочередного (раздельного) или одновременного (совместного) наблюдения [4].

Собранные данные затем можно использовать для анализа различных аспектов целевой задачи сельского хозяйства: урожая и урожайности. Анализ данных ДЗЗ используется для внесения изменений в культуры, чтобы обеспечить максимальную производительность отрасли (рис. 2).



Рис. 2. Уборка полей, космический снимок с КА QuickBird © DigitalGlobe [7]

Например, самыми детальными, с точки зрения ДЗЗ, распространены угрозами, с которыми сталкиваются сельхозпроизводители, являются заражение сельскохозяйственных культур вредителями и сорняками. Здесь требуется переход от космической съемки до съемки с БПЛА и полевого подтверждения.

Использование спутниковых изображений в сельском хозяйстве помогает охватить обширную площадь земли и может помочь в проверке состояния посевов. Цвет растения с помощью точных данных БПЛА, предоставляемых сенсорами, можно измерить уровень хлорофилла в растении, с помощью которого фермер может определить недостаток питания или проблему со здоровьем растения. Используя инфракрасные датчики и датчики Red-Edge, модель NDVI может легко идентифицировать поврежденные культуры, что дает фермерам больше времени для принятия эффективных контрмер для спасения урожая. Использование термодатчиков может помочь в оптимизации системы орошения.

Длинночастотный инфракрасный датчик или LWIR, чтобы проверить, какие регионы излучают тепло из-за плохих систем водоснабжения.

GPS со спутников дает точную информацию о местоположении, которая имеет основополагающее значение для новых сельскохозяйственных инноваций, таких как самоуправляемая сельскохозяйственная техника и самоуправляемые сельскохозяйственные машины.

Таким образом, аэрокосмические съемки являются мощным инструментом для получения динамической информации о различных объектах и явлениях на земной поверхности, что делает их необходимыми для мониторинга и анализа изменений в окружающей среде.



Рис. 3. Границы полей и культур: *а* – по данным севооборота;
б – обновленные по снимку

Библиографические ссылки

1. Смирнов Л. Е. Аэрокосмические методы географических исследований. СПб: Изд. Санкт-Петербургского университета, 2005. С. 166-176.
2. Барталев С. А., Лупян Е. А., Нейштадт И. А., Савин И. Ю. Вторая открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса». Определение параметров сельскохозяйственного производства по данным дистанционного зондирования, 2004 г. С. 238. URL: [sovremennye_problemy_distantionnogo_zondirovaniia_zemli_iz\(1\).pdf](#) (дата обращения: 29.02.2024).
3. Шалькевич Ф. Е. Методы аэрокосмических исследований: курс лекций / Ф. Е. Шалькевич. Мн.: БГУ, 2005 161 с.
4. Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова, О. В. Тутубалина. Аэрокосмические методы географических исследований: Учеб. для студ. высш. учеб. Заведений – М.: Издательский центр «Академия», 2004.
5. Топаз А. А. Методы дистанционных исследований: электронный учебно-методический комплекс для специальностей: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)» / А. А. Топаз; БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. геодезии и космоаэрокартографии. – Минск: БГУ, 2022. 127 с.
6. Ф. Е. Шалькевич, Ю. С. Давидович. Электронный учебно-методический комплекс для специальности: 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 2004 г. С. 132.
7. ГК «Иннотер» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://innoter.com/sputniki/bka/> (дата обращения: 29.02.2024).

УДК 911.5(282.254.21)

**АНАЛИЗ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В БАССЕЙНЕ р. ЭЛЬ-АСИ
(ОРОНТ) В 2021 г.: СРАВНЕНИЕ БАЗ ДАННЫХ
ESRI LAND COVER И ESA WORLD COVER**

А. А. Никифорова, В. А. Табунщик, Т. Ю. Горбунова, Р. В. Горбунов

*ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
ул. Нахимова 2, 299011, Севастополь, Российская Федерация,
nikiforova_a@ibss-ras.ru*

Проанализированы теоретические представления о типах наземного покрова и использовании дистанционных методов для его изучения. Составлена и проанализирована карта наземного покрова в бассейне р. Эль-Аси (Оронт) за 2021 г. Приведено описание района исследования, характеристика данных о типах наземного покрова, описана методика исследования.

Ключевые слова: наземный покров; река Эль-Аси; река Оронт; мониторинг; бассейн реки; геоинформационные системы; ГИС; дистанционное зондирование Земли.

**LANDCOVER ANALYSIS IN THE EL-ASI (ORONTES) RIVER
BASIN IN 2021: COMPARISON OF ESRI LAND COVER
AND ESA WORLD COVER DATABASES**

A. A. Nikiforova, V. A. Tabunschik, T. Y. Gorbunova, R. V. Gorbunov

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Nakhimova st. 2,
299011, Sevastopol, Russian Federation, nikiforova_a@ibss-ras.ru*

The theoretical concepts of land cover types and the use of remote sensing methods for its study are analyzed. A map of land cover in the basin of the El-Asi (Orontes) River for 2021 was compiled and analyzed. The description of the study area, characterization of data on land cover types used in the work, and the study methodology are described.

Keywords: land cover; El-Asi River; Orontes River; monitoring; river basin; geographic information systems; GIS; Earth remote sensing.

Реки и водные бассейны играют важнейшую роль в жизни человека. Понимание прошлых, настоящих и будущих изменений наземного покрова в пределах речного бассейна дает представление о надлежащем использовании водосборных бассейнов [1, 2]. В последние годы динамика типов наземного покрова исследуется все более детально [3-6].

Факторами, определяющими изменения наземного покрова в речном бассейне, являются: высота над уровнем моря, уклон, удаленность от реки, эрозия почвы, удаленность от основных дорог, населенных пунктов и т. д. [7]. Изменение наземного покрова вызвано прежде всего деятельностью человека: развитием процессов урбанизации, индустриализации, ведением сельского хозяйства и т. д. Это, в свою очередь, может показывать доступность водных ресурсов для использования, значительно изменять объемы и режимы водного стока [3, 8]. Страны Ближнего Востока считаются странами, которые в наибольшей степени испытывают дефицит воды [9]. Река Эль-Аси (Оронт) расположена в Западной Азии, к северу от Аравийского полуострова, на восточной оконечности Средиземного моря (рис. 1).

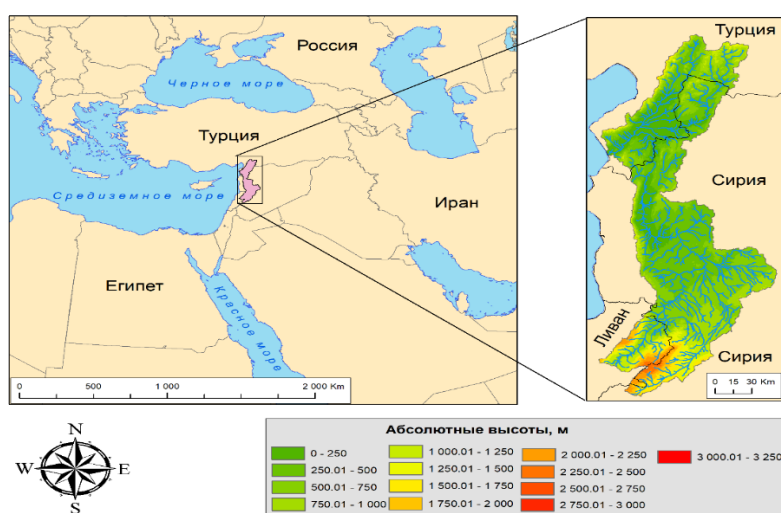


Рис. 1. Географическое положение и абсолютные высоты в бассейне р. Эль-Аси (Оронт)

Река Эль-Аси (Оронт) берет начало в Ливане, протекает через Сирию и Турцию и впадает в Средиземное море и является одним из важных источников водных ресурсов на Ближнем Востоке. В бассейне р. Эль-Аси (Оронт) дифференциация хозяйственного использования территории напрямую связана с физико-географическими и социально-экономическими факторами.

Река берет начало в горах Антиливана, примерно в 30 км к востоку от Бейрута. Протекает сначала по скалистому ущелью, затем разливается в озеро Хомс, которое было запружено еще в античные времена. Далее долина реки расширяется у города Хама, после чего русло поворачивает на запад, в Антиохийскую равнину. Здесь в Эль-Аси (Оронт) впадают два крупных притока — реки Африн и Карасу, которые расположены в Турции и Сирии соответственно. Река Эль-Аси (Оронт) впадает в залив Антакья Средиземного моря, к югу от турецкого портового города Самандаг.

В настоящее время данные о поверхности Земли получают методами дистанционного зондирования, которые являются более эффективными по сравнению с полевыми съёмками местности. Мониторинг изменения наземного покрова (land cover) обычно предполагает использование технологий дистанционного зондирования, географических информационных систем (ГИС) и других инструментов пространственного анализа для анализа спутниковых изображений, аэрофотоснимков и других источников данных. Эти методы позволяют исследователям выявлять и количественно оценивать изменения с течением времени, оценивать движущие силы изменений и прогнозировать будущие тенденции.

С последующим развитием технологий дистанционного зондирования появились национальные и международные инициативы по реализации глобальных проектов картирования наземного покрова, например, Copernicus Global Land Cover, Glob Cover Land Cover Maps, Globe Land30, Land Cover Climate Change Initiative (CCI), Esri Land Cover и др. С 2017 г. проводятся исследования по разработке временного ряда базы ESRI Land Cover. Эта модель классификации наземного покрова использует искусственный интеллект, усовершенствованный за счёт объединения огромного обучающего набора данных, точность итогового продукта составляет около 85 %. Выделяются 9 типов наземного покрова: вода, деревья, водно-болотные угодья, поля (сельскохозяйственные угодья), голые земли (территории, не покрытые растительностью), застроенные территории, пастбища, а также территории с постоянной облачностью и территории со снежным покровом. Данные можно получить с официального сайта <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>.

База ESA World Cover представляет данные за 2020 и 2021 гг. и включает 11 обобщенных типов наземного покрова: деревья, кустарники, поля, голые земли с минимальным растительным покровом, пастбища, поля (пахотные земли), застроенные территории, снег и лед, постоянные водоемы (вода), травянистые водно-болотные угодья, мангровые заросли, а также мхи и лишайники. Общая точность продукта World Cover 2021 составляет 77 %. Данные можно получить с официального сайта <https://worldcover2021.esa.int/>. Обе рассматриваемые в работе базы данных имеют пространственное разрешение 10 м. В результате исследования получена и проанализирована карта типов наземного покрова в бассейне р. Эль-Аси (Оронт) в 2021 г. (рис. 2). На рисунке 2 и в таблице представлено пространственное распределение площади основных типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2021 г.

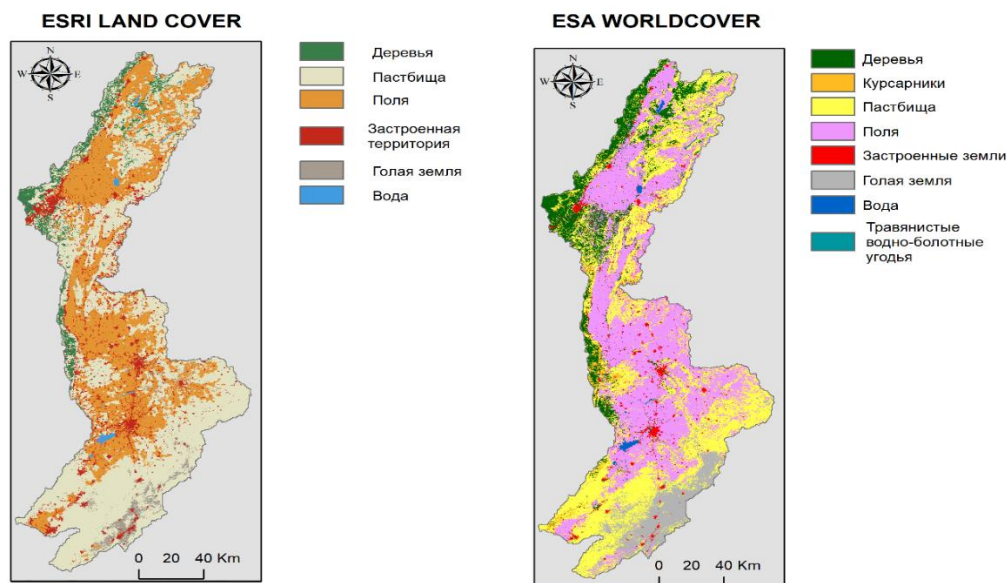


Рис. 2. Типы наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2021 г., по данным ESRI Land Cover и ESA World Cover

Типы наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2021 г. (км²)

Тип наземного покрова	База данных	
	ESRI Land Cover	ESA World Cover
Вода	113,6	129,4
Деревья	1144,6	2584,6
Поля	8283,8	9720,6
Застроенная территория	2010,4	805,9
Голая земля	617,2	2174,1
Пастбища	12462,0	8323,2
Кустарники	-	873,4
Травянистые водно-болотные угодья	-	3,0

Как можно видеть из таблицы, по базам геоданных ESRI Land Cover и ESA World Cover площади типов наземного покрова в бассейне р. Эль-Аси (Оронт) отличаются. Причем площади некоторых типов наземного покрова отличаются значительно (например, площадь застроенных территорий по базе данных ESRI Land Cover более чем в 2 раза чем по базе данных ESA World Cover). В тоже время площади, занимаемые водным типом наземного покрова, практически не отличаются.

Анализ типов наземного покрова имеет практическое значение при проведении исследований в бассейне р. Эль-Аси (Оронт), разработанная электронная карта позволяет в будущем провести мониторинг этой территории на основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса

в другие годы. При регулярном обновлении исходных информационных продуктов становится возможным проводить постоянный мониторинг площадей и состояния наземного покрова, определять ключевые факторы, влияющие на динамику этого состояния.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (№ гос. регистрации 1023032300094-7).

Библиографические ссылки

1. Ndulue E. L., Mbajiorgu C. C., Ugwu S. N., Ogwo V., Ogbu K. N. Assessment of land use/cover impacts on runoff and sediment yield using hydrologic models: A review // *Journal of Ecology and the Natural Environment*. 2015. Vol. 7, no. 2. P. 46–55. <https://doi.org/10.5897/jene2014.0482>
2. Tabunshchik V., Gorbunov R., Gorbunova T. Anthropogenic transformation of the river basins of the northwestern slope of the Crimean Mountains (The Crimean Peninsula) // *Land*. 2022. Vol. 11, no. 12. Art. nr 2121.
3. Табунищик В. А., Горбунов Р. В. Динамика типов наземного покрова (land cover) в пределах бассейнов рек северо-западного склона Крымских гор // *Геология, география и глобальная энергия*. 2022. № 3. С. 78–88.
4. Линева Н. П. Анализ динамики наземного покрова в пределах верховьев бассейна р. Салгир (Крымский полуостров) // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология*. 2023. Т. 9, № 4. С. 30-43. EDN УТУИHX.
5. Славко В. Д., Андреева О. В., Куст Г. С. Оценка динамики наземного покрова в целях установления нейтрального баланса деградации земель на локальном уровне (для опустыненных угодий сухостепного Заволжья) // *Аридные экосистемы*. 2023. Т. 29. №. 1 (94). С. 59-69.
6. Воробьев О. Н., Курбанов Э. А., Ша Д., Лежнин С. А., Ван Д., Дергунов Д. М. Мониторинг и прогноз динамики наземного покрова Среднего Поволжья по спутниковым данным в QGIS MOLUSCE // *Мониторинг*. 2023. Т. 20. №. 5. С. 176-193.
7. Lin Y. P., Verburg P. H., Chang C. R., Chen H. Y., Chen M. H. Developing and comparing optimal and empirical land-use models for the development of an urbanized watershed forest in Taiwan // *Landscape and Urban Planning*. 2009. Vol. 92, iss. 3/4. P. 242–254.
8. Nagraj S. P., Nataraja M. Effect of land use land cover changes on runoff using hydrological model: a case study in Hiranyakeshi watershed // *Modeling Earth Systems and Environment*. 2020. Vol. 6. P. 2345–2357. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00808-8>.
9. Zaki N. A., Kløve B., Haghighi A. T. Expanding the irrigated areas in the MENA and Central Asia: challenges or opportunities? // *Water*. 2022. Vol. 14, iss. 16. Art. nr 2560. <https://doi.org/10.3390/w14162560>.

УДК 528.94:004.921

СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ ФАКУЛЬТЕТА ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ БГУ В MAPBOX GL JS API И PANO2VR

В. Н. Пейхвассер¹⁾, В. В. Петроченко²⁾, Е. А. Добатовкин²⁾

¹⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030,
г. Минск, Беларусь, mck57@mail.ru*

²⁾ *ООО «МэпДэйта», ул. Кирова, 8, пом. 27, 220030, г. Минск, Беларусь*

Рассмотрены вопросы разработки и создания картографической модели внешней и внутренней инфраструктуры учебного корпуса факультета географии и геоинформатики БГУ. Дан анализ существующих примеров виртуальных навигационных картографических информационных систем. В рамках группового дипломного проекта создан опытный образец навигационной картографической информационной системы факультета с применением инновационных программных продуктов и геоинформационных технологий.

Ключевые слова: виртуальная навигационная картографическая информационная система; геоинформационные технологии; визуализация; Web-картография; учебный корпус факультета географии и геоинформатики БГУ; JavaScript; Visual Studio Code ArcGIS; Blender Mapbox GL JS; Pano2VR; Three.js; Java OpenStreetMap Editor (JOSM).

CREATION OF A VIRTUAL NAVIGATION CARTOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM ON THE EXAMPLE OF THE FACULTY OF GEOGRAPHY AND GEOINFORMATICS BSU IN MAPBOX GL JS API AND PANO2VR

V. M. Peikhvasser¹⁾, V. V. Petrochenko²⁾, E. A. Dobatovkin²⁾

¹⁾ *Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, mck57@mail.ru*

²⁾ *MapData LLC st. Kirova, 8, room. 27, 220030, Minsk, Belarus*

The issues of developing and creating a cartographic model of the external and internal infrastructure of the educational building of the Faculty of Geography and Geoinformatics of BSU are considered. The analysis of existing examples of virtual navigation cartographic information systems is given. As part of the group diploma project, a prototype of the faculty's navigation cartographic information system was created using innovative software products and geoinformation technologies.

Keywords: virtual navigation cartographic information system; geoinformation technologies; Web cartography; academic building of the Faculty of Geography and Geoinformatics of BSU; JavaScript; Visual Studio Code ArcGIS; Blender Mapbox GL JS; Pano2VR; Three.js; Java OpenStreetMap Editor (JOSM).

Информационные технологии ныне занимают важную роль в нашей повседневной жизни. Наиболее значимой областью их применения является картография, развитие которой с появлением новых инновационных Web-технологий сводится к интегральной системе наук, постепенно превращающие ее в некую обновленную «Большую картографию», которая включает в состав многие смежные разделы, существуя как сложное единое целое.

Картографические информационные системы (КИС) позволяют собирать, хранить, анализировать и отображать информацию о различных объектах городской инфраструктуры, что упрощает нашу жизнь и повышает ее качество. Задачей данного проекта являлась Web-картографическая разработка опытного образца навигационной информационной системы для учебного корпуса факультета географии и геоинформатики (ФГиГ) с применением инновационных программных продуктов и геоинформационных технологий.

В Белорусском государственном университете в целом и на ФГиГ в частности, ранее предпринимались несколько попыток создания виртуальных видео гидов по этажам университета на базе платформы компании Adobe Flash Player для создания веб-приложений или мультимедийных презентаций [1]. Однако на данный момент технология значительно устарела, а сами проекты никаким образом не поддерживаются (поддержка глобальной Adobe Flash прекращена 31.12.2020 г.) и какой-либо разработки в этом направлении не ведется (Информация об окончании срока службы <https://www.adobe.com/ru/products/flashplayer/end-of-life.html>). Таким образом, работа становится актуальной и практически значимой в контексте использования КИС на факультете. В тоже время в других высших учебных заведениях ведутся такого рода работы в разных программах, например на картографическом факультете Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК) и в Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (TIQXMMI Milliy Tadqiqot Universiteti) (рис. 1).

В тоже время, при картографировании городской инфраструктуры набирают популярность методы, связанные со всеобщей цифровизацией и виртуализацией городского пространства. С развитием сенсорных технологий и Интернета вещей (IoT) стало возможным получать данные о состоянии городской инфраструктуры в реальном времени, при этом одной

из основных тенденций в картографировании объектов внутренней инфраструктуры является использование 3D-моделей помещений как одной из важных тенденций в развитии картографических информационных систем (рис. 2).

Для разработки виртуальной карты учебного корпуса ФГиГ на основании анализа всех имеющихся программ и технологий выбраны программы и технологии Mapbox GL JS API и Pano2VR на картографической основе волонтерского проекта КИС OpenStreetMap (OSM) с применением редактора Java OpenStreetMap Editor (JOSM) (рис. 3).

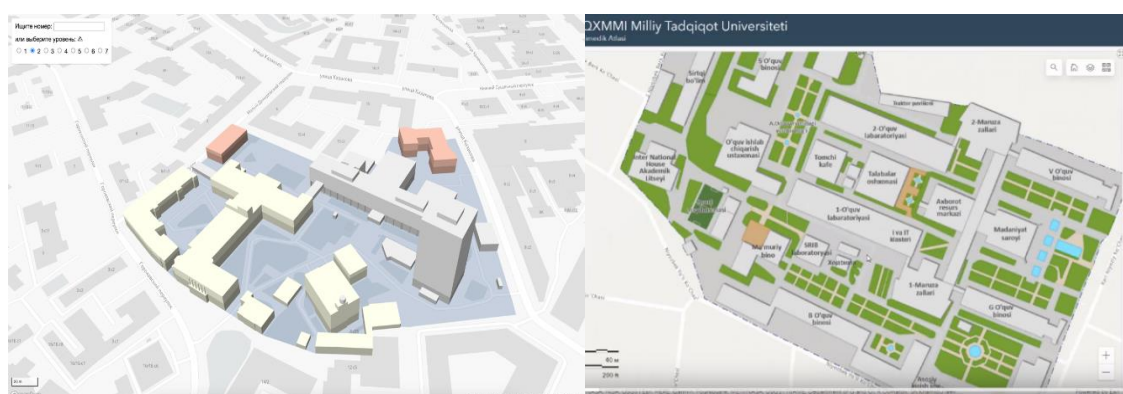


Рис. 1. КИС «Навигация по корпусам МИИГАиК» и Интерактивная карта TIQXMMI Milliy Tadqiqot Universiteti [2,5]



Рис. 2. 3D-модель визуализации внутренних помещений с помощью Mapbox GL JS, комнаты окрашены в зависимости от их функции [6]

Работа над КИС ФГиГ выполнялась в рамках группового дипломного проекта: Добатовкиным Е. А. (бэкенд разработки — внутренняя, скрытая

от пользователя часть web-сервиса) и Петроченко В. В. (фронтенд разработки — видимая пользователям часть web-сервиса) под научным руководством старшего преподавателя Пейхвассера В. Н. и доцента, кандидата географических наук Топаз А. А.

Тема проекта лежит в сфере научного и практического интереса деятельности компании в области разработки КИС ООО «МэпДэйта» — центр исследований и разработки компании Mapbox, Inc, где выпускники-космоаэрокартографы ныне осуществляют свою трудовую деятельность.

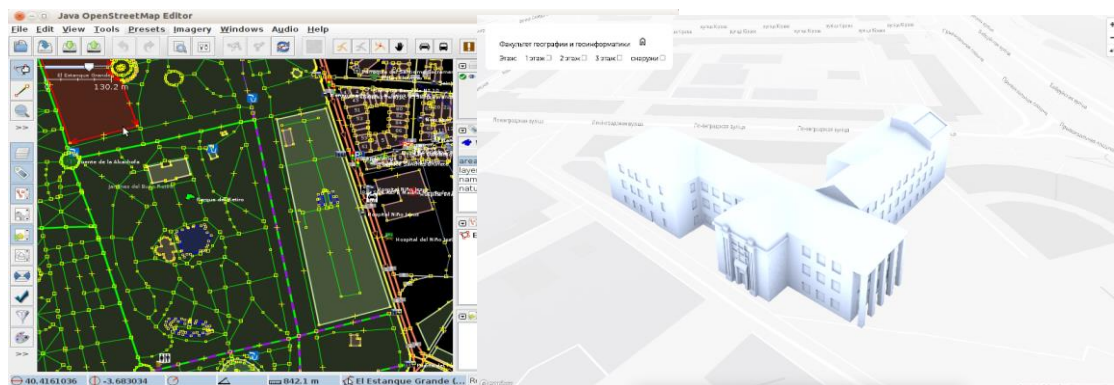


Рис. 3. Рабочая панель Java OpenStreetMap Editor (JOSM) [8] и 3D-модель внешнего фасада факультета географии и геоинформатики в OpenStreetMap [составлено Добатовкиным Е. и Петроченко В.]

Виртуальный подход к КИС факультета, выбранный в данной разработке, позволяет осуществлять имитацию физического присутствия и рассматривать учебный корпус внутри помещения с помощью компьютерной графики, видео или фотографий с применением Mapbox GL JS API [7] и визуализацией в Indoor Mapping [6] в Mapbox (рис. 4).

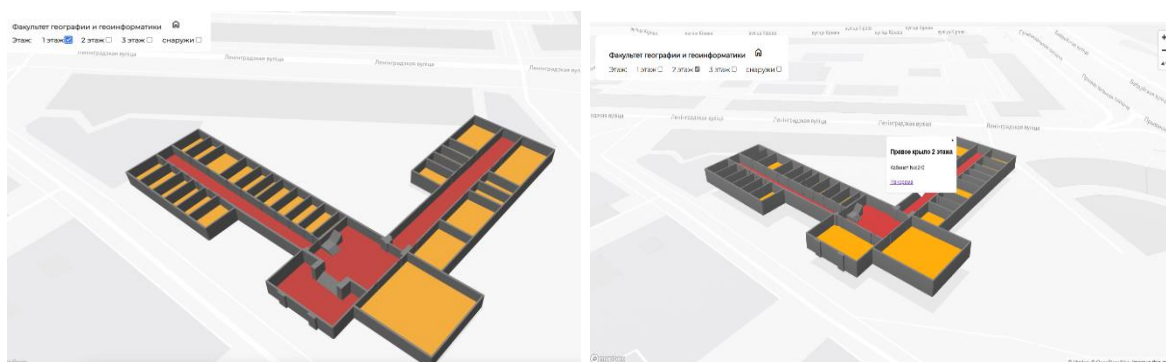


Рис. 4. Пример 3D проектирования внутренней инфраструктуры помещений первого и второго этажа ФГиГ, визуализированной с помощью Indoor Mapping в Mapbox [составлено Добатовкиным Е. и Петроченко В.]

Это поможет посетителям лучше ориентироваться на факультете и выбирать наиболее подходящие маршруты, а также совершать виртуальные интерактивные экскурсии на основе программной платформы, определяющей структуру картографической системы, ее презентационную часть и пользовательский интерфейс, а также связанные с ним компонент по проектированию и разработке системы в Mapbox [6].

В ходе исследования были изучены основные принципы работы с Mapbox API и PANO2VR (рис.5, 6), что позволило успешно создать виртуальную карту факультета географии и геоинформатики БГУ [4].



Рис. 5. Добавление всплывающих окон (код представлен слева, результат – справа) [составлено Добатовкиным Е. и Петроченко В.]



Рис. 6. Добавление кнопки перехода к домашней локации и внешний вид панели управления КИС [составлено Добатовкиным Е. и Петроченко В.]

Оценка эффективности использования виртуальной КИС показала ее полезность и удобство в повседневной жизни. К элементам научной новизны работы относится оценка перспективы создания и использования виртуальных навигационных картографических систем учебных заведений, разработка методики составления на основе программных информационных технологий. Готовую карту возможно после решения некоторых вопросов согласования, загрузить на сайт ФГиГ и сделать виртуально доступной для студентов, сотрудников и туристов, учитывая историко-культурную значимость здания, как объекта конструктивизма.

Библиографические ссылки

1. Виртуальный 3-D тур по БГУ. Режим доступа: <https://bsu.by/bgu-segodnya/virtualnyu-3-d-tur.php> – Дата доступа: 12.03.2024.
2. Навигация по-Старому и Новому корпусам МИИГАиК. Режим доступа: <https://kartfak.ru/2022/04/15/> – Дата доступа: 12.03.2023.
3. Пользовательская документация для интеграции PANO2VR [Электронный ресурс]. 2023. Режим доступа: <https://ggnome.com/doc/server-using/> – Дата доступа: 23.04.2023.
4. Репозиторий проекта geo-bsu-map на GitHub [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://github.com/dobatovkin/geo-bsu-map/> – Дата доступа: 15.04.2023.
5. TIQXMMI Milliy Tadqiqot Universiteti. Интерактивная карта территории университета – Режим доступа: https://vk.com/im?sel=188708690&z=video-151855213_456239507%2Fdce8c29d298a2ed8cc%2Fpl_post_-151855213_2919 – Дата доступа: 23.04.2023.
6. Сайт компании Mapbox [Электронный ресурс]. 2023. Режим доступа: <https://www.mapbox.com/> Дата доступа: 09.05.2013.
7. Техническая документация Mapbox GL JS [Электронный ресурс]. 2023. Режим доступа: <https://docs.mapbox.com/mapbox-gl-js/guides/> Дата доступа: 01.05.2023.
8. Создание виртуального тура в программе Pano2vr – Режим доступа: <https://vokrug3d.ru/virtualnye-tury/sozдание-virtualnogo-tura-v-programme-pano2vr-pro.html>– Дата доступа: 12.03.2023.
9. Техники 3d-моделирования. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/10998/1/3D-City.pdf> – Дата доступа: 12.03.2023.
10. Уроки Pano2vr. Руководство пользователя // Adobe [Электронный ресурс]. 2022. Режим доступа: <http://www.apeskov.ru/faq/91-aboutpano> Дата доступа: 12.03.2023.

УДК 528.94:004.921

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ БЕЛАРУСИ ДЛЯ ТУРИСТСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В. Н. Пейхвассер, А. О. Раков

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030,
г. Минск, Беларусь, mck57@mail.ru*

Проанализированы способы создания трехмерных изображений и объектов для интерактивных приложений, географических карт и планов, изучен инструментарий и техника 3D моделирования способами и средствами компьютерных технологий. Составлены и подготовлены к публикации и размещению в интернет интерактивные приложения: карта Несвижского замка с 3D моделью замка, 3D карта университетского городка БГУ, а также трехмерные изображения объектов историко-культурного наследия для туристского плана города Пружаны.

Ключевые слова: 3D модель; 3D карта; трехмерные изображения объектов историко-культурного наследия; компьютерные технологии; интерактивные приложения; Google Earth; Blender 3D; Adobe Photoshop; ArcGIS; Несвижский замок; университетский городок БГУ; Пружаны.

3D MODELING OF OBJECTS OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE OF BELARUS FOR TOURISM INFORMATION SYSTEMS WITH APPLICATION COMPUTER TECHNOLOGY

V. M. Peikhvasser, A. O. Rakov

Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Belarus, mck57@mail.ru

Analyzed methods for creating three-dimensional images and objects for interactive applications, geographic maps and planning, studied tools and techniques, 3D modeling methods and the use of computer technology. Interactive applications have been compiled and prepared for publication and posting on the Internet: a map of Nesvizh Castle with a 3D model of the castle, a 3D map of the BSU campus, as well as three-dimensional images of historical and cultural heritage sites for the tourist plan of the city of Pruzhany.

Keywords: 3D model; 3D map; three-dimensional images; objects of historical and cultural heritage; computer technologies; interactive applications; Blender 3D; Nesvizh Castle; BSU campus; Pruzhany.

Туристские информационные системы сегодня играют важную роль в популяризации и сохранении историко-культурного наследия различных регионов. Круг потребителей созданных картографических моделей

для таких сервисов включает не только туристов, студентов, исследователей, а также самый широкий круг пользователей, в том числе местных жителей и всех интересующихся историей и культурой Беларуси.

К моделям картографической направленности для информационных систем могут быть определены следующие требования: 1. точность и достоверность данных, используемых для создания моделей; 2. интерактивность (масштабирование, перемещение, отображение дополнительной информации при наведении и возможность выбора объектов) и простота использования; 3. применение технологии взаимодействия человека и компьютера: дополненная реальность (AR, англ. *augmented reality*) на базе специальных маркеров либо меток и виртуальная реальностью (VR, англ. *virtual reality*) в виде интерактивного мира, воспринимаемого человеком; 4. визуальная привлекательность и реалистичность для создания у пользователя эффект присутствия в этих местах.

Объекты историко-культурного наследия Беларуси можно разделить на следующие четыре категории: 1. памятники архитектуры и градостроительства (оборонной: замки и крепости; дворцово-усадебной; культовой: церкви, костелы, синагоги и мечети; промышленной и гражданской); 2. исторические поселения; 3. памятники археологии; 4. парки [6].

Каждая из этих групп объектов представляет свою уникальность и историческую ценность, и могут быть смоделированы как 3D модели для туристских информационных систем.

Наиболее актуальными технологиями трехмерного картографирования являются следующие способы моделирования: рукописное авторское художественное создание карт-панорам; использование результатов съемки дронов и фотограмметрии; применение лазерного сканирования; внесение в изображения эффектов виртуальной (VR) и дополненной реальности (AR); применение картографических информационных справочных систем и баз данных; компьютерное автоматизированное моделирование в ручном режиме с помощью специализированного программного обеспечения (3D Studio Max, Maya или Blender 3D, а также других продуктов) [7].

Самым популярным картографическим информационным сервисом, использующим технологии трехмерного отображения, спутниковые данные, лазерное сканирование, фотограмметрические преобразования, компьютерное зрение является Google Earth (рис. 1).



Рис. 1. Трехмерное изображение одного из районов Парижа в картографическом информационном сервисе Google Earth [3]

Другой известной площадкой, содержащей, трехмерные модели объектов историко-культурного наследия является Sketchfab (рис. 2). Это виртуальная галерея для загрузки, просмотра и обмена моделями.

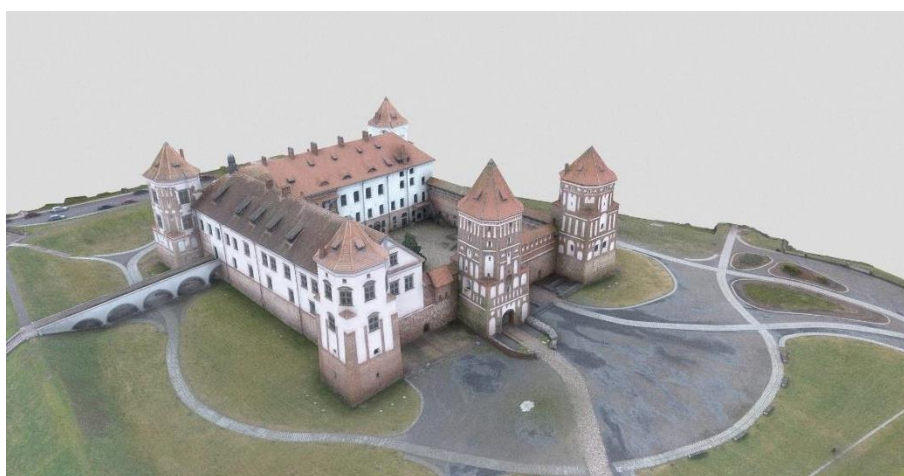


Рис. 2. Пример трехмерной картографической модели Мирского замка с сайта Sketchfab [4]

На кафедре геодезии и космоаэрокартографии подготовлены к публикации и размещению в интернет интерактивные приложения: карта Несвижского замка с 3D моделью замка, 3D карта университетского городка БГУ, а также трехмерные изображения объектов историко-культурного наследия для туристского плана города Пружаны.

Первоначально выполнялось картографическое моделирование с помощью специализированного программного обеспечения Blender 3D [2] (рис. 3). При создании рельефа местности Несвижского замкового комплекса применено изображение, выполненное в ArcGIS [8]. Для лучшего восприятия [11] и более простого нахождения характерных линий и точек рельефа (линии водослива, подошвы, бровки и т. д.) применен Adobe Photoshop [9] (рис. 4). Результат выполнения моделирования Несвижского замка представлен на рис. 5.

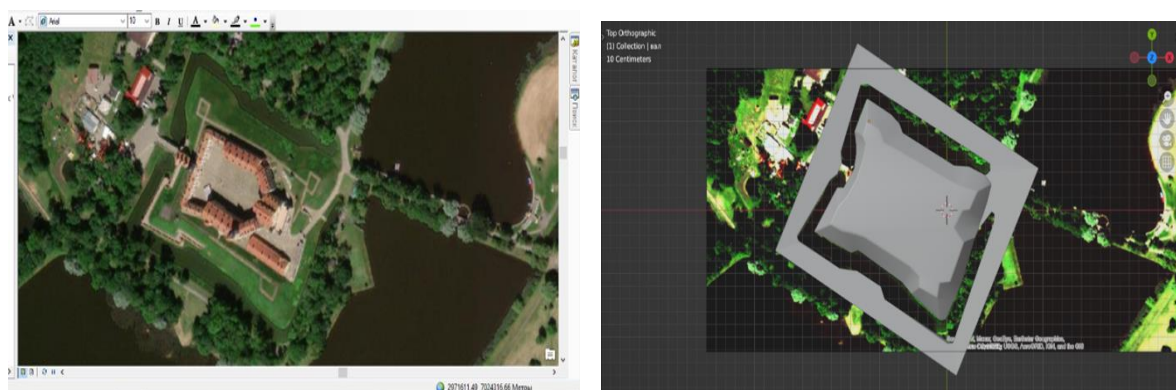


Рис. 3. Космический снимок территории Несвижского замка с Google Earth и подоснова рельефа из ArcGIS, импортированная через Adobe Photoshop (выполнено Раковым А. О.)

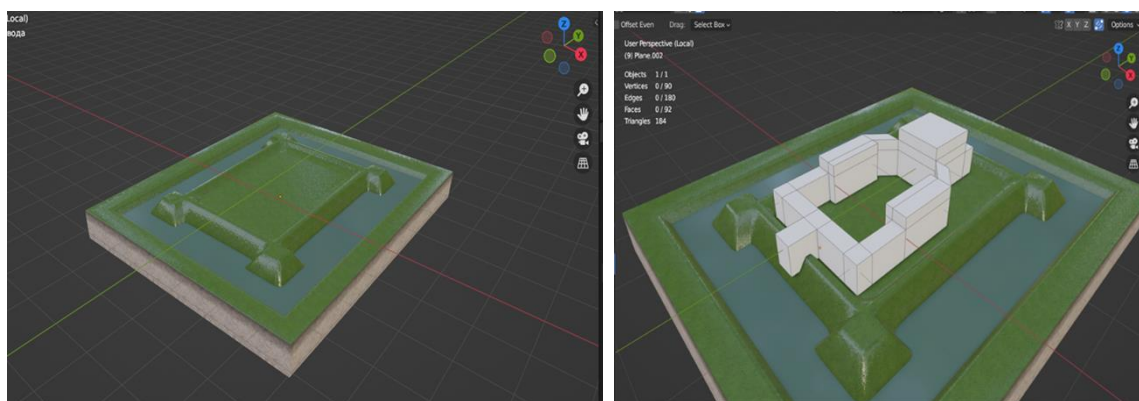


Рис. 4. Этапы формирования модели Несвижского замка (выполнено Раковым А. О.)

Наиболее перспективным вариантом применения художественно оформленных 3D моделей объектов историко-культурного наследия в картографии можно считать создание интерактивного приложения. В качестве такого приложения может выступать сайт с импортированной в

него 3D моделью объекта историко-культурного наследия, которыми могут быть отдельные исторические здания или целые историко-культурные комплексы.

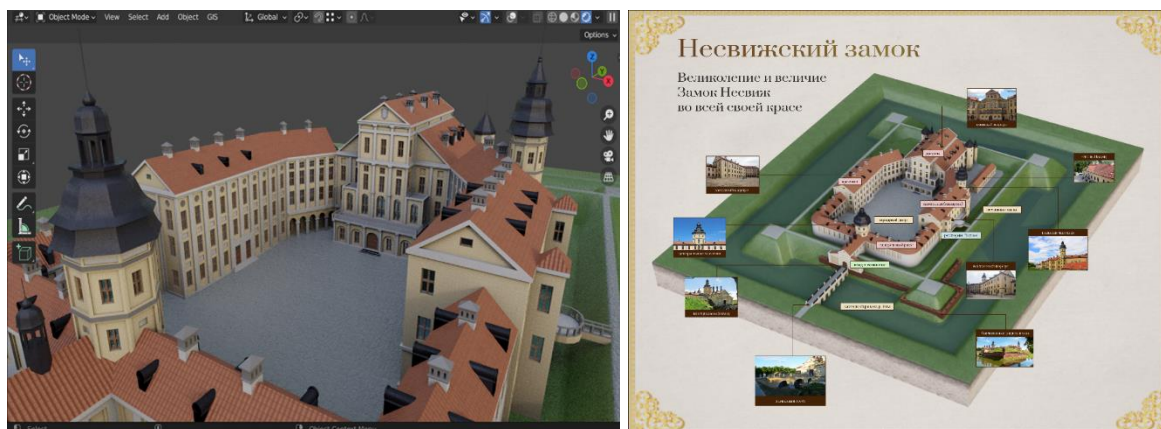


Рис.5. Завершающий этап построения и визуализация плана Несвижского замка [составлен Раковым А. О.]

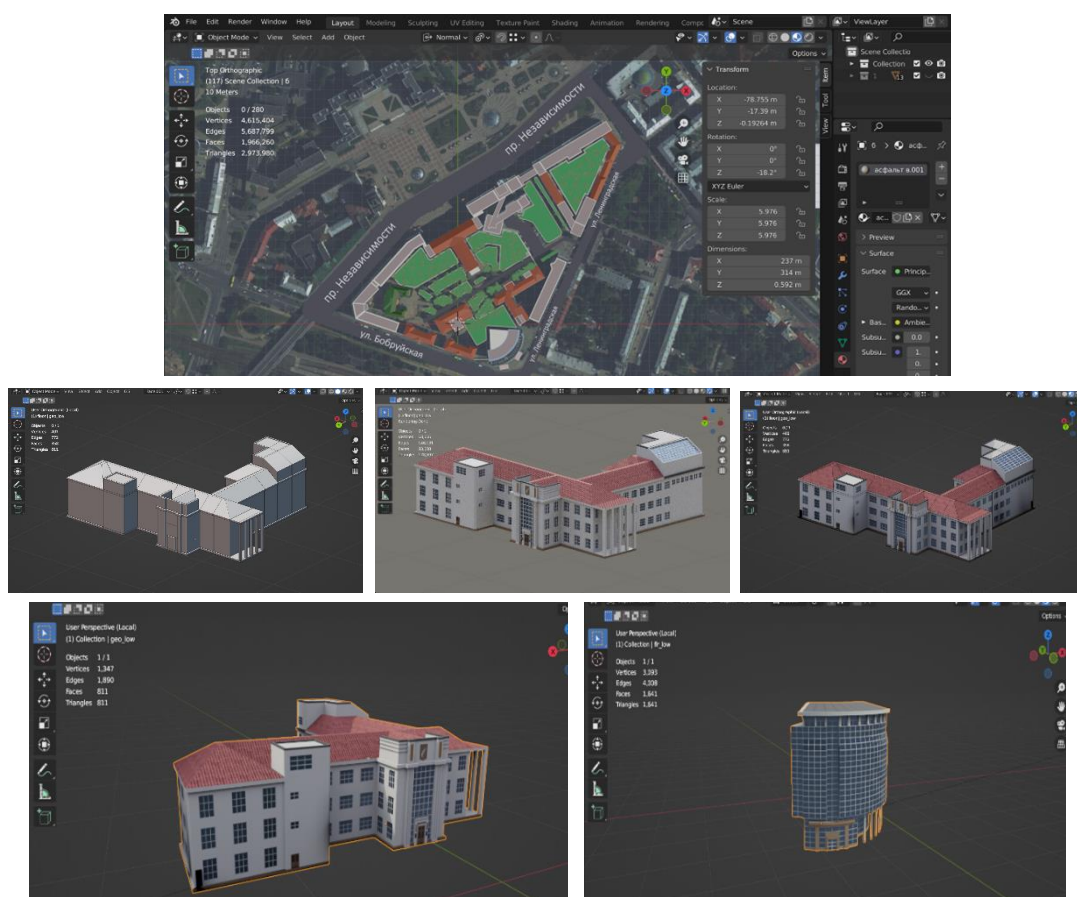


Рис.6. Составление по снимку ДЗЗ БелПСХАГИ [1] и этапы формирования модели 3D карты университетского городка БГУ (выполнено Раковым А. О.)

Формирование такого приложения предложено на примере 3D карты университетского городка БГУ (рис. 6). Создание интерактивной карты в виде 3D-модели и ее экспортирование на веб-сайт имеет неоспоримые преимущества перед классическим картографированием объектов историко-культурного наследия (рис. 7). После создания оптимизированной модели местности следует этап экспорта данной модели в веб-среду средствами веб-разработки – Three.js – библиотека для языка программирования JavaScript, с применением которой и осуществлялись работы.



Рис. 7. Визуализация плана Университетского городка БГУ интерактивной страницы сайта [составлен Раковым А. О. 2023 г.]

Использование 3D-моделей достаточно актуально при дополнении к традиционным картографическим способам изображения на карты и планы городов 3D-объектов историко-культурного наследия, что подчеркивает высокую актуальность и значимость их в современном туризме. Пользуясь представленным в рамках проекта мощным инструментарием Blender 3D, созданы трехмерные модели некоторых объектов историко-культурного наследия города Пружаны для плана города масштаба 1:10 000, подготовленного в РУП «Белкартография» [12]. Этот инновационный подход предоставляет уникальные преимущества для всех, кто знакомится и исследует исторические и культурные достопримечательности Беларуси.

Библиографические ссылки

1. Мозаика данных ДЗЗ БелПСХАГИ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://beldzz.by/distantcionnoe-zondirovanie-zemli/karta.php/> – Дата доступа: 05.05.2023.
2. Blender/Features [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.blender.org/features/> – Дата доступа: 08.05.2023.
3. Google Earth [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earth.google.com/> – Дата доступа: 08.05.2023.
4. Sketchfab [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sketchfab.com/3d-models/80661a0d5e4045018177dc0dbec09a6> – Дата доступа: 08.05.2023.
5. Архитектурный блог [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://orlova.cih.ru/blog/2021/12/24/> – Дата доступа: 08.05.2023.
6. Кодекс Республики Беларусь «О культуре» № 413-З от 20 июля 2016 г. [Электронный ресурс] // Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=Hk1600413> – Дата доступа: 21.02.2023.
7. 3D-моделирование и визуализация: учебно-методическое пособие. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2019. 80 с
8. ArcGIS features [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://developers.arcgis.com/features/> – Дата доступа: 21.02.2023.
9. Adobe Photoshop. Руководство пользователя // Adobe [Электронный ресурс]. – 2022. Режим доступа: <https://helpx.adobe.com/ru/photoshop/user-guide.html> – Дата доступа: 12.03.2023.
10. Three.js editor. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://threejs.org/editor/> – Дата доступа: 15.05.2023.
11. Атоян, Л. В. О методике построения и компьютерного дизайна трехмерного картографического изображения / Л. В. Атоян, А. Р. Герман // Земля Беларуси. 2015. № 4. С. 36–40.
12. Пружаны. Ружаны. Шерешево. Пружанский район. Туристская карта и планы городов. Минск: Белкартография, 2015.

УДК 528.946

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ В ГИС «ADOBE ILLUSTRATOR + MAPUBLISHER»

А. Г. Радюк, В. Н. Пейхвассер

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
г. Минск, Беларусь, arsusharad@mail.ru, mck57@mail.ru*

В работе рассмотрены особенности проектирования и составления карт промышленности для комплексно-справочных атласов. Представлена методика составления карт промышленности и строительства в Adobe Illustrator с картографическим плагином Avenza MAPublisher.

Ключевые слова: карты промышленности и строительства; проектирование и составление; программа векторной графики Adobe Illustrator; плагин Avenza MAPublisher; способы картографического изображения.

GEOINFORMATION MAPPING IN GIS «ADOBE ILLUSTRATOR + MAPUBLISHER»

A. G. Radyuk, V. N. Peikhwasser

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, Minsk,
Belarus, arsusharad@mail.ru, mck57@mail.ru*

The paper examines the features of designing and compiling industrial maps for comprehensive reference atlases. A methodology for compiling maps of industry and construction in Adobe Illustrator with the Avenza MAPublisher cartographic plugin is presented.

Keywords: maps of industry and construction; design and compilation; vector graphics program Adobe Illustrator; Avenza MAPublisher plugin; cartographic image methods.

Карты являются неотъемлемой частью не только общественной и социально-экономической деятельности человека, но и в природно-географическом аспекте. Они используются во всех сферах жизни (от образовательной, до научной). Карты с промышленной тематикой играют важную роль в социально-экономической сфере. Благодаря им можно проводить анализ, прогноз на будущее, а также решать важные задачи и проблемы географии размещения и мониторинга повседневных задач в экономике и жизни общества.

При использовании карт важно уметь анализировать и оценивать их с разных точек зрения. Изучение карты начинается с масштаба, проекции,

легенды карты и т. д. Акцентируется внимание на целевом значении картографического материала. Особое внимание уделяется способам картографического изображения. Вопросом исследования являются карты промышленности. Для отображения объектов или явлений на картах промышленности применяют такие способы, как локализованные и линейные знаки, картограммы, картодиаграммы, знаки движения. Также может использоваться и способ ареалов (в частности, для карт горнодобывающей промышленности).

В настоящее время для создания картографического изображения применяются различные пакеты графических и геоинформационных программ. Одной из таких является Adobe Illustrator. Она является графической программой векторной графики, но в тоже время в отличии от других графических пакетов может быть трансформирована в полноценную геоинформационную систему при установке картографического плагина Avenza MAPublisher®, который легко интегрирует картографические инструменты в Adobe Illustrator, упрощая работу с геопространственными данными. Таким образом, дополняя и превращая картографический метод исследования в геоинформационно-картографический. Картографическое программное обеспечение Avenza MAPublisher объединяет более 40 инструментов ГИС в среде программы Adobe Illustrator для создания географических (как общегеографических, так и тематических) карт, что делает популярный графических программный пакет наиболее универсальным. Обеспечивается импорт и экспорт в форматы ArcGIS, Mapinfo, Google Планета Земля и другие ресурсы ГИС со всеми атрибутами (рис. 1).

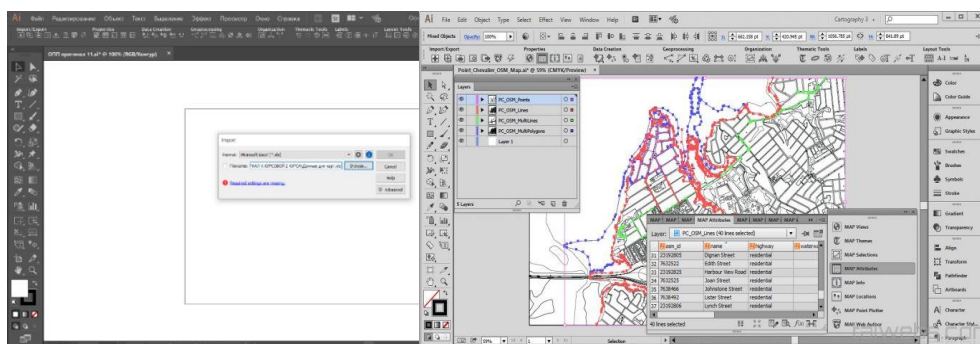


Рис. 1. Avenza MAPublisher for Adobe Illustrator [1]

В ходе проведенных исследований составлены карты: объема промышленного производства и строительства Беларуси в масштабе 1:4 000 000. В качестве исходной информации использованы материалы Национального статистического комитета Республики Беларусь, в частности статистический сборник «Регионы Республики Беларусь» в 2-х томах,

информация разделов «Промышленность» и «Строительство» районов Беларуси за 2021 г. [2].

Данные отобраны и систематизированы на предварительном этапе составления карт. Основную часть первого этапа создания карты заняло составление географической основы (на базе географической основы карт из Национального атласа Республики Беларусь (2002, [3])).

Процесс разработки географической основы включал в себя выбор и построение математической основы, составлением путем векторизации гидрографической сети, границ первого, второго и третьего порядков.

Гидрография отображалась с обобщением, исходя из масштаба карты. На карте сохранены только крупнейшие реки Беларуси (Западный Буг, Неман, Припять, Березина, Западная Двина, Днепр, Сож). Озера и водохранилища на карту не наносились. Для составленных рек были даны названия. Населенные пункты составлены в соответствии с условными обозначениями с отбором. Показаны только областные и районные центры с их названиями.

Параллельно с составлением географической основы, проведена работа по разработке легенды карты и ее компоновки в рамках карты. В составлении легенды карты нужно выделить два основных этапа: составление предварительного перечня показываемых явлений, объектов, характеристик и показателей; построение легенды карты [4].

Для выбора оптимальной шкалы, в Microsoft Excel строится гистограмма распределения значений. После анализа данных оформляется таблица со ступенями шкалы, с количеством районов в каждой ступени и высотой знака (таблица).

Ступени шкалы

№	Ступень шкалы объема промышленного производства	Число районов, попавшие в ступень шкалы	Высота треугольника, мм
4	от 2000 и больше	15	6,75
3	от 500 до 2000	20	5,25
2	от 100 до 500	46	4
1	меньше 100	38	3

После аналитической части работы составлены шкалы отображаемых явлений: «Объем промышленного производства (в процентах от областного производства)» и «Объем промышленного производства (в млн. рублей)».

Для показа общего объема промышленного производства, выбран способ картограммы, а для объема производства в абсолютной величине —

способ картодиаграммы. Для картодиаграмм взяты треугольники в условной ступенчатой шкале, отображенные на карте с учетом их наиболее оптимального размещения. После выбора цветового решения для картограмм, все районы были оформлены в соответствии с показателем в легенде карты. Составлены выходные данные карты и построена рамка. Заключительный этап составительских работ включал разработку дополнительной информации карты в виде двух круговых диаграмм: «Удельный вес областей и г. Минск в объеме промышленного производства (в процентах)» и «Число организаций».

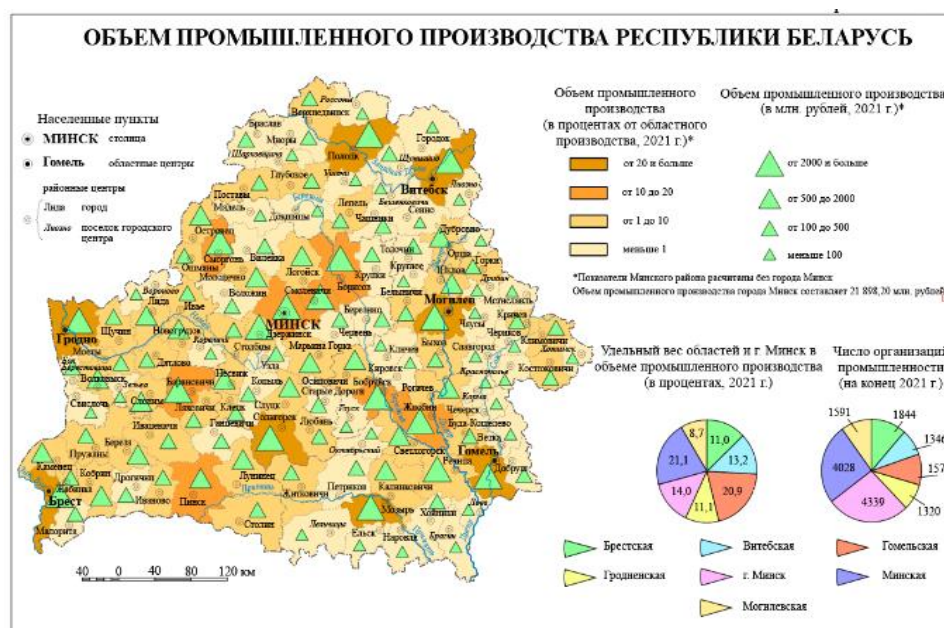


Рис. 2. Карта объема промышленного производства Республики Беларусь [5]

После процесса составления карты выполнено ее редактирование. Для этого распечатаны принтерные отиски первоначальных вариантов карты для самокорректур, проверки соответствия и редактирования содержания будущих карт. В ходе работ выявлены отдельные ошибки и разночтения, сделаны отдельные дополнения и редакционные правки по улучшению читаемости и компоновки содержания карты.

Карта строительства составлена по аналогичной методике, что и карта промышленности Республики Беларусь, но с отображаемыми объектами и явлениями строительного комплекса республики (рис. 3).

В процессе составительских работ выполнено нанесение данных по объему подрядных работ в строительстве (млн. рублей) и обеспеченности населения жильем (m^2 общей площади на одного жителя).



Рис. 3. Карта строительства Республики Беларусь [5]

Для первого показателя развития строительной отрасли использован способ картодиаграмм, для второго — способ картограмм. В качестве дополнительной информации применены столбчатые диаграммы за период 2018-2021 гг. по среднемесячной заработной плате работников и среднесписочной их численности в строительстве.

Применение пакета плагинов Avenza MAPublisher предлагает дополнительные панели, функции и инструменты для Adobe Illustrator, которые позволяют использовать файлы данных ГИС в качестве базы для составления географических карт различной тематики и назначения.

Важной особенностью программного тандема является возможность присвоения атрибутивной информации всем векторным объектам на карте и автоматическое нанесение на карту определенной информации по их свойствам и базам данных. Все эти функции представлены отдельно в ГИС-программах. Но это требует дополнительных работ по преобразованию форматов и кодовых таблиц из Adobe Illustrator в ГИС программы, а как результат, введение дополнительных корректур содержания и редактирование информации. В тоже время пакет дополнений Avenza MAPublisher дает функциям Adobe Illustrator возможности работы в одной

оболочке с правом составлением содержания и оформления всех векторных объектов в своей среде с возможностями дополнительного использования в процессе создания карт основных форматов ГИС и САПР. Необходимо констатировать, что возможности Avenza MAPublisher ликвидируют имеющийся разрыв между географическими информационными системами и высокопроизводительной графической программой Adobe Illustrator, наиболее широко используемой в картографическом производстве сегодня.

Библиографические ссылки

1. MAPublisher [Электронный доступ]. – Режим доступа: <https://www.avenza.com/product-category/mapublisher/>.
2. Регионы Республики Беларусь, статистический сборник в 2-ух томах [Электронный доступ], 2022. Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnayastatistika/publications/izdania/public_compilation.
3. Национальный атлас Беларуси. Мн.: Белкартография, 2002. 292 с.
4. Храмов В. М. Легенды тематических карт: практикум по дисциплине «Тематическое картографирование» для студентов специальности 1-31 02 03 «Космоаэрокартография» / В. М. Храмов, В. Н. Пейхвассер. Минск: БГУ, 2020. 21 с.
5. Adobe Illustrator [Электронный доступ]. Режим доступа: <https://www.adobe.com/ry/products/illustrator.html>.

УДК 528.38

ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

А. П. Романкевич, Е. В. Левицкий

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, rom.bsu@mail.ru, levickije164@gmail.com*

Исследованы этапы и особенности создания нивелирной сети на территории Беларуси за период с начала XIX в. до настоящего времени. Рассмотрено уравнивание нивелирных сетей на разных этапах формирования единой государственной системы высот.

Ключевые слова: государственная нивелирная сеть; нивелирные марки; каталог высот; нуль Кронштадского футштока; нормальные высоты.

STAGES OF CREATION OF LEVELING NETWORK ON THE TERRITORY OF BELARUS

A. P. Romankevich, E. V. Levitsky

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, rom.bsu@mail.ru, levickije164@gmail.com*

The stages and features of the creation of a leveling network on the territory of Belarus for the period from the beginning of the 19th century to the present have been studied. The equalization of leveling networks at different stages of the formation of a unified state height system is considered.

Keywords: state leveling network; leveling marks; catalog of heights, zero of the Kronstadt footing rod; normal heights.

Государственная нивелирная сеть представляет собой совокупность геодезических пунктов, закрепленных на местности специальными центрами, обеспечивающими распространение установленной государственной системы отсчета высот.

Определение высот пунктов геодезических сетей и, в целом, земной поверхности на территории Беларуси относится к началу создания первых триангуляций и топографических съемок. В 1816 г. приступая к выполнению триангуляций Виленской, Гродненской, Минской и восточной части губерний К. И. Теннером установлено обязательное измерение зенитных расстояний. Начиная с 1821 г. высоты пунктов определялись относительно высоты *над поверхностью Балтийского моря* центра сигнала 1

класса «Полаген» (Паланга), расположенного «около полторы версты от морского берега». В море был оборудован временный футшток «для сего заколотили в дно моря столб, на котором делали всякий раз заметку для поверхности воды, когда она была спокойна». Определения отличались «весьма мало между собою» [2].

В дальнейшем, М. Ф. Рейнеке вычислил средний уровень Балтийского моря за период 1825-1840 гг. по данным результатам наблюдений в Кронштадте и Таллине. Уровень был зафиксирован горизонтальной чертой в устье моста через обводной канал («черта Рейнеке») в г. Кронштадте [4].

В 1845 г. введено обязательное измерение вертикальных углов при выполнении топографических съемок. С 1868 г. измерение вертикальных углов выполнялось с помощью кипрегеля (с дальномером).

На первой геодезической конференции в Берлине в 1864 г. принято выполнять геометрическое нивелирование по железным дорогам для точного определения разностей уровней морей.

В Российской империи систематические работы по передаче высотных отметок начались в 1871 г. Было принято решение закреплять нивелирные линии постоянными знаками — реперами в виде круглых чугунных дощечек, названных нивелирными марками. Первые нивелирные работы на территории Беларуси производились по Смоленско-Витебской и Витебско-Динабургской железным дорогам в 1875-1877 гг. Нивелирование выполнялось тригонометрическим методом нивелир-теодолитами с вертикальными кругами. На линиях достигнута точность 4,1 мм на 1 км хода [3].

В 1881 г. разработана общая программа нивелирования на территории России. Предусматривалось проложение нивелирных линий по меридиональным направлениям для связи Балтийского и Черного морей и по направлениям параллелей 52° и 47°. Нивелирование вдоль Балтийского и Черноморско-Азовского побережий выполнялось для связи футштоков, а также по линиям железных дорог, идущих на запад, для связи с европейской нивелирной сетью [3]. Линии нивелирования проходили и по территории Беларуси с Вильнюса на Ровно—Одессу.

В 1894 г. под руководством С. Д. Рыльке проведено первое уравнивание нивелирной сети. Результаты этой работы опубликованы в виде Каталога высот русской нивелирной сети с 1871 по 1893 г., известного под названием «Каталога Рыльке». Каталог содержал высоты 1090 марок, закрепленных на линиях нивелирных ходов протяженностью 13 тыс. км. За нулевую поверхность принят *общий средний уровень Балтийского и Черного морей*. Точность нивелирования из уравнивания характеризовалась случайной ошибкой не более 3 мм на 1 км хода. Впервые было установлено,

что уровни морей Черного и Азовского на 0,85 м, Адриатического на 0,68 м и Северного на 0,49 м ниже уровня Балтийского моря [4].

Значение «Каталога Рыльке» огромно не только для решения практических задач по географическому изучению и картографированию территории страны, проведения инженерных изысканий при строительстве дорог и мелиорации земель, но и для научных целей. Так, в дальнейшем разработана теория высокоточного нивелирования, где большое внимание уделялось исследованиям вопросов влияния рефракции и других ошибок на результаты измерений.

В 1913–1917 гг. по линии Петербург – Витебск – Могилев – Гомель – Киев – Одесса проложен нивелирный ход высокой точности с целью определения разности высот уровней Балтийского и Черного морей.

В 1934 г. опубликован Каталог высот высокоточного и точного нивелирования в Европейской части СССР с 1875 г. по 1932 г., который включал отметки марок и реперов по 106 линиям общей протяженностью 69 450 км. В качестве исходного пункта был принят нуль Кронштадтского футштока.

12 августа 1946 г. принято решение Главного управления геодезии и картографии по выполнению Постановления Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 г. «О введении единой системы геодезических координат и высот на территории СССР». Утверждены «Основные положения по общему уравниванию основной нивелирной сети СССР». На всей территории СССР вычисление высот нивелирных сетей I и II классов следовало производить от нуля Кронштадтского футштока в ортометрической (нормальной) системе, называемой Балтийской. С 1951 г. высоты, отсчитываемые от поверхности квазигеоида, по предложению М. С. Молоденского, получили название *нормальных*.

В 1968 г. закончено создание сети нивелирования I класса на Европейской части СССР.

В 1977 г. издан Каталог высот опорной нивелирной сети I и II класса, составивший единую систему высот, получившей название «Балтийская система высот 1977 года»

По состоянию на конец 1980-х гг. протяженность линий нивелирования высотной государственной геодезической сети (ГГС) на территории Республики Беларусь составляла около 15 000 км, в том числе I, II классов – 4500 км. Общее число нивелирных знаков, закрепляющих на местности высотные ГГС превышало 40 000.

Применяемая в настоящее время государственная система отсчета высот – Балтийская система высот 1977 г. (Кронштадтская система) получена из уравнивания Главной высотной основы СССР, созданной методом геометрического нивелирования I и II классов, как свободной сети, от одного исходного пункта – марки б/№ Ломоносов, расположенной в здании

железнодорожного вокзала в г. Ораниенбауме (Ломоносов), высота которой принята равной $5,6480 \text{ м} \pm 0,0076 \text{ м}$. За начало отсчета высот принята имеющая нулевую отметку высоты горизонтальная черта на пластине Тонберга, установленной в устье Синего моста на Обводном канале в Кронштадте. Средняя квадратическая погрешность километрового хода по результатам уравнивания главной высотной основы для I класса – $\pm 1,6 \text{ мм}$; для II класса – $\pm 2,7 \text{ мм}$. Средняя квадратическая погрешность высоты относительно исходного пункта для узла «Брест» – $\pm 43,7 \text{ мм}$ [5].

Библиографические ссылки

1. Геодезия в Раменском. Геодезия в XIX в. [электронный ресурс]–ГеоПлюс. Режим доступа: http://www.ramgeo.ru/history/info/geo_history/chapter_2
2. Записки Военно-топографического депо. СПб., 1843. Ч. VIII.
3. Исторический очерк деятельности Корпуса военных топографов 1822–1872. СПб., 1872. 130 с.
4. История военной картографии в России (XVIII - начало XX в.) / В. В. Глушков. М.: ИДЭЛ, 2007. 528 с., ил. ISBN 5-85496-088-7 СТБ 1820-2007 «Государственная нивелирная сеть Республики Беларусь. Основные положения».
5. Рудницкая Н. И. Современное состояние и основные направления совершенствования государственной геодезической инфраструктуры / Н. И. Рудницкая // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы III Международной научно-технической конференции [Электронный ресурс]: материалы Международной научно-технической конференции / сост.: С. Н. Соболевская, Е. М. Жуковский. Минск: БНТУ, 2022. С. 180-183.

УДК 528+378.14

К ВОПРОСУ О ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ «КОСМОАЭРОКАРТОГРАФИЯ» И «ГЕОМАТИКА»

А. П. Романкевич ¹⁾, О. Н. Балицкий ²⁾, С. А. Забагонский ³⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4
220030, г. Минск, Беларусь, rom.bsu@mail.ru

²⁾Государственное предприятие «БелПСХАГИ», ул. Мира, д. 1 А,
223011, Минский район, а/г Прилуки, info@belzeminfo.by

³⁾Государственное предприятие «Белгеодезия», пр. Машерова, 17,
220029, г. Минск, Беларусь, info@belgeodesy.by

Представлены концептуальные основы подготовки специалистов для картографо-геодезической отрасли и области дистанционного зондирования Земли на двух ступенях получения высшего образования: бакалавриат и магистратура. Отмечен вклад Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь и базовых предприятий в подготовку специалистов.

Ключевые слова: общее высшее образование; углубленное высшее образование; обеспечение учебного процесса; базовое предприятие; картографо-геодезическая отрасль; инновационные образовательные технологии.

ON THE ISSUE OF TRAINING SPECIALISTS IN THE SPECIALTIES «AEROSPACECARTOGRAPHY» AND «GEOMATICS»

A. P. Romankevich¹⁾, O. N. Balitsky²⁾, S. A. Zabagonsky³⁾

¹⁾Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4 220030, Minsk, Belarus,
rom.bsu@mail.ru ²⁾State Enterprise «BelPSHAGI», st. Mira, 1 A, 223011, Minsk district,
a/g Priluki, info@belzeminfo.by ³⁾State Enterprise «Belgeodesia», Masherova Ave., 17,
220029, Minsk, Belarus, info@belgeodesy.by

The conceptual foundations for training specialists for the cartographic-geodetic industry and the field of remote sensing of the Earth at two levels of higher education: bachelor's and master's degrees are presented. The contribution of the State Property Committee of the Republic of Belarus and basic enterprises to the training of specialists was noted.

Keywords: general higher education; advanced higher education; ensuring the educational process; base enterprise; cartographic and geodetic industry; innovative educational technologies.

На современном этапе в образовании происходит смена ориентиров, направленных на усвоение приобретаемых знаний. В учебный процесс внедряются новые методы обучения, а также в целом, изменяется подход к обучению. Все большую значимость приобретают знания, получаемые студентами самостоятельно. Кроме того, актуальные аспекты компетентностной модели подготовки будущих специалистов предполагают тесную связь с производственными предприятиями. Такими предприятиями в системе подготовки специалистов для картографо-геодезической отрасли являются базовые предприятия, входящие в состав Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь: Государственное предприятие (ГП) «Белгеодезия», Республиканское унитарное предприятие (РУП) «Белкартография», ГП «БелПСХАГИ» и 31-й Навигационно-топографический центр Министерства обороны Республики Беларусь. Тесное сотрудничество связывает кафедру геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики БГУ с Унитарным предприятием (УП) «Проектный институт Белгипрозем».

Подготовка большинства специалистов с высшим образованием осуществляется для организаций, заключивших договор о взаимодействии (базовая организация соответствующего учреждения высшего образования). Базовые организации имеют преимущественное право на удовлетворение имеющихся у них потребностей в специалистах с высшим образованием.

Персонифицированный заказ и подбор конкретного выпускника реализуется через систему подготовки кадров с высшим образованием на условиях целевой подготовки.

В настоящее время обучение на первой ступени получения высшего образования по специальности 6-05-0532-05 «Космоаэрокартография и геодезия» составляет 4 года (общее высшее образование). На данной ступени реализуется образовательная программа, обеспечивающая получение квалификации «Географ. Специалист по картографо-геодезической деятельности». Программа специальности предусматривает изучение широкого круга дисциплин картографо-геодезического профиля. Выпускник, получивший образование в рамках данной специальности, владеет навыками современных методов топографо-геодезических работ, обладает способностями обрабатывать полученные результаты и производить готовую картографо-геодезическую продукцию с использованием актуальных компьютерных программ. Подготовленный специалист в области дистанционного зондирования Земли обладает навыками профессионального изучения и дешифрирования материалов аэрокосмических съемок, умением выполнять их анализ и интерпретировать с целью получения гео-

изображений различной тематики и назначения (тематические карты, топографические планы, фотопланы, фотокарты, ортофотопланы, цифровые модели местности и др.).

Общее высшее образование дает право продолжения образования на второй ступени. С 2022–2023 учебного года ведется подготовка по программе углубленного высшего образования (магистратура) по специальности 7-06-0532-03 «Землеустройство, кадастры, геодезия и геоматика» (профилизация «ГеоMATика») со сроком обучения 1 год с присвоением квалификации «магистр». Учебным планом предусматривается углубленное изучение таких дисциплин как «Геодезические основы карт», «Навигационная картография», «Космическое картографирование», «Инновационные технологии в картографии» и др. Учебный план хорошо сбалансирован по соотношению практических и теоретических занятий. Занятия проводятся с использованием современного оборудования кафедры и производственных предприятий.

Научно-методическое обеспечение ориентировано на разработку и внедрение в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, адекватных компетентностному подходу (креативного и диалогового обучения, вариативных моделей самостоятельной работы, модульных и рейтинговых систем обучения, тестовых и других систем оценивания уровня компетенций и иное) [2; 3].

Подготовку студентов по специальным дисциплинам осуществляет кафедра геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики БГУ.

Филиал кафедры, созданный в 2015 г. на базе государственного предприятия «Белгеодезия», продолжает активную деятельность в целях повышения уровня подготовки студентов и их адаптации в процессе обучения к конкретным производственным условиям [5].

Руководители и ведущие специалисты базовых предприятий активно участвуют в работе Государственной экзаменационной комиссии по приему государственных экзаменов и защите дипломных проектов. В целях обеспечения эффективной практической подготовки студентов осуществляется координация деятельности кафедры с базовыми предприятиями, что закрепляется договорами о сотрудничестве. Активное участие принимают руководство и ведущие специалисты предприятий в проведении научно-практических конференций, мероприятиях по актуальным направлениям развития картографо-геодезической деятельности, совместных заседаниях студенческого картографического научного кружка, открытых лекциях.

Проводится совместная разработка индивидуальных программ производственных и преддипломной практик для студентов и магистрантов

кафедры, адаптированных к конкретным задачам производства. Преподаватели кафедры и студенты специальности активно участвуют в мероприятиях, проводимых базовыми предприятиями. Для выполнения производственных задач предприятий привлекаются студенты специальности «Космоаэрокартография».

В ходе диалоговой площадки с председателем Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь, которая состоялась 21.02.2023 г., обсуждались вопросы о перспективах расширения сотрудничества с предприятиями Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь в картографо-геодезической отрасли.

В настоящее время при Государственном комитете по имуществу Республики Беларусь создан Секторальный совет квалификаций. Решением Секторального совета квалификаций от 22 ноября 2023 г. № 1 утвержден проект Технического задания и рабочие группы. Целью работы является разработка проекта профессиональных стандартов и пояснительных записок по основным направлениям картографо-геодезической и аэрофотогеодезической деятельности: «Геодезическая деятельность», «Картографическая и геоинформационная деятельность», «Аэрофотогеодезическая деятельность» [6]. В состав рабочей группы «Картографическая и геоинформационная деятельность» вошел представитель кафедры геодезии и космоаэрокартографии.

Для обеспечения учебного процесса на факультете географии и геоинформатики БГУ оборудованы кабинеты «Аэрокосмических методов исследований», «Топографии», «Картографии», «Фотограмметрии», где проводятся лабораторные и практические занятия по профильным дисциплинам.

Выпускники распределяются и успешно трудятся в организациях и на предприятиях картографо-геодезической и землеустроительной сферы деятельности, а также в академических и отраслевых научно-исследовательских институтах, проектных и изыскательских организациях архитектуры и строительства, профильных учреждениях Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Библиографические ссылки

1. Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 011-2022 «Специальности и квалификации». Минск, Минобразование.
2. Образовательный стандарт общего высшего образования по специальности 6-05-0532-05 «Космоаэрокартография и геодезия» Постановление Министерства образования Республики Беларусь 28.08.2023 № 288.
3. Образовательный стандарт углубленного высшего образования по специальности 7-06-0532-03 землеустройство, кадастры, геодезия и геоматика.

4. О концептуальных основах подготовки студентов по специальности «Космоаэрокартография»/А. П. Романкевич, О. Н. Балицкий, Ф. А. Левша //Земля Беларуси. № 4. 2016. С. 37-41.

5. Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 572 от 31.08.2022 г. «Положение о целевой подготовке специалистов, рабочих, служащих».

6. План работы Секторального совета квалификаций при Государственном комитете по имуществу Республики Беларусь на 2024-2025 годы (приложение к протоколу Секторального совета квалификаций при Государственном комитете по имуществу от 22 ноября 2023 г. № 1)// Проект технического задания на разработку профессиональных стандартов.

УДК 528.88 : 004.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНДЕКСА РОСТА ГОРОДОВ СЕВЕРА РОССИИ

Е. С. Сапожникова, М. Б. Каган, О. В. Артемьева

*Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб.,
д. 7–9, 199034, Санкт-Петербург, Россия, elizasapozh@gmail.com,
st061179@student.spbu.ru, ovartemyeva@mail.ru*

В статье рассматривается динамика роста городов на севере России с акцентом на проблемы и возможности, возникающие в связи с процессом быстрой урбанизации. Используя данные дистанционного зондирования из Глобального слоя населенных пунктов (GHSL), в исследовании анализируется интенсивность роста в трех городах Северного морского пути — Мурманске, Тикси и Певеке — в период с 1990 по 2020 гг.

Ключевые слова: рост городов; дистанционное зондирование Земли; глобальный слой населенных пунктов (GHSL).

USE OF EARTH REMOTE SENSING METHODS FOR ANALYSING THE GROWTH INDEX OF CITIES IN NORTHERN RUSSIA

E. S. Sapozhnikova, M. B. Kagan, O. V. Artemyeva

*Saint-Petersburg State University, Universitetskaya emb, 7-9, 199034, Saint-Petersburg,
Russia, elizasapozh@gmail.com, st061179@student.spbu.ru, ovartemyeva@mail.ru*

This article examines the dynamics of urban growth in northern Russia with a focus on the challenges and opportunities arising from the process of rapid urbanisation. Using remotely sensed data from the Global Human Settlements Layer (GHSL), the study analyses the intensity of growth in three Northern Sea Route cities - Murmansk, Tiksi and Pevek - between 1990 and 2020.

Keywords: urban growth; Earth remote sensing; Global Human Settlements Layer (GHSL).

Рост городов — многогранный процесс, имеющий значительные последствия для различных аспектов жизни человека и окружающей среды, города служат центрами инноваций, культуры и возможностей [1, с. 10]. Понимание движущих сил, закономерностей и последствий роста городов необходимо, чтобы эффективно решать возможные проблемы.

Северные регионы России, характеризующиеся суровыми зимними периодами, малочисленным населением, слабым уровнем развития инфраструктуры, обширными просторами дикой природы и

неравномерностью их освоения, представляют уникальные задачи и возможности для развития городов [2, с. 9]. Анализ интенсивности застройки городов в северных районах позволяет получить ценное представление о пространственной динамике развития населенных пунктов и инфраструктуры в крайне неблагоприятных условиях.

Устойчивое развитие поселений и территорий предполагает создание благоприятных условий для жизни населения путем осуществления градостроительной деятельности, направленной на ограничение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую природную среду и обеспечение ее рационального использования в интересах настоящего и будущих поколений [3, с. 423]. По мере роста городов необходимость в устойчивом развитии становится все более насущной.

Развитие городов Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) требует инновационных решений, объединяющих традиционные знания с современными технологиями для создания устойчивых, адаптируемых к изменениям населенных пунктов. Проанализировав индекс интенсивности застройки северных российских городов, можно выявить возможности для устойчивого развития городов и смягчить экологические последствия урбанизации в хрупких экосистемах.

Для проведения анализа индекса интенсивности развития городов на севере России по данным дистанционного зондирования взяты материалы проекта Европейской комиссии по созданию глобальных географических сведений об эволюции человеческого пребывания на Земле Global Human Settlement Layer (GHSL). GHSL обеспечивает всесторонний и разновременный охват населенных пунктов по всему миру, включая удаленные и малонаселенные районы, такие как северные регионы России. Слои GHSL получены на основе комбинации спутниковых снимков, результатах переписи населения и других наборов геопро пространственных данных, что делает их хорошо подходящими для всестороннего анализа городской среды [4].

Для анализа выбраны три города Северного морского пути: Мурманск, расположенный на Кольском полуострове, Тикси на побережье моря Лаптевых в Заполярье, и Певек на Чукотском полуострове вблизи Берингова пролива, в период 1990-2020 гг. Рассматриваемые временные рамки выбраны из-за удобства производить расчет индекса каждые десять лет, также они охватывают три десятилетия, (анализ 30-летнего периода позволяет выявить долгосрочные тенденции и закономерности в развитии городов), и включают в себя такие важные исторические события, как распад Советского Союза в 1991 г. и последующий переход к рыночной экономике в России, что оказало серьезное влияние на структуру городского развития, инвестиции в инфраструктуру [5].

Перед началом работы в программном обеспечении QGIS скачаны векторные слои границ городов из открытых источников (OpenStreetMap), а затем с ресурса <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/download.php> получены растровые данные застроенной территории GHS-BUILT_S на 1990, 2000, 2010 и 2020 гг. с разрешением 100 м. На следующем этапе каждый растр импортирован в программное обеспечение ArcGIS и реклассифицирован на незастроенную и застроенную территории.

Для получения данных только застроенной территории, необходимо векторизовать реклассифицированный растр и удалить объекты, соответствующие незастроенной территории. Затем был изменен формат полученного векторного слоя на растровый для дальнейшей работы (рисунок). С целью расчета площади, в программном обеспечении QGIS использован инструмент «Зональная статистика», который позволил подсчитать количество пикселей в пределах векторного слоя границ населенного пункта, по которым в дальнейшем можно вычислить площадь территории. В результате получены данные об изменении площади застроенной территории городов (таблица).



Растровые данные застроенной территории

**Площадь застроенной территории Мурманска и его административных округов,
Певека и Тикси на 1990, 2000, 2010 и 2020 гг., в км²**

Город	Год				
		1990	2000	2010	2020
г. Мурманск		43,79	45,18	46,10	46,84
г. Певек		3,17	3,74	3,82	4,00
г. Тикси		1,82	1,89	1,90	1,91

По данным таблицы констатируем рост выбранных городов за 30-летний период: площадь Мурманска выросла на 7 %, Певека — на 26 %, Тикси — на 5 %. Для всех городов зафиксирован наибольший рост с 1990 по 2000 гг. Причин роста может быть несколько. Во-первых, Мурманск представляет собой крупный портовый город со значительной численностью населения и экономической активностью, в то время, как Тикси, являющийся самым северным портом России, и Певек, известный горнодобывающей промышленностью, особенно добычей золота, и атомным плавающим энергетическим блоком, — небольшие населенные пункты с особенностями, связанными с изолированностью, ограниченной инфраструктурой. Пропускная способность морского порта Мурманска более 5 млн т/год, здесь происходит перевалка нефти, добываемой в АЗРФ, что делает его узловым центром Арктического бассейна России [2, с. 60]. Певек является центром принятия решений по добыче золота на месторождении «Купол», а также грузовым авиаузлом [2, с. 152]. Пропускная способность грузового терминала самого северного порта России, Тикси, не превышает 5 млн т/год, но важно уточнить, что в Мурманске расположен морской спасательно-координационный центр, а в Певеке и Тикси — подцентры, что делает рассматриваемые города важнейшими узлами Северного морского пути. В ближайшем будущем данные города получают новый виток развития в связи с запуском по планам в 2024 г. круглогодичной навигации на всем протяжении Северного морского пути.

Подводя итог, следует отметить, что анализ роста городов на крайнем севере России с применением методов дистанционного зондирования позволяет предоставлять точные, своевременные и пространственно-полные данные, а также получать ценные представления о динамике развития этого самобытного и труднодоступного региона. Достижения в области спутниковых технологий, алгоритмов машинного обучения и методов об-

работки постоянно повышают качество и доступность данных. Продолжение работы в этой области необходимо для решения проблем урбанизации на севере России. Также необходимо сосредоточить усилия на разработке и совершенствовании новых методов и подходов к анализу городов с использованием дистанционного зондирования Земли.

Библиографические ссылки

1. *Ланно Г. М.*: География городов: Учеб. пособие для геогр. ф-тов вузов. М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1997. 480 с.; илл. ISBN 5-691-00047-0.
2. АНО «Информационно-аналитический центр Государственной комиссии по вопросам развития Арктики» Опорные населенные пункты Российской Арктики: материалы предварительного исследования / АНО «Информационно-аналитический центр Государственной комиссии по вопросам развития Арктики», АНО «Институт регионального консалтинга». [б. м.]: [б. и.], 2022. 246 с. [б. н.]
3. *Перцик Е. Н.* *Геоурбанистика*: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Е. Н. Перцик. М. : Издательский центр «Академия», 2009. 432 с., [16 с. цв. вкл.] ISBN 978-5-7695-4936-6
4. Concepts and methodologies of the data produced by the GHSL // GHSL - Global Human Settlement Layer URL: <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/data.php> (дата обращения: 14.01.2024).
5. Ландшафты: оптики городских исследований. Сборник научных трудов / отв. ред. Н. Милерюс, Б. Коуп – Вильнюс : ЕГУ, 2008. 474 с. ISBN 978-9955-773-22-1.

УДК 528.9

ПРОБЛЕМАТИКА РАЗВИТИЯ ПОСТСОВЕТСКОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ШКОЛ В АСПЕКТЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

И. Е. Сидорина¹⁾, А. А. Сюзюмов^{1,2)}

¹⁾Санкт-Петербургский государственный университет, 10-ая линия ВО, 33-35,
199178, Санкт-Петербург, Российская Федерация,

i.sidorina@spbu.ru

²⁾Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН,
Университетская наб., 3, 199034, Санкт-Петербург, Российская Федерация,

st049991@student.spbu.ru

Всю историю человечества карты «обслуживали» людей, удовлетворяли интересы общества. Несмотря на то, что теоретические основы картографии изложены выдающимися мировыми картографами, не утихают споры о том, что такое картография, как наука, и что такое карта. С появлением геоинформационных технологий противоречия в теории картографии стали еще сильнее. Чтобы описать проблемы современной картографии, необходимо учесть отечественный (советский и постсоветский) и зарубежный опыт.

Ключевые слова: картография; картографическая школа; геоинформационные технологии; геоинформационные системы (ГИС); геоинформационное картографирование.

PROBLEMS OF THE DEVELOPMENT OF POST-SOVIET AND FOREIGN CARTOGRAPHY SCHOOLS IN THE ASPECT OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

I. E. Sidorina¹⁾, A. A. Siuziumov^{1,2)}

¹⁾Saint-Petersburg State University, 10th line V.O., 33-35, 199178,
Saint Petersburg, Russia,

i.sidorina@spbu.ru

²⁾Peter the Great Museum of Anthropology and Ethnography (Kunstkamera) of the Russian
Academy of Sciences, University Emb., 3, 199034,

st049991@student.spbu.ru

Throughout the Human history, maps have «served» people and followed the interests of Society. Despite the fact that the theoretical foundations of Cartography are outlined by the world's outstanding cartographers, debates about what cartography is as a science and what a map is not subsiding. With the advent of Geographic information technologies, the contradictions in the theory of Cartography have become even stronger. To describe the problems of modern Cartography, it is must take into account Soviet, post-Soviet, and foreign experience.

Keywords: Cartography; Cartographic school; Geographic information technologies; Geographic information systems; GIS; GIS mapping.

Одна из основных проблем современной картографии была заложена еще в прошлом веке. Это расхождение в теоретических основах.

Конец XIX–начало XX вв. — время развития тематического картографирования и появления первых комплексных атласов [1]. Несмотря на то, что картография того времени в значительной степени была ориентирована на создание военно-топографических карт, развивались и гражданские направления. Теоретические аспекты и сами картографические произведения ведущих стран мира базировались на западноевропейской картографической школе и мало отличались друг от друга.

Первая и Вторая Мировые войны привели к существенным изменениям политической карты мира. Первое в мире социалистическое государство СССР, с момента образования сразу взяло курс на развитие промышленности и сельского хозяйства, основанных на достижениях научно-технического прогресса. В 30-е гг. прошлого века началось формирование советской картографической научной школы, которое продолжилось в 40–50-х гг. В то же время, в США, на территории которого не велись военные действия (в отличие от европейских государств), после Второй Мировой войны произошел бурный экономический рост, активно развивались наука и техника. Образовалось две сверхдержавы, политическое и экономическое устройство которых значительно отличалось друг от друга. Картография — наука, ориентированная на нужды государства и пользователей — тоже стала развиваться разными путями.

В результате сформировался ряд научных картографических концепций, из которых можно выделить главные: познавательную и коммуникативную. История развития различных взглядов на картографию и «борьбы» между ними описана во многих работах [2; 3; 4; 5; 6].

Познавательная или модельно-познавательная концепция получила развитие в рамках картоведения (отсюда и трактовка «картоведческая») в конце 30-х–начале 40-х гг. [4]. Одним из ее авторов был К. А. Салищев, ставший одним из главных теоретиков советской картографии.

В числе выдающихся западных картографов второй половины XX в. можно назвать А. Робинсона. Он изменил картографию «благодаря тому, что сосредоточился на систематической детализации принципов устройства карт, одновременно уделяя внимание пользователям» [7].

Коммуникативная концепция развивается в период активного внедрения информационных технологий и вычислительной техники, в 60–70-е гг. с удалением от географических наук [2, с. 34].

К. А. Салищев отмечал тщетность попыток разработать теорию картографии на основе коммуникативного подхода. Он подчеркивал, что главный минус формально-коммуникативной картографии заключается в отрыве от содержания передаваемой информации в процессе изучения механизмов коммуникации [6]. Т. е. картография перестает выполнять главную задачу — передачу знаний о мире, — и становится служебным и техническим инструментом.

Отметим, что в 70–80-е гг. в советской картографии появляются новые направления, такие как метакартография, предложенная А. Ф. Аслакашвили [8] и языковая концепция А. А. Лютого [4].

А. А. Лютый подчеркивал опасность допущения продолжения разрыва между отечественной и зарубежной картографией в исследованиях коммуникативной функции карты. Жесткая критика, толкование коммуникативного подхода, как формального, повлекли отрицательные последствия для отечественной картографической науки и практики [4, с. 163]. Таким образом, к концу XX в. существовало несколько концепций, и накопился значительный «разрыв» в базовых теориях советской и зарубежной научных школ.

Вторая проблема современной картографии связана с геоинформационными технологиями, которые вызвали революционные изменения в вопросах обработки и визуализации пространственных данных.

В 60-х гг. XX в. появилась первая канадская геоинформационная система (далее ГИС), что привело к постепенному, а потом бурному развитию геоинформатики. В 90-х гг., с появлением настольных геоинформационных систем, меняется не только инструмент картографа, но и сами методы создания, а также виды картографических произведений.

В этот период в связи с распадом СССР отечественная наука переживает тяжелый кризис. Большая часть теоретической литературы этого периода написана А. М. Берлянтом, и его работы до сих пор не утратили своей значимости [2, 3, 9, 10]. Он подробно описал появление геоинформационного картографирования, тенденции слияния геоинформатики, картографии и данных дистанционного зондирования Земли. Но проблемы, которые исследовал Берлянт в своих работах, до сих пор не решены и актуальны для всех мировых картографических школ.

Примером взгляда на современную картографию и ее природу могут служить работы известных зарубежных картографов А. М. MacEachren [11], R. E. Roth [12], K. Field [13, 14]. В своих трудах они затрагивают вопросы возникающих сложностей при обработке и визуализации данных с помощью геоинформационных технологий, а также предлагают разные варианты применения инструментария ГИС и описывают сложности восприятия геоизображений.

Геоинформационные системы развивались в первую очередь как инструменты для обработки, хранения и анализа баз данных, не учитывая нужды картографов, то есть особенности отображения этих данных. Эта обособленность картографии и геоинформатики привела к созданию инструментов, которые отображают данные некорректно, с ошибками, или недостаточно эффективно. Инструменты визуализации в ГИС до сих пор не дают возможности создать карту «от начала до конца», без обращения к графическим редакторам.

Таким образом, к теоретическим проблемам и расхождениям между отечественной и зарубежной картографией добавились сложности, связанные с особенностями применения геоинформационных систем для целей картографирования [15].

Так как геоинформационные технологии дали возможность широким массам людей пользоваться разными видами геоизображений (навигаторы и картографические приложения, геопорталы, карты прогноза погоды и многое другое), то решение вышеизложенных проблем становится остроактуальной задачей современности.

Библиографические ссылки

1. Салищев К. А. Картоведение. М.: Издательство Московского университета, 1976. 438 с.
2. Берлянт А. М. Теоретические проблемы картографии: Учеб. пособие. М.: Издательство Московского университета, 1993. 116 с. ил.
3. Берлянт А. М. Теория геоизображений. М.: ГЕОС, 2006. 262 с.
4. Лютый А. А. Язык карты: сущность, система, функции / А. А. Лютый; РАН. Институт географии. 2-е изд., испр. Москва: ГЕОС, 2002. 326 с.
5. Салищев К. А. Идеи и теоретические проблемы в картографии 80-х годов // Итоги науки и техники. Серия картография. М.: ВИНТИ АН СССР. 1982 а. Т. 10. 155 с.
6. Салищев К. А. О комментариях проф. Моррисона к статье К. А. Салищева «Картография на Западе – анализ теоретических взглядов последних лет» // Вестник МГУ. Серия 5, География. 1985. №6. С. 55-58.
7. Китчин Р., Додж М. Переосмысляя карты // Логос. 2023. Т. 33. № 1. С. 33-61. DOI: 10.22394/0869-5377-2023-1-33-59
8. Асланикашвили А. Ф. Метакартография. Основные проблемы. Тбилиси: Мицниереба, 1976. 126 с.
9. Берлянт А. М. Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986. 240 с.
10. Берлянт А. М. Геоиконика. М.: 1996. 208 с. ил., табл.
11. MacEachern A. M. How Maps Work. The Guilford Press, 1995. 513 p.
12. Roth R. E. Interactive maps: what we know and what we need to know // Journal of Spatial Information Science. Vol. 2013, iss. 6. P. 59-115.
13. Field K. Cartography. Redlands, California: Esri Press, 2018. 549 p.

14. *Field K.* Thematic Mapping: 101 Inspiring Ways to Visualise Empirical Data. Redlands, California: Esri Press, 2022. 273 p.

15. *Сидорина И. Е., Позднякова Н. А., Паниди Е. А., Андреева Т. А., Литвинова М. В.* Интеграция традиционных и современных методов в геоинформационном картографировании // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 35-46. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-35-46.

УДК 528.88

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗЕЛЕННЫХ ЗОН НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КАЛИНИНГРАДА

Т. Ю. Смирнова, М. Б. Каган, Н. А. Позднякова

*Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб.,
д. 7–9, 199034, Санкт-Петербург, Россия, st086959@student.spbu.ru,
st061179@student.spbu.ru, n.pozdnyakova@spbu.ru*

Исследовано состояние зеленых зон города Калининграда на 2023 г. В связи с быстрым развитием урбанизированных территорий происходит постепенное исчезновение природных территорий, которые сменяются жилыми и промышленными зонами. На основе данных дистанционного зондирования с применением географических информационных технологий проведен анализ озелененности и построен экологический каркас города.

Ключевые слова: зеленые зоны; экологический каркас; дистанционное зондирование Земли; космические снимки.

ASSESSMENT OF GREEN AREAS ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF KALININGRAD

T. Y. Smirnova, M. B. Kagan, N. A. Pozdnyakova

*St. Petersburg State University, Universitetskaya nab. 7-9, 199034, St. Petersburg, Russia,
st086959@student.spbu.ru, st061179@student.spbu.ru, n.pozdnyakova@spbu.ru*

The state of green areas of the city of Kaliningrad for the year 2023 has been studied. Due to the rapid development of urbanized areas there is a gradual disappearance of natural areas, which are replaced by residential and industrial zones. On the basis of remote sensing data with application of geographic information technologies the analysis of greening was carried out and the ecological framework of the city was built.

Keywords: green zones; ecological framework; remote sensing; satellite images.

В XXI в. проблема недостатка зеленых зон в городах является крайне актуальной. Быстрое развитие городов и увеличение населения, приводят к постепенному исчезновению природных территорий и замещению их жилыми и промышленными зонами. Это имеет серьезные последствия для здоровья и благополучия населения, а также неблагоприятно влияет на экосистему города [1]. Город — сложная экосистема, где человек и его деятельность являются основными средообразующими факторами. Вследствие этого отмечается нарушение баланса между антропогенной

биомассой и растительными компонентам. Это можно установить, анализируя состояние зеленых зон [2, С.10-12]. Зеленые зоны создаются в городах для охраны окружающей среды и поддержания благоприятной для жителей города обстановки. Основными функциям данных территорий являются экологическая, рекреационная и санитарно-гигиеническая, а также важно сохранение биоразнообразия. [3, С.51-53]

Для оценки озеленения города Калининграда использовалась концепция экологического каркаса. Экологический каркас представляет собой комплекс взаимосвязанных территорий, возникших как естественным образом, так и под влиянием деятельности человека. Кроме этого, он обеспечивает сохранение биоразнообразия, функционирование экосистем и играет важную экологическую роль, улучшая качество окружающей среды и способствуя устойчивому развитию. [4, С.134]

Экологический каркас включает в себя следующие элементы:

- экологические ядра — крупные и обширные участки, выступающие в роли ключевых территорий, являются основными компонентами экологического каркаса, обеспечивающими сохранение биоразнообразия и включающими в себя центры распространения видов растительного и животного мира. В России таковыми являются заповедники, национальные и природные парки, заказники;

- линейные элементы, известные как экологические коридоры, являются связующими компонентами между ядрами экологического каркаса. Они обеспечивают обмен веществами и энергией, а также возможность беспрепятственной миграции биологических видов. К примеру, линейные экологические коридоры могут быть представлены руслами и долинами рек, затопленными угодьями;

- буферные зоны создаются с целью защиты центральных ядер и коридоров экологического каркаса от потенциально вредного воздействия.

В качестве исходных данных для анализа проблемы зеленых зон города Калининграда (рис. 1) были использованы данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ). [5] Они являются ключевым инструментом для мониторинга различных процессов на поверхности планеты. Используя космические снимки, можно легко обнаружить и исследовать изменения, произошедшие на определенной территории за определенный промежуток времени.

В качестве исходных данных использованы космические снимки Sentinel-2 территории г. Калининграда за летний период 2023 г. [6]



Рис. 1. Карта районов города Калининграда

Первоначальной задачей был подсчет площадей зеленых насаждений в городе. Для этого требовалось вычислить вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Для достижения абсолютно точных результатов, отображающих богатую растительность города, необходимо было использовать снимки, полученные за летний период. Именно в этот сезон листья растений содержат наибольшее количество хлорофилла, что является необходимым условием для получения достоверных данных, отражающих истинное состояние флоры. Были отобраны значения индекса от 0,5 до 1 — им соответствует густая растительность. С помощью модуля Zonal Statistics в QGIS подсчитывается количество пикселей растительности по районам, а после, с помощью калькулятора растров, определяется площадь зеленых насаждений.

По данным, представленным в таблицах (табл. 1, 2), видно, что самым озелененным и благоприятным для жизни районом Калининграда является Центральный. Этот район исторический, и, поэтому, здесь сохранилось подавляющее большинство зеленых пространств: парков, скверов, лесопарков и лесов. Кроме того, в этом районе расположены исторические памятники: замки и соборы, которые в свою очередь создают особую атмосферу и притягивают культурный туризм. Все это подтверждает высокую экологическую ценность данного района и доказывает, что зеленая инфраструктура имеет непосредственное влияние на качество жизни горожан.

Таблица 1

Площадь зеленых насаждений в районах Калининграда в км²

Район г. Калининграда	Площадь зеленых насаждений в км ²
Ленинградский р-н	44,1
Московский р-н	87,7
Центральный р-н	92,8

Таблица 2

Доля зеленых насаждений в районах Калининграда в %

Район г. Калининграда	Доля зеленых насаждений в районе в %
Ленинградский р-н	14,05
Московский р-н	23,47
Центральный р-н	41,34

На следующем этапе была создана классификация зеленых зон города Калининграда согласно элементам экологического каркаса (рис. 2). Сразу можно отметить, что в городе нет ООПТ, которые в большинстве своем составляют экологические ядра каркаса. Но в отдельных случаях для городов экологическими ядрами могут быть леса, лесопарки, крупные парки, поскольку на этих территориях наблюдается максимальное биоразнообразие.

Экологические коридоры в Калининграде представлены долинами рек и системами озер, такими как реки Преголя, Голубая, а также прудами Верхний и Нижний. Данные коридоры успешно соединяют ядра экологического каркаса между собой.

Растительный покров, за исключением экологических ядер, представляет собой буферные зоны, которые занимают наибольшую площадь в экологическом каркасе города. Они состоят из растительности, которая служит защитой для ядер и коридоров. В целом в Калининграде отмечается достаточное количество буферных зон, за исключением центральной части города.

Экологический каркас Калининграда обладает правильными чертами. В городе присутствует значительная площадь озелененных территорий. Как оказалось, чаще всего они представлены аллеями и скверами вблизи жилых домов, которые не оказывают существенного влияния на функционирование экологического каркаса. Рассматриваемые элементы выполняют свои функции, однако отсутствует четкая система их взаимодействия между собой.

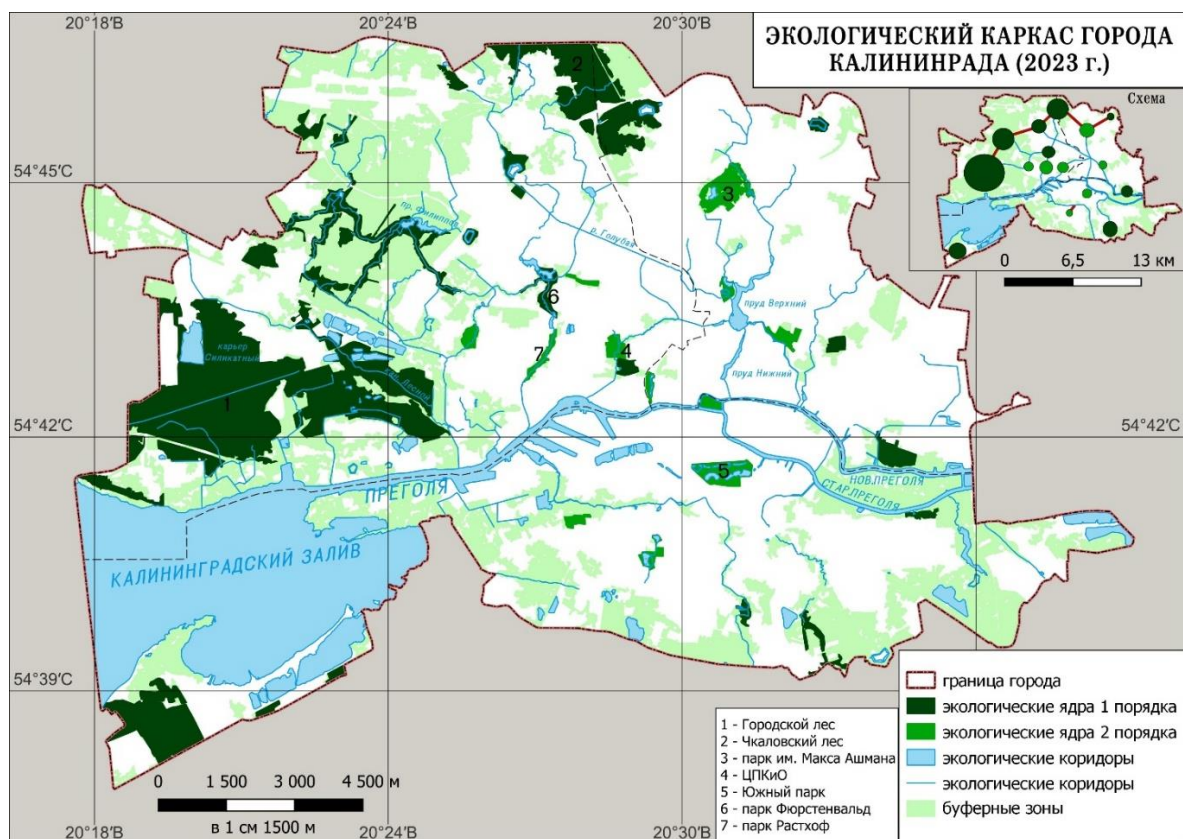


Рис. 2. Карта экологического каркаса Калининграда

В заключении можно сказать, что экологический каркас — это мощный инструмент для изучения городов, анализа экологического состояния растительности, регулирования городской среды, а также инструмент хозяйственной эксплуатации города.

Библиографические ссылки

1. Камышева А. С., Милеико Л. П. Роль зеленых насаждений в обеспечение экологической безопасности городов // Технологии техносферной безопасности. 2017. - № 2. С. 285-288
2. Вершинин В. Л. Экология города. Учебное пособие для студентов. 2-е изд., испр. и доп. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 88 с.
3. Хомич В. А. Экология городской среды: Учеб. пособие для вузов. Омск: Изд-во СибАДИ, 2002. 267 с.
4. Георгица И. М. Специфика городского экологического каркаса / И. М. Георгица // Ярославский педагогический вестник. 2011 № 2 Том III. 133-136 с.
5. Волгин, Д. А. Использование данных дистанционного зондирования Земли для мониторинга изменения экологической ситуации лесных экосистем России // Молодой ученый. 2022. № 43 (438). С. 221-223.
6. Copernicus browser [Электронный ресурс]. URL: <https://dataspace.copernicus.eu/browser/> (дата обращения: 15.01.2024).

УДК 528.06

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС «ПАНОРАМА» ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

Д. В. Сорочинский, А. Б. Кафтанчикова

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, geo.sorochindv@bsu.by*

Изучены способы пересчета и загрузки координат точек, построения матриц высот различными методами, создания цифровой модели рельефа с помощью возможностей ГИС «Панорама», выполнены работы по пересчету координат точек из МСК в WGS-84, построению матрицы высот и созданию цифровой модели рельефа.

Ключевые слова: ГИС «Панорама»; геоинформационные системы; Цифровая модель рельефа; матрица высот.

APPLYING GIS PANORAMA TO CREATE A DIGITAL TERRAIN MODEL

D. V. Sorochinsky, A. B. Kaftanchikova

*Belarusian State University, Independence Ave., 4, 2203030, Belarus,
geo.sorochindv@bsu.by*

Methods for recalculating and loading point coordinates, constructing elevation matrices using various methods, creating a digital elevation model using the capabilities of the GIS «Panorama» were studied; work was carried out on recalculating the coordinates of points from MSK to WGS-84, constructing a elevation matrix and creating a digital elevation model.

Keywords: GIS «Panorama»; geographic information systems; Digital elevation model; elevation matrix.

ГИС «Панорама» — это программный продукт, предназначенный для обработки, анализа и визуализации геоданных. Включает в себя широкий спектр инструментов и функций для работы с пространственными данными, такими как карты, цифровые модели рельефа, точки геодезических измерений и другие [1, с. 47].

Для создания цифровой модели рельефа в качестве исходных в работе использованы полевые геодезические данные, предоставленные Топографо-геодезическим республиканским унитарным предприятием «Белгеодезия».

Построение цифровой модели рельефа осуществлялось с помощью Прикладной задачи «Комплекс геодезических расчетов» (Геодезический редактор).

Первичная обработка обменных данных заключается в пересчете координат точек из МСК в WGS-84. Преобразование координат из входной пользовательской проекции в выходную проекцию выполняется через геодезические координаты на общеземном эллипсоиде WGS-84 (рис. 1).

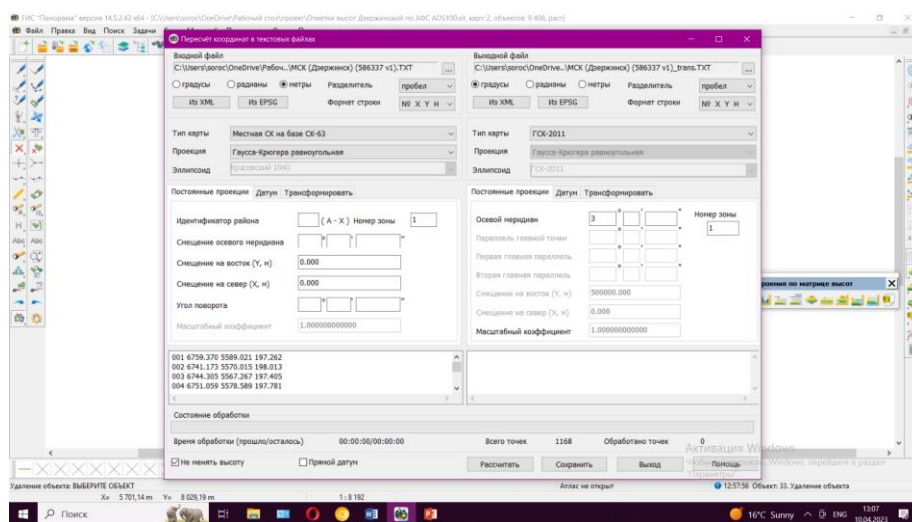


Рис. 1. Пересчет координат в текстовых файлах (сост. авт.)

Добавление файлов обменных данных производится с помощью приложения «загрузка координат из текстового файла».

Программа выполняет загрузку координат, получаемых в полевых условиях на геодезических приборах, оснащенных средствами электронной обработки в формате текстового файла с разделителями. Исходные файлы могут быть представлены различными расширениями (TXT, CSV, XUN.) [2, с. 103].

Результатом работы является карта в формате MAP, SIT, SITX, содержащая только точечные объекты для структуры полей X Y N или объекты любой локализации для структуры формату WKT (рис. 2).

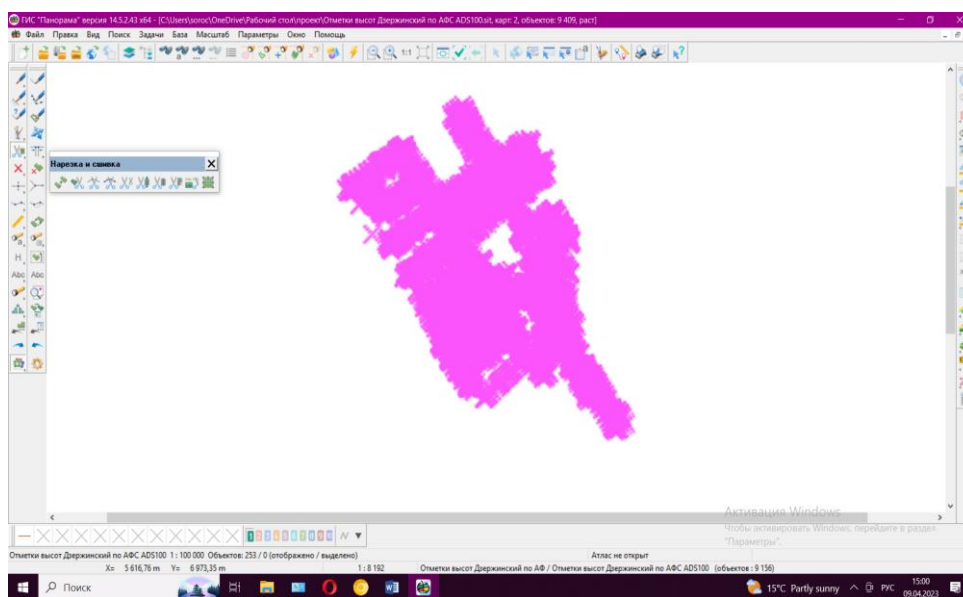


Рис. 2. Результат загрузки координат точек (сост. авт.)

Для создания ЦМР на данную территорию, изначально была построена матрица высот (рис. 3).

Тип результирующего рельефа задается в окне «Тип матрицы».

В случае задания абсолютного типа рельефа матрица строится с использованием объектов карты, имеющих абсолютную высоту, в случае задания суммарного типа к абсолютному рельефу добавляются высоты объектов, имеющих относительную высоту или высоту относительно поверхности в метрике; в случае задания относительного типа рельефа относительные высоты объектов добавляются к плоской поверхности с абсолютной высотой, равной нулю [3].

В окне «Метод построения поверхности» задается способ вычисления элементов матрицы, не получивших значений высоты после обработки объектов карты. При выборе одного из методов, основанных на средневзвешенной интерполяции, следует учитывать, что поиск по 8 направлениям выполняется быстрее остальных, а сглаживание поверхности формирует более гладкую поверхность. Если выбран метод линейной интерполяции по сетке высотных точек, то сначала строится сеть треугольников, вершинами которых являются точечные объекты с абсолютной высотой, а затем по этой сети треугольников вычисляются высоты элементов матрицы [4].

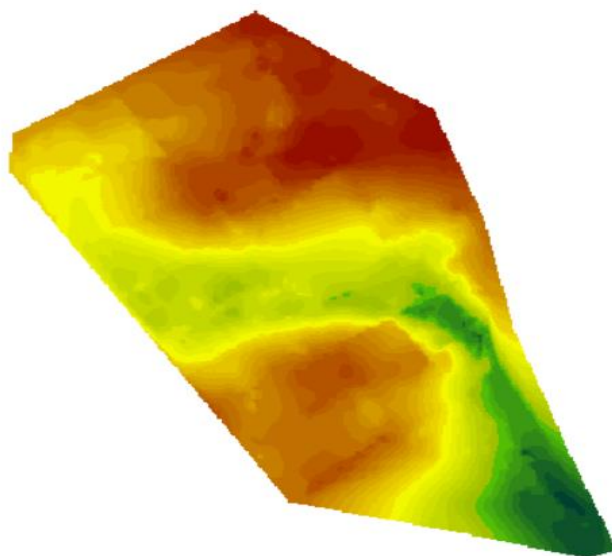


Рис. 3. Результат построения матрицы высот (сост. авт.)

При построении матрицы используется информация объектов карты и всех добавленных к ней пользовательских карт. [5].

Дальнейшая работа заключалась в построении цифровой модели рельефа на основании матрицы высот (рис. 4).

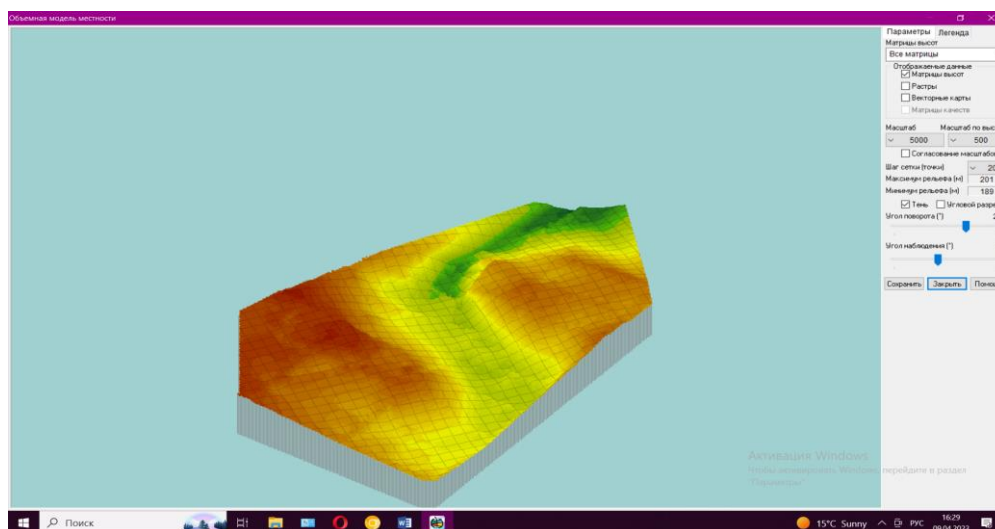


Рис. 4. Цифровая модель рельефа (сост. авт.)

В данной работе рассмотрены способы создания и методы построения цифровых моделей, а также показаны возможности использования ГИС «Панорама 14» для обработки первичных геодезических данных и построения цифровой модели рельефа.

Библиографические ссылки

1. *Дементьев В. Е.* Современная геодезическая техника и ее применения: Учебное пособие для вузов. Изд. Академический Проект, 2008.
2. *Кочетова Э. Ф.* Инженерная геодезия: Учебное пособие. Нижний Новгород: Изд.ННГАСУ, 2012.
3. *Салищев К.А.* Проектирование и составление карт. Изд. МГУ, 1978.
4. Документация и учебные материалы к геоинформационным системам КБ «Панорама» [электронный ресурс] URL: <https://gisinfo.ru/download/doc.html> (дата обращения: 23.01.2024).
5. Список проектов КБ ГИС Панорама [электронный ресурс] URL: <https://help14.gisserver.ru/> (дата обращения: 19.01.2024).

УДК 504.4

АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В СОЛИГОРСКОМ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ С 2014 ПО 2022 ГГ.

А. В. Третьяк, П. В. Жумарь

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030,
г. Минск, Беларусь, tosha.tretyak@mail.ru, pawloszhoomar@gmail.com*

Исследование посвящено анализу деградации земель в Солигорском горнопромышленном районе в 2014 и 2022 гг. Анализируются влияние на почвенное состояние горнодобывающей деятельности, изменения в рельефе и других факторов. Работа выделяет основные тенденции деградации, предоставляет количественные и качественные характеристики изменений. Полученные результаты имеют научную новизну и могут служить основой для разработки устойчивых методов землепользования и предотвращения деградации земель в горнопромышленных районах.

Ключевые слова: деградация земель; горнопромышленный район; антропогенное воздействие; землепользование; анализ изменений.

ANALYSIS OF PROCESSES OF LAND DEGRADATION IN SOLIGORSK MINING-INDUSTRIAL REGION SINCE 2014 TO 2022

A. V. Tretyak, P. V. Zhoomar

*Belarusian State University, 4 Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Belarus,
tosha.tretyak@mail.ru, pawloszhoomar@gmail.com*

The study is devoted to the analysis of land degradation in the Soligorsk mining district in 2014 and 2022. The impact of mining activities, changes in relief and other factors on soil condition is analyzed. The work highlights the main trends of degradation, provides quantitative and qualitative characteristics of changes. The obtained results have scientific novelty and can serve as a basis for the development of sustainable methods of land use and prevention of land degradation in mining areas.

Keywords: land degradation; mining district; anthropogenic impacts; land use; change analysis.

Настоящая статья посвящена анализу проявлений процессов деградации земель в данном регионе за период с 2014 по 2022 гг. Представлен анализ проявлений деградации земель в Солигорском горнопромышленном районе (ГПР), а также полученные результаты и

выводы, которые могут иметь практическое значение в области устойчивого землепользования.

К основным видам деградации земель в Беларуси относятся водная и ветровая эрозия; минерализация осушенных торфяных почв; химическое и радиоактивное загрязнение; избыточное накопление промышленных и бытовых отходов, подтопление и заболачивание; нарушение земель при разработке месторождений полезных ископаемых, а также при ведении строительных и иных земляных работ и др. Они особенно показательны для Солигорского ГПР, который представляет собой уникальную территорию, где горнодобывающая деятельность оказывает существенное влияние на состояние земельных ресурсов.

Вышеперечисленные процессы деградации земель, протекающие в Солигорском ГПР проанализированы по данным материалов дистанционного зондирования Земли.

Использованы снимки LANDSAT 8, синтез каналов 4-3-2 (натуральных цветов) и синтез каналов 5-4-3 (искусственных цветов), создание картосхемы очагов деградации земель Солигорского горнопромышленного района (рис. 1) производилось в ПО ENVI 5.3.

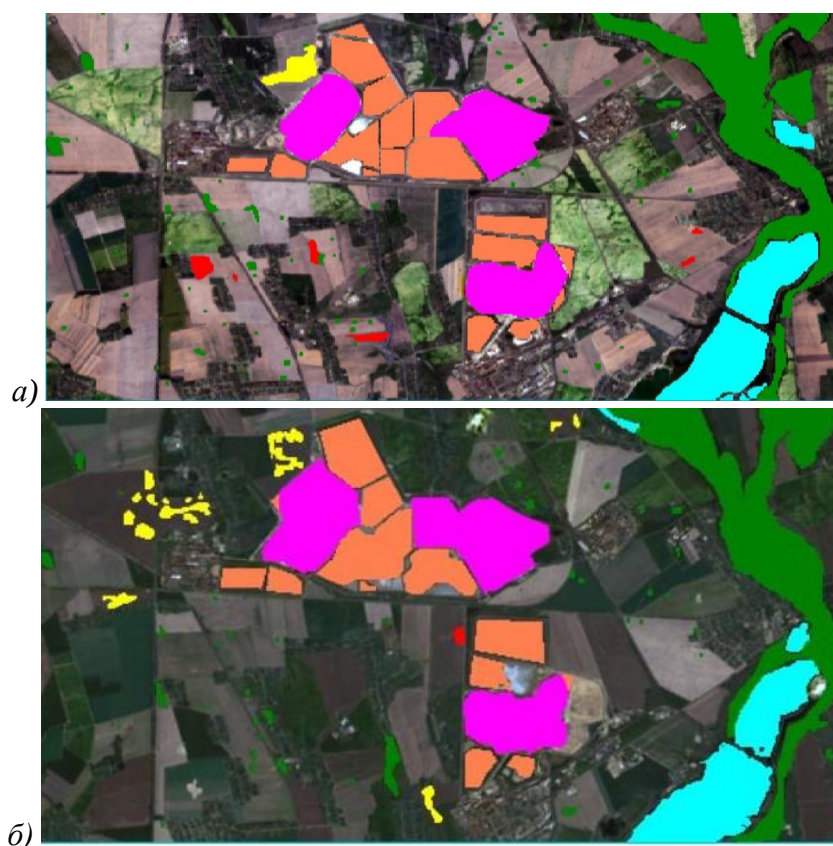


Рис. 1. Картосхема очагов деградации земель Солигорского горнопромышленного района. (а) – 2014 г; б) – 2022 г.)

Техногенное засоление почв. Засоление почв на большой площади обусловили поступление техногенных веществ воздушным путем в местные ландшафты и привнос солей на пониженные участки с боковым внутрипочвенным стоком (в том числе фильтратов из накопителей отходов).

Данный процесс по площади выражен неравномерно. Наибольшее содержание солей отмечено на пониженных участках. Там их концентрация в почве в 1,5-2,5 раза выше, чем на расположенных рядом возвышенных элементах рельефа [4]. Концентрация солей в верхнем горизонте почвы зависит также от количества и интенсивности выпадения осадков, продолжительности периода без дождей, способов и сроков проведения агротехнических мероприятий, наличия и видов растительности, условий увлажнения в предыдущую осень и толщину снежного покрова зимой. Все это, вместе с интенсивностью и удаленностью источников поступления и характером метеорологических условий рассеивания, определяет пеструю картину засоления почв, которая постоянно изменяется в пространстве и времени.

Зона засоления почв вокруг производственной площадки 4-го рудопроизводства (РУ) распространяется от 0,5 км к западу до 2 км к северу и северо-востоку. В зонах влияния производств 1-го, 2-го и 3-го РУ засоление почв отмечается на расстоянии 1,5–3,5 км от самих предприятий [4].

Свою долю в процесс засоления вносят и места складирования отходов калийного производства. Наиболее вероятно увеличение ореола засоления почв у объектов 4-го РУ, потому что здесь выбрасывается в атмосферу около половины массы калийной пыли, от всех источников ОАО «Беларуськалий». В районе 1-го и 3-го РУ при существующих объемах выбросов калийной пыли в воздух и недопущении прорывов рассолов через дамбы шламохранилищ и рассолосборников размеры засоления площади почв изменяется меньше.

Как видно из рис. 1, площадь солеотвалов увеличилась с 2014 г. от 5,9 до 7,1 км² в 2022 г. Но при этом площадь земель используемых под шламохранилища снизилась 6,3 в 2014 г. до 6,0 км² в 2022 г., несмотря на то, что в 2022 г. стали эксплуатировать резервное шламохранилище, которое не использовалось прежде. Солеотвалы и шламохранилища на снимках, приведенных на рис. 1, выделены оранжевым и фиолетовым цветами соответственно.

Эрозия почв. Эрозия почв как по масштабам своего проявления, так и по последствиям является одним из наиболее значимых факторов разрушения и деградация почв. На рис. 1 площади, подверженные эрозии выделены желтым цветом. Наиболее разрушению подвержены дерново-подзолистые почвы. Они являются преобладающими в указанном регионе. Примерно 73 % этих почв относятся к сильно оподзоленным. Практически повсеместно распространены почвы, сформированные на моренных, лессовидных и водноледниковых суглинках.

Площадь слабоэродированных почв составляет 61,29 км², а площадь сильноэродированных почв равна 54,11 км². Эрозии больше подвержены слабоподзоленные почвы на моренных суглинках, доля которых составляет около 68,5 %. Эти почвы характеризуются низкой водопроницаемостью и неглубоким залеганием плотного иллювиального горизонта, поэтому после дождей и при снеготаянии происходит сильный поверхностный сток и развивается плоскостная и глубинная эрозия.

Выдувание почвы, ее снос и переотложение осадочных продуктов ветром определяется как ветровая эрозия. Она лучше развита на песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почвах.

В исследуемом районе на долю водной эрозии в разрушении почв приходится 84 %, ветровой — 16 %. С 2014 г. эрозия захватила площадь около 0,4 км², что меньше в 2,3 раза по сравнению с 2022 г., где площадь земель подверженных эрозией составила 0,93 км². В основном проявляется в северо-западной части исследуемой территории.

Просадочные явления, подтопление и заболачивание земель. В течение длительного периода в Солигорском ГПР над подработанными калийными горизонтами отмечаются процессы деформации и сдвижения грунтов. Оседание земной поверхности (мульды сдвижения) наблюдается на большей площади, чем отработанные участки месторождения. В краевых частях мульды сдвижения при ее продвижении с фронтом горных работ происходят изменения грунтовых толщ, при которых в связных грунтах появляются трещины, уступы, иногда суффозионно-обвальные воронки глубиной 1,0-1,5 м.

В пределах мульды сдвижения меняются первоначальный рельеф, геологические свойства грунтов и динамика грунтовых вод. Результатом просадок становятся явления заболачивания, подтопления и затопления. Указанные процессы проявляются на больших площадях в различных ландшафтных условиях. Наиболее заметные негативные последствия наблюдаются при оседании грунтов в пределах пониженных участков рельефа. В ряде мест по причине опускания земной поверхности формируется система мелких озерков.

Площади заболоченных земель в основном совпадают с участками ведения горных работ. Процесс заболачивания усиливается влиянием Солигорского водохранилища.

Подводя итог, можно утверждать, что глубокий анализ процессов деградации земель в Солигорском ГПР является важным этапом в формировании стратегий устойчивого землепользования и сохранения экологического баланса в данном регионе. Следует отметить, что, несмотря на все принимаемые меры, рост процессов деградации земель продолжается. Поэтому следует и в дальнейшем осуществлять их дистанционным мониторинг с выборочным наземным контролем.

Библиографические ссылки

1. Официальный сайт РДАУП «БелПСХАГИ», 2023 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://beldzz.by/>.
2. Working the Crowd: Design Principles and Early Lessons from the Social-Semantic Web [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://INPHO>.
3. ENVI Machine Learning Tutorial: Supervised Classification [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ENVIMachineLearnngutorialSupervisedClassification>.
4. Деградация природной среды в зоне влияния калийных производств // Хомич В. С. [и др.]. / Природная среда Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. Минск: БИП-С, 2002. С. 332 – 347
5. Месторождения калийных солей Беларуси: геология и рациональное природопользование / Э. А. Высоцкий [и др.]. Минск: Белорус. гос. ун-т, 2003. 264 с.

УДК 631.559

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ КАМЕНКА

Д. С. Фомин, Дм. С. Фомин, С. С. Полякова

*Пермский НИИСХ филиал ПФИЦ УрО РАН,
614523, Россия, Пермский край, с. Лобаново, ул. Культуры, д.12,
prm.fomin.d@gmail.com*

Исследована взаимосвязь экспозиции склонов и урожайности яровой пшеницы Каменка на агрополигоне Пермского НИИСХ филиала ПФИЦ УрО РАН в 2023 г. Применение геоинформационных систем позволило установить размещение частей агрополигона по сторонам Света и определить урожайность зерна на них, которая варьировала от 1,18 до 1,61 т/га. Установлено, что посевы яровой пшеницы, размещенные на восточной части склона, достоверно увеличивают свою продуктивность на 0,29 т/га ($НСР_{05}=0,27$ т/га) по сравнению с посевами, размещенными на северной части. Яровая пшеница, размещенная на южной и западной экспозиции агрополигона имеет тенденцию снижения продуктивности на 0,13 и 0,09 т/га соответственно.

Ключевые слова: яровая пшеница; геоинформационные системы; точное земледелие; агроэкологический анализ; экспозиция склонов.

APPLICATION OF GEOINFORMATION SYSTEMS TO ANALYZE THE YIELD OF SPRING WHEAT KAMENKA

D. S. Fomin, Dm. S. Fomin, S. S. Polyakova

*Perm Research Institute of Agriculture - branch of the Perm Federal Research Center of
the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
614523, Lobanovo, Perm region, Russian Federation, prm.fomin.d@gmail.com*

The relationship between the exposure of slopes and the yield of spring wheat Kamenka was studied at the agricultural polygon of the Perm Research Institute of Agriculture — a branch of the Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences in 2023. The use of geographic information systems made it possible to establish the location of parts of the agricultural polygon on the cardinal points and determine the grain yield on them, which varied from 1,18 to 1,61 t/ha. It has been established that spring wheat crops placed on the eastern part of the slope significantly increase their productivity by 0,29 t/ha ($LSD_{05}=0,27$ t/ha) in comparison with crops placed on the northern part. Spring wheat placed on the southern and western exposure of the agricultural landfill tends to reduce productivity by 0,13 and 0,09 t/ha, respectively.

Keywords: spring wheat, geographic information systems, precision agriculture, agroecological analysis, slope exposure.

Развитие современных цифровых технологий стимулирует трансформацию сельскохозяйственного сектора, приводя его к новым стандартам. В современных условиях значительными вызовами являются обеспечение продовольственной независимости и безопасности государства, повышение конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках и снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе. Преодоление этих глобальных вызовов, в области продовольственной безопасности, возможно с внедрением инноваций в сельское хозяйство, в том числе и элементов точного земледелия.

Внедрение точного земледелия в производственные процессы представляет собой перспективный путь для повышения эффективности сельского хозяйства. Важным помощником выступают геоинформационные системы (ГИС) и могут предоставлять собой инструменты для сбора, анализа и визуализации геопространственных данных, что позволяет сельхозтоваропроизводителям и фермерским хозяйствам принимать более обоснованные и эффективные решения [1, с. 57].

ГИС позволяют создавать детальные карты полей с учетом различных параметров, таких как тип почвы, уровень увлажненности, содержание элементов и др., что помогает оптимизировать распределение ресурсов [2, с. 39]. Значительная пространственная неоднородность плодородия почв может проявляться даже в пределах одного поля, что создает разные условия для роста сельскохозяйственных культур и требует дифференцированного подхода к технологиям их возделывания [3, с. 3].

Целью исследований являлось установление взаимосвязи урожайности яровой пшеницы и экспозиции склона. Исследования были проведены на опытном агрополигоне Пермского НИИСХ филиала ПФИЦ УрО РАН в 2023 г. (рис. 1).

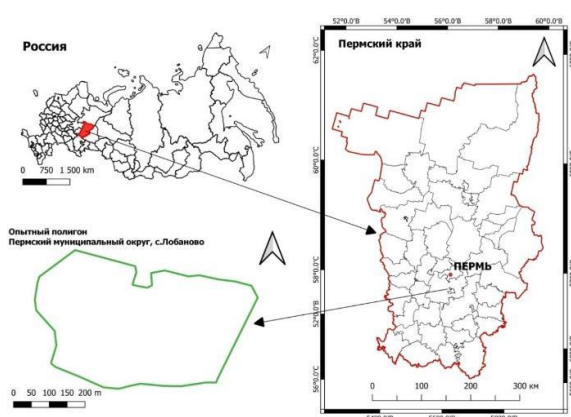


Рис. 1. Месторасположение опытного полигона

Объектом исследований является яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.), среднеспелый сорт Каменка, включенный Госреестром по Северо-Западному, Центральному и Волго-Вятскому регионам.

Схема опыта включала следующие варианты: 1. Северная экспозиция склона. 2. Восточная экспозиция склона. 3. Южная экспозиция склона. 4. Западная экспозиция склона.

Технология возделывания яровой пшеницы общепринята для Среднего Предуралья. Предшественник: озимая пшеница. Основную обработку почвы проводили полунавесным оборотным плугом Kuhn Manager C5T (5 корпусным), ранневесеннее боронование — сцепкой борон БЗТС-1. Минеральные удобрения внесены под предпосевную культивацию, норма внесения $N_{60}P_{60}K_{60}$ средне-рекомендуемая для региона, вносили разбрасывателем минеральных удобрений KUNH AXIS 40.2 M. Предпосевную культивацию проводили универсальным блочно-модульным культиватором 8П. Посев пшеницы осуществляли при наступлении физической спелости — 13.05.2023 г., сеялкой зерновой механической Amazone D9 4000. Норма высева — 6 млн. шт/га. Обычный рядовой способ на глубину 3-4 см с последующим прикатыванием ККШ-6.

Агроэкологический анализ агрополигона проведен в свободной кроссплатформенной геоинформационной системе QGIS, содержащей в себе набор интегрированных приложений, позволяющий проводить пространственный анализ. Предварительная обработка данных с Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) проведена в System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA).

Описание почвы изучаемого агрополигона проведен по [4, с. 5] и определены физико-химические свойства пахотного слоя (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика пахотного слоя почв

Почва	Гумус, %	pH_{KCl}	pH_{H_2O}	Ммоль/100 г почвы			V, %	Подвижные элементы, мг/кг почвы		dv
				Hг	S	ЕКО		P_2O_5	K_2O	
$П_4^{ДШТЭ_1}$	2,9	4,7	6,0	5,3	14,6	19,9	73,4	35,0	185,3	1,25

Почва характеризовалась как мало гумусная, со среднекислой реакцией среды и средней нуждаемостью в известковании, низкой обеспеченностью подвижными формами фосфора и высоким содержанием подвижных форм калия.

Сильное влияние на динамику физико-химических показателей, влажности и температурного режима почвенного покрова имеют ландшафтные особенности участка, а также климатические условия [5, с. 123].

Цифровая модель рельефа агрополигона на рисунке 2 а) отображает, что опытный полигон имеет перепады высот от 160 до 181 метра над уровнем моря. Дальнейшая обработка цифровой модели рельефа позволила классифицировать территорию агрополигона по крутизне склона так, например большая часть территории классифицируется как зональная (рис. 2 б)).

Определение экспозиции склонов позволило распределить части территории по частям Света, где северная часть занимала большую территорию, западная 37 %, меньшую часть составила восточная экспозиция 11 % (рис. 2 в)).

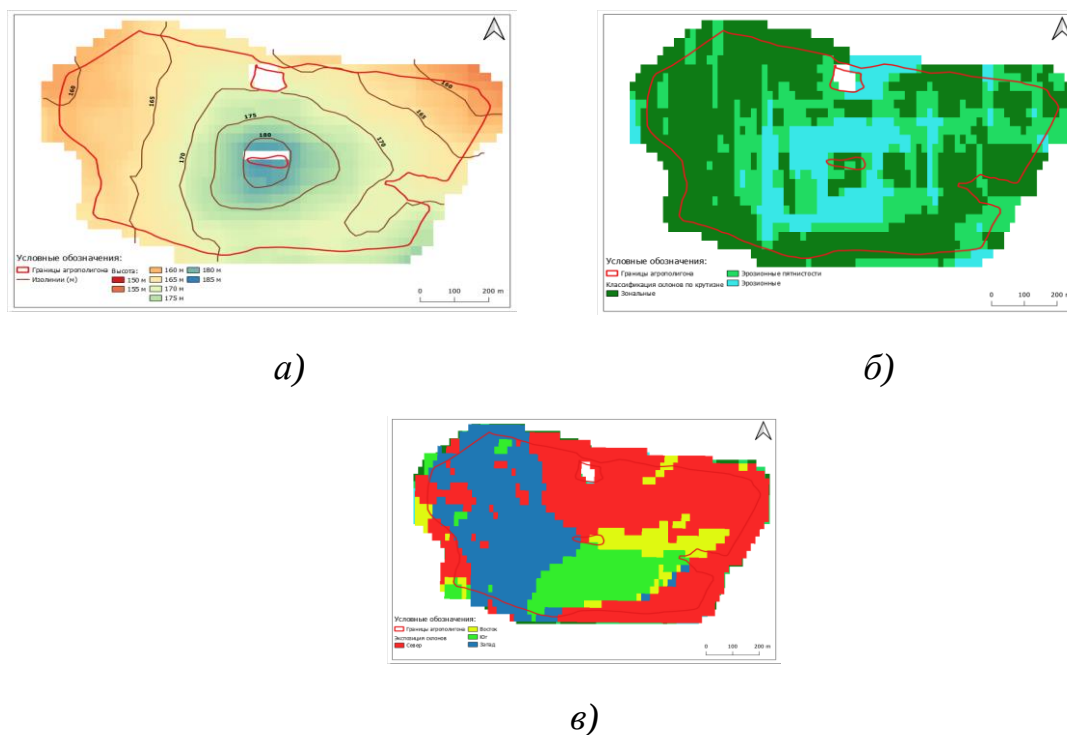


Рис. 2. Агроэкологический анализ агрополигона

Выполненный агроэкологический анализ агрополигона позволил выделить участки для учета урожайности яровой пшеницы. Результаты применения геоинформационных систем для учета урожайности яровой пшеницы сорта Каменка на учетных площадках представлены в табл. 2.

Данные проведенных исследований, показывают, что урожайность зерна яровой пшеницы, зависела от размещения ее по сторонам Света и

варьировала от 1,18 до 1,61 т/га. Установлено, что посеы яровой пшеницы, размещенные на восточной части склона, достоверно увеличивают свою продуктивность на 0,29 т/га ($НСР_{05}=0,27$ т/га) по сравнению с посевами, размещенными на северной части.

Таблица 2

Урожайность яровой пшеницы Каменка, т/га

Вариант	Урожайность	Разность
Северная экспозиция склона (контроль)	1,32	-
Восточная экспозиция склона	1,61	0,29
Южная экспозиция склона	1,18	-0,13
Западная экспозиция склона	1,22	-0,09
$НСР_{05}$	0,27	

Посевы яровой пшеницы, размещенные на южной и западной экспозиции агрополигона, имеют тенденцию снижения продуктивности на 0,13 и 0,09 т/га соответственно.

Таким образом, мониторинг урожайности на полях с использованием ГИС технологий, подкрепленных спутниковыми данными и (или) датчиками на технике помогают выявлять зоны на полях и принимать меры основанные на дифференцированных технологиях внесения удобрений, семян и пестицидов для улучшения продуктивности культур.

Выводы. Таким образом геоинформационные системы могут быть эффективным инструментом для современного точного земледелия, помогая сельскохозяйственным предприятиям повышать производительность, эффективность и устойчивость своего производства.

Библиографические ссылки

1. Фомин Д. С., Фомин Д. С., Пикулева Г. И. Геоинформационные системы в агроэкологической оценке земель для проектирования адаптивно-ландшафтной системы обработки почвы в Предуралье //Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2023. № 1(72). С. 57-63.
2. Клебанович Н. В., Киндеев А. Л., Сазонов А. А., Червань А. Н., Домась А. С., Ересько М. А., Ефимова И. А. Пространственная неоднородность почвенного покрова и агрохимических показателей почв Солигорского района //Земля Беларуси. 2019. № 1. С. 39-48.
3. Глазунов Г. П., Афонченко Н. В., Золотухин А. Н. Пространственная неоднородность показателей плодородия черноземных почв в склоновых агроландшафтах ЦЧР //Земледелие. 2021. №. 7. С. 3-9.
4. Полевой определитель почв. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
5. Шабанов М. В., Стрекулев Г. Б. Изучение ландшафтов Южного Урала по данным полевых обследований и картографического материала //Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2020. Т. 31. С. 123-135.

УДК 623.643+528.94

ИСТОРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВОЕННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ОТ ТРАДИЦИОННОГО К ГЕОИНФОРМАЦИОННОМУ

А. С. Черенко

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

В статье рассмотрены особенности развития военного картографирования. Выделены основные технологические моменты, которые меняли методики, вид и способы создания военных карт. Отмечено, что именно военное дело в первую очередь способствовало развитию картографии, потому что на создание карт требовались большие затраты. Сделан вывод о том, что геоинформационные технологии привели к трансформации традиционного топогеодезического обеспечения боевых действий в геоинформационное.

Ключевые слова: военная картография; геоинформационное картографирование; цифровые карты; история военного картографирования.

HISTORICAL ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF MILITARY MAPPING FROM TRADITIONAL TO GEOINFORMATION

A. S. Cherenko

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk; Belarus, cherenko@bsu.by*

This article discusses the features of the development of military mapping. The main technological aspects that changed the methods, appearance and methods of creating military maps are highlighted. It is noted that it was military affairs that primarily stimulated the development of cartography, because the creation of maps required large expenses. It is concluded that geoinformation technologies have led to the transformation of traditional topographical support of the world into geoinformation support.

Keywords: military cartography; geoinformation mapping; digital maps; history of military mapping.

Ллойд Браун в книге «История географических карт» 1979 г. [1] отмечает, что при начале любого военного конфликта карты представляют собой первоочередной интерес для военной разведки, поскольку на них показано «расположение дорог и судоходных рек, по которым армия может подойти к городу, расположение военных объектов, таких как арсеналы, казармы, водопроводы, верфи и общественные здания». Наличие

даже устаревших карт зачастую помогало выигрывать военные компании (рис. 1), поэтому военные карты имели высокую степень секретности и хорошо охранялись и при гипотетической возможности попадания их к врагу немедленно уничтожались. Это и является основной причиной того, что экземпляры таких военных карт не сохранились до настоящего времени.

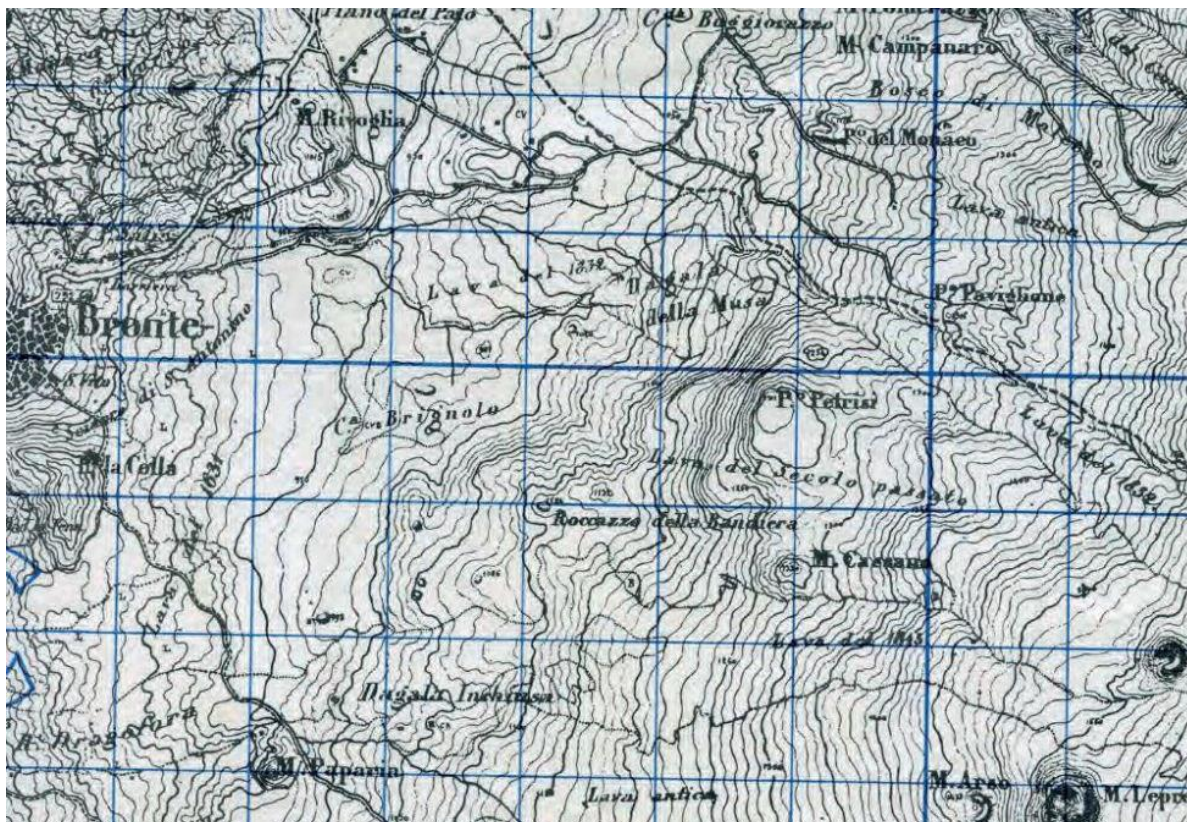


Рис. 1. Фрагмент устаревшей топографической карты масштаба 1:50 000 1885 г. окрестности Бронте на Сицилии, использовавшейся во Второй мировой войне с дополнительным нанесением координатной сетки синего цвета [3]

В исследовании по истории картографии Марк Монмонье для каждой исторической эпохи выделил особенности, изменившие военное картографирование [2]. В эпоху Возрождения военная картография столкнулась с необходимостью комплексного картографирования территории, так как открытое сражение на поле боя заменило длительную осаду укрепленных городов, которая использовалась в качестве военной стратегии ведения боевых действий.

В Новое время с появлением геодезических сетей появилась возможность демаркации политических границ и создания подробных топографических карт, необходимых для обороны и наступления.

В Новейшее время с появлением воздушного, а в дальнейшей и космического картографирования, в корне поменяло способы ведения военной разведки и изготовления военных карт.

Системы глобального позиционирования, первоначально разработанные в военных целях для наведения крылатых ракет, широко используются после 2000 г. для навигации транспортных потоков, геодезии, отслеживания преступников, детей, домашних животных и др. Появление геоинформационных систем привело к замене аналогового картографического обеспечения боевых действий в геоинформационное.

В исследованиях по картографии периода между 1500 и 1850 гг. Мэтью Х. Эдни [4] выделяет четыре институциональных направления:

- *военная картография*, которая использовала мелкомасштабные географические карты для стратегического планирования, крупномасштабные топографические карты для тактических операций и морские карты для военно-морской деятельности;

- *административная картография*, которая занималась различными тематическими и топографическими картами городов и административно-территориальных единиц, в том числе и для коммерческого использования;

- *торговля картами*, которая после появления технологий печати и гравировки превратилась в издательство карт, обеспечившее появление картографического рынка и коммерческого распространение карт всех типов;

- *коллекционирование карт*, которое велось организациями и отдельными частными лицами, карты рассматривались не только как антиквариат и привлекательные инвестиции, но и как полезный источник информации для военной разведки и научных исследований.

Проанализировав материал по военному картографированию в литературных источниках, можно сделать вывод, что военных карт, которые использовались непосредственно на поле боя практически нет. Обнаруженные военные карты представляют собой реконструкцию уже прошедших военных конфликтов в художественном оформлении (рис. 2).

На протяжении долгого времени создание военных карт было прерогативой офицеров штаба и до Первой мировой войны военные картографы обычно сосредоточивали свои усилия на составлении карт местности, но уже в ходе и после этого конфликта акцент сместился на нанесение оперативно-тактической обстановки на карты и доведения этих карт подчиненным подразделениям.

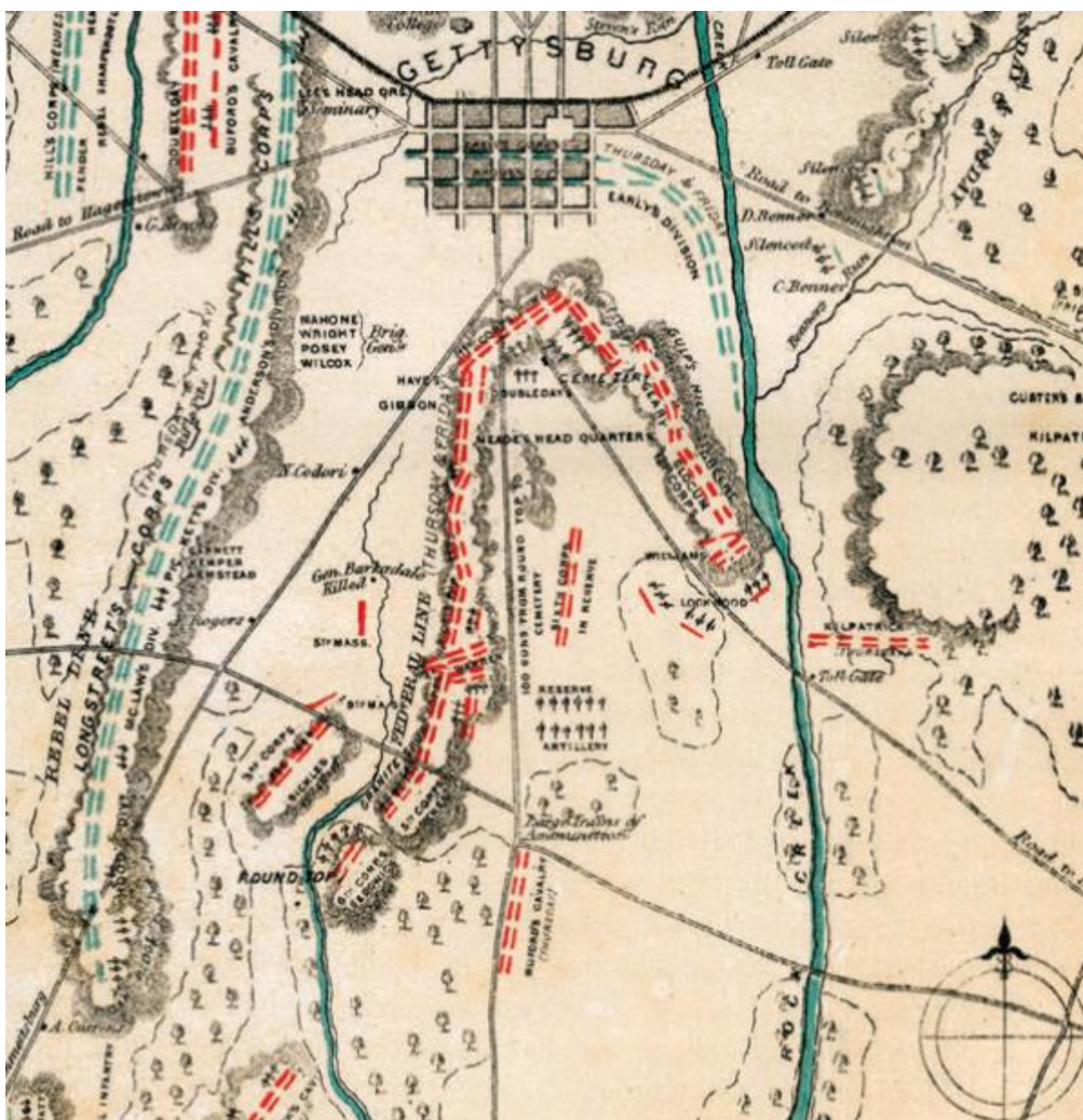


Рис. 2. Карта битвы при Геттисбурге 1863 г. [6]

Для этого были разработаны стандартизированные условные знаки оперативной обстановки, чтобы наладить картографическое взаимодействие и уменьшить путаницу между подразделениями [5]. Эти условные знаки передают информацию о расположении войск, анализ возможных действий противника, план действий своих войск и служат своеобразным языком общения между починенными подразделениями. Также не мало-важной отличительной особенностью военных карт этого времени стало появление на них координатной сетки (рис. 3).

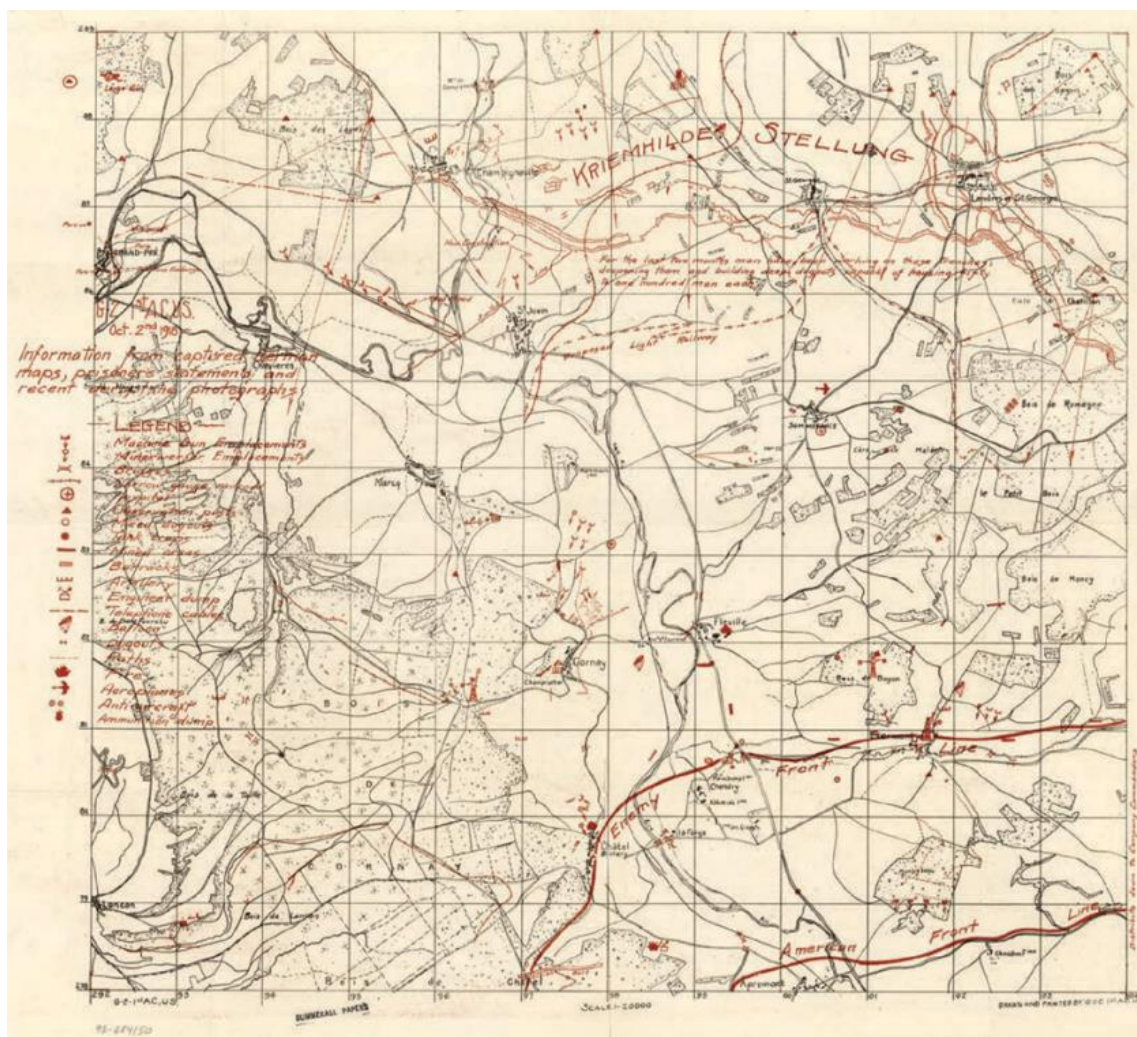


Рис. 3. Вторая битва на Марне 1918 года [6]

Особо стоит отметить, что именно военное дело в первую очередь способствовало развитию картографии потому, что на создание карт требовались большие затраты материальных и человеческих ресурсов, а это могла себе позволить в те времена лишь армия, финансируемая государством, которому необходимы были качественные и подробные карты своей территории для обороны. И только в конце XX в. с развитием геоинформационных технологий пальму первенства в развитии картографии перехватили коммерческие организации, которые всегда ориентируются на спрос потребителей, и создают качественную картографическую продукцию.

В книге «Геоинформационное обеспечение военных действий. От достаточности к превосходству» (Елюшкин В. Г., 2019) [7] бывший начальник 29 НИИ МО РФ, занимавшегося вопросами топогеодезического и навигационного обеспечения войск, раскрыл как географический фактор влияет

на ведение боевых действий и предложил изучение местности с точки зрения ландшафта, как среды взаимодействующих природных и антропогенных компонентов. Геоинформационное обеспечение, с таким подходом к изучению местности, основывается на знаниях в области аэрологии, биологии, картографии, климатологии, экологии, геодезии, геофизики, геополитики, гидрографии, гидрологии, метеорологии, геоинформатики, океанографии, фотограмметрии, дистанционного зондирования.

В последнее время современное военное картографирование преобразовалось в сетевую цифровую движущуюся карту, используемую совместно с системами глобального позиционирования на мобильных устройствах. При этом боевые машины и командные пункты оснащены компьютерным терминалом, который подключается к другим машинам и штабам, оснащенным той же системой. Подключенный к системам глобального позиционирования, терминал автоматически передает местоположение транспортного средства по цифровой радиосети, а также получает и отображает местоположение всех других дружественных подразделений, оснащенных аналогичным оборудованием. Более того, солдат, управляющий системой, имеет возможность вручную нанести на электронную карту наблюдаемого противника или изменения на местности. Информация передается в соответствующий штаб на утверждение, а затем транслируется по всей сети, гарантируя, что каждое подразделение имеет общую оперативную картину боевой ситуации, и позволяя командирам быстро реагировать на изменяющиеся тактические условия.

Библиографические ссылки

1. *Brown L. A.* The story of maps. – Courier Corporation, 1979. 397 p.
2. *Monmonier M.* Cartography: history //International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology: People, the Earth, Environment and Technology. 2016. С. 1-12.
3. Antologia militare fascicjlo special N/2 -2022 [Electronic recourse] [Maps] // Issuu, Biblioteca militare. Mode of access: https://issuu.com/rivista.militare1/docs/nam_fascicolo_speciale_2_2022_military_cartography/s/16931681. Date of access: 15.01.2024.
4. *Edney M. H.* Cartography: The ideal and its history. University of Chicago Press, 2019. 296 p.
5. Табліца умойных знакаў для аператыўных тактычных карт і схем : загад рэвалюцыйнага вайсковага савету ССС рэспублік, 11 мая 1928 г., № 139 // Намеснік народнага камісара Вайскавых і Маркскіх спраў / Дзяржаўнае выдавецтва Беларусі. Вайскавы сектар. Мінск, 1932.
6. *Black J.* Maps of war: Mapping conflict through the centuries. Bloomsbury Publishing, 2016. 266 p.
7. *Елюшкин, В. Г.* Геоинформационное обеспечение военных действий. От достаточности к превосходству /В. Г. Елюшкин. М.: Самиздат, 2019. 166 с.

УДК 528+631.4(476)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННЫХ СЪЕМОК ПРИ КАРТОГРАФИРОВАНИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Ф. Е. Шалькевич, А. П. Зайцева

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, geo.zaycevaAP1@bsu.by*

В статье приведены результаты исследования эффективности использования аэрокосмических снимков в предполевой и полевой периоды при составлении крупномасштабных и среднемасштабных почвенных карт, а также структуры почвенного покрова.

Ключевые слова: почвенные карты; картографирование почвенного покрова; почвенный контур; структура почвенного покрова; аэрокосмические снимки.

EFFECTIVENESS OF USING REMOTE SENSING DATA FOR SOIL COVER MAPPING

F. E. Shalkevich, H. P. Zayceva

*Belarusian State University, Nezavisimosty Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, geo.zaycevaAP1@bsu.by*

The article presents the results of research into the effectiveness of using aerospace images in pre-field and field periods for compiling large- and medium-scale soil maps, as well as soil cover structure.

Keywords: soil map; soil cover mapping; soil contour; structure of soil cover; aerospace images.

Эффективность использования материалов аэрокосмической съемки при составлении почвенных карт зависит от ряда факторов и в первую очередь от информативности материалов аэрокосмической съемки. Они должны быть получены в оптимальные сроки с учетом погодных и природных факторов, а также соответствующего спектрального диапазона и пространственного разрешения. Кроме того, специалист должен хорошо знать не только объект исследования, но и геометрические, изобразительные и информационные свойства снимков.

В полевой период при традиционном методе картографирования почв 38,5 % рабочего времени затрачивается на описание почвенных разрезов, 15,6 % на переход к ним и 22,2 % от общего количества времени на выведение границ почвенных контуров [1].

Использование материалов аэрофотосъемки при корректировке почвенных карт позволило в предполевой период правильно отдешифрировать около 90 % границ почвенных контуров и 80 % их правильно диагностировать. Однако следует отметить, что данные показатели могут изменяться в ту или иную сторону в зависимости от категории сложности картографируемой территории.

Для изучения информативности почвенных карт, составленных традиционным методом и с использованием аэрокосмических снимков, выполнен их картометрический анализ. Важным показателем различия почвенных карт, составленных различными методами, является размер и количество почвенных контуров.

Исследования показали, что распределение почвенных контуров на почвенных картах семи ключевых участков, составленных на основе плана землепользования, аэроснимка и космического снимка очень высокого пространственного разрешения (2,5 м) имеют существенные различия касательно количества и размеров контуров на почвенных картах, составленных разными методами [2]. Общее количество контуров на почвенных картах, составленных на основе материалов дистанционных съемок, возрастает в 2-3 раза. Кроме того, существует тесная взаимосвязь между размерами контуров и их количеством. С уменьшением размера контура увеличивается их количество и наоборот, что не всегда имеет место на почвенных картах, составленных обычным методом. Это объясняется тем, что материалы дистанционных съемок позволяют выделить более мелкие по размеру контуры, которые труднее отобразить на плане землепользования из-за маскировки их растительностью и недостаточного количества ориентиров, необходимых для их привязки.

Наибольшее количество контуров площадью до 1,0 га приходится на дерново-подзолистые заболоченные почвы (70,2 %) ключевых участков с лессовидными почвообразующими породами. Это объясняется тем, что для территорий, сложенных лессовидными породами, характерно наличие микропонижений с полугидроморфными почвами, которые хорошо отображаются на аэрокосмических снимках, что облегчает их выделение на почвенных картах. Для всех почвенных карт, составленных на основе материалов дистанционных съемок, характерно преобладание контуров до 5,0 га (84 %). Наиболее объективные представления о качественном и количественном содержании почвенных карт дают количественные характеристики структуры почвенного покрова. При относительной однородности

коэффициентов расчленения и контрастности заметна четкая дифференциация коэффициентов сложности и неоднородности почвенного покрова.

Выполненный картометрический анализ для среднемасштабных почвенных карт (1:50 000) ключевого участка «Польдер», составленных различными методами, показал, что существует та же закономерность в распределении количества контуров в зависимости от их размера. Если на почвенной карте, составленной по аэрофотоснимку, количество контуров площадью до 5 га составляет 63 %, то на карте, составленной традиционным методом — 15 %, площадью более 40 га, соответственно 8 и 19 %.

Преобладание более мелких контуров не является основанием для проведения генерализации почвенных контуров. В зависимости от масштаба и пространственного разрешения аэрокосмических снимков необходимо стремиться отображать на почвенной карте максимальное разнообразие почвенного покрова, существующее на местности. Однако увеличение контурной нагрузки почвенных карт усложняет их использование специалистами сельского хозяйства. Поэтому данные карты должны служить основой для составления других тематических карт (агропроизводственных группировок почв, структуры почвенного покрова, типов земель и др.), облегчающих их практическое использование.

Составление и корректировка среднемасштабных почвенных карт имеет свои специфические особенности. Во-первых, они составляются на основе уже имеющихся крупномасштабных почвенных карт, а значит их точность и детальность в большей мере будет определяться этими же качествами крупномасштабных карт. Во-вторых, при их составлении используется картографическая генерализация, которая носит творческий характер, а ее качество определяется в большей мере профессиональной подготовкой специалиста.

Существуют различные подходы при генерализации почвенного покрова. Наиболее распространенным при составлении почвенных карт традиционным методом является выделение комплексов почв, что особенно характерно для территорий с высокой неоднородностью почвенного покрова.

При использовании компьютерных технологий предлагается механически исключать на почвенных картах масштаба 1:10 000 и 1:50 000 контуры площадью до 1 и 5 га соответственно.

Основным недостатком и первого, и второго приема генерализации является снижение информативности составленных почвенных карт.

Использование материалов дистанционных съемок при обновлении среднемасштабных почвенных карт имеет ряд преимуществ перед традиционными методами.

Однако к МДС, используемых для обновления почвенных карт, предъявляется ряд требований:

- снимки должны быть получены при оптимальных технических, сезонных и погодных условиях съемки;
- масштаб и пространственное разрешение снимков определяется масштабом составляемой карты;
- вид используемых снимков (панхроматические, многозональные, спектрзональные и т.д.) обуславливается исследуемым видом земель (пашня, лес, пойма).

При МДС для обновления среднемасштабных почвенных карт могут быть использованы два подхода (варианта). Первый заключается в том, что на первом этапе по материалам МДС обновляются крупномасштабные почвенные карты, а затем на их основе в результате генерализации почвенного покрова составляются среднемасштабные.

Второй вариант позволяет избежать один из этапов, то есть сплошное обновление крупномасштабных почвенных карт. Однако, в этом случае обязательным условием является наличие аэрокосмозаталонов и типичных ключевых участков. Для определения места и их количества используются районные почвенные карты и аэрокосмические снимки. Аналоговые фотографические снимки наиболее рационально использовать в масштабе составляемой карты, а сканерные снимки с пространственным разрешением 10 м и более.

Использование системного подхода при анализе почвенного покрова на основе ранее составленных почвенных карт и МДС позволяет составлять карты СПП.

Такие почвенные карты Т. В. Королук [3] относит к картам высокой информативности, которые должны отвечать следующим требованиям: 1) составление при обязательном использовании материалов дистанционных съемок; 2) построение на принципах: а — отказ от картографирования по преобладающей почве и б — выделение СПП; 3) отражающие характеристику СПП (компонентный состав, долевое участие и генетические связи компонентов); 4) качественно-количественная характеристика свойств компонентов, определяющих плодородие и оценку земель; 5) характеристика факторов пространственной дифференциации почвенного покрова.

В качестве структурных единиц системного подхода используются почвенные комбинации, которые характеризуют не только почвы, но и тесно взаимосвязанные с ними другие компоненты природной среды. Рисунок изображения ПК на аэрокосмических снимках позволяет их дифференцировать в зависимости от неоднородности почвенного покрова. Картометрический анализ ПК, включающий определение площади ПК, процентное участие в их составе почвенных

разновидностей, а также коэффициенты СПП (расчленения, контрастности, неоднородности), позволяет судить о их составе и степени неоднородности.

Исследования показали [4,5], что неоднородность почвенного покрова затрудняет технологию возделывания сельскохозяйственных культур и снижает их продуктивность. Поэтому при проведении кадастровой оценки сельскохозяйственных земель к средневзвешенному баллу почв участка вводятся поправочные коэффициенты на неоднородность почвенного покрова. Для оценки информационной емкости почвенной карты и карты структуры почвенного покрова был выполнен их сравнительный анализ: фрагментов почвенной карты масштаба 1:50 000, составленной традиционным методом, и карты типов земель поймы Припяти на основе космического снимка. По рисунку изображения снимка хорошо распознаются почвенные комбинации типов пойменных земель (прирусовая, гривистая, центрально-гривистая, центральная, притеррасная).

По информационной нагрузке карта типов земель не только не уступает, но и превосходит почвенную карту без увеличения контурной нагрузки: на карте типов земель общее количество контуров составляет 47 штук, на почвенной карте — 50.

Библиографические ссылки

1. *Шалькевич Ф. Е.* Использование аэрометодов при изучении почв: Автореф. дис. канд. биол. наук. М., 1981. 26 с.
2. *Курьянович М. Ф.* Эффективность использования материалов дистанционных съемок при обновлении почвенных карт/ М. Ф. Курьянович, А. Ф. Черныш, Ф. Е. Шалькевич// Почвоведение и агрохимия. 2015. № 2(55). С. 18-30.
3. *Королюк Т. В.* Структура почвенного покрова юга Европейской России (на примере равнинного Предкавказья): Автореф. дисс... доктора с/х. Наук. М., 03.00.27.1997. 54 с
4. *Мороз Г. М.* О кадастровой оценке земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств и применении ее результатов // Земля Беларуси. 2011. № 1. С. 39-47.
5. *Шибут, Л. И.* Учет неоднородности почвенного покрова при кадастровой оценке земель в Беларуси // Л. И. Шибут, Г. С. Цытрон, В. А. Колук // Почвоведение и агрохимия. Научный журнал. № 1 (46). Минск. 2011. С. 21-28.

УДК 528.918

СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ В ГИС «ПАНОРАМА»

А. С. Шунько, А. Б. Кафтанчикова

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, geo.shunko@bsu.by, abkaft@rambler.ru*

Изучены способы создания трехмерных условных знаков в ГИС «Панорама» с помощью библиотек шаблонов, строение трехмерных условных знаков, методы редактирования библиотек текстур, выполнена работа по созданию собственных тематических классификаторов и нанесению объектов на карту.

Ключевые слова: ГИС «Панорама»; геоинформационные системы; 3D-объекты; классификатор условных знаков.

APPLYING GIS PANORAMA TO CREATE A DIGITAL TERRAIN MODEL

A. S. Shunko, A. B. Kaftanchikova

*Belarusian State University, Independence Ave., 4, 2203030, Belarus,
geo.shunko@bsu.by, abkaft@rambler.ru*

Methods for creating three-dimensional symbols in the GIS «Panorama» using template libraries, the structure of three-dimensional symbols, methods for editing texture libraries have been studied, work has been done on creating our own thematic classifiers and plotting objects on the map.

Keywords: GIS «Panorama»; geographic information systems; 3D objects; classifier of conventional signs.

ГИС «Панорама» — универсальная геоинформационная система, предназначенная для сбора пространственных данных, ведения базы пространственных данных, создания и обновления цифровых карт и планов. [1].

В настоящее время геоинформационные системы все чаще дополняют средствами работы не только с плоскими, но и пространственными геометрическими объектами. Такие трехмерные ГИС позволяют решать задачи трехмерного моделирования и проектирования объектов, имеющих координатную привязку к поверхности Земли. С помощью трехмерных ГИС можно визуализировать архитектурный ландшафт, включающий здания, сооружения, рельеф местности [2, с. 96].

Для создания 3D-объектов на электронной топографической карте использована созданная разработчиком библиотека standard.p3d. За картографическую основу брался фрагмент учебной топографической карты. (рис. 1).

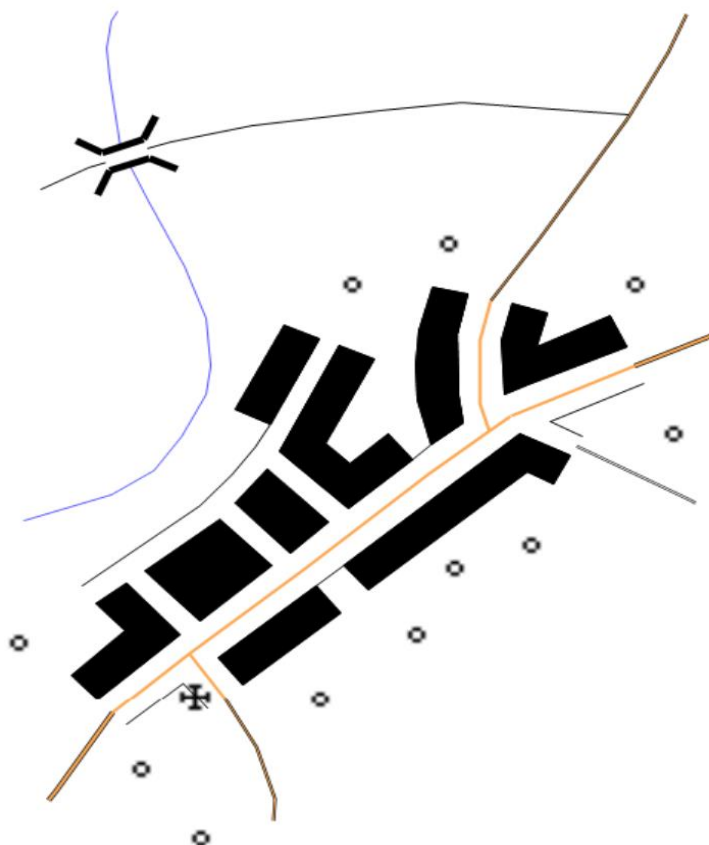


Рис. 1. Фрагмент электронной учебной топографической карты (сост. авт.)

При создании 3D-объектов использовано несколько типов загрузки шаблонов, такие как: Знак, создаваемый во внутреннем редакторе; Импорт знака из формата VRML; Импорт знака из формата COLLADA (DAE); Шаблоны линейных объектов; Шаблоны площадных объектов [3, с. 58-62]. Трехмерный знак состоит из узлов, произвольно расположенных относительно общего центра. Каждый узел имеет свое описание. Поддерживаются следующие виды узлов: короб; сфера; цилиндр горизонтальный; цилиндр вертикальный; изображение объемное; плоскость вертикальная; плоскость горизонтальная; призма треугольная горизонтальная.

Редактирование знаков, загружаемых из VRML, имеет следующие функции: изменение размеров знака, изменение привязки знака относительно метрики объекта, изменение положения и размеров отдельных узлов, изменение оформления отдельных узлов. Возможно редактирование геометрии узлов, кроме узлов типа: поверхность, заданная массивом координат, массив точек, массив линий, сетка высот, экструзия (рис. 2).

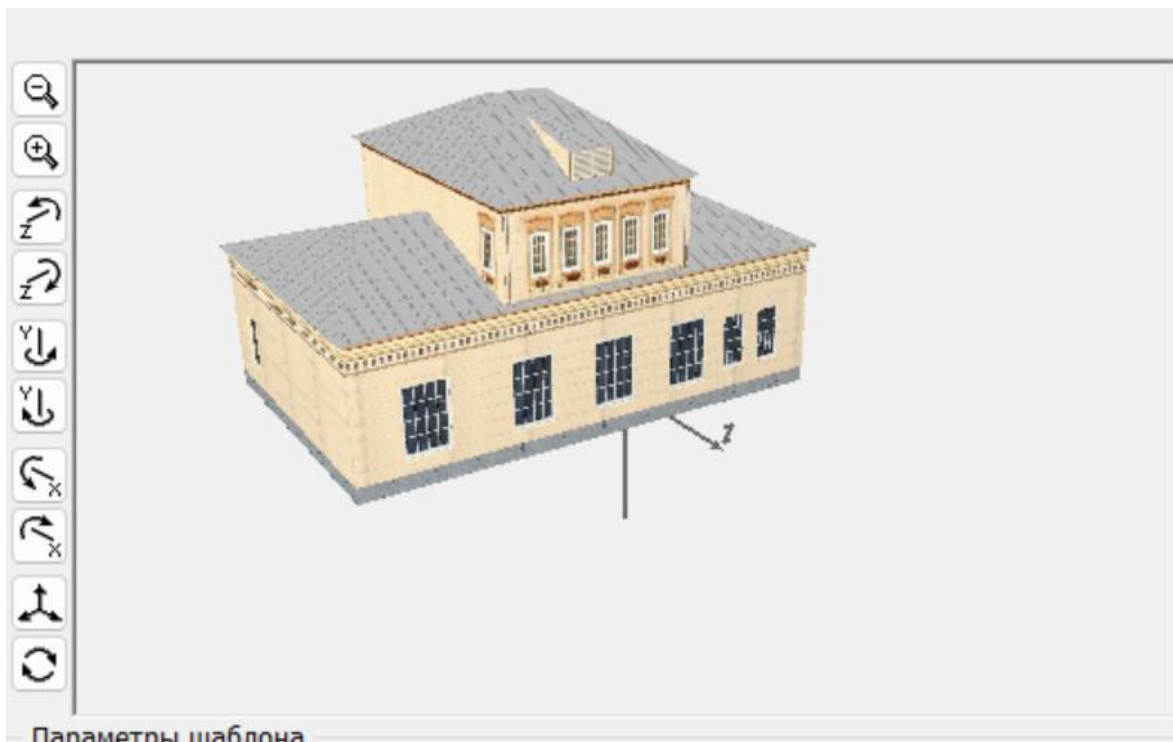


Рис. 2. Пример знака, загруженного из VRML-формата. (сост. авт.)

Для создания трехмерного вида точечного объекта может быть использован импорт примитивов из файла COLLADA (DAE). Формат COLLADA использует открытый стандарт XML. Его поддерживают такие программы как 3DS MAX, Google SketchUp, CityEngine, Blender и многие другие [4].

При работе с объектами можно добавлять в чужую библиотеку собственные текстуры в Библиотеку текстур [5] (рис. 3).

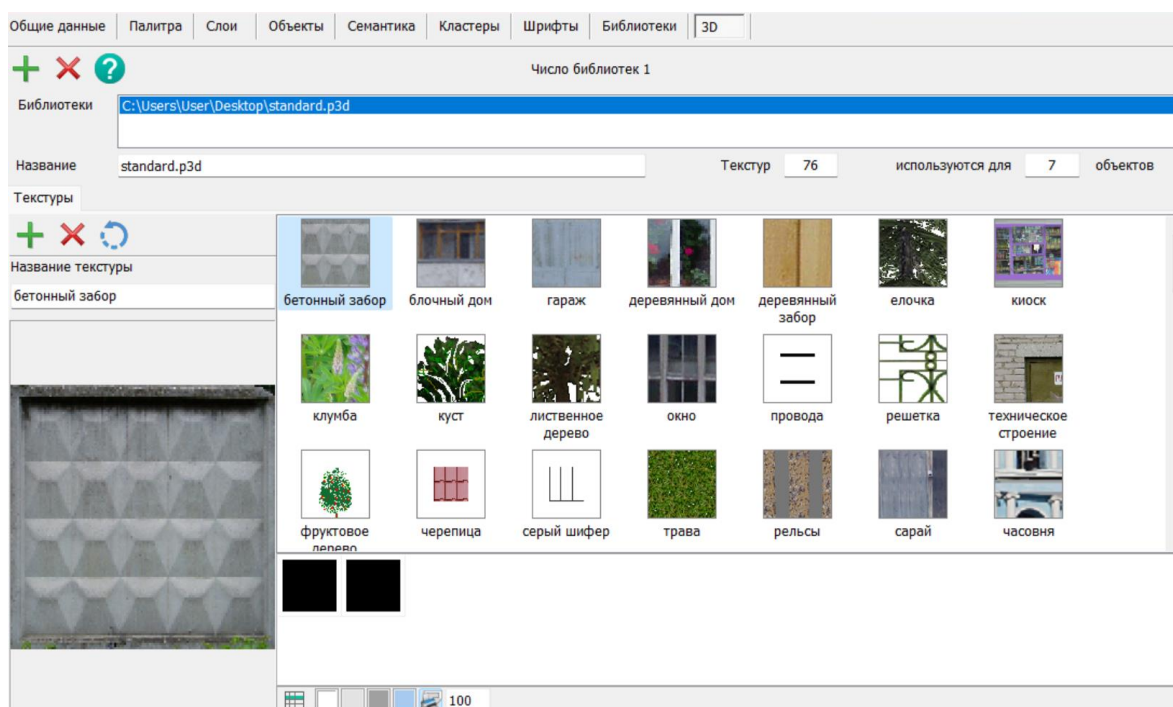


Рис. 3. Библиотека текстур (сост. авт.)

Используя все приведенные данные, были созданы собственные тематические классификаторы с 3D-объектами для получения трехмерных карт в ГИС «Панорама».

В работе представлена наглядное изображение объектов в трехмерном виде (рис. 4).



Рис. 4. 3D-объекты на Фрагменте электронной учебной топографической карты (сост. авт.)

В работе изучена геометрия, способы создания и проектирования 3D-объектов в ГИС «Панорама», а также возможности создания и импорта собственных библиотек трехмерных объектов.

Библиографические ссылки

1. Документация и учебные материалы к геоинформационным системам КБ «Панорама» [электронный ресурс] URL: <https://gistoolkit.com/download/doc/pandescription.pdf> (дата обращения: 28.01.2024).
2. Костюк Ю. Л., Парамонов А. С., Гриценко В. Г. Геоинформатика. Теория и практика. Вып.1/ Под ред. А. И. Рюмкина, Ю. Л. Костюка. Изд. Томск. 1998.
3. В. С. Панкратов, Е. В. Клевцов, Л. А. Пластинин, В.П. Ступин. комплексное использование ДЗЗ и ГИС в учебном процессе. Изд. ИрГТУ, Иркутск, 2008
4. Документация и учебные материалы к геоинформационным системам КБ «Панорама» [электронный ресурс] URL: https://gistoolkit.com/download/doc/model_3d.pdf (дата обращения: 28.01.2024).
5. Список проектов КБ ГИС Панорама [электронный ресурс] URL: <https://help14.gisserver.ru/> (дата обращения: 19.01.2024).

УДК 528.7

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОРТОФОТОПЛАНОВ НА ТЕРРИТОРИЮ АХАНГАРАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

О. Г. Щукина, М. М. Абдукаримов

*Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека, кафедра геодезии и
геоинформатики, ул. Университетская, д. 4, 100174, Ташкент, Узбекистан,
Olga.Shuka_53@mail.ru, strangerlive@mail.ru*

В работе описывается создание цифровых ортофотопланов территории Ахангаранского водохранилища, расположенного на территории Узбекистана, с целью решения задач эксплуатации и реконструкции объекта и разработки рабочего проекта по установке инженерных средств охраны (ограждение, освещение, прокладка тропы наряда и специалистов ТСО) по периметру запретной зоны Ахангаранского водохранилища. Для создания ортофотопланов, на данном объекте будет выполнена аэрофотосъемка с использованием беспилотного летательного аппарата Geoscan201.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; ортофотоплан; пункты ГГС; спутниковые приемники; привязка опорных точек.

TECHNOLOGY FOR PRODUCING ORTHOPHOTOMAP FOR THE TERRITORY OF THE AKHANGARAN RESERVOIR USING UNMANNED AERIAL PHOTOGRAPHY

O. G. Shchukina, M. M. Abdukarimov

*National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Department of Geodesy and
Geoinformatics, st. Universitetskaya, 4, 100174, Tashkent, Uzbekistan,
Olga.Shuka_53@mail.ru, strangerlive@mail.ru*

This paper describes the creation of digital orthophotomaps for the territory of the Akhangaran reservoir, located on the territory of Uzbekistan, in order to solve the problems of operation and reconstruction of the facility and to develop a detailed design for the installation of engineering security equipment (fencing, lighting, laying a patrol path and TSO specialists) along the perimeter of the restricted zone Akhangaran reservoir. For the purpose of creating orthophotos, aerial photography will be carried out at this site using a Geoscan201 unmanned aerial vehicle.

Keywords: unmanned aerial vehicles; orthomosaic; GGS points; satellite receivers; reference point reference.

Актуальность темы заключается в том, что еще несколько лет назад процесс создания фотопланов аналоговым методом, с использованием

аналоговых аэрофотоснимков и универсальных приборов, типа фото-трансформаторов, являлся более трудоемким и трудозатратным. В настоящее время, в век цифровых технологий, создание цифровых фотопланов, стало процессом более легким, дешевым и производительным [7].

Целью работы является создание цифровых ортофотопланов в масштабе 1:2000 территории Ахангаранского водохранилища, расположенного в Ангренском районе, Ташкентской области Республики Узбекистан, с целью решения задач эксплуатации и реконструкции объекта и разработки рабочего проекта по установке инженерных средств охраны (ограждение, освещение, прокладка тропы наряда и специалистов техобслуживания) по периметру запретной зоны Ахангаранского водохранилища с использованием беспилотного летательного аппарата самолетного типа Geoscan 201 и современного программного обеспечения Agisoft Metashape.

В работе рассмотрена технология создания ортофотопланов с использованием беспилотного летательного аппарата Geoscan 201 [8] и программного обеспечения Agisoft Metashape территории Ахангаранского водохранилища. Водохранилище построено для сезонного регулирования вод Ахангарана [10]. Заполнено в 1989 г. Расположено у восточной окраины города Ангрен, выше угольного разреза. Водоем имеет приблизительно треугольную, узкую вытянутую форму с расширением к плотине. Высота уреза воды при заполнении составляет около 1080 м. В юго-восточной части водохранилища располагается железобетонная плотина длиной 1350 м, шириной (по верху) 12 м и максимальной высотой 100 м. Общий объем резервуара составляет 260 млн. м³. Ниже приведены виды плотины из космоса (рис. 1) и с беспилотного летательного аппарата Geoscan201 (рис. 2).



Рис. 1. Космоснимок с изображением плотины

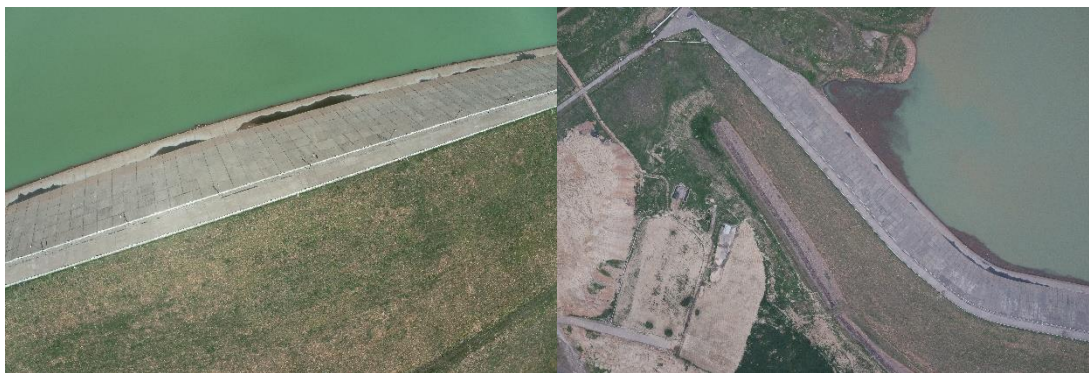


Рис.2. Изображение плотины, полученное с БПЛА Geoscan 201

Аэрофотосъемка выполнялась на высоте 300 м беспилотным летательным аппаратом Geoscan 201 в масштабе 1:500 цифровой камерой DSC_RXIR с фокусным расстоянием 35 мм. Продольное перекрытие аэрофотоснимков составило 70 %, а поперечное 50 %. На объекте выполнено 22 аэромаршрута, базис фотографирования составил 83 м.

Специалисты отдела прикладной геодезии УЗГАШКЛИТИ, выполнили на объекте полевую планово-высотную привязку, согласно инструкции [1]. Было определено 28 опорных точек. Все опорные точки были замаркированы, так как местность с большими перепадами высот, горная. Маркировка опознаков выполнена при помощи трафарета из картона кругом диаметром 50 см, шириной 10 см, который засыпается влажным белым алебастром, и в центре круга закрепляется колышек, который тоже вокруг засыпают влажным алебастром в диаметре 10 см (рис. 3). Схема расположения планово-высотных опознаков приведена на рис. 4.



Рис.3. Внешний вид маркировочного опознака



Рис.4. Положение опорных и контрольных точек и оценка погрешности

Привязка опорных точек выполнялась с исходных пунктов ГГС, с применением спутниковых приемников (SN 5242498595, 5243499034, 4827155394) в режиме RTK радиальным способом, методом калибровки на местности, с точностью измерений отвечающим требованиям нормативных документов [5].

Средняя погрешностью точек опознаков, используемых для фотограмметрического сгущения, не превышали в плане 0.1 мм в масштабе составляемой карты (плана), и 0,1 принятой высоты сечения рельефа по высоте (относительно ближайших пунктов государственной геодезической сети). В таблице приведена средняя квадратическая ошибка по опорным точкам.

Средняя квадратическая ошибка по опорным точкам

Кол-во	Ошибка, X мм	Ошибка, Y мм	Ошибка, Z мм	Ошибка, XY мм	Общая, мм
28	3,44163	4,32099	1,07617	5,5241	5,62795

Для получения ортофотоплана территории /Ахангаранского водохранилища, снимки загружаются в программное обеспечение обработки данных Agisoft Metashape, где происходит процесс оптимизации и выравнивания аэрофотоснимков [9]. После этого выполняется построение плотного облака точек, на основе которого строится карта высот.

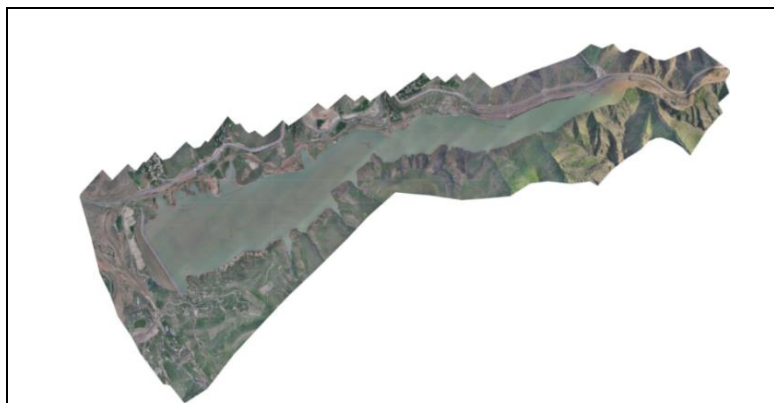


Рис. 5. Ортофотомозаика всего участка местности Ахангаранского водохранилища

Ортофотомозаика сделана на основании данных исходных аэроснимков и реконструированной модели, что позволило создать результирующее изображение высокого разрешения. Для создания детального вида объекта, ортомозаика была разрезана по трапециям масштаба 1:2000. Ниже, на рис. 6 приведен один из ортофотопланов территории Ахангаранского водохранилища.



Рис.6. Ортофотоплан фрагмента Ахангаранского водохранилища, в масштабе 1:2000

Новизна работы заключается в том, что на территорию Ахангаранского водохранилища впервые выполняются работы по созданию ортофотопланов для целей проектирования и разработки рабочего проекта по

установке инженерных средств охраны (ограждение, освещение, прокладка тропы наряда и специалистов технического обслуживания) по периметру запретной зоны Ахангаранского водохранилища с использованием беспилотного летательного аппарата и программного комплекса Agisoft Metashape.

Библиографические ссылки

1. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ГНТА) – 02-036-02.
2. Руководство по производству полетов беспилотных летательных аппаратов. «O'ZGASHKLITI» DUK, май 2017.
3. Руководство по эксплуатации аэрофотосъемочного комплекса «Геоскан 101». СПб.: 2013.
4. ШНК. 01.02.22-19 «Технология аэрофототопографической съемки, выполняемой в целях создания топографических карт и планов с применением беспилотных летательных аппаратов (БЛА)».
5. ШНК 1.02.17-09, 2009 Создание опорных геодезических сетей при инженерно-геодезических изысканиях для строительства.
6. Щукина О. Г., Рузиев А. С., Эргашев М. З. Использование БПЛА Geoscan 201 для съемки линейного объекта трассы Хива–УргенчИнтерКарто.ИнтерГИС Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М:Географический факультет МГУ, 2022. Т.28. Ч.1. С. 430 – 440. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-430-440.
7. Щукина О. Г., Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции, «Особенности создания цифровых ортофотопланов с использованием беспилотной аэрофотосъемки», NUR-SULTAN, 2019. С. 57-60.
8. <http://www.geoscan.aero>. Аэрофотосъемочный комплекс «Geoscan 201».
9. www.google, Руководство пользователя AgisoftMetashape.
10. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ахангаранское водохранилище](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ахангаранское_водохранилище).

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СЪЕМКИ БПЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ МЕСТНОСТИ

Л. В. Юхтенко

*ФГАОУ ВО Северо-Кавказский федеральный университет, Высшая школа географии
и геоинформатики, пр. Кулакова 16/1, 355035, г. Ставрополь,
Российская Федерация, leonardyuhtenko2004@yandex.ru*

Исследована проблема эффективности технологии съемки БПЛА при проведении топографической съемки местности. В работе рассматриваются особенности технологии БПЛА на современном этапе развития научно-технической деятельности. На основе подробного изучения современных технологий в геодезии и топографии, с помощью различных научных методов (статистического, сравнительно-географического, экономического, научно-технического) рассмотрены и проанализированы основные критерии и ключевые показатели оценки эффективности, а также преимущества технологии съемки БПЛА перед другими видами топографической съемки местности.

Ключевые слова: технологии съемки БПЛА; топографическая съемка местности; оценка эффективности.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF UAV SHOOTING TECHNOLOGY DURING TOPOGRAPHIC SURVEY OF THE AREA

L. V. Yukhtenko

*North Caucasus Federal University, Higher School of Geography and Geoinformatics,
Kulakov ave. 16/1, 355035, Stavropol, Russian Federation,
leonardyuhtenko2004@yandex.ru*

In this article, the problem of the effectiveness of UAV shooting technology in conducting topographic surveys of the area is investigated. This paper examines the features of the development of UAV technology at the present stage of the development of scientific and technical activities. Based on a detailed study of modern technologies in geodesy and topography using various scientific methods (statistical, comparative geographical, economic, scientific and technical), the main criteria and key performance indicators are considered and analyzed, as well as the advantages of UAV survey technology over other types of topographic surveys of the area.

Keywords: UAV survey technologies; topographic survey of the area; efficiency assessment.

В настоящее время самым востребованным и массовым видом работ в составе инженерно-геодезических исследований, в решении вопросов вертикальной планировки, создании новых и обновлении старых топографических карт и планов, планировании и проектировании ландшафтного дизайна, составлении генеральных планов и рабочих чертежей, является топографическая съемка местности [3]. Стоит также отметить, что стремительное развитие технологий и методов дистанционного зондирования Земли (в частности, спутниковых систем) лишь незначительно повлияло на развитие технологии беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА). И, следовательно, аэрофотосъемку с БПЛА, начиная с прошлого столетия, можно по праву считать одним из главных способов создания и обновления крупномасштабных топографических карт и планов.

Цель исследования заключается в том, чтобы дать соответствующую оценку эффективности получения достоверной и качественной пространственной информации в процессе аэрофотосъемки БПЛА при проведении топографической съемки местности, а также определить преимущества и недостатки данной технологии перед другими топографо-геодезическими технологиями и методами измерений.

Особенность исследования заключается в том, что в настоящее время для успешного проведения топографической съемки местности необходимо применение эффективных технологий и методов, позволяющих получать пространственную информацию в цифровом виде быстро, точно и надежно. Одним из инструментов достижения этой цели служит использование беспилотных летательных аппаратов, предназначенных для создания не только актуальных карт крупного масштаба, но и для решения огромного круга задач в самых разных сферах жизни человека.

Оглядываясь в прошлое, можно с уверенностью сказать, что первоначально БПЛА создавались исключительно для военных целей. Однако, уже к концу XX-ого столетия данную технологию стали активно применять в различных гражданских и научных сферах деятельности. Также стоит упомянуть, что новые модели БПЛА существенно отличались от своих предшественников в связи с разным кругом решаемых задач.

Сейчас БПЛА применяются как в гражданских, так и в военных целях: для оперативного проведения аэрофотосъемки; при мониторинге с/х территорий, лесных насаждений, геологических разрезов; геодезических изысканиях (для строительства, составления кадастровых планов, создания карт); в маркшейдерском деле для определения объемов горных выработок и отвалов. Также они используются для радиовещания, поисково-спасательных работ, разведки и наблюдения, поддержания правопорядка,

наблюдения за государственной границей и особо-охраняемыми территориями и объектами, а также для съемки спортивных соревнований, рекламных роликов и др. [2].

Современные БПЛА отличаются не только огромным разнообразием в конструкции и размерах, но и в программном обеспечении в зависимости от целей и задач, для которых они предназначаются. При этом аэрофотосъемка с пилотируемых летательных аппаратов принципиально не отличается от съемки с БПЛА, однако имеет ряд существенных особенностей, например: маршрут БПЛА необходимо строить с поперечным перекрытием не менее 40 % и продольным не менее 80 %, чтобы исключить разрывы из-за сильных воздушных потоков.

В основном, полет беспилотников производится на высоте от 300 до 1500 м с крейсерской скоростью 20-30 м/с (70-110 км/ч). Важной особенностью современных БПЛА является наличие GPS-приемника и соответствующего съемочного оборудования. Чаще всего для съемки применяют не метрические бытовые камеры с размером матрицы 10-20 мегапикселей. В результате у камер фокусное расстояние будет около 50 мм (т. е. размер 1 пикселя на местности (GSD) соответствует от 7 до 35 см). Следовательно, можно получить цифровые снимки сверхвысокого пространственного разрешения (до 2-4 см) в различных спектральных диапазонах.

В процессе проведения беспилотниками аэрофотосъемки получают цифровые ортофотопланы с привязкой к реальным географическим координатам и внешним базам данных, а также с наполнением векторными данными. Результаты проводимых измерений и полученную пространственную информацию можно считать превосходной основой для геоинформационных систем (ГИС) и, как следствие, для создания цифровых топографических карт и планов.

В настоящий момент обработка получаемых снимков со съемки БПЛА происходит в автоматизированных фотограмметрических системах [1]. Чаще всего, подобные снимки обрабатывают простыми нестрогими методами, например: аффинное преобразование снимков на плоскость. В итоге получают накладки, содержащие, кроме низкой точности, еще и разрывы контуров на стыках соседних снимков. В подобных случаях необходимо производить часть операций в ручном режиме.

Конечными результатами первоначальной обработки снимков могут быть ортофотопланы, облака точек, цифровые и трехмерные модели местности. И, следовательно, для дальнейшего анализа полученную пространственную информацию можно экспортировать в распространенные форматы файлов и с помощью таких ГИС-инструментов, как AutoCAD, QGIS, ArcGIS, MapInfo и ГИС Панорама, продолжить обработку или создать необходимый картографический материал.

Необходимо отметить тот факт, что на ортофотоснимках к геометрической точности отображения элементов местности обязательно должны предъявляться достаточно высокие требования, определяемые действующими нормативно-правовыми актами и согласующиеся с государственной системой координат, государственной геодезической сетью и системой высот, а также государственной гравиметрической системой [4].

Подводя промежуточный итог необходимо перейти к сравнительному анализу технологий съемки БПЛА, как с традиционными топографо-геодезическими методами измерения, так и с современными технологиями, применяемые для проведения топографической съемки местности.

Можно заметить, что космическая съемка и аэрофотосъемка с помощью БПЛА имеют множество общих черт и особенностей, например, автоматизированный метод сбора пространственной информации. Однако космические аппараты и спутники значительно уступают беспилотникам по оперативности съемки. Также развитие технологий БПЛА, особенно в области программного обеспечения для обработки получаемых снимков, позволило создавать готовые цифровые модели местности и ортофотопланы в течение 1-1,5 часов после посадки в автоматическом режиме.

При сравнении аэрофотосъемки БПЛА с подобными измерениями, проводимых с «больших самолетов», одним существенным преимуществом беспилотников перед пилотируемыми летательными аппаратами является то, что для них не нужен аэродром, т. к. БПЛА можно запускать с руки или со специального устройства под названием «катапульты». Также, в отличие от традиционной аэрофотосъемки, беспилотным летательным аппаратам не требуется специализированная техническая поддержка и обеспечение, а на самом исследуемом объекте или территории мероприятия по проведению полетов БПЛА и сбору необходимых данных не так сложны по своей структуре и организации [5]. И, кроме этого, самые современные БПЛА способны проводить съемку огромных по площади территорий и преодолевать большие расстояния, не уступая спутниковым системам и пилотируемым летательным аппаратам по охвату территории и качеству получаемой пространственной информации.

Исходя из вышеизложенного, выявлены следующие преимущества технологии БПЛА перед традиционными методами полевых геодезических измерений и перед другими методами аэрофотосъемки:

- 1) оперативность получения результатов топографической съемки местности. Данный показатель достигается за счет того, что БПЛА не сложны в эксплуатации и не требуют специальных навыков оператора, а обработка результатов, благодаря встроенному программному обеспечению, занимает очень короткий промежуток времени;

2) наличие специальных методов первоначальной обработки собираемых данных и необходимая точность измерений. GPS-приемник на борту беспилотника, позволяет точно определить координаты точек местности и, как следствие, реальную площадь земельного участка и расположенного на нем объекта капитального строительства (благодаря 3D модели местности), а соответствующее фотосъемочное оборудование получить снимки высокого разрешения;

3) проведение аэрофотосъемки с БПЛА является самым экономичным способом, по сравнению с аналогичной съемкой с пилотируемого летательного аппарата. Одним из главных преимуществ использования технологии съемки БПЛА является то, что по сравнению с традиционными геодезическими методами стоимость выполнения всех работ по сбору и первоначальной обработке пространственной информации (создание ортофотоплана и 3D модели местности) составляет около 35 тыс. российских рублей за 100 га, что в разы дешевле аналогичных методов измерений, стоимость которых около 10 тыс. российских рублей за 1 га. Данные расчеты были проведены в ходе анализа статистической и нормативно-правовой информации и отражают реальную ситуацию на рынке топографо-геодезических услуг;

4) что погодные условия оказывают слабое влияние на проведение съемки. Работы с БПЛА можно проводить на относительно небольших высотах, что уменьшает влияние дымки и других погодных факторов, поэтому съемку с БПЛА можно производить практически в любое время года;

5) значительное сокращение времени выполнения работ по сравнению с традиционными геодезическими измерениями. Стоит отметить, что наиболее верным подходом в применении данной технологии является проведение топографической съемки местности с использованием БПЛА для отдельных населенных пунктов, кварталов, районов и других территориальных образований, но не более 2000 км². Здесь же необходимо учесть, что для населенных пунктов точность определения координат характерных точек составляет не более 10 см, что является вполне допустимым показателем. Следовательно, можно считать возможным создание новых и обновление старых топографических карт и планов, т. к. определение характерных точек различных объектов картометрическим и фотограмметрическим методами является допустимым.

Однако, в ходе работы выявлены определенные проблемы с дальнейшим распространением БПЛА, в качестве универсального инструмента по сбору и обработке пространственной информации при проведении топографической съемки местности. Суть их, в основном, заключается в том, что для внедрения подобной аэросъемки в общую систему геодезических

изысканий, требуется координация усилий и средств как производителей БПЛА, так и пользователей их эксплуатирующих, а также разработчиков цифровых фотограмметрических систем. Кроме того, использование БПЛА практически невозможно без традиционных методов геодезических измерений. Также существенным недостатком является то, что в некоторых местах на ортофотоплане может отсутствовать видимость. Из-за этого необходимо выезжать на местность и проводить определение необходимых координат точек традиционными методами. Еще открытым остается вопрос отсутствия полноценной нормативно-правовой базы в сфере использования и применения БПЛА.

Мы пришли к выводу: применение материалов съемки БПЛА является наилучшим методом проведения съемки в целях проведения комплексных топографических съемок местности, межевания территорий и выявления нарушений при строительстве различных объектов инфраструктуры.

Результаты выполненных экспериментальных исследований и практических работ показали, что аэрофотосъемка с БПЛА может с успехом заменить традиционную аэрофотосъемку с управляемых летальных аппаратов и упростить наземные методы сбора пространственных данных. В ходе исследования подтверждены экономическая эффективность и целесообразность использования БПЛА при проведении топографической съемки местности и для получения материалов картографической точности.

Библиографические ссылки

1. *Береговой Д. В.* Автоматизированное дешифрирование и векторизация материалов аэрофотосъемки при создании топографического плана / Д. В. Береговой // EurasiaScience. Сборник статей XV международной научно – практической конференции. М.: «Научно-издательский центр «Актуальность. РФ», 2018. – С. 220-222.
2. *Иноземцев Д. П.* Беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Часть 1: Обзор технических средств // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, 2013 – № 2(49)
3. *Корнилов Ю. Н.* Геодезия. Топографические съемки : учебное пособие / Ю. Н. Корнилов. СПб. : Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2008. 145 с.
4. *Олтян Николай.* Проблемы нормативно правового обеспечения комплексов БПЛА [Электрон. ресурс]. URL: <http://www.uav.ru/>
5. *Рыльский И. А.* Оценка возможности использования данных ВЛС и аэрофотосъемки с БПЛА для обеспечения проектных работ // Геопрофи, 2017. № 2. С. 15-22.

УДК 528.88

СТВАРЭННЕ БІБЛІЯТЭКІ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАДЗЕННЫХ ЛЕСАЎТВАРАЛЬНЫХ ПАРОД ПА МУЛЬТЫСПЕКТРАЛЬНЫХ СПАДАРОЖНІКАВЫХ ЗДЫМКАХ LANDSAT-8/9 І SENTINEL-2

М. А. Шастакоў

*Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, пр. Незалежнасці, 4,
220030, г. Мінск, Беларусь, shastakou23@gmail.com*

У рабоце разглядаюцца асаблівасці стварэння і магчымасці выкарыстання спектральных бібліятэк. Прыводзіцца кароткі агляд існуючых спектральных бібліятэк. На аснове аналізу розначасовых (люты–кастрычнік 2021–2022 гг) мультыспектральных спадарожнікавых здымкаў Landsat-8, Landsat-9 і Sentinel-2 у праграмным комплексе ENVI 5.6 створана бібліятэка спектральных дадзеных 6 тыповых для тэрыторыі Беларусі лесаўтваральных парод (хвоя, елка, бяроза, алешына чорная, асіна, дуб).

Ключавыя словы: бібліятэка спектральных дадзеных; лясная расліннасць; дыстанцыйнае зандаванне Зямлі; мультыспектральныя здымкі; Landsat-8; Landsat-9; Sentinel-2.

CREATION OF THE SPECTRAL LIBRARY OF FOREST-FORMING SPECIES BASED ON LANDSAT-8/9 AND SENTINEL-2 MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES

M. A. Shastakou

*Belarusian State University, Niezaležnasci Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, shastakou23@gmail.com*

The article is devoted to the features of creation and exploitation possibilities of spectral libraries. The author gives a brief overview of existing spectral libraries. The spectral library of 6 typical forest-forming species of Belarus (pine, spruce, birch, black alder, aspen, oak) was made in ENVI 5.6 software package using Landsat-8, Landsat-9 and Sentinel-2 multi-temporal (February–October 2021/2022) multispectral satellite images.

Keywords: spectral library; forest vegetation; remote sensing; multispectral images; Landsat-8; Landsat-9; Sentinel-2.

Спектральная адбівальная здольнасць з'яўляецца адной з галоўных характарыстык, якія непасрэдна выяўляюцца на дадзеных дыстанцыйнага зандавання Зямлі (ДЗЗ), выступаючы фізічнай асновай дэшыфравання аб'ектаў. Вывучэнне і аналіз спектральнай адбівальнай здольнасці аб'ектаў

зямной паверхні ўваходзіць у праблемнае поле метадаў дыстанцыйных даследаванняў [1, с. 17].

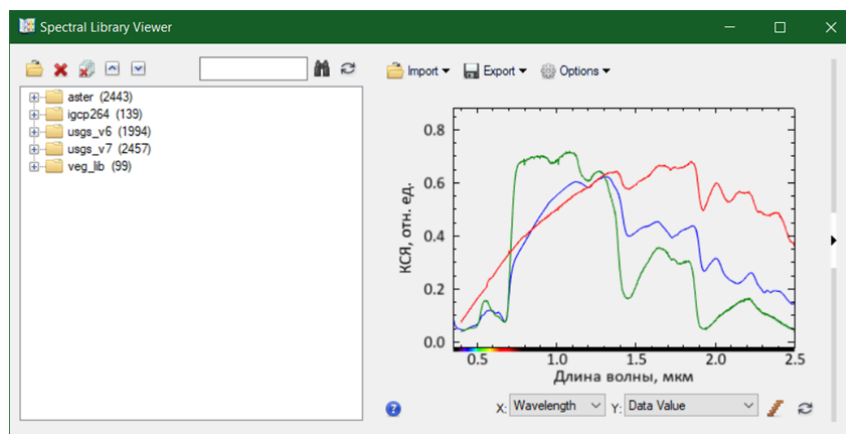
Спектральныя бібліятэкі, або бібліятэкі (базы) спектральных дадзеных (БСД) уяўляюць сабой арганізаваныя сховішчы інфармацыі аб спектральных адбівальных уласцівасцях аб'ектаў зямной паверхні, атрыманай падчас палявых і/або лабараторных спектраметрычных даследаванняў, а таксама ў выніку яе вымання з шматзональных (мультыспектральных і гіперспектральных) дадзеных дыстанцыйных здымкаў. Спектральныя бібліятэкі з'яўляюцца каштоўнай крыніцай інфармацыі пры камп'ютарнай апрацоўцы дадзеных ДЗЗ: захаваныя ў іх спектры могуць выкарыстоўвацца, як эталонныя, пры вырашэнні зваротнай задачы дыстанцыйнага спектраметрыравання аднаўленні параметраў стану і колькасных характарыстык аб'ектаў Зямлі па іх спектральным адбітку [2, с. 116].

У лік найбольш вядомых спектральных бібліятэк адкрытага доступу уваходзяць: USGS High Resolution Spectral Library, ASTER Spectral Library, IGCP264 Spectral Library, Jet Propulsion Laboratory Spectral Library, SPECMIN і Vegetation Spectral Library [3].

На прасторы Садружнасці Незалежных Дзяржаў сярод буйных праектаў па распрацоўцы спектральных бібліятэк можна адзначыць Дэцэнтралізаванную базу дадзеных спектральных характарыстык і параметраў аб'ектаў зямной паверхні, распрацаваную пры Інстытуце географіі РАН у 2018 г. (В. Б. Малышаў, Б. Н. Фамін) [4]; арганізаваную ў 2015 г. на базе Геопартала МДУ імя М. В. Ламаносва Бібліятэку спектральных характарыстык географічных аб'ектаў (Н. С. Касімаў, Е. І. Голубева, І. К. Лур'е) [5]. Нацыянальным центрам касмічных даследаванняў і тэхналогій Рэспублікі Казахстан створана спектральная бібліятэка хвароб яравой пшаніцы на аснове аналізу шматгадовых дадзеных гіпер- і мультыспектральных касмічных здымак [6].

Актуальным з'яўляецца стварэнне спектральных бібліятэк і для Беларусі. Па выніках палявых спектраметрычных вымярэнняў прыродных і антрапагенных аб'ектаў супрацоўнікамі аддзела аэракасічных даследаванняў НДПФП імя А. Н. Сеўчанкі БДУ ў 2018 г. пачалася праца па стварэнні бібліятэкі спектральных эталонаў [7]. З 2015 па 2022 гг. супрацоўнікамі кафедры геадэзіі і касмааэракартаграфіі факультэта географіі і геаінфарматыкі БДУ былі праведзены комплексныя (палявыя і спадарожнікавыя) даследаванні спектральна-адбівальных уласцівасцяў сельскагаспадарчай расліннасці, па выніках якіх створана бібліятэка спектральных дадзеных па 10 відах сельскагаспадарчых культур Беларусі (пшаніца, трыцкале і рапс азімыя, пшаніца, ячмень і авёс яравыя, кукуруза, бульба, цукровы бурак, шматгадовыя травы (люцэрна) [8].

Стварэнне спектральных бібліятэк магчыма ў шэразе праграмных прадуктаў, якія спецыялізуюцца на камп'ютарнай апрацоўцы матэрыялаў ДЗЗ. Напрыклад, у праграмным комплексе (ПК) ENVI (версія 5.6) бібліятэкі ствараюцца рознымі метадамі: на аснове ASCII-файлаў вынікаў спектраметрычных вымярэнняў; з дапамогай выбаркі спектраў са спектральных бібліятэк ENVI; з дапамогай выбаркі спектраў па здымку, на аснове сярэдніх значэнняў яркасцяў выявы ў сярэдзіне абласцей інтарэсаў ROI; з выкарыстаннем дадзеных знешніх спектральных бібліятэк [9, с. 118]. Апроч таго, некаторыя бібліятэкі ўжо далучаны да ПК ENVI (ASTER, IGCP264, USGS, VEG_LIB) (мал. 1).



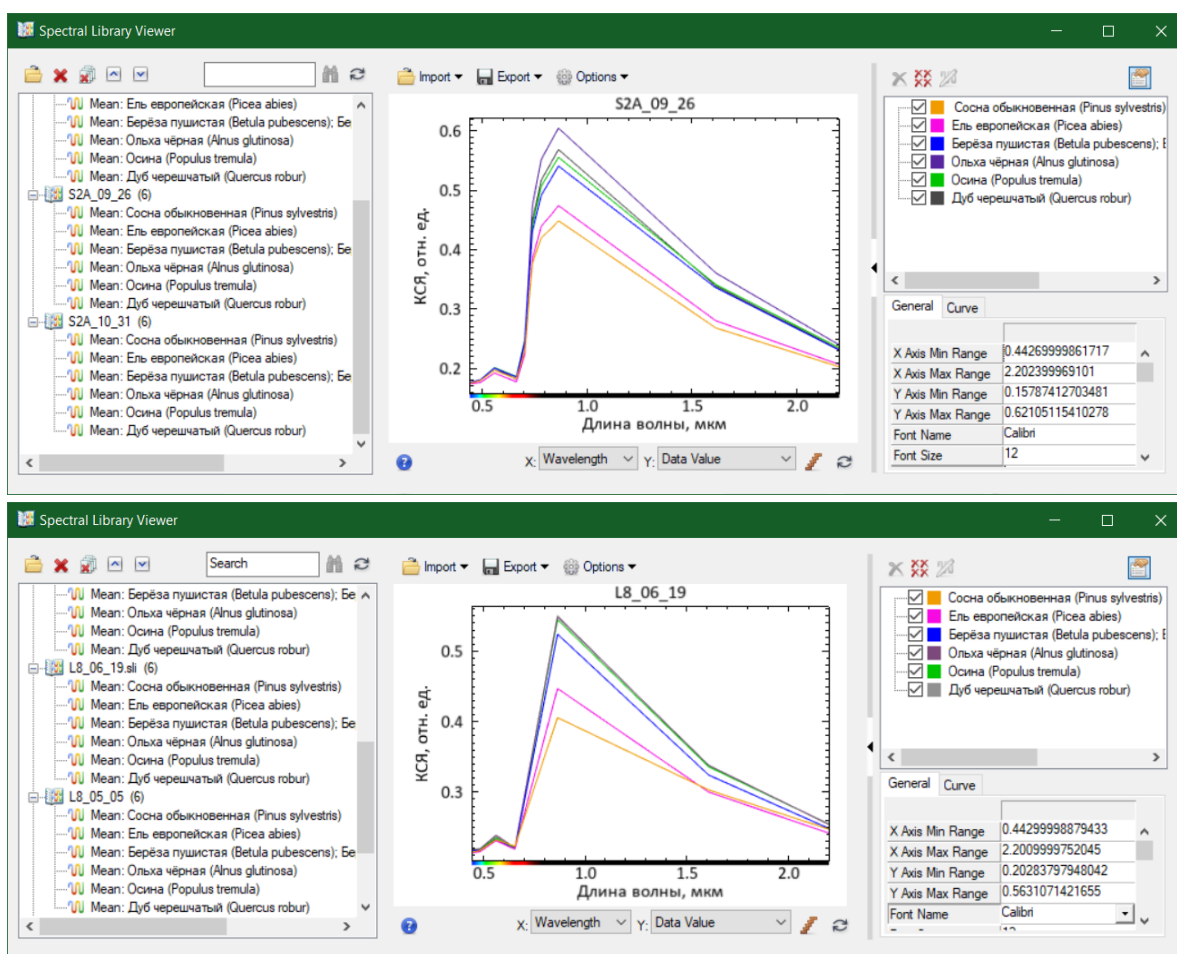
Мал. 1. Спектральныя бібліятэкі, далучаныя да ПК ENVI 5.6

Стварэнне бібліятэкі спектральных дадзеных асноўных лесаўтваральных парод Беларусі выконвалася на прыкладзе тэрыторыі ландшафтнага заказніка «Азёры» на аснове розначасовых (люты–кастрычнік) мультыспектральных спадарожнікавых здымкаў Landsat-8 (OLI), Landsat-9 (OLI-2) і Sentinel-2 (MSI) за 2021-2022 гг. Агульная колькасць зыходных здымкаў 37, з іх: Landsat-8 11, Landsat-9 3, Sentinel-2A 14, Sentinel-2B 9 здымкаў. У пералік доследных парод увайшлі 6 парод (7 відаў) з найбольшым распаўсюджваннем у межах заказніка: хвоя звычайная (*Pinus sylvestris*); елка еўрапейская (*Picea abies*); бяроза адвіслая (*Betula pendula*) і бяроза пухнатая (*Betula pubescens*); алешына чорная (*Alnus glutinosa*); асіна (*Populus tremula*); дуб звычайны (*Quercus robur*).

Бібліятэка стваралася ў ПК ENVI 5.6 праз экспарт сярэдніх колькасных значэнняў спектральнай яркасці ў сярэдзіне абласцей інтарэсаў ROI, нанесеных на эталонныя выявы насаджэнняў адпаведнага пароднага складу. Уласна працэс стварэння спектральнай бібліятэкі ажыццяўляўся з дапамогай прылады «Spectral Library Builder» (у падзеле «Spectral

Libraries» набору прылад «Toolbox»). Значэнні КСЯ, вынятыя ў межах абласцей інтарэсаў ROI на кожную доследную дату, былі дададзены праз функцыю «Import from ROI/EVF from input file...». Экспарт спектральных дадзеных у фармаце спектральных бібліятэк ENVI (*.sli) забяспечвае захоўванне, прагляд і рэдагаванне спектральных характарыстык аб'ектаў ва ўнутраным асяроддзі ENVI.

Асаблівае распаўсюджанне бібліятэкі у тым, што ў ёй знаходзяцца дадзеныя аб спектральнай адбівальнасці 6 тыповых для Беларусі лесаўтваральных парод. Карыстальнік мае доступ да спектраў адлюстравання, атрыманых за 9 месяцаў назіранняў (з лютага па кастрычнік), а адпаведна, магчыма назіраць за дынамікай сезонных змен КСЯ лясной расліннасці на працягу ўсяго вегетацыйнага перыяду (мал. 2).



Мал. 2. Вынік стварэння БСД асноўных лесаўтваральных парод заказніка «Азёры» (2021/2022): крывыя спектральнай яркасці паводле дадзеных Sentinel-2A за 26.09.2022 г. (уверсе) і Landsat-8 за 19.06.2021 г. (унізе)

Такім чынам, у ПК ENVI 5.6 была сфармавана бібліятэка спектральных дадзеных 6 асноўных лесаўтваральных парод тэрыторыі ландшафтнага заказніка «Азёры» на аснове мультыспектральных спада-рожнікавых здымакў Landsat-8, Landsat-9 і Sentinel-2 за 2021/2022 гг. Створаная БСД можа выкарыстоўвацца пры аўтаматызаваным дэшыфраванні пароднага складу лясоў тэрыторыі Беларусі па дадзеных ДЗЗ.

Бібліяграфічныя спасылкі

1. *Шалькевич Ф. Е., Давидович Ю. С.* Тематическое дешифрирование : электронный учебно-методический комплекс для специальности: 1-31 02 03 «Космоаэрокартография» / Ф. Е. Шалькевич Ю. С. Давидович; БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. геодезии и космоаэрокартографии. Минск : БГУ, 2022. 132 с. : ил., табл. Библиогр.: С. 128–132.
2. *Давидович Ю. С.* Создание библиотеки спектральных данных основных видов сельскохозяйственных культур Беларуси / Ю. С. Давидович, Н. А. Шестаков, Е. В. Казяк // Актуальные проблемы геодезии, картографии, кадастра, геоинформационных технологий, рационального земле- и природопользования.– Новополоцк : Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2022. С. 116–117.
3. USGS DIGITAL Spectral Library [Electronic resource]. URL: <http://spectrab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html> (date of access: 10.02.2024).
4. *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.
5. Библиотека спектральных характеристик географических объектов в структуре Геопортала МГУ имени М. В. Ломоносова / Н. С. Касимов [и др.] // Вестник Московского университета. Сер. 5, География. 2015. № 5. С. 3–8.
6. Разработка технологии спектральной оценки состояния зерновых культур для раннего распознавания и степени распространения особо опасных грибковых болезней, по гиперспектральным данным [Электронный ресурс]. URL: https://nauka.kz/page.php?page_id=371&id=29981 (дата доступа: 10.02.2024).
7. *Давидович Ю. С., Катковский Л. В.* Создание библиотеки спектральных эталонов по данным наземных спектрометрических измерений / Давидович, Катковский // ГИС-технологии в науках о Земле: материалы республиканского научно-практического семинара студентов и молодых учёных, Минск, 13 ноября 2019 г. / БГУ. Минск, 2019. С. 103.
8. *Казяк Е. В., Хрущева Е. О., Беляев Б. И.* Исследование сезонной динамики спектрально-отражательных свойств агрокультур Беларуси на основе полевого спектрометрирования и материалов дистанционного зондирования Земли // Земля Беларуси. 2016. № 2. с. 42–46.
9. ENVI 5.1. Руководство пользователя. Москва: Компания «Совзонд». 2014. 42 с.

УДК 528.873.044.1

USING RADAR REMOTE SENSING DATA TO DECIPHER THE SOIL AND VEGETATION COVER OF LAND TYPES IN BELARUSIAN POLESIE

Y. S. Davidovich, F. E. Shalkevich

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Belarus,
seg98001@gmail.com, ShalkevichFE@bsu.by*

The paper presents the results of a study on the use of radar images of the Sentinel-1A system in the thematic interpretation of the types of floodplain lands of the key site «Pripyatsky». His example shows the possibilities of using radar images of various polarizations and synthesis to interpret soils and vegetation. Methodological approaches to using radar images to decipher soils and vegetation, as well as their results, can be applied to mapping the soil and vegetation cover of similar territories.

Keywords: radar survey; Belarusian Polesie; key area; land type; geosystems.

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ДИАПАЗОНА ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ТИПОВ ЗЕМЕЛЬ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Ю. С. Давидович, Ф. Е. Шалькевич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск,
Беларусь, seg98001@gmail.com, ShalkevichFE@bsu.by*

В работе представлены результаты исследования по использованию радиолокационных снимков системы Sentinel-1A при тематическом дешифрировании типов пойменных земель ключевого участка «Припятский». На его примере показаны возможности использования радиолокационных снимков различных поляризаций и синтеза для дешифрирования почв и растительности. Методические подходы по использованию радиолокационных снимков для дешифрирования почв и растительности, а также их результаты могут быть применены для картографирования почвенно-растительного покрова аналогичных территорий.

Ключевые слова: радиолокационная съемка; Белорусское Полесье; ключевой участок; тип земель; геосистема.

Currently, the fund of remote sensing materials is represented by both optical and radar data. Today, the share of the latter has increased significantly due to the fact that the European Space Agency launched into low-Earth orbit two satellites, Sentinel-1A and Sentinel-1B, equipped with radar equipment.

The materials they received are freely available, which opens up new opportunities for specialists in the field of thematic interpretation and mapping.

Radar photography has a number of distinctive features compared to shooting in the optical range. Firstly, it refers to active types of sensing and allows surveying regardless of the time of day and weather conditions. Secondly, the electromagnetic waves of the radio range used in it have a high penetrating ability, which increases with increasing wavelength, which makes it possible to study the object of interest at the depth required by researchers [1]. Experts have considered the possibility of using radar imaging to study soils and vegetation, however, according to the results of an analysis of literary sources, at the moment this area is not sufficiently developed [2, 3].

The work used a classification of land types, which was compiled on the basis developed by T.A. Romanov structure of the soil cover [4]. The object of the study was the soil and vegetation cover of various types of floodplain lands in Belarusian Polesie.

To study the decipherable characteristics of soils and vegetation using radar survey materials, we used images from the early spring survey season (04/02/2020), obtained in the C-band (wavelength 6 cm), two polarizations - VV and VH, with a spatial resolution of 10 m. As additional Sources of information about the objects under consideration were multispectral satellite images with a spatial resolution of 10 m obtained by the Sentinel-2 and Alos survey systems, a soil map at a scale of 1:50 000 and aerospace standards of soil combinations. Pre-processing of radar images was carried out in the SNAP Desktop software product.

When deciphering remote sensing materials, visual and automated methods were used, and when performing work in the field and office conditions, the key area method was used [5] and aerospace standardization [6].

Types of floodplains are identified by the nature of the prevailing landforms, the characteristics of the soil and vegetation cover, as well as by the image pattern on aerospace images. Subtypes of floodplain lands - high, medium, low - are determined by the distribution of background soil varieties, characterized by a certain degree of moisture. The high level is characterized by the predominance of floodplain gleyed soils at the bottom and temporarily excessively moistened, the middle - floodplain sod-gley and gley soils, the low - floodplain sod-humus-silty gley and peat-bog soils. Interpretation of land types using materials from aerospace surveys of the optical range is carried out without significant difficulties, and the results obtained are of high quality.

As a result of interpretation of the Alos satellite image, five types and nine subtypes of floodplain lands were identified [7, 8]. Both on it and on the Sentinel-1 radar image the river bed is clearly visible. Pripyat and oxbow lakes in the floodplain. It should be noted that the soil cover of this key area is

represented predominantly by sandy soil-forming rocks and is covered with floodplain meadow vegetation.

The southern part of the river floodplain Pripyat borders on the territory of the first terrace above the floodplain. If on the Alos satellite image its boundary is expressed quite contrastingly, then on radar images it is less expressive, especially with areas of arable land. Arable lands on a VH-polarized radar image are depicted in black and are similar in image to certain types of floodplain. The lands of the first floodplain terrace, covered with woody deciduous and herbaceous vegetation, are well deciphered. In addition, on radar images of VV polarization among arable lands, residential and non-residential buildings of rural settlements are depicted in a very expressive light tone. This image tone is determined by the high intensity of the reflected radio signal from vertically and horizontally oriented buildings of a populated area.

The lands of the riverbed floodplain are stretched along the river bed in the form of a winding narrow strip or a cluster of small contours of various shapes.

On the riverbed banks, floodplain loose sandy soils, undeveloped and gleyed at the bottom, are formed; in hollow-shaped depressions, soddy-gleyic and gleyic soils are formed. Vegetation includes hoary maceweed and willow bush. On VV-polarized radar images, riverbed banks are displayed in a more expressively lighter tone. The nature of the image of riverbed banks is determined both by their relief and the vegetation of willow bushes. Flat sandy ridges with low projective cover of vegetation are depicted in a dark tone, as are inter-ridge depressions, which makes it difficult to determine the boundaries between them. A more complete picture of the texture of the riverine floodplain image is given by a color synthesized radar satellite image, in which this type of floodplain is depicted from light green to red.

The segmented-ridged type of floodplain lands is characterized by a complex topography caused by the alternation of ridges and interr ridge depressions. In the key area under consideration, the segmented-ridged type of the middle level predominates, the topography of which is represented by flat ridges with floodplain sod-gley and rare temporarily excessively moist soils. Meadow vegetation is dominated by white bentgrass, white bentgrass, northern bedstraw, and large rattlegrass. Projective coverage is 30–40 %. Floodplain sod-gley and silt-humus-gley soils are common in the inter-ridge depressions.

A detailed analysis of the image of this type of land on radar and multispectral images showed that there are significant differences between them. If in an optical range image the tone of the soil image changes depending on the degree of soil moisture and the corresponding associations of meadow vegetation, then in radar images this pattern is not always observed. For example, if on the Alos image sandy soils that are temporarily excessively moistened are depicted in a light gray tone, then on the radar image they are

depicted in dark gray. An exception may be the presence of willow shrubs, which are depicted in a light gray tone. As a result, the image of ridges and interridge depressions occupied by silt-humus-gley soils and depicted in a dark tone is generalized. Therefore, if in the Alos image the segmented ruffed floodplain has a well-defined arcuate pattern, then in the radar image it is weakly expressed.

The central-rugged type of floodplain lands is a relatively leveled territory of complex configuration, indented by oxbow lakes, old rivers and narrow deep depressions, often filled with water, which gives the relief a ragged character and complicates the use of these lands. This type in the key area is predominantly represented by the middle level of floodplain lands, which is characterized by a combination of floodplain sod-gley, gley and silt-gley soils. The grass stand is dominated by lanceolate reed grass, swamp gorychium, goosefoot, and forbs - long-leaved speedwell, mouse pea, etc. The projective cover is 50–65 %. The oxbow-water-glaciera association is confined to oxbow lakes and deep inter-ridge depressions. Such a projective cover of meadow vegetation is a significant screen for the soil, due to which the reflected scattered radio signal contains information mainly about the vegetation cover. The VH-polarization radar image reveals narrow winding (less often crescent-shaped dark gray) remains of the former riverbed and silted oxbow lakes, filled in some places with water. The general gray tone of this type of land is formed by floodplain soddy gleyic soils. Along the contours of a dark gray tone there are interspersed with a light tone - willow bushes.

The lands of the central floodplain are distributed throughout the entire key area and are characterized by a predominantly leveled topography. Soil cover of the background type with the absolute predominance of one soil (80–90 %) and inclusion spots of another, confined either to relative increases or decreases. The dominant soil is floodplain sod-gley. The vegetation cover is dominated by forb-invisible reed grass associations with inconspicuous reed grass, creeping buttercup, dog bentgrass, marsh bluegrass, mouse pea, marsh marigold, and rough-leaved kulbab. Projective coverage is 80–90 %. This type of floodplain is deciphered most qualitatively on VH-polarized radar images and is depicted in an even dark gray tone. The tone of the image is determined by the higher biomass and projective cover of the meadow vegetation association, as well as early spring moisture (04/02/2020).

The lands of the near-terrace floodplain occupy its lower part and are confined to the outskirts bordering the lands of the first above-floodplain terrace. The soil cover is dominated by floodplain sod-humus-gley soils, the surface of which is covered with water for a considerable time; small-area macroelevations with floodplain sod-humus-gley soils are also found. The meadow vegetation is dominated by sedge associations. Projective coverage is

80–90 %. On VH-polarized radar images, as well as on a synthesized image, this type of land is depicted in a black tone, and only elevations with sod-gley soils are depicted in a gray tone. To a large extent, the tone of the image of these lands is determined by their swampiness. It should be noted that an important feature of this type of land is that the sections of the boundaries with the arable lands of the first floodplain terrace are not actually distinguished and are drawn according to indirect criteria.

The analysis of the visual properties of the original radar images showed that they are characterized by the presence of speckle noise, as well as various brightness and geometric distortions, which makes it difficult to decipher the objects under study. To increase their decipherability, pre-processing of the image is required, as well as the additional use of thematic maps, aerospace images of the optical range and aerospace standards of the objects being deciphered. The main factors that determine the distribution of the tone intensity of the vegetation image on radar images are the height, composition, projective cover of vegetation and the degree of swampiness.

The obtained research results can be used for thematic mapping, as well as for educational purposes.

References

1. *Шалькевич Ф. Е., Курьянович М. Ф.* Тематическое дешифрирование: пособие. Минск: БГУ, 2022.
2. *Silva E. A.* Cartography and remote sensing in the Amazon – The Sivam Project. ISPRS Archives // ISPRS Commission IV Symposium GIS Between Visions and Applications, September 7–10, 1998. Vol. XXXII. P. 580-585.
3. *Балдина Е. А., Чеснокова О. А.* Радиолокационное зондирование Земли для географических исследований // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 1. С. 16-21.
4. *Романова Т. А., Червань А. Н., Андреева В. Л.* Теоретические основы и практическая значимость исследований структуры почвенного покрова // Почвоведение. 2011. № 3. С. 300–310.
5. *Шалькевич Ф. Е., Жмойдяк Р. А., Топаз А. А.* Составление тематических карт на основе дешифрирования аэрокосмических снимков. Минск: БГУ, 2000.
6. *Шалькевич Ф. Е., Давидович Ю. С.* Тематическое дешифрирование: электронный учебно-методический комплекс для специальности: 1-31 02 03 «Космоаэрокартография»; БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. геодезии и космоаэрокартографии. Минск : БГУ, 2022.
7. *Шалькевич Ф. Е., Топаз А. А., Шалькевич М. Ф.* Структура почвенного покрова поймы Припяти и ее типизация на основе материалов дистанционных съемок. Земля Беларуси. 2010. № 2. С. 42-48.
8. *Шалькевич Ф. Е., Давидович Ю. С., Топаз А. А., Курьянович М. Ф.* Особенности дешифрирования почвенно-растительного покрова типов земель Белорусского Полесья по материалам радиолокационной съемки // Земля Беларуси. 2023. № 4. С. 47-57.

УДК 528.8+631.4

A METHOD OF DETECTING SOIL DEGRADATION IN THE CENTRAL ECOLOGICAL ZONE OF BELARUS BASED ON OPEN REMOTE SENSING IMAGES

B. Zhao, A. N. Chervan

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,
220030, Minsk, Belarus, geozhao@outlook.com, Chervan@bsu.by*

This study proposes a methodology for detecting soil degradation in the central ecological zone of Belarus using publicly available remote sensing images. Our focus includes soil salinization, organic matter content, land use systems, water erosion, and wind erosion. By employing remote sensing techniques and data processing algorithms, we introduce a practical soil degradation detection method. This research provides a scientific basis for ecological protection and management in the region, offering valuable insights for decision makers and researchers.

Keywords: Soil degradation; soil organic matter; soil erosion; land use systems; remote sensing; Belarus.

МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ БЕЛАРУСИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОТКРЫТОГО ДОСТУПА

Б. Чжао, А. Н. Червань

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, geozhao@outlook.com, Chervan@bsu.by*

В исследовании предлагается методология выявления деградации почв в Центральной почвенно-экологической провинции Беларуси с использованием общедоступных данных дистанционного зондирования. В фокусе нашего внимания — засоление почв, содержание органического вещества, системы землепользования, водная и ветровая эрозия. Используя методы дистанционного зондирования и алгоритмы обработки данных, мы представляем практический метод обнаружения процессов деградации почв. Результаты исследования обеспечивают научную основу для экологической защиты и управления в регионе, предлагая базовую информацию для лиц, принимающих решения, и исследователей.

Ключевые слова: деградация почв; органическое вещество почвы; эрозия почв; системы землепользования; дистанционное зондирование; Беларусь

Introduction. Soil degradation is a significant environmental issue with far-reaching impacts. Monitoring and detecting soil degradation are crucial for effective land management and conservation [1]. In recent years, the availability of open-access high-resolution satellite imagery has provided a valuable tool for soil monitoring studies.

Despite the advancements in remote sensing technology, soil degradation detection still faces several challenges and limitations. These include the complexity of soil degradation processes, the need for accurate and efficient detection methods, and the integration of data from multiple sources for comprehensive analysis. By discussing the current challenges and limitations, we set the stage for proposing a novel approach for detecting soil degradation in the Central Province of Belarus.

The primary objective of this study is to develop a theoretical method for soil degradation detection, specifically tailored to the ecological conditions of the Central Ecological Zone in Belarus. The proposed method integrates various aspects of soil degradation, such as soil salinization, soil organic matter, land use systems, water erosion, and wind erosion, and utilizes open-access remote sensing imagery. The innovative nature of this research lies in the development of a practical and efficient soil degradation detection approach, tailored to the specific ecological characteristics of the study area.

Land use system. When studying soil degradation, it is crucial to focus on the land-use system, which serves as the foundation for assessing soil quality and the extent of degradation. Land-use systems encompass the management and utilization of land resources by human activities, including agriculture, forestry, and urban construction. These practices directly impact the physical, chemical, and biological properties of soil, leading to degradation.

Land utilization practices have notable effects on the physical properties of soil. For instance, agricultural activities such as frequent plowing, irrigation, and animal husbandry can lead to soil structure destruction, compaction, and erosion. This, in turn, reduces soil permeability and aeration. Unplanned urban construction and indiscriminate deforestation can also cause soil compaction and fragmentation, limiting root growth and water infiltration. Understanding the influence of land-use systems on soil's physical properties can help identify signs and the extent of soil degradation.

In the Central Ecological Region of Belarus, our focus lies in studying the transformation of various soil types, including agricultural land, forests, meadows, swamps, peatlands, and water bodies [2]. We assign different values to different land-use types, distinguishing between land transformation and weighing transformed areas to assess soil degradation based on land use.

Currently, remote sensing techniques for extracting land-use systems have reached a high level of maturity. Common research methods include neural

network-based image element extraction, object-oriented decision tree-based extraction, and SVM-based land use system extraction. However, recent advancements in AI technology have shown significant potential in terms of accuracy and success rate for land use extraction using deep learning methods [3-4]. By utilizing tools such as Codna, PaddleSeg, GDAL, and leveraging globally released open building footprints from Microsoft, along with field data for training and validation, we can employ deep learning algorithms to statistically analyze the land-use system in our study area. The dataset and validation set produced through deep learning are characterized by high reproducibility and accuracy.

Soil salinization. Soil salinization is a common and detrimental form of soil degradation that significantly impacts soil quality and agricultural productivity. When studying soil degradation, it is crucial to develop a comprehensive understanding of the effects of soil salinization.

Soil salinization negatively affects the physical properties of the soil. The accumulation of salts causes soil particles to aggregate, resulting in compact and dense soil structures that reduce permeability and aeration. Salt accumulation also attracts water through osmosis, causing soil moisture to move downwards and resulting in soil drought and water stress. Furthermore, soil salinization weakens the mechanical stability of the soil, making it more susceptible to erosion and wind erosion. These combined effects create unfavorable physical conditions for plant growth.

Chemically, soil salinization has significant impacts on soil properties. In high-salt environments, the absorption of nutrients by plant roots is hindered, leading to inhibited plant growth and development. Salts in soil form insoluble precipitates with soil nutrients, limiting soil fertility and nutrient fixation. Additionally, salt accumulation in soil alters its acidity and alkalinity, resulting in changes in soil pH that affect microbial activity and nutrient availability. The Soligorsk region, known for potash production, experiences evident soil salinization conditions within the study area [5].

Remote sensing techniques, utilizing red, blue, and near-infrared wavelengths, are widely used for monitoring soil salinization. Geostatistical-based remote sensing inversion enables the monitoring of soil salinization in the study area. Internationally, monitoring of soil salinization has been achieved using PMS sensors and an object-oriented approach based on the maximum likelihood method. In recent years, breakthroughs in accuracy have been made using AGA and SVR-based methods for inversion [6]. The study demonstrates the effectiveness of remote sensing inversion for soil salinization in the Minsk-Soligorsk region, providing insights into the trends and distribution of soil salinization in Belarus's central province based on its spatial characteristics.

Soil organic matter (SOM) constitutes the organic fraction of soil, encompassing plant and animal remnants, microbial biomass, and more. It serves as a crucial indicator in studying soil degradation, necessitating a comprehensive understanding of its significance and impact. SOM plays a vital role in soil texture, nutrient cycling, and ecosystem functioning. Recognizing its importance and its relationship with soil degradation facilitates better evaluation of soil quality and degradation. This knowledge guides land management practices and agricultural approaches toward protecting and enhancing soil quality, fostering sustainable land use and agricultural development. Additionally, soil organic matter contributes to soil coloration, where higher organic carbon content results in a darker soil color. This darkening arises from the presence of saturated organic matter, changes in black humic acid content and composition, soil moisture variations [7].

Recent studies utilizing remote sensing data have achieved qualitative and quantitative assessments of soil organic matter. Reflectance at wavelengths of 0,546 μm , 0,664 μm , 0,673 μm , and 0,855 μm has shown good correlation with soil organic matter content. Hence, employing satellite imagery such as Landsat 8 and Sentinel 2 based on these correlation characteristics enables accurate inversions within the study area. However, soil organic matter content manifests high spatial variability. When the content falls below 2 %, its dominant influence on soil reflectance characteristics diminishes, revealing other soil spectral traits. External parameter orthogonalization (EPO) can eliminate the effect of iron oxides, providing a novel approach for estimating organic matter content in iron-oxide-rich soils.

Soil erosion, a prevalent type of soil degradation, has escalated to become a worldwide environmental issue. Adverse weather conditions such as intense rainfall and strong winds, coupled with unsustainable human activities like extensive farming, diminish soil fertility and result in alterations to soil characteristics. The erosive force behind soil erosion can be classified as either water erosion or wind erosion, depending on its origin.

Numerous studies have explored the use of remote sensing methods to investigate hydraulic erosion. Simulation modeling is the primary research approach employed to understand the erosion process. Since its inception in 1965, the Universal Soil and Water Loss Equation (USLE) has been widely adopted in over 100 countries and regions. However, the empirical nature of the USLE method poses limitations as it fails to incorporate soil deposition simulation. Over time, advancements in research have led to the development of physical models such as the Water Erosion Prediction Model and the European Water Erosion Model, aiming to enhance the models' applicability for complex erosion processes. These models heavily rely on inputs of erosion-related factors, most of which can be extracted from remote sensing techniques.

In recent decades, scholars, including Alewell et al., have introduced various factors resulting in the emergence of modified generalized erosion equations such as RUSLE, RUSLE2, RUSLE3D, and CSLE [8-9].

For the geographic characteristics of the study area, using the RUSLE model, the soil and water conservation factor and the vegetation cover factor can be obtained by using the land use data obtained from the previous inversion, and the slope length factor and soil erodibility factor can be obtained by overlaying the spatial analysis based on the DEM data and the soil texture data, and the erodibility factor can be obtained by overlaying the spatial analysis based on the soil texture data, and the erodibility factor of the precipitation can be obtained by combining the meteorological data with the soil type. The precipitation erosivity factor can be compared by soil type and meteorological data. Using this model, it is possible to obtain an inversion of the soil erosion situation in the central ecological zone of Belarus in the study area.

Conclusion. In view of the geographic characteristics of the Central Ecological Region of Belarus, we have designed the following methodology for remote sensing monitoring of the region based on the common types of soil degradation using open-satellite remote sensing data:

1. For the Land use system, we utilize deep learning techniques based on python libraries such as Codna, PaddleSeg, GDAL, etc. to extract and characterize the changes in agricultural land, forests, grasslands, settlements, swamps, peatlands, and waterbodies in different time-series.

2. In the case of soil salinization, we use the experience of the Soligorsk region, based on geostatistics, to select a suitable validation and learning dataset, and to extract the features of the region through the combination of its feature band modeling.

3. For the extraction of soil organic matter, based on a map of soil types in the study area and geostatistics similar to that of soil salinization, the inversion of soil organic matter was realized by using the EPO method to eliminate the interference of individual soil types with the overall information.

4. And for soil erosion, use the RUSLE model. Land use data, vegetation cover, DEM data, soil types, meteorological and hydrological data were used to realize the soil erosion and water loss equations for the study area. Thus, the remote sensing inversion of the region is realized.

References

1. Jie C. et al. Soil degradation: a global problem endangering sustainable development // J Geog Sci. 2002. Vol. 12, № 2. P. 243–252.
2. Galai E. Ecological state of the land resources of the Republic of Belarus // Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series. 2019. Vol. 128, № 3. P. 136–140.

3. *Alem A., Kumar S.* Deep Learning Methods for Land Cover and Land Use Classification in Remote Sensing: A Review // 2020 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO). Noida, India: IEEE, 2020. P. 903–908.
4. *Mack B. et al.* A semi-automated approach for the generation of a new land use and land cover product for Germany based on Landsat time-series and Lucas in-situ data // Remote Sens Lett. 2017. Vol. 8, № 3. P. 244–253.
5. *Sahbeni G. et al.* Challenges and Opportunities in Remote Sensing for Soil Salinization Mapping and Monitoring: A Review // Remote Sensing. 2023. Vol. 15, № 10. P. 2540.
6. *Xu H. et al.* AGA-SVR-based selection of feature subsets and optimization of parameter in regional soil salinization monitoring // Int J Remote Sens. 2020. Vol. 41, № 12. P. 4470–4495.
7. *Angelopoulou T. et al.* Remote Sensing Techniques for Soil Organic Carbon Estimation: A Review // Remote Sensing. 2019. Vol. 11, № 6. P. 676.
8. *Sidi Almouctar M.A. et al.* Soil Erosion Assessment Using the RUSLE Model and Geospatial Techniques (Remote Sensing and GIS) in South-Central Niger (Maradi Region) // Water. 2021. Vol. 13, № 24. P. 3511.
9. *Rezaei M. et al.* Remote sensing of land use/cover changes and its effect on wind erosion potential in southern Iran // Peerj. 2016. Vol. 4. P. e1948.

РАЗДЕЛ II

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ

УДК: 550.4:552.57/.58

НЕФТЕМАТЕРИНСКИЕ ПОРОДЫ НИЖНЕФАМЕНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ДЕВОНА ЦЕНТРАЛЬНОГО АРЕАЛА ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

Е. В. Бибикова

*Государственное предприятие «НПЦ по геологии», Филиал «Институт геологии»,
ул. Академика Купревича, 7, 220141, г. Минск, Беларусь, bibikovaev@gmail.com*

Выполнены работы по выявлению и оценке нефтематеринских пород на территории Центрального ареала Припятского прогиба. Изучено распределение качественных и количественных характеристик нефтематеринских пород и их связь с литологическим составом породы.

Ключевые слова: нижнефаменские отложения; Припятский прогиб; Центральный ареал; нефтематеринские породы; зона генерации углеводородов.

OIL SOURCE ROCKS OF THE LOWER FAMENNIAN DEVONIAN DEPOSITS OF THE CENTRAL AREA OF THE PRIPYAT TROUGH

E. V. Bibikava

*State Enterprise «Research and Production Center for Geology»,
Branch «Institute of Geology», Akademik Kuprevich St., 7,
220141, Minsk, Belarus, bibikovaev@gmail.com*

Work has been carried out to identify and evaluate oil source rocks in the Central area of the Pripyat trough. The distribution of qualitative and quantitative characteristics of oil source rocks and their relationship with the lithological composition of the rock has been studied.

Key words: Lower Famennian deposits; Pripyat trough; Central area; oil source rocks; hydrocarbon generation zone.

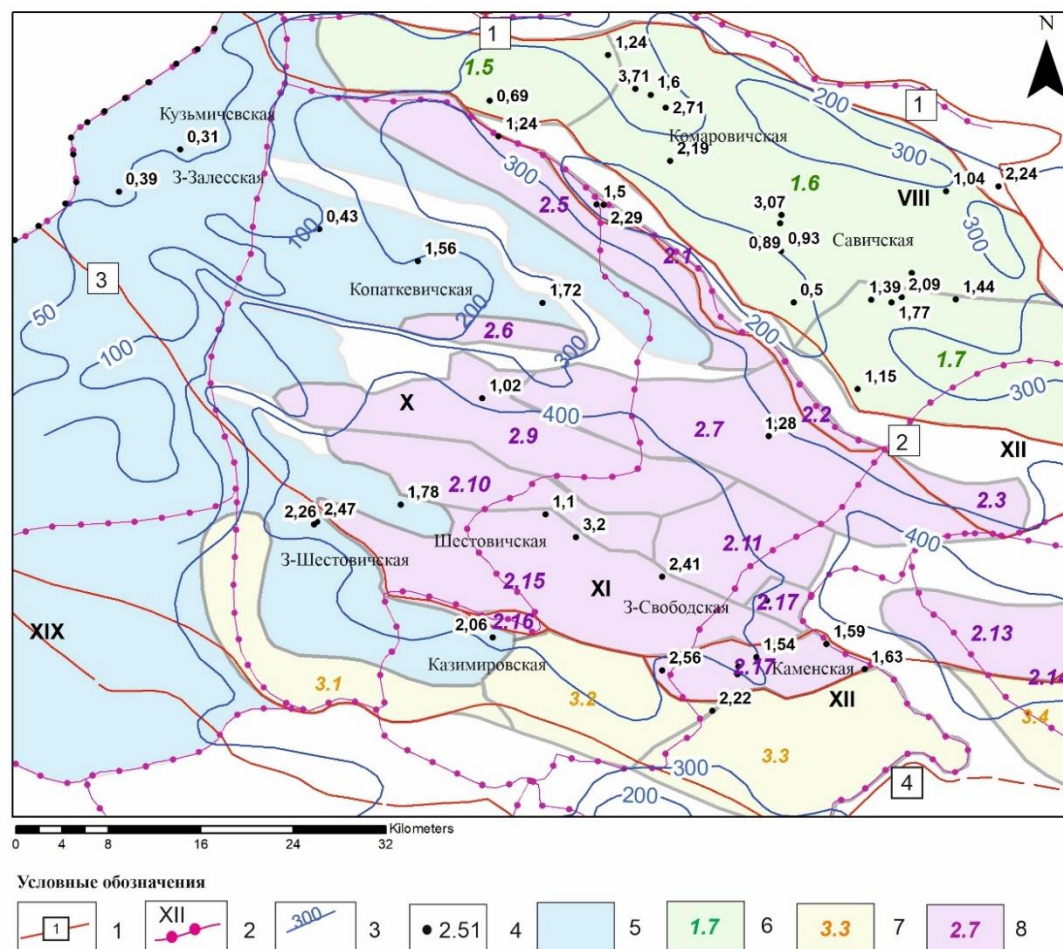
Материалы статьи включают результаты геохимических исследований органического вещества (ОВ) Центрального ареала Припятского прогиба битумологическим и пиролитическим методами. В результате выявлены и оценены нефтематеринские породы, с учетом

разработанной автором классификации [1]. Интерпретация геохимических данных проведена с учетом результатов литолого-фациального анализа межсолевых отложений по данным С. М. Обровец [2]. Использована структурная основа поверхности нижнефаменских отложений [3] и карта районирования межсолевой нефтегазоматеринской толщи Припятского нефтегазоносного бассейна по условиям генерации углеводородов [4, 5].

Основными критериями выделения и оценки нефтематеринских пород являются: количество органического углерода $C_{орг}$, содержание пиролических углеводородов (УВ) S_2 (мг/г), индекс водорода ИН, температура максимального выхода УВ T_{max} (°C). Автором выявлены зоны, обогащенные ОВ в задонских и елецких отложениях. Однако, наибольшая площадь распространения зон с высоким содержанием $C_{орг}$ и высоким качеством нефтематеринских пород характерна для елецких отложений. Нефтегазоматеринские отложения с высокими поскважинными значениями параметров $C_{орг}$ и S_2 в межсолевых отложениях были выявлены на Копаткевичской (6,53 мг/г, 1,3 %), Комаровичской (15–27 мг/г, 3,6–3,9 %), Северо-Комаровичской (6,5 мг/г, 1,3 %), Савичской (19 мг/г, 2,69 %), Каменской (7,21–30 мг/г, 3,3–5,2 %), Западно-Шестовичской (50 мг/г, 5,66 %) площадях (рисунок). На Северо-Каменской площади параметр S_2 равен 30 мг/г, но на Западно-Каменской уменьшается до 7,2 мг/г. Преобладающим типом ОВ на Цидовской, Савичской, Комаровичской, Каменской площадях является смешанный тип ОВ, преобладание континентального типа ОВ зафиксировано на Копаткевичской площади в районе Копаткевичского палеомыса по данным С. П. Микуцкого [6].

По данным С. М. Обровец [2], в западной части Центрального ареала выявлено 5 литолого-фациальных зон (ЛФЗ) (рисунок). На территории Туровской депрессии (ЛФЗ-IX), Копаткевичской (ЛФЗ-X) и Северо-Комаровичской (ЛФЗ-VIII) площадей сформировались нефтематеринские породы низкого качества. На Каменской (ЛФЗ-XII), Комаровичской и Савичской (ЛФЗ-VIII), Северо-Шестовичской (ЛФЗ-X) площадях сформировались нефтематеринские породы среднего и высокого качества. Нефтематеринские породы низкого качества приурочены к литолого-фациальным зонам ЛФЗ-IX и ЛФЗ-X, частично ЛФЗ-VIII, а высокого качества – к ЛФЗ-XI, ЛФЗ-XII, ЛФЗ-VIII. Уменьшение параметра S_2 до 6 мг/г в нефтематеринских породах на Копаткевичской площади связано изменением типа органического вещества (ОВ), а для Каменской площади уменьшение параметра S_2 до 7 мг/г – с влиянием турбидитовых потоков из Южного района [7]. Для анализа степени преобразованности ОВ использованы данные Л. Ф. Ажгиревич по отражательной способности витринита R_a и показатели T_{max} (°C).

Данные R_a пересчитаны на R_0 согласно ГОСТу 21489-76, а показатели $T_{\max}$ ($^{\circ}\text{C}$) пересчитаны на R_0 согласно формуле D. M. Jarvie для Barnett Shale [8, 9]. Выявлена зависимость параметра $T_{\max}$ от глубины для ОВ второго и первого типа.



1) разломы: 1 – Червонослободско-Малодушинский, 2 – Азерецко-Хобнинский, 3 – Шестовичско-Гостовский, 4 – Буйновичско-Наровлянский; 2) границы ЛФЗ и их номера: VIII – глинисто-карбонатная, с органогенными образованиями, строматолитовая, IX – терригенно-карбонатная с органогенными образованиями и ангидритом, X – глинисто-карбонатная с эвапоритовыми отложениями, XI – глинисто-карбонатная с турбидитовыми песчаниками, сульфатными породами и породами доманикового типа, XII – карбонатно-глинистая с турбидитовыми песчаниками, каменной солью, породами доманикового типа и вулканогенным материалом; 3) глубины палеобассейна по данным С. П. Микуцкого; 4) поскважинное значение $C_{\text{орг}}$ в межсолевых отложениях; 5) агенерационная область; 6) Азерецко-Хобнинский очаг с номерами секторов: 1.5 – Азерецкий, 1.6 – Комаровичский, 1.7 – Москвичевский; 7) Шестовичско-Гостовский очаг с номерами секторов: 3.1 – Шестовичский, 3.2 – В-Шестовичский, 3.3 – Гостовский; 8) Приосевой грабен с номерами секторов: 2.1 – Бобровичский, 2.2 – Калинковичский, 2.3 – Западно-Калинковичский, 2.5 – Копаткевичский, 2.6 – Ю-Копаткевичский, 2.7 – Птичский, 2.9 – Конковичский, 2.10 – С-Скрыгаловский, 2.1 – Осево, 2.13 – Борусский, 2.15 – Скрыгаловский, 2.16 – Казимировский, 2.17 – Каменский.

Карта-схема распределения $C_{\text{орг}}$ в породах межсолевого комплекса (по данным С. М. Обровец, С. П. Микуцкого, В. Н. Бескопыльного)

Западная агенерационная область Припятского нефтегазоносного бассейна характеризуется значениями расчётного параметра R_0 в интервале 0,35–0,45, что отвечает согласно шкале Вассоевича степени преобразованности ОВ градации ПК₂–ПК₃ [10]. Азерецко-Хобнинский очаг нефтегазообразования характеризуется широким разбросом расчетных показателей R_0 , которые варьируют в интервале 0,35–0,8. Предчервонослободская депрессия характеризуется максимальными показаниями параметра R_0 (0,8), что, вероятно, связано с зоной генерации УВ. Для Приосевого очага получены значения параметра R_0 для Птичского, Скрыгаловского, Северо-Скрыгаловского, Каменского и Осевого секторов нефтегазообразования. Максимальные значения параметра R_0 приурочены к Приосевому сектору (0,8 %), в близлежащих секторах показатели R_0 уменьшаются до 0,5–0,57 %. В Каменском секторе наблюдается аномалия R_0 (0,45–0,69 %), что, видимо, связано с влиянием соленосного купола в нижнесоленосном комплексе. От Восточно-Шестовичского по направлению к Гостовскому сектору Шестовичско-Гостовского очага наблюдается рост параметра R_0 от 0,4 до 0,57 %. Градация катагенеза МК₁ отмечена в Предчервонослободской депрессии Азерецко-Хобнинского очага, в Птичском, С-Скрыгаловском, Скрыгаловском, Каменском и Осевом секторах Приосевого очага; Гостовском секторе Шестовичско-Гостовского очага.

Таким образом, качественные и количественные характеристики нефтематеринских пород изменяются как вертикально по разрезу, так и по площади с учетом доминирующих литологофациальных условий. Наименьшие показатели геохимических параметров связаны с ЛФЗ, которые развивались в прибрежных мелководных условиях либо связаны с привнесом терригенных пород на территорию палеобассейна, в связи с чем формируются нефтематеринские породы низкого качества. В условиях карбонатно-глинистого накопления осадка при палеоглубинах более 200 м условия накопления и захоронения ОВ в породе улучшаются, формируются нефтематеринские породы среднего и высокого качества. Качество нефтематеринских пород улучшается вверх по разрезу межсолевой толщи. Наиболее преобразованное ОВ в породах приурочено к Предчервонослободской депрессии Комаровичского сектора Азерецко-Хобнинского очага и Осевому сектору Приосевого очага.

Библиографические ссылки

1. Бибикова Е. В., Обровец С. М., Бусел М. Я. Особенности формирования нефтематеринских и углеводородсодержащих межсолевых отложений в западной части Южного района Припятского прогиба // Літасфера. 2021. № 1(54). С. 111–120.

2. *Обровец С. М., Яшин И. А.* Литолого-фациальное районирование отложений межсолевого комплекса Припятского прогиба – основа прогнозирования литологически ограниченных залежей углеводородов // Літасфера. 2013. № 2. С. 90–101.
3. *Бескопильный В. Н., Айзберг Р. Е., Грибик Я. Г.* Тектоническое районирование как основа прогноза остаточных перспектив нефтегазоносности Припятского прогиба // Потенциал добычи горючих ископаемых в Беларуси и прогноз его реализации в первой половине XXI в. Гомель : РУП «ПО «Белоруснефть», 2012. С. 9–54.
4. *Бескопильный В. Н., Никуленко Е. Ф., Айзберг Р. Е., Грибик Я. Г.* Районирование по условиям нефтегазообразования подсолевого и межсолевого комплексов Припятского нефтегазоносного бассейна. Гомель-Минск, 2013. С. 184.
5. *Никуленко Е. Ф.* Геохимические критерии нефтегазоносности // Проблемы нефтегазоносности верхнепротерозойских и палеозойских комплексов Беларуси и Сибири. Минск : БЕЛГЕО, 2003. С. 27–40.
6. *Познякевич З. Л.* Распределение рассеянного органического вещества и битумоидов в осадочном чехле // Геология и нефтегазоносность запада Восточно-Европейской платформы : к 70-летию БелНИГРИ / З. Л. Познякевич и др. Минск : Беларуская навука, 1997. С. 317.
7. *Обровец С. М.* Седиментогенез турбидитов в девонском бассейне Припятского палеорифта // Літасфера. 2003. № 1(18). С. 46–58.
8. *Ажгиревич Л. Ф.* Палеотермия межсолевых и подсолевых отложений Припятского прогиба // Микроэлементы и прогнозирование нефтегазоносности. Минск : Наука и техника, 1975. С. 125–136.
9. *Матиасик И., Лесьняк Г.* Геохимические и петрофизические свойства пород, образующих месторождения типа Shale Gas // Потенциал добычи горючих полезных ископаемых в Беларуси и прогноз его реализации в первой половине XXI века : материалы междунаро. науч.-практ. конф. (25–27 мая 2011 г.). Гомель : ОАО «Полеспечать», 2012. С. 200–207.
10. *Неручев С. Г., Вассоевич Н. Б., Лопатин Н. В.* О шкале катагенеза в связи с нефтеобразованием // Горючие ископаемые : Докл. совет. геологов на XXV сессии Междунаро. геолог. конгр. Москва, 1976. С. 47–62.

УДК 552.321.1+552.22 (476)

ВОЗРАСТ ГАББРОДОЛЕРИТОВ «БОЛЬШОЙ ДАЙКИ» ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ: РЕЗУЛЬТАТЫ U-Pb (ID-TIMS) ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ БАДДЕЛЕИТА

**В. Н. Бурмистров¹⁾, А. Б. Котов²⁾, О. А. Пискун¹⁾, Е. Б. Сальникова²⁾,
А. А. Толкачикова¹⁾, А. В. Степанова³⁾, М. П. Гуринович¹⁾**

¹⁾Государственное предприятие «НПЦ по геологии», ул. Академика Купревича, 7,
220141, г. Минск, Беларусь, fundament@geologiya.by

²⁾Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, набережная Макарова, 2,
199034, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, abkotov-spb@mail.ru

³⁾Институт геологии Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, 11,
185910, г. Петрозаводск, Российская федерация, sa07sa@mail.ru

Представлены новые данные о возрасте базитов «Большой дайки», расположенной в юго-восточной части кристаллического фундамента Беларуси. Кратко рассмотрено геологическое строение региона и вещественный состав пород. Сделан вывод, что «Большая дайка» сформирована в результате финальных событий субботско-мошоринского деформационного этапа (Украинский щит) в интервале 1788–1792 млн лет.

Ключевые слова: кристаллический фундамент юго-востока Беларуси; «Большая дайка»; долериты и габбродолериты; изотопный возраст.

U-Pb ISOTOPIC AGE OF THE INTRUSION OF THE MAFIC COMPOSITION («BIG DYKE») OF THE SOUTH-EAST OF BELARUS

**V. N. Burmistrov¹⁾, A. B. Kotov²⁾, O. A. Piskun¹⁾, E. B. Salnikova²⁾,
A. A. Tolkachikova¹⁾, A. V. Stepanova³⁾, M.P. Hurynovich¹⁾**

¹⁾State Enterprise «Research and Production Center for Geology»,
Akademik Kuprevich St., 7, 220141, Minsk, Belarus, fundament@geologiya.by

²⁾State Enterprise «Institute of Precambrian Geology and Geochronology» RAS,
Makarova emb., 2, 199034, Saint Petersburg, Russian Federation, abkotov-spb@mail.ru

³⁾Institute of Geology of the Karelian Scientific Center RAS, Pushkinskaya St., 11, 185910,
Petrozavodsk, Russian Federation, sa07sa@mail.ru

New data on the age of the mafic rocks of the «Big Dyke», located in the southeastern part of the crystalline basement of Belarus, are presented. The geological structure of the region and the material composition of the rocks are briefly reviewed. It is concluded that the «Big Dyke» was formed as a result of the final events of the Subbotka-Moshorinsk deformation stage (Ukrainian Shield) in the time interval of 1788–1792 Ma.

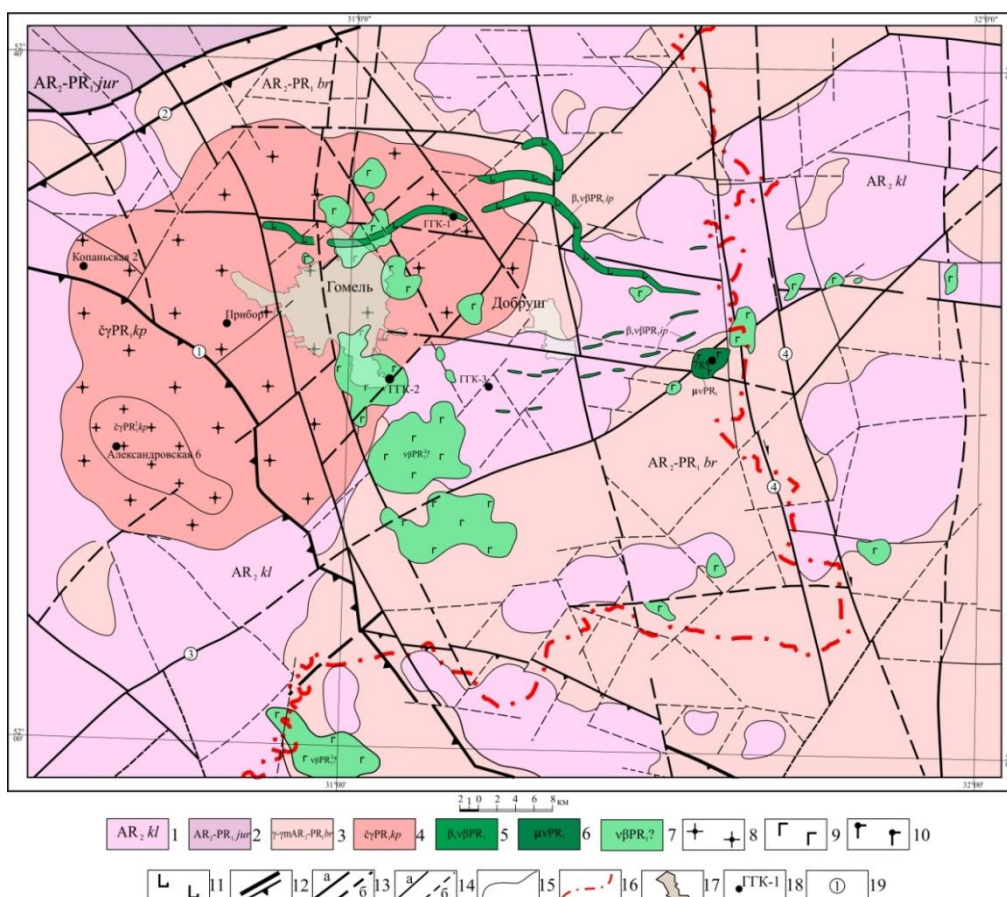
Keywords: crystalline basement of the South-East of Belarus; «Big dike»; dolerites and gabbrodolerites; isotopic age.

«Большая дайка», как крупная протяженная интрузия пород основного состава, впервые выделена В. Н. Бурмистровым в кристаллическом фундаменте юго-восточной части Беларуси в пределах Брагинского гранулитового массива (рис. 1) в результате геологической интерпретации данных аэромагнитной съемки масштаба 1 : 25000, выполненной геофизической экспедицией РУП «Белгеология» в 2005–2010 гг.

На фоне слабоинтенсивного магнитного поля дайка проявлена в виде почти непрерывной линейной положительной магнитной аномалии сложной конфигурации и прослеживается в субширотном направлении от северной окраины г. Гомеля до границы с Брянской обл. Российской Федерации. На территории России фрагменты этой аномалии также картируются еще на расстояние около 35–40 км, но отличаются меньшей интенсивностью формирующих ее локальных магнитных аномалий. Согласно предварительной оценке, мощность дайки составляет не менее 350–400 м в ее центральной части, в раздувах до 500 и более метров. Резко градиентный характер северной границы аномалии позволяет предполагать общее падение дайки на юг под углом порядка 45–65° [2].

В геологическом строении территории участвуют стратометаморфические породы гранулит-гнейсового комплекса кулажинской серии, представленные глиноземистыми плагиогнейсами и гнейсами метаморфизованными в условиях гранулитовой фации и пространственно связанные с ними ультраметаморфические образования мигматит-гранитного барсуковского комплекса [4]. В свою очередь они прорываются магматическими породами различного состава. Из достоверно установленных бурением можно выделить массив умереннощелочных гиперстенсодержащих гранитов (чарнокитов) копаньского комплекса [5] и штокообразную интрузию монцогаббро «Уборок» [6], расположенную на восточном фланге рассматриваемого региона. Возраст дейtritового циркона из гнейсов кулажинской серии составляет 2555–2560 млн лет, максимальный возраст метаморфизма гранулитовой фации — 2300 млн лет и процесса мигматизации — 2030 млн лет [1, 7]. По результатам геологической интерпретации геофизических данных, выделено несколько групп различных по площади (от 40–50 до 160–180 км²) и морфологии интрузивных тел, однако, их природа и вещественный состав на данном этапе исследования остаются не изученными.

В 2016 г. данная интрузия базитов, выделенных в ипутьский комплекс, вскрыта в ее центральной части картировочной скв. 1-ГГК в инт. 518,0–605,0 м. Интервал от поверхности фундамента до контакта с дайкой (456,0–518,0 м) представлен чарнокитами копаньского комплекса. U-Th-Pb (SIMS) геохронологические исследования циркона из чарнокитов скв. 1-ГГК показывают, что их возраст составляет 2024 ± 7 млн лет [3]. Датирование проводилось в ЦИИ ФГУП «ВСЕГЕИ» Российской Федерации в 2018 г.



1–2 – стратометаморфические образования: 1 – гранулит-гнейсовый комплекс (кулажинская серия), 2 – амфиболит-гнейсовый комплекс (юровичская толща); 3 – ультраметаморфический гранитоидный комплекс (барсуковский комплекс); 4 – копаньский комплекс; 5 – ипутьский комплекс («Большая дайка»); 6 – штокообразная интрузия «Уборок»; 7 – интрузии основного состава предполагаемые, выделенные по геофизическим данным. Дополнительными значками показаны: 8 – порфировидные крупнозернистые монзонит-чарнокиты, чарнокиты, граниты; 9 – габбро; 10 – монцогаббро; 11 – долериты, габбродолериты; 12–14 – разрывные нарушения; 12 – суперрегиональные; 13 – региональные; 14 – второстепенные (а – уверенно выделенные по комплексу геолого-геофизических данных, б – предполагаемые); 15 – геологические границы; 16 – граница Республики Беларусь; 17 – населенные пункты; 18 – буровые скважины; 19 – цифрами в кружках показаны: 1 – Северо-Припятский разлом, 2 – Пержано-Суражский разлом, 3 – Тетеревская система разломов, 4 – Святско-Хорошевская зона разломов.

Рис 1. Схематическая геологическая карта района развития базитов «Большой дайки»

Контакт дайки с вмещающими чарнокитами резкий, секущий с отчетливо выраженной зоной закалки. Изученный фрагмент интрузии, вскрытый скв. 1-ГТК, сложен долеритами (инт. 518,0–580,7 м) и габбродолеритами (580,7–605,0 м). Переход от долеритов к габбродолеритам – постепенный. Облик пород интрузии «свежий», неизменный. В направлении от контакта вглубь тела дайки наблюдается постепенное изменение текстурно-структурных признаков и состава пород от тонко-мелкозернистых

долеритов до средне-крупнозернистых габбродолеритов. Основными породообразующими минералами долеритов и габбродолеритов являются плагиоклаз (лабрадор, андезин) и моноклинный пироксен, составляющие основной объем породы – свыше 92–95 %. Средний химический состав пород на основе 6 определений (мас. %): SiO_2 – 48,0; TiO_2 – 1,34; Al_2O_3 – 19,04; Fe_2O_3 – 13,28; MnO – 0,18; MgO – 4,36; CaO – 9,57; Na_2O – 2,82; K_2O – 0,74; P_2O_5 – 0,24; п. п. п. – 0,39; сумма – 101,5. По основным петрохимическим параметрам долериты и габбродолериты практически однородны. Содержание SiO_2 в них варьируется в узких пределах 46,8–48,8 %, CaO преобладает над MgO , а Na_2O над K_2O . Для пород характерна от умеренной до высокой – железистость ($F_{\text{общ}} = 0,7\text{--}0,9$), титанистость ($t' = 7\text{--}13$) и глиноземистость ($al' = 0,8\text{--}1,3$). Базиты относятся к породам толеитовой серии нормальнощелочного ряда с преобладающей натриевой щелочностью.

В 2018 г. в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН (г. Санкт-Петербург) выполнено U–Pb (ID TIMS) датирование бадделеита из описанных базитов.

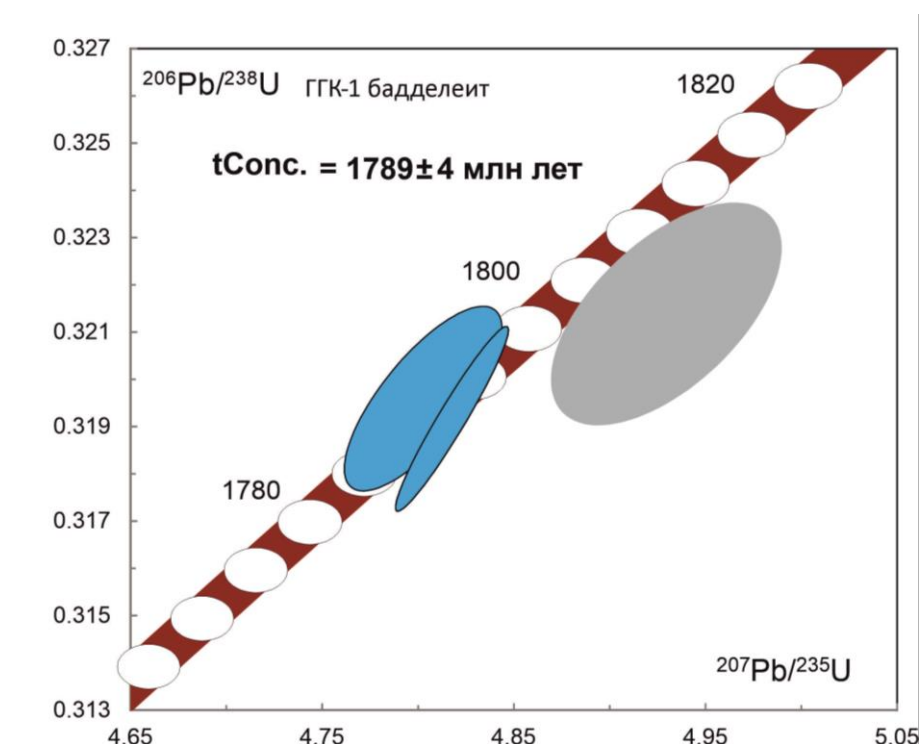


Рис. 2. Диаграмма с конкордией для бадделеита из габбродолерита «Большой дайки»

Результаты изотопного датирования приведены на рис. 2. Согласно полученным данным, габбродолериты имеют возраст 1788 ± 4 млн лет. Эта оценка возраста соответствует финальным событиям субботско-мошоринского деформационного этапа – 1,80–1,73 млрд лет [2].

Библиографические ссылки

1. Бибикова Е. В., Богданова С. В., Горбачев Р. И., Клаэссон С., Кирнозова Т. И. Изотопный возраст, природа и структура докембрийской коры в Беларуси // Стратиграфия, геологическая корреляция. 1995. Т. 3. № 6. С. 68–78.
2. Бурмистров В. Н., Пискун О. А. «Большая дайка» базитов фундамента юго-востока Беларуси (строение, состав, возможные механизмы формирования) // Літасфера. 2019. № 1(50). С. 73–86.
3. Бурмистров В. Н., Пискун О. А. U-Pb изотопный возраст и геотектоническая позиция палеопротерозойских чарнокитов Брагинского гранулитового массива юго-востока Беларуси (северо-западная окраина Сорматии) // Літасфера. 2019. № 2(51). С. 12–22.
4. Толкачикова А. А. Вещественный состав и петрогенезис гранитоидов Брагинского гранулитового массива (Беларусь) // Літасфера. 2003. № 1 (16). С. 74–80.
5. Толкачикова А. А., Бурмистров В. Н., Гуринович М. П., Пискун О. А. Интрузивные чарнокиты палеопротерозоя юго-востока Беларуси. Статья 1. Геологическая позиция, минералого-петрографическая характеристика, изотопный возраст // Літасфера. 2019. № 1(50). С. 87–102.
6. Monzogabbro «Uborok» of the south-east of Belarus (Voronezh crystalline massif) / Alkaline Magmatism of the Earth and Related Strategic Metal Deposits. Proc of XXXII Int. Conf. Apatity 7–14 August 2015 / O. Kuzmenkova [et al.]; editor-in-chief L. N. Kogarko. Moscow : GEOKHI RAS, 2015. P. 64–65.
7. Claesson S., Bogdanova S. V., Bibikova E. V., Gorbatshev R. I. Isotopic evidence for Palaeoproterozoic accretion in the basement of the European Craton // Tectonophysics. 2001. Vol. 339. P. 1–18.

УДК 556.334(476-14)

**СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ОСНОВНЫХ ВОДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ
НА ПРИМЕРЕ БЕЛОРУССКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА
РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

**О. А. Березко, О. В. Васнева, Т. А. Кононова, Е. М. Черевач,
В. М. Шиманович, П. И. Боброва**

*Филиал «Институт геологии» Государственного предприятия «НПЦ по геологии»,
ул. Купревича, 7, 220084, г. Минск, Беларусь, gidrogeol@geologiya.by*

В статье на основе анализа и обобщения геолого-гидрогеологической информации представлен комплект карт распространения основных водоносных комплексов, составленный с применением ГИС-технологий с целью обеспечения территории исследований подземными водами хозяйственно-питьевого назначения, а также решения задач, поставленных в рамках реализации Целей устойчивого развития 6 «Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех».

Ключевые слова: подземные воды; гидрогеологические карты; четвертичные и дочетвертичные отложения; водоносные комплексы; геолого-гидрогеологические разрезы; артезианский бассейн; ГИС-технологии.

**COMPILATION OF DISTRIBUTION MAPS OF MAIN AQUIFER
COMPLEXES ON THE EXAMPLE OF THE BELARUSIAN PART
OF THE WESTERN BUG RIVER BASIN
USING GIS TECHNOLOGIES**

**O. A. Berezko, O. V. Vasneva, T. A. Kononova, E. M. Cherevach,
V. M. Shimanovich, P. I. Bobrova**

*Branch «Institute of Geology» of the State Enterprise «SPC for Geology»,
Kuprevicha St., 7, 220084, Minsk, Belarus, gidrogeol@geologiya.by*

Based on the analysis and generalization of geological and hydrogeological information, the article presents a set of distribution maps of main aquifer complexes, compiled using GIS technologies in order to provide the study area with groundwater for domestic and drinking purposes, as well as to solve the tasks set within the framework of the implementation of Sustainable Development Goals 6 «Ensuring the availability and sustainable management of water and sanitation for all».

Key words: groundwater; hydrogeological maps; Quaternary and pre-Quaternary deposits; aquifer complexes; geological and hydrogeological sections; artesian basin; GIS technologies.

Введение. Объект исследований: подземные воды бассейна р. Зап. Буг. Цель исследования: составление комплекта карт основных водоносных комплексов для хозяйственно-питьевого водоснабжения в пределах бассейна р. Зап. Буг на территории Беларуси в масштабе 1:500 000 с использованием ГИС-технологий (программа QGIS).

Материалы и методы. Выполнен сбор и анализ геолого-гидрогеологических материалов по условиям распространения четвертичной (напорные воды) и дочетвертичной (палеогеновый-неогеновый, меловой, юрский водоносные комплексы) толщ пород территории бассейна р. Зап. Буг. Составлен каталог опорных скважин, оборудованных на четвертичные отложения (напорные воды) – по 94 скважинам и на дочетвертичные (палеогеновые-неогеновые, меловые, юрские) отложения – по 106 скважинам. В качестве опорных скважин были выбраны наблюдательные и эксплуатационные скважины на групповых водозаборах, одиночные эксплуатационные скважины, скважины гидрогеологических постов, а также скважины, приведенные в отчетах геологосъемочных работ и кадастрах «Подземные воды БССР», что, в свою очередь, позволило уточнить геолого-гидрогеологические разрезы четвертичных и дочетвертичных отложений территории исследований. Дана характеристика геолого-гидрогеологических условий осадочной толщи территории исследований, содержащей пресные подземные воды.

Четвертичные отложения сплошным чехлом покрывают данную территорию, представлены водопроницаемыми и слабопроницаемыми породами различной мощности, литологического состава и генезиса. Водовмещающие породы – в основном пески различного гранулометрического состава. Общая мощность четвертичной толщи изменяется от первых метров на юге территории в местах высокого залегания кровли меловых пород до 180–200 м в северо-западной и северо-восточной частях территории в пределах Высоковской, Каменецкой и Пружанской возвышенностей, где развиты краевые моренные образования [1, с. 33–42].

Четвертичные водоносные горизонты и комплексы приурочены к аллювиальным, озерно-болотным и перигляциальным породам голоцена и к озерно-аллювиальным, ледниковым и межледниковым образованиям плейстоцена. По гидродинамическим характеристикам выделяются горизонты и комплексы грунтовых и напорных вод.

Геолого-гидрогеологические условия дочетвертичной толщи пород определяются ее геологическим и тектоническим строением. В соответствии со схемой гидрогеологического районирования территория бассейна р. Зап. Буг относится к западной части Брестского артезианского бассейна, на крайнем юге – Волыно-Подольскому артезианскому бассейну. Горизонты и комплексы, содержащие пресные воды, достигают

общей мощности от 150–350 до 1000–1300 м и сложены водопроницаемыми и слабоводоносными отложениями рифея, венда, кембрия, ордовика, силура, нижнего девона, карбона, перми, триаса, юры, мела, палеогена и неогена. Кристаллический фундамент вскрывается на глубинах от 200 до 1700 м. Общее погружение его отмечается в юго-западном направлении [2, с. 636; 3, с. 430].

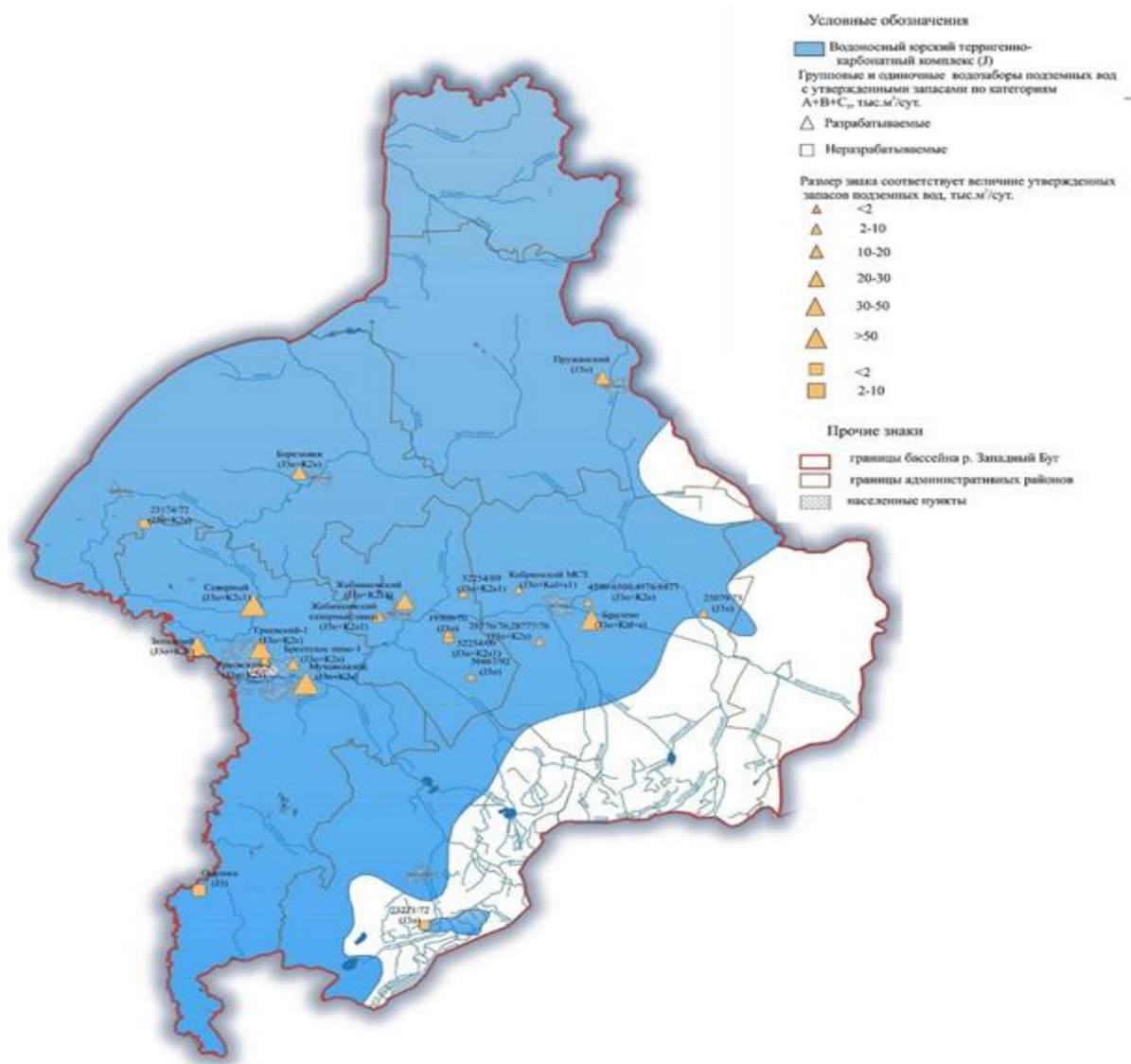
Основываясь на данных предыдущих исследований по выбору перспективных водоносных горизонтов для хозяйственно-питьевого водоснабжения территории бассейна р. Зап. Буг, определены 5 водоносных комплексов: днепровский-сожский водно-ледниковый, березинский-днепровский водно-ледниковый, палеогеновый и неогеновый терригенный, меловой карбонатно-терригенный, юрский терригенно-карбонатный [4, с. 33–52; 5, с. 28–35].

Результаты. В результате анализа и обобщения всей собранной информации составлен комплект цифровых карт распространения основных четвертичных (напорные воды) и дочетвертичных водоносных комплексов для хозяйственно-питьевого водоснабжения в пределах бассейна р. Зап. Буг в масштабе 1 : 500 000.

При составлении карт использовались сведения об условиях залегания, геологических и гидрогеологических характеристиках основных водоносных горизонтов и комплексов, данные о разведанных эксплуатационных запасах подземных вод и их использовании на территории исследований. На большей части территории бассейна р. Зап. Буг прослеживаются три-четыре водоносных горизонта (комплекса), перспективных для использования в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения. Степень их изученности неоднозначна как по площади, так и по глубине. Относительно детально они изучены лишь на участках, в пределах которых выполнены поисково-разведочные работы с целью обоснования строительства групповых и одиночных водозаборов. Выделенные водоносные комплексы показаны цветовой закрашкой, соответствующей их возрасту. На каждой из карт распространения водоносных комплексов определенными значками показаны водозаборы подземных вод: треугольниками — действующие водозаборы с утвержденными запасами по категориям $A+B+C_1$, тыс. м³/сут; квадратами — перспективные водозаборы с утвержденными запасами по категориям $A+B+C_1$, тыс. м³/сут. Размер знака соответствует величине утвержденных эксплуатационных запасов подземных вод в градациях: <2; 2–10; 10–20; 20–30; 30–50; >50 тыс. м³/сут.

Определены площади распространения основных четвертичных (напорные воды) и дочетвертичных водоносных комплексов в границах бассейна р. Зап. Буг. Всего составлено 5 карт распространения водоносных комплексов: днепровский-сожский водно-ледниковый, березинский-

днепровский водно-ледниковый, палеогеновый и неогеновый терригенный, меловой карбонатно-терригенный, юрский терригенно-карбонатный. Карта распространения водоносного юрского терригенно-карбонатного комплекса представлена на рисунке ниже.



Карта распространения водоносного юрского терригенно-карбонатного комплекса (J)

Карты построены с использованием программы QGIS (в географической системе координат EPSG:28405 - Pulkovo 1942 / Gauss-Krugerzona 5). Слои ГИС подготовлены в формате Esri (shp). Полученный в ходе разработки цифровой картографический материал будет иметь высокоточную пространственную привязку и может оперативно изменяться с учетом новейших опубликованных данных, материалов инженерно-геологических и

гидрогеологических изысканий, что позволит значительно упростить задачи геолого-гидрогеологического картографирования всей толщи отложений, содержащей пресные подземные воды.

Заключение. Карты будут использованы: различными организациями при проведении комплекса геологоразведочных работ не только на подземные воды, но и на другие виды полезных ископаемых, а также в процессе выполнения геологосъемочных, инженерно-геологических, геоэкологических работ; высшими учебными заведениями в учебном процессе при подготовке специалистов-геологов; в качестве источника информации при заполнении форм отчетности по глобальному целевому показателю ЦУР 6.5.2 «Доля площади трансграничного водного бассейна, в отношении которой имеется действующий механизм трансграничного сотрудничества» в рамках Цели устойчивого развития 6 «Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех».

Библиографические ссылки

1. *Станкевич Р. А.* Артезианские воды Бреста и их использование. Минск : Адукацыя і выхаванне, 2004.
2. Геология Беларуси / Под ред. А. С. Махнач, Р. Г. Горецкого, А. В. Матвеева и др. Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001.
3. Полезные ископаемые Беларуси: К 75-летию БелНИГРИ / Редкол: П.З. Хомич [и др.]. Минск : Адукацыя і выхаванне, 2002.
4. Пояснительная записка к серии гидрогеологических карт территории Беларуси масштаба 1 : 500 000 / РУП «БелНИГРИ». Минск : ООО «Смэлток», 2010. 160 с.
5. Сводная легенда для гидрогеологических карт масштаба 1 : 200 000 Белорусской серии листов / РУП «БелНИГРИ». Минск, 1986.

УДК 550.8

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ

Н. Г. Вихарев

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

На основании анализа литературных источников рассматривается актуальность использования технологии неинвазивного радиолокационного зондирования в инженерно-геологических изысканиях, основные направления его использования, а также достоинства и недостатки метода. Приведен практический пример использования метода из личного опыта автора.

Ключевые слова: георадиолокация; инженерно-геологические изыскания; геофизический метод; мониторинг геологической среды; тоннелестроительство.

PROSPECTS FOR GROUND PENETRATING RADAR USAGE IN GEOLOGICAL ENGINEERING SURVEYS

M. H. Vikharau

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4,
220030, Minsk, Belarus, vikharau.mikita@gmail.com*

Based on literature analysis, the article examines the relevance of ground penetrating radar usage in geological engineering surveys, the main ways of its use, as well as the advantages and disadvantages of the method. In addition, the article provides practical example of using the method from the author's personal experience.

Keywords: ground penetrating radar; geological engineering surveys; geophysical method; tunnel construction.

Актуальной проблемой современной инженерной геологии является сложность проведения достаточно детальных изысканий в городских условиях. Это обусловлено не только высокой стоимостью скважинного бурения, но и попросту невозможностью достаточно частого бурения в условиях плотной застройки. Это определяет недостаточную подробность профилей на участках со сложной геологической обстановкой: погребенные речные русла или водяные линзы, например, могут иметь размер меньше, чем расстояние между точками бурения и, таким образом, не будут обнаружены при проведении изысканий. В дополнение к этому, карты

подземных коммуникаций, находящиеся в распоряжении у геологов и проектировщиков, иногда не соответствуют действительности из-за, по тем или иным причинам, неточного нанесения на них объектов (или же вовсе их отсутствия на картах). Все вышеперечисленное приводит к повышению риска аварий как при проведении инженерно-геологических изысканий, так и при строительстве (особенно актуально при проходке горных выработок и тоннелестроении), т. к. несмотря на значительное развитие технологий, еще не существует абсолютно безопасных способов проходки.

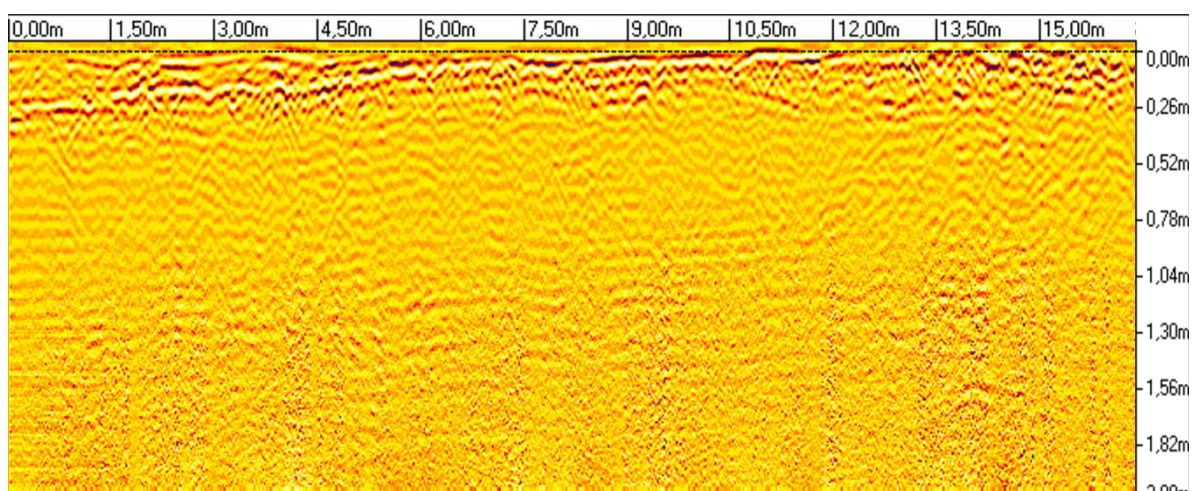
Печальным примером, наглядно иллюстрирующим сказанное выше, является инцидент, произошедший в мае 1998 г. в г. Москве на ул. Большая Дмитровка. При щитовом строительстве коллекторного тоннеля произошёл выброс плывуна, повлекший частичное затопление тоннеля и образование над ним провальной воронки. Авария повлекла за собой обрушение двухэтажного дома, находящегося над воронкой. Причиной произошедшего послужило пересечение погребенного русла реки, необнаруженного в ходе проведения инженерно-геологических изысканий, несмотря на их полное соответствие нормативным документам (расстояние между скважинами составляло 50 м) [1].

Таким образом, дополнительное, более детальное изучение геологической среды при работе в условиях плотной городской застройки в районах со сложной геологией просто необходимо. Одним из способов её осуществления является георадиолокация, т. е. геофизический метод, использующий электромагнитное поле для определения неоднородностей в диэлектрической проницаемости геологической среды с целью выделения объектов и структур [2]. При этом исследования могут проводиться как с земной поверхности, так и непосредственно в забое.

Рассмотрим основные направления использования георадиолокации при зондировании с земной поверхности.

Георадары применяются для построения или уточнения геологических разрезов верхних слоев грунта. При этом используются данные, полученные перед этим путем скважинного бурения, что позволяет довольно точно интерпретировать результаты зондирования. Такие работы необходимы при прокладке коммуникаций неглубокого залегания и микротоннелировании. Помимо выделения крупных геологических тел, данный метод позволяет обнаруживать и более мелкие включения, такие как ненанесённые на план коммуникации, валуны и т. д., которые могут приводить к поломкам оборудования при бестраншейном строительстве. Их своевременное обнаружение позволяет правильно спроектировать трассу и избежать аварий, приводящих к значительным затратам как финансов, так и времени.

Приведем пример успешного практического применения георадара при инженерно-геологических изысканиях перед ремонтом подпорной стены. Георадиолокационное зондирование было необходимо, т. к. при проведении буровых работ долото каждый раз упиралось в непреодолимое препятствие, что делало невозможным проведение геологических изысканий. Целью зондирования было определение природы препятствия, его простирания, параметров, а также изучение геологической среды под ним. Съёмка проводилась радаром USRadar Q5C с антенной 500 МГц. Фрагмент полученной радарограммы представлен на рисунке.



Фрагмент полученной радарограммы

Рассмотрим данный фрагмент. Справа, у самой поверхности, видим многочисленные гиперболы, местами сливающиеся в один отражающий слой. Это старое разбитое дорожное покрытие с подсыпкой, в связи с неровностями поверхности у антенны не было плотного контакта с поверхностью, вследствие чего изображение получилось «рваным». Далее при движении справа налево за 9 м отражающая граница постепенно уходит вниз. В реальности же она идет строго горизонтально, однако за 9 метром начинается насыпь, по которой радар тянули вверх и, расстояние до границы увеличивалось. Таким образом, удалось выяснить, что препятствием для бурения оказалось старое дорожное полотно, позднее погребённое под насыпью. Последующие радарные трассы позволили найти подходящие для бурения места и продолжить процесс инженерно-геологических изысканий.

Помимо этого, георадары активно используются для поиска и обследования подземных пустот и зон разуплотнений. Применяется это как на стадии изысканий и строительства, так и после введения объекта в эксплуатацию благодаря неинвазивному характеру работ. Такие исследования

позволяют своевременно обнаружить неблагоприятные геологические процессы и предотвратить образование провалов.

Перейдем к рассмотрению использования георадиолокации непосредственно в горных выработках. Основным направлением является зондирование впереди забоя перед проходческим щитом с целью контроля состояния геологической среды и выявления водяных линз, погребённых речных долин и иных неблагоприятных неоднородностей как природного, так и техногенного происхождения. Помимо этого, георадары также используются для обследования стен тоннелей на наличие трещин, пустот и контроля их толщины. Однако в этом случае необходимо использовать высокочастотные антенны (около 1,5 ГГц) [3].

Однако использование георадиолокации в забое значительно осложняется спецификой окружения. Окружающие стены и неровности создают множественные паразитные отражения, которые заглушают полезный сигнал. Способствуют этому и неровности поверхности, уменьшающие полезное излучение в грунт и увеличивающее паразитное излучение вбок. Также проблемой является обилие металлических конструкций и оборудования, вызывающего характерный «звон». Для решения вышеперечисленных проблем необходима дополнительная экранировка антенн, не всегда возможная из-за ограниченных габаритов. Для снижения влияния неровности поверхности и увеличения доли полезного излучения в грунт может использоваться подкладка из мягкого резистентного материала, наиболее доступным и при этом эффективным вариантом является поролон [4].

Однако существуют и другие сложности при проведении георадиолокационного зондирования. Существенным препятствием для импульсов радара являются влажные глинистые грунты из-за высокой скорости затухания сигнала, что объясняется их геофизическими особенностями. В таких условиях даже низкочастотные радары (менее 100 МГц) иногда не могут обеспечить глубину зондирования более 2 м [5]. Наибольшая же эффективность их работы достигается на сухих песчаных или монолитных грунтах. Однако, даже при наиболее неблагоприятных обстоятельствах возможно получить необходимую информацию используя сейсмоакустический метод, изучающий распространения упругих колебаний в грунте для выяснения его свойств и строения. При этом, за счет использования сейсмических, а не электромагнитных колебаний, данный метод имеет прямо противоположные свойства: показывает высокую эффективность при работе на влажных глинистых грунтах, но при этом малоэффективен на сухих песчаных грунтах или трещиноватых горных породах. Совместное же использование обоих методов позволяет получить максимум информации о геологическом строении грунта.

Таким образом, георадиолокация является эффективным инструментом для увеличения качества инженерно-геологических изысканий. Данный метод является недорогим и простым в эксплуатации, а неинвазивный характер проведения работ позволяет использовать его и на введенных в эксплуатацию объектах для мониторинга состояния геологической среды. Его грамотное применение в совокупности с другими геофизическими методами (в первую очередь, сейсмоакустическим) позволяет значительно снизить риски возникновения аварийных ситуаций, что обуславливает необходимость его дальнейшего внедрения в практику проведения инженерно-геологических изысканий.

Библиографические ссылки

1. Изюмов С. В., Дручинин С. В., Вознесенский А. С. Теория и методы георадиолокации : Учеб. пособие. Москва : Изд-во «Горная книга», Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2008. 196 с.
2. Annan A. P. Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures and Applications : Sensors and Software Inc., 2003. 278 p.
3. Изюмов С. В., Дручинин С. В., Круглов Н. А. Особенности применения георадаров ТР-ГЕО в тоннелях // Подземное пространство мира. 2003. № 3–4. С. 36–38.
4. Дручинин С. В., Изюмов С. В., Лернер В. Г. Особенности применения георадаров в тоннелях // Инженерное искусство в развитии цивилизации : Тр. Международ. науч.-практ. конф. Москва, 2003. С. 15–18.
5. Лещанский Ю. И., Лебедева Г. Л., Шумилин В. Д. Электрические параметры песчаного и глинистого фунтов в диапазоне сантиметровых, дециметровых и метровых волн // Изв. высш. уч. зав. Радиофизика. 1971. Т. 14, № 4. С. 562–569.

УДК 549.01+552.12

ПРОБЛЕМА СОВРЕМЕННОЙ ГЕОЛОГИИ: ГОРНАЯ ПОРОДА КАК ПРОСТРАНСТВО

Ю. Л. Войтеховский

*Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,
набережная реки Мойки, 48, 191186, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,
vojtehovskijj@herzen.spb.ru*

Статья посвящена понятию «горная порода». Тема важна, ибо земная кора сложена горными породами, образующими пространство. Отсутствие его общей структурной теории — упрек в адрес петрографии, подрывающий ее статус как фундаментальной дисциплины в системе наук о Земле. Понятие «горная порода» требует формализации, позволяющей строить математическую теорию. Предложена концепция кристаллической горной породы как топологического, толерантного, измеримого, метрического, вероятностного и коррелированного пространств.

Ключевые слова: петрография; кристаллическая горная порода; топологическое, толерантное, измеримое, метрическое, вероятностное и коррелированное пространства.

THE PROBLEM OF MODERN GEOLOGY: ROCK AS SPACE

Yu. L. Voytekhovsky

*A. I. Herzen Russian State Pedagogical University, 48, river Moika emb., 191186,
Saint Petersburg, Russian Federation, vojtehovskijj@herzen.spb.ru*

The article is devoted to the concept of «rock». The topic is important, for the Earth's crust is composed of rocks that form space. The absence of its general structural theory is a reproach to petrography, undermining its status as a fundamental discipline in the system of Earth sciences. The concept of «rock» requires formalization, allowing the construction of a mathematical theory. The concept of crystalline rock as a topological, tolerance, measurable, metric, probabilistic and correlated space is proposed.

Key words: petrography; crystalline rock; topological, tolerance, measurable, metric, probabilistic and correlated spaces.

Введение. Петрография — одна из важнейших дисциплин в системе наук о Земле. Тем более странно, что она не сформулировала теоретической концепции о горной породе, отставая в этом от минералогии (родившей кристаллографию) на полтора века. Но попытки были. К. Ф. Науманн сформулировал «закон агрегации минеральных индивидов» и концепцию «различных степеней агрегации» [1], признанные Н. И. Кокшаровым [2],

надолго забытые, но возвращенные в обиход Н. П. Юшкиным [3]. А. Харкер сожалел, что «петрология до сих пор не выработала никакой философской (структурной – Ю. В.) классификации горных пород <...> использованная ниже (генетическая – Ю. В.) систематика должна рассматриваться как одно из соглашений, а не как принцип» [4, с. 20]. Гениальный Е. С. Федоров, радикально преобразивший кристаллографию, не нашел подходящей концепции для горной породы [5], хотя для ее диагностики указал приоритет структуры над минеральным и химическим составами. Вероятно, дело в том, что этой концепции – топологического пространства – в математике того времени не было.

Множество. Что мы считаем элементами горной породы? Казалось бы, минеральные зерна. Но при больших увеличениях микроскопа мы видим их все больше. А еще есть замкнутые поры, в эффузивных горных породах – стекла, в осадочных – фоссилии... Видимо, следует принять презумпцию объективности: то, что мы видим – это и есть горная порода с определенными видами зерен и их контактами. А множество с определенными межэлементными отношениями – это пространство.

Пространство толерантности. В горных породах есть два межэлементных отношения между зернами: логическое (принадлежать одному виду) и пространственное (контактировать). По логическим свойствам (рефлексивность, симметричность, транзитивность, их отрицания и композиции) «принадлежать к одному виду» – эквивалентность, делящая горную породу на мономинеральные ассоциации, «не контактировать с другим» – толерантность, определяющая ее как пространство толерантности [6], «не контактировать с собой же» – эквивалентность, делящая горную породу на отдельные зерна. До сих пор лишь один отечественный геолог углублялся в логический анализ горной породы [7].

Топологическое пространство. Эта конструкция придумана, чтобы обосновать понятие непрерывности. Но общее определение применимо к любому множеству. На нем можно задать две крайние топологии – тривиальную и дискретную. Первая, когда множество (штуф горной породы) берется целиком, без различения частей. Вторая, когда мыслится множество всех его подмножеств (булеан, который является алгеброй). В этом случае минеральные зерна – база топологии. Эти конструкции петрографы используют, не подозревая. Определяют минералы под микроскопом – в базе. Объединяют зерна в любые ассоциации (парагенетические, мономинеральные) – в топологии. Важность этой логической конструкции поняли немногие геологи [8, 9]. Но вот вопрос: можно ли определить для горных пород содержательную топологию между указанными крайностями?

Измеримое пространство. Меры как вещественные, неотрицательные, монотонные и аддитивные функции задаются на элементах множества. В основании меры лежит конструкция, обозначенная выше, как алгебра. Уже поэтому без нее не обойтись. В петрографии меры применялись всегда: объемные и весовые доли минералов в штуфах, площади сечений в шлифах. Возможны не столь очевидные меры и даже полумеры (статистическая энтропия с полуаддитивностью, при этом термодинамическая энтропия – мера). В то же время, далеко не всякая численная характеристика есть мера вопреки употреблению слова «измерять».

Метрическое пространство. Метрика – синоним расстояния. Ее аксиомы (неотрицательность, симметричность и «неравенство треугольника») известны из школьного курса. Но определять расстояния между минеральными зернами в горной породе – совсем не то, что определять евклидово расстояние между точками. Между тем, подтасовка имеет место во всех автоматических анализаторах структур – зерно заменяется точкой внутри него (центром тяжести, точкой начала роста). Пример корректной метрики — минимальное число бинарных границ на непрерывном пути из одного зерна в другое. Очевидно, так определенное кратчайшее расстояние бывает не единственным. Горная порода с этой метрикой неевклидова! Минимаксная метрика Ф. Хаусдорфа позволяет определять расстояния между субагрегатами и даже несвязными ассоциациями минеральных индивидов. Метрики можно задать через меры, например, мера объединения минус мера пересечения агрегатов (под мерой можно понимать число зерен, их объемы, площади в шлифе). Минеральные зерна в горных породах контактируют по два (по поверхности), три (по ребру) и четыре (в точке) [10, 11]. Лишь для них все кратчайшие пути между индивидами лежат в агрегате. Ими исчерпывается список элементарных (с диаметром 1) сростков. В комбинаторной геометрии они называются выпуклыми [12]. Геометрия горной породы с разными метриками – огромное поле исследований.

Вероятностное пространство. Когда мы смотрим на горную породу в естественном залегании, то вполне понимаем, что в ее формировании на фоне закономерностей разного порядка сыграл роль и случай. И тогда все в ней — минеральное зерно этого вида в этой точке пространства, минеральные зерна этих видов в контакте – можно рассматривать с некоторой вероятностью. Здесь работают «пространственно распределенные случайные функции», известные также как «индикаторы».

Коррелированное пространство. Взяв ту или иную метрику и воспользовавшись индикаторами, можно рассчитать пространственные ковариограммы минеральных индивидов и их агрегатов в горной породе с по-

мощью индикаторного кригинга [13, 14]. Автором показана коррелируемость пироксенов и полевых шпатов не более, чем на две оболочки зерен, в норитах и габбро-норитах Федорово-Панских тундр [15]. Причина корреляций в магматических горных породах ясна. Растущие минералы обедняют ближайшую окрестность «своими» элементами, понижая здесь вероятность зарождения минералов своего вида и повышая – другого [16, с. 241]. Заметим следующее. Логическое отношение «не контактировать» выявило в горной породе пространство толерантности. В генетической схеме для минеральных зерен одного вида оно проявляется физически через пространственные корреляции.

Горная порода как автоморфизм. О геологических объектах, Г. Гегель сказал: «Внутренняя связь существует в настоящем как рядоположность; и она должна зависеть от свойств, от содержания самих этих образований. <...> Весь интерес заключается в том, что существует налично в этой системе различных образований. Это очень обширная эмпирическая наука. Всё в этом труппе не может быть охвачено понятием, ибо свою роль сыграл здесь случай» [17, с. 372–373]. Так что же такое горная порода как рядоположность минеральных индивидов разных видов, т. е. различных физически и логически природных образований? Мы приближаемся к определению, дающему петрографу в руки понятие, развиваемое в разных направлениях, в том числе в сторону строгих петрографических систематик и номенклатур.

Определение: горная порода — естественный автоморфизм минеральных видов, реализованный через контакты минеральных индивидов.

$$\{m_i\}_1^n \xrightarrow{P_{ijkl}} \{m_i\}_1^n$$

Поясним следующее. В n-минеральной горной породе возможны $n(n+1)/2$ разных межзерновых контактов. Через них минеральные виды «отображаются друг» в друга, а весь минеральный агрегат – в себя. Этот автоморфизм многозначный и цветной, т. к. минеральные зерна одного вида могут контактировать с зернами других видов. Каждый полиминеральный межзерновой контакт – «поверхность цветной симметрии». Это подсказывает идею, что корректно определенная в дальнейшем «петрографическая структура» должна быть инвариантом относительно цветных преобразований (перестановок, переименований) минеральных зерен в горной породе.

Заключение. Выше названы далеко не все математические конструкции, приложимые к горным породам. Даже их перечисление вывело бы нас за формат краткой статьи. Автор не утверждает, что предложенный

абрис теории – наилучший, хотя определение «горная порода – автоморфизм» не теряет ничего из того, что мы знаем о ней в понятии, до и безотносительно к генезису. В ретроспективе по-прежнему интересен вопрос, почему петрография отстала от минералогии в разработке своей теории (кристаллографии) на полтора столетия.

Библиографические ссылки

1. *Naumann C. F.* Elemente der Mineralogie. Leipzig : W. Engelmann, 1859.
2. *Кокшаров Н. И.* Лекции минералогии. СПб. : Имп. Акад. наук, 1863.
3. *Юшкин Н. П.* История минералогии и эволюция фундаментальных минералогических идей. Сыктывкар : КФ АН СССР, 1984.
4. *Harker A.* Petrology for students. An introduction to the study of rocks under the microscope. New York : MacMillan & Co, 1895.
5. *Федоров Е. С.* Основания петрографии. СПб. : Тип. П. П. Сойкина, 1897.
6. *Шрейдер Ю. А.* Равенство, сходство, порядок. Москва : Наука, 1971.
7. *Усманов Ф. А.* Основы математического анализа геологических структур. Ташкент : Изд. ФАН, 1977.
8. *Косыгин Ю. А., Соловьев В. А.* Статические динамические и ретроспективные системы в геологических исследованиях // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1969. № 6. С. 9–17.
9. *Белоусов А. Ф.* К общей концепции горной породы. Новосибирск : ИГиГ СО АН СССР, 1987.
10. *Салтыков С. А.* Стереометрическая металлография. Москва : Металлургия, 1970.
11. *Вернон Р. Х.* Метаморфические процессы. Реакции и развитие микроструктуры. Москва : Недра, 1980.
12. *Грюнбаум Б.* Этюды по комбинаторной геометрии и теории выпуклых тел. Москва : Наука, 1971.
13. *Rivoirard J.* Introduction to disjunctive kriging and non-linear geostatistics. Oxford : Clarendon Press, 1994.
14. *Armstrong M.* Basic linear geostatistic. Heidelberg : Springer Verlag, 1998.
15. *Voytekhovsky Yu. L., Fishman M. A.* Rock kriging with the microscope // Math. Geol. 2003. Vol. 35, No. 4. P. 451–458.
16. *Вистелиус А. Б.* Основы математической геологии. Ленинград : Наука, 1980.
17. *Гегель Г.* Энциклопедия философских наук. Т. 2. Философия природы. Москва : Мысль, 1975.

УДК 549.001.4

СИСТЕМА МИНЕРАЛОГИИ: КЛАССИФИКАЦИИ, ПРОСТРАНСТВА ТОЛЕРАНТНОСТИ, СТРУКТУРЫ

Ю. Л. Войтеховский

*Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,
наб. р. Мойки, 48, 191186, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,
vojtehovskij@herzen.spb.ru*

Система минералогии представима в разных стилях. Сегодня преобладают классификации минеральных видов с акцентом на кристаллической структуре или химическом составе минералов. Перспективны пространства толерантности, базирующиеся на отношениях частичного сходства их структур и химических составов. Наконец, возможны логические структуры с различными по смыслу отношениями порядка для минеральных видов и серий. Перспектива системы минералогии состоит в использовании разных подходов, дополняющих друг друга.

Ключевые слова: система минералогии; минеральный вид; минеральная серия; классификация; пространство толерантности; структура.

SYSTEM OF MINERALOGY: CLASSIFICATIONS, TOLERANCE SPACES, STRUCTURES

Yu. L. Voytekhovsky

*A. I. Herzen Russian State Pedagogical University, 48, river Moika emb., 191186,
Saint Petersburg, Russian Federation, vojtehovskij@herzen.spb.ru*

The system of mineralogy can be presented in different styles. Today, classifications of mineral species with emphasis on the crystalline structure or chemical composition of minerals prevail. Tolerance spaces based on relations of partial similarity of their structures and chemical compositions are promising. Finally, logical structures with different order relations for mineral species and series are possible. The perspective of the system of mineralogy consists in the use of different approaches complementing each other.

Key words: system of mineralogy; mineral species; mineral series; classification; tolerance space; structure.

Введение. Логически корректные представления природных систем – актуальная проблема геологии. Р. Декарт в «Рассуждении о методе» провозгласил анализ и синтез равноправными процедурами мышления. Дополнительные – да, равноправные – нет. История естественных наук показывает, что расчленение целого на части вплоть до элементов выполняется легче. Лишь в зрелом состоянии каждая наука в результате отбора

логических конструкций осознает свой предмет как систему с ясно определёнными отношениями. Минералогия – хороший пример.

Классификации. Уже на эмпирической стадии естественные науки систематизируют свои объекты. Определяя, мы отождествляем или различаем их, попадая в ловушку классификаций с рефлексивными, симметричными и транзитивными отношениями эквивалентности между элементами. Имеет место и обратное: всякая классификация порождает отношение эквивалентности «принадлежать одному классу» [1]. Обычно в естественных науках классификации строятся из «здравого смысла». Минералогия исповедует конституционный принцип, соединяя химический состав и (с открытием фёдоровских групп и рентгеновских методов) структуру минерала. Ряд авторов следует начать с Я. Берцелиуса (1814–1824), придавшего минералам химические формулы, и первых изданий «Системы минералогии» (Дэна и др., 1837, 1844, рус. 1951, 1953), продолжив современными (Бетехтин, 1950; Поваренных, 1966; Костов, 1971; Strunz, 1978; Годовиков, 1979; Семёнов, 1981; Херблат, Клейн, 1982; Берри и др., 1987; Clark, 1993; Bokij et al., 1994; Bulakh et al., 1995; Бокий, 1997; Anthony et al., 1997; Gaines et al. 1997; и др.)

Главное достоинство классификации – строгое различение понятий, обеспечивающее непротиворечивость мышления. Классификация может служить основанием для прогнозов (например, различных свойств минералов по химическому составу и структуре) или источником новых проблем (например, о природе «триклинной инверсии» и неравномерного распределения минеральных видов по пространственным группам симметрии). Отдавая должное виртуозам диагностики структур и химических составов минералов, открывателям новых минеральных видов и создателям их классификаций, заметим, что это – простейший способ представления системы минералогии. По сути, классификация скорее делит целое на части, чем создает его из частей. Ее границы непроницаемы. У ее разных классов – ничего общего.

Пространства толерантности. Система минералогии представима и как пространство толерантности с рефлексивным и симметричным отношением между элементами [1]. От классификации его отличает отсутствие транзитивности бинарного отношения по цепочке элементов. И это приводит к иному представлению. Толерантность называют частичным сходством из-за следующего примера. Пусть минералы А и Б сходны в том смысле, что содержат хотя бы один общий (структурообразующий) химический элемент, Б и В – тоже. Очевидно, А и В могут оказаться не сходными. По этому принципу в виде пространства толерантности представима система Я. Берцелиуса, основанная на химических составах минералов. Этот общий взгляд на химические соединения предложила

Н. Л. Смирнова [2]. Если под сходством понимать наличие общего химического элемента или принадлежность к одной пространственной группе, то все современные минералогические классификации легко преобразуются в пространства толерантности.

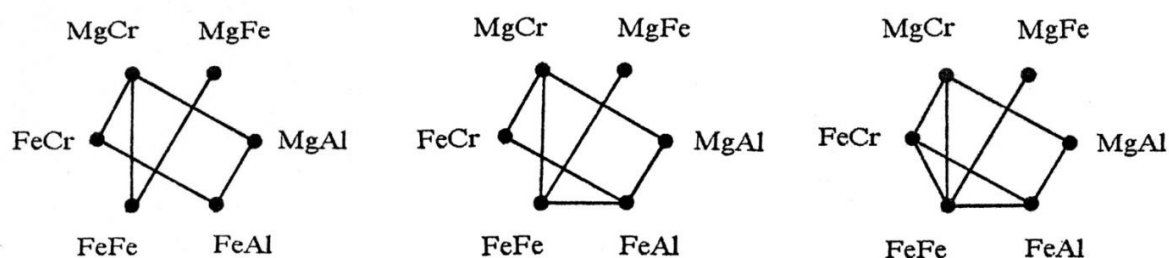
Как и классификации, пространства толерантности требуют строгого определения элементов – иначе нельзя установить их сходство или различие. Принципиальное отличие от классификаций — переходы от одного класса толерантности к другому через общие элементы. Любая классификация – вырожденный случай пространства толерантности, в котором классы не имеют общих элементов. Но если они есть, то связывают классы в систему. Говорят, что при этом «размываются» границы классификации, а мыслить систему, где элемент принадлежит нескольким классам, трудно. Но из чего следует, что мыслить природу должно быть просто?

Структуры. Наименее разработана идея о системе минералогии как структуре с одним из отношений порядка: транзитивного и антитранзитивного строгого; транзитивного, рефлексивного и антисимметричного нестрогого; транзитивного и рефлексивного квазипорядка [1]. В «Системе минералогии» «Сделаны следующие коренные нововведения: <...> новый способ рассмотрения минералов, образующих так называемые серии, заключающийся в описании серии как единого вида» [3, с. 9]. «Минералы, обнаруживающие непрерывное изменение своих свойств с изменением состава, называются серией и описываются здесь таким же образом, как и вид. В таких случаях естественной минералогической единицей является серия, т. к. то или иное её произвольное разделение не дает точного представления о частях серии. Плагноклазы и шпинели представляют собой примеры серий» [3, с. 13]. «Систематизация номенклатуры таким путем есть естественное выражение концепции изменчивости минерального состава, которая вытесняет старое понимание видов как определенных фаз в основном постоянного состава» [4, с. 7-8].

Сегодня есть средства для эффективного описания даже столь сложных минеральных серий как шпинелиды, гранаты, даже эвдиалиты. Смешимость природных шпинелидов показана на рисунке (слева) [5]. При синтезе выше 860 °С появляется непрерывный твердый раствор магнетит-герцинит (рис., в центре), а выше 1400 °С – магнетит-хромит (рис., справа) [6]. Серия, естественно, расширяется за счет ганита $ZnAl_2O_4$. Постепенно накапливаются данные о его твердых растворах с хромитом [7, 8], шпинелью и герцинитом [9]. Сюда же можно включить редкие бруногайерит $GeFe_2O_4$ и купрошпинель $CuFe_2O_4$ [10].

Теоретико-графовое представление обеспечивает фиксацию, анализ и сравнение даже самых сложных известных минеральных серий, причем не только относительно смешимости в парах, но также в триадах и более

сложных симплексах. Правила 50, 33.3 и 25 % [11, 12], делящие минеральные серии на куски – минеральные виды, представляются архаичными и нелогичными. Они опустили статус минерального вида с фундаментального до операционального. Система минералогии должна учитывать лишь естественные границы минеральных серий. Они и должны считаться минеральными видами. Эволюции минеральных серий в меняющихся условиях представимы как разрывы ребер и/или исчезновения вершин графов, а система минералогии – как структура с отношением нестрогого порядка по вложению графов друг в друга.



MgCr – пикрохромит, MgFe – магнезиоферрит, MgAl – шпинель, FeAl – герцинит, FeFe – магнетит, FeCr – хромит.

Смесимость шпинелидов

Работа [13] дает пример представления системы минералогии как структуры с лексикографическим упорядочением ранговых формул химических составов минералов. Последние определены как «последовательности символов химических элементов, расположенных в порядке снижения их атомных содержаний в его (минерала – Ю. В.) составе» [13, с. 5]. На первый взгляд — весьма формальное построение. Но алфавитом здесь является периодическая система элементов, что отличает R-словарь-каталог от любого другого минералогического словаря, составленного по орфографическому принципу. Легко видеть, что лексикографическое упорядочение есть отношение строгого порядка.

Заключение. Представления о системе минералогии постепенно становятся всё менее однозначными. Но это не означает утрату определённости. Все логические конструкции – классификации, пространства толерантности, структуры – строятся на ранее определенных понятиях минеральных видов и серий. Минеральные серии Дж. Дэна с большим основанием отвечают минералогическим первоэлементам, чем минеральные виды в современном понимании, и в будущем займут их место. Вовлечение в минералогия новых логических концепций предопределено ее потребностью к более глубокому самопознанию. Следует ли считать переход от классификаций к пространствам толерантности и структурам все

более содержательным? И нет, и да. Нет, в том смысле, что последующее представление не обязательно охватывает предыдущее. Классификация – частный случай пространства толерантности, но последнее – не частный случай структуры. Да, в том смысле, что каждое новое представление системы минералогии что-то добавляет в общую картину по логическим свойствам и минералогическим смыслам определяющих отношений. Перспектива минералогии состоит в согласовании разных представлений, дополняющих друг друга.

Библиографические ссылки

1. Шрейдер Ю. А. Равенство, сходство, порядок. Москва : Наука, 1971.
2. Смирнова Н. Л. О системе минералов. Уровни // Вест. МГУ. Сер. геол. 1979. № 2. С. 59–63.
3. Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондель К. Система минералогии. Т. I, п / том 1: элементы, сульфиды, сульфосоли. Москва : Изд-во ин. лит., 1950.
4. Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондель К. Система минералогии. Т. II, п / том 1: галоиды, карбонаты, нитраты, йодаты, бораты, сульфаты. Москва : Изд-во. ин. лит., 1953.
5. Соколов Г. А. Хромиты Урала, их состав, условия кристаллизации и закономерности распространения // Тр. ИГН АН СССР. Сер. руд. мест. Вып. 97. 1948.
6. Irvine T. N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Pt. 1. Theory // Can. J. Earth Sci. 1965. Vol. 6–7, №. 2. P. 648–672.
7. Осокин А. С. Об акцессорных Zn-содержащих хромитах // Новые данные по минералогии медно-никелевых и колчеданных руд Кольского п-ова. Апатиты : Изд-во КФ АН СССР, 1979. С. 89–96.
8. Weiser T. Zn- und V-führende Chromite von Outokumpu, Finland // Neues Jahrb. Miner. Monatsh. 1967. H. 7–8, S. 234–243.
9. Spry P. G., Scott S. D. The stability of Zn spinels in sulfide systems and their potential as exploration guides for metamorphosed massive sulfide deposits // Econ. Geol. 1986. Vol. 81. P. 1446–1463.
10. Бонштедт-Куплетская Э. М. Новые минералы – члены изоморфных рядов, структурные аналоги известных минералов // Изоморфизм в минералах. Москва : Наука, 1975. С. 15–20.
11. Никель Е. Х. Твёрдые растворы в номенклатуре минералов // Зап. ВМО. 1992. № 4. С. 89–92.
12. Никель Е. Х. Содержание понятия минерал // Зап. ВМО. 1995. № 4. С. 98–100.
13. Петров Т. Г., Краснова Н. И. Р-словарь-каталог химических составов минералов. СПб. : Наука, 2010.

УДК 502/504:624.131 (476)

О ГАРМОНИЗАЦИИ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ РОССИИ И БЕЛАРУСИ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ

А. Н. Галкин¹⁾, В. А. Королев²⁾

¹⁾Витебский государственный университет им. П. М. Машерова, пр. Московский, 33,
210038, г. Витебск, Беларусь, galkin-alexandr@yandex.ru

²⁾Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Ленинские горы, 1,
119991, г. Москва, Российская Федерация, va-korolev@bk.ru

В рамках программ создания Союзного государства анализируются вопросы гармонизации, стандартизации и совершенствования единой нормативной базы по инженерным изысканиям в России и Беларуси. В РФ действует развитая система стандартов проведения инженерных изысканий, опирающаяся на ряд ГОСТов, СП и иных нормативных документов, разработанных за последние тридцать лет. Ряд этих документов действует и на территории Беларуси, однако многие из них, в том числе нормативы по инженерно-экологическим и инженерно-геологическим изысканиям, не введены в совместное действие.

Ключевые слова: инженерные изыскания; инженерно-геологические изыскания; эколого-геологические изыскания; нормативы; ГОСТы; Союзное государство.

ON HARMONIZATION OF REGULATIVE DOCUMENTATION OF RUSSIA AND BELARUS ON ENGINEERING SURVEYS

A. N. Galkin¹⁾, V. A. Korolev²⁾

¹⁾Vitebsk State University named after P. M. Masherova, Moskovsky Ave., 33,
210038, Vitebsk, Belarus, galkin-alexandr@yandex.ru

²⁾Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1,
119991, Moscow, Russian Federation, va-korolev@bk.ru

As part of the Programs for creating the Union State, issues of harmonization, standardization and improvement of the unified regulatory framework for engineering surveys in Russia and Belarus are analyzed. The Russian Federation has a developed system of standards for conducting engineering surveys, based on a number of GOSTs, SPs and other regulatory documents developed over the past thirty years. A number of these documents are also valid on the territory of Belarus, but many of them, including standards for engineering-ecological and engineering-geological surveys, have not been put into joint effect.

Keywords: engineering surveys; engineering-geological surveys; environmental-geological surveys; standards; GOSTs; Union State.

Как известно современное строительство опирается на инженерные изыскания, проводимые по комплексу нормативных документов и обеспечивающих надежность проектирования и возведения инженерных сооружений. В рамках создания Союзного государства России и Беларуси среди прочих программ реализуются работы по созданию единой для государств нормативной базы, включая и единые нормативы инженерных изысканий.

Согласно Межгосударственным строительным нормам МСН 10-01-2012 «Система межгосударственных нормативных документов в строительстве. Основные положения», которые были приняты наряду с РФ и Беларусью еще рядом стран СНГ (Азербайджаном, Арменией, Казахстаном, Киргизией, Молдовой, Таджикистаном, Узбекистаном, Украиной), «Система межгосударственных нормативных документов» (СМНД) в строительстве представляет собой совокупность региональных нормативных документов государств-участников СНГ, совместно разработанных заинтересованными государствами в целях формирования единой для государств нормативной базы проектирования и строительства, отвечающей общим задачам обеспечения безопасности в государствах и развития экономического сотрудничества.

Межгосударственные нормативные документы СМНД определяют требования к объектам технического регулирования в строительстве на всех этапах их создания, эксплуатации или использования, исходя из общих целей технического регулирования в соответствии с назначением этих объектов.

Объектами технического регулирования в области строительства, требования к которым устанавливаются в нормативных документах СМНД, являются, в том числе, процессы инженерных изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации зданий и сооружений. В состав СМНД входят технические нормативные документы следующих видов: межгосударственные строительные нормы (МСН); межгосударственные своды правил по проектированию и строительству (МСП); межгосударственные стандарты (в области строительства, включая строительные материалы и изделия) (ГОСТ).

В РФ действует развитая система стандартов проведения инженерных изысканий, опирающаяся на ряд ГОСТов, СП и иных нормативных документов, разработанных в России за последние тридцать лет. Ряд из них по предложению Технического комитета по стандартизации ТК 465 «Строительство» был принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации в качестве межгосударственных стандартов для распространения их действия на территориях некоторых государств СНГ, включая Беларусь.

Из них наиболее важными являются Строительные правила (СП):

СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-91¹.

СП 502.1325800.2021. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ¹.

СП 438.1325800.2019. Инженерные изыскания при планировке территорий. Общие требования¹.

СП 2.6.1.2612–10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ–99/2010)¹.

А также ряд ГОСТов:

ГОСТ 21.301-2014. Система проектной документации для строительства. Основные требования к оформлению отчетной документации по инженерным изысканиям².

ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний².

ГОСТ. 24846-2019. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений³.

ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация⁴.

ГОСТ 20276.1-2020. Метод испытания штампом⁵.

ГОСТ 5180-215. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик⁵.

ГОСТ 10650-2013. Торф. Методы определения степени разложения⁶.

ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости⁷.

ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава⁸.

ГОСТ 17.1.3.06–82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод⁹.

ГОСТ 17.1.3.07–82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков⁹.

ГОСТ 17.4.1.02–83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения⁹.

ГОСТ 17.4.2.02–83 Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей пригодности нарушенного плодородного слоя почв для землевания⁹.

ГОСТ 17.4.3.01–2017. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб⁸.

¹ Действует на территории Российской Федерации (РФ).

² Действует на территории РФ, Азербайджана, Армении, Киргизии, Молдавии, Узбекистана, Украины.

³ Действует на территории Армении, Беларуси, Казахстана, Киргизии, РФ.

⁴ Действует на территории Армении, Беларуси, Киргизии, РФ.

⁵ Действует на территории Армении, Беларуси, Киргизии, РФ, Казахстана и Таджикистана.

⁶ Действует на территории Киргизии, РФ и Узбекистана.

⁷ Действует на территории Армении, Казахстана, Киргизии Молдовы, РФ, Узбекистана, Таджикистана.

⁸ Действует на территории Азербайджана, Армении, Беларуси, Казахстана, Киргизии, РФ, Узбекистана, Украины.

⁹ Принят для республик СССР.

ГОСТ 17.4.3.03–85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ⁹.

ГОСТ 17.4.3.04–85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения⁹.

ГОСТ Р 58556–2019. Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций¹.

Как видно из этого перечня, ряд нормативных документов действует и в России, и на территории Беларуси, однако многие из них, в том числе важнейшие нормативы по инженерно-экологическим и инженерно-геологическим изысканиям (СП 47.13330.2016, СП 502.1325800.2021, СП 438.1325800.2019), не введены в совместное действие. В основе создания нормативной базы Беларуси лежит Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» от 26 ноября 1992 г. № 1982-XII [1].

Необходимо добавить, что в Беларуси вместо СП по инженерно-экологическим изысканиям и инженерно-геологическим изысканиям действуют: ТКП 45-1.02-253-2012 (02250). «Инженерно-геоэкологические изыскания для строительства. Правила проведения». Однако содержание этого документа не является удовлетворительным с точки зрения обеспечения правил проведения инженерно-экологических изысканий. В России нет такого вида изысканий как «инженерно-геоэкологические» [2]. Тем не менее, этот документ определяет требования к составу, порядку проведения, форме представления результатов изыскательских работ по *оценке состояния компонентов природной среды* при градостроительном проектировании, на различных стадиях строительства объектов планируемой хозяйственной и иной деятельности, т. е. является нормами инженерно-экологических изысканий.

Также имеется ряд других аналогичных нормативных документов: ТКП 45.2-03-134-2009 (02250) «Порядок обследования и критерии оценки радиационной безопасности строительных площадок, зданий и сооружений»; ТКП 45-3-01-284-2014 (02250) «Градостроительство. Градостроительный проект детального планирования. Состав и порядок разработки»; ТКП 45-3.01-286-2014 (02250) «Градостроительство. Градостроительный проект общего планирования. Генеральный план населенных пунктов. Состав и порядок разработки»; ТКП 45-1.02-295-2014 «Строительство. Проектная документация. Состав и содержание»; ТКП 45-1.02-295-2014 «Строительство. Проектная документация. Состав и содержание»; ТКП 45-5.01-254-2011 (02250) «Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования»; ТКП 45-5.01-255-2011 (02250) «Основания и фундаменты зданий и сооружений. Защита подземных сооружений от воздействия грунтовых вод. Правила проектирования и устройства»; ТКП 45-5.01-256-2011 (02250) «Основания и фундаменты зданий и

сооружений. Забивные сваи. Правила проектирования и устройства»; ТКП 45-2.03-134-2009 (02250). «Порядок обследования и критерии оценки радиационной безопасности строительных площадок, зданий и сооружений»; ТКП 17.12-05-2014 (02120). «Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Правила разработки и обустройства зеленых маршрутов и их частей – экологических троп, в том числе на особо охраняемых природных территориях».

Кроме того, Беларусь опирается на ряд документов в рамках Строительных норм Республики Беларусь (СНБ): СНБ 1.02.01-2019. «Инженерные изыскания для строительства»; СНБ 1.03.02-2019. «Строительные нормы Республики Беларусь состав, порядок разработки и согласования проектной документации в строительстве»; СНБ 3.01.01-2019. «Состав, порядок разработки и согласования градостроительных проектов»; СНБ 1.03.02-2019. «Геодезические работы в строительстве. Основные положения» и др.

О проблемах совершенствования нормативной базы инженерных изысканий в Беларуси писали многие авторы [2]. Однако вопросы гармонизации нормативов РФ и Беларуси почти не анализировались и остаются нерешенными. Таким образом, для целей создания единой нормативной системы России и Беларуси необходимо реализовать большой объем работ по гармонизации уже имеющихся документов, их сближения и объединения.

Библиографические ссылки

1. Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» от 26 нояб. 1992 г. № 1982-ХІІ.
2. Кузьмин С. И., Воробьев Д. С., Давыдик Е. Е. Геоэкологические исследования при проектировании и строительстве объектов в Республике Беларусь // Современные проблемы ландшафтоведения и экологии : Материалы VI Международ. науч. конф. (к 110-летию со дня рожд. проф. В. А. Дементьева) / Под ред. А. Н. Витченко, Минск, 13–16 нояб. 2018 г. Минск : БГУ, 2018. С. 206–208.

УДК 502/504:624.131 (476)

О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ МАССИВОВ ТОРФЯНЫХ ГРУНТОВ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ

А. Н. Галкин¹⁾, В. А. Королев²⁾

¹⁾*Витебский государственный университет им. П. М. Машерова, пр. Московский, 33,
210038, г. Витебск, Беларусь, galkin-alexandr@yandex.ru*

²⁾*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Ленинские горы, 1,
119991, г. Москва, Российская Федерация, va-korolev@bk.ru*

Рассмотрены вопросы проведения инженерно-экологических изысканий на массивах торфяных грунтов, широко распространенных как в Беларуси, так и в России. Отмечено, что при инженерно-экологических изысканиях на торфяных массивах необходимо исходить из особой структуры и особенностей эколого-геологических систем (ЭГС), формирующихся на данных массивах, которые образуют литогенную основу этих систем. Поэтому инженерно-экологические изыскания, проводимые на торфяных массивах в соответствии с нормативными документами, должны осуществляться с учетом выявленных специфических особенностей состава и структуры формирующихся на них ЭГС, их абиотических и биотических компонентов.

Ключевые слова: торф; эколого-геологическая система; литотоп; гидротоп; эдафотоп; микробоценоз; фитоценоз; зооценоз; инженерно-экологические изыскания.

ON THE NECESSITY TO CONSIDER THE FEATURES OF ECOLOGICAL-GEOLOGICAL SYSTEMS OF PEAT SOILS DURING ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL SURVEYS

A. N. Galkin¹⁾, V. A. Korolev²⁾

¹⁾*Vitebsk State University named after P. M. Masherova, Moskovsky Ave., 33,
210038, Vitebsk, Belarus, galkin-alexandr@yandex.ru*

²⁾*Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1,
119991, Moscow, Russian Federation, va-korolev@bk.ru*

The paper examines the issues of conducting engineering and environmental surveys on peat soils, which are widespread both in Belarus and in many regions of Russia. It is noted that during engineering and environmental surveys on peat massifs, it is necessary to proceed from the special structure and characteristics of the ecological-geological systems (EGS) formed on these massifs, which form the lithogenic basis of these systems. Therefore, engineering and environmental surveys carried out on peat massifs in accordance with regulatory documents must be carried out considering the identified specific features of the composition and structure of the EGS formed on them, their abiotic and biotic components.

Keywords: peat, ecological-geological system; lithotope; hydrotone; edaphotope; microbiocenosis; phytocenosis; zoocenosis; engineering and environmental research.

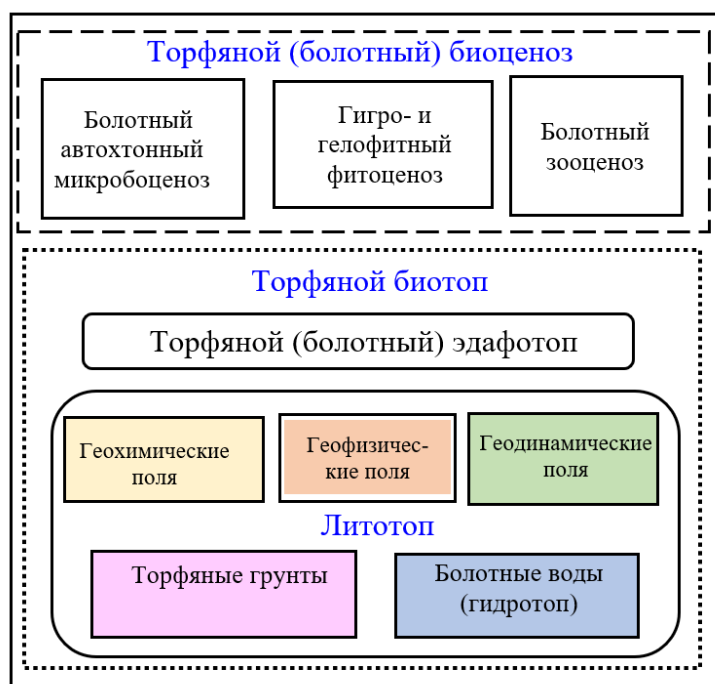
При инженерно-экологических изысканиях, проводимых в соответствии с нормативными документами, на любом этапе (стадии) изучения анализируется система геологических объектов, влияющих на состояние экологической обстановки. К таким объектам относятся массивы или толщи грунтов, отличающиеся друг от друга генезисом, вещественным составом, структурой и присущими им геохимическими, геодинамическими и геофизическими полями. В ряду таких грунтовых толщ на территории Беларуси особое место занимают природные торфяные массивы, которые чаще всего являются составляющей болотных экосистем. В последних выделяются так называемые эколого-геологические системы (ЭГС), литогенная основа которых представлена специфическим литотопом – массивами торфяных грунтов. При инженерно-экологических изысканиях на таких массивах необходимо учитывать особенности данных ЭГС. Однако эти вопросы остаются пока слабо разработанными и не отражаются в действующих нормативных документах, как в ТКП 45-1.02-253-2012 (02250)¹⁰ «Инженерно-геоэкологические изыскания для строительства. Правила проведения» [1], так и в СП 502.1325800.2021¹¹ «Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» [2]. Поэтому *целью* настоящей работы является анализ особенностей поведения инженерно-экологических изысканий на массивах торфяных грунтов, являющихся частью эколого-геологических систем.

Как отмечалось рядом авторов [3], при составлении документов территориального планирования необходимо учитывать наличие массивов торфяных грунтов, в частности на заболоченных территориях должны проводиться исследования по сохранению водного баланса, связанного с питанием поверхностных и подземных вод, их химического состава, окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий. При этом болота могут выполнять как благоприятную, так и не благоприятную экологическую роль. Освоение заболоченных территорий на основе инженерно-геологических и эколого-геологических изысканий проводится в нескольких вариантах [3]: 1) осушение торфяных массивов; 2) их удаление; 3) инженерная подготовка территории для конкретного вида строительства. Для анализа указанных особенностей изысканий необходимо иметь ввиду структуру и специфические черты эколого-геологических систем массивов торфяных грунтов.

¹⁰ Действует на территории Беларуси.

¹¹ Действует на территории России.

Структура природных ЭГС массивов торфяных грунтов включает в себя два основных блока (рисунок): 1) торфяной биотоп и 2) торфяной биоценоз. Торфяной биотоп в свою очередь состоит из *литотопа* – литогенной основы всей ЭГС, включающий в себя собственно *массив торфяных грунтов*, а также развитые в его пределах *геохимические, геофизические и геодинамические поля* и *гидротоп*, представленный болотными подземными водами. Кроме того, в торфяной биотоп может входить также и торфяной *эдафотоп*. Но в ряде случаев он может отсутствовать, если почвообразовательный процесс еще не получил своего должного развития.



Структура эколого-геологической системы массива торфяных грунтов

Следует подчеркнуть, что все указанные компоненты ЭГС массивов торфяных грунтов представляют собой единое целое и функционируют как система. При этом ведущая роль в формировании экологических функций такой ЭГС отводится ее литотопу.

Как известно, выделяется три основных типа болот и соответствующих им торфяных массивов: верховых (олиготрофных), переходных (мезотрофных) и низинных (эвтрофных). Каждый из этих массивов обладает специфическим составом, строением и свойствами, а также развивающимися на них эдафотопами, микро-, фито- и зооценозами. С учетом основных особенностей ЭГС массивов торфяных грунтов нами была разработана их классификация, согласно которой выделяется три типа литотопа, представленных массивами верхового, переходного и низинного

торфа. Они, в свою очередь, позволяют выделить и три типа соответствующих ЭГС на этих массивах.

Среди особенностей ЭГС, характерных для массивов торфяных грунтов и их компонентов, которые необходимо учитывать при инженерно-экологических изысканиях, выделяются следующие.

1. Широкое распространение торфяных грунтов, как в Беларуси, так и в России. В Беларуси их общая площадь составляет около 24 тыс. км² или около 11,5 % всей территории страны. Заболоченность в отдельных районах России превышает 90–95 % территории, всего же в России площади массивов торфяных грунтов (с мощностью торфа свыше 30 см) составляют 1,39 млн км² или 8,1 % территории РФ.

2. Массивы торфяных грунтов характеризуются болотным генезисом и молодым (позднеплейстоцен-голоценовым) возрастом [4].

3. Торфяные грунты имеют свои специфические особенности в вещественном составе, строении и свойствах. Они относятся к слабым в инженерно-геологическом отношении специфическим органо-минеральным и органическим грунтам (ГОСТ 25100-2020)¹² [5].

4. Эдафотопы в составе рассматриваемых ЭГС также специфичны: для верховых торфяных массивов — это болотно-торфяно-глеевые и болотно-верховые торфяные почвы; для мезотрофных массивов — переходные почвы; для низинных торфяников — низинные обедненные торфяно-глеевые, низинные типичные торфяные, низинные типичные торфяно-глеевые и обедненные низинные торфяные почвы.

5. Микробоценозы трех рассматриваемых типов массивов торфяных грунтов также имеют свои специфические особенности: для верховых характерны аэробные микробные сообщества, для переходных — смешанные, а для низинных — преимущественно анаэробные. При этом следует заметить, что в современных нормативных документах по инженерно-экологическим изысканиям, как в РФ, так и в Беларуси изучение микробных сообществ, к сожалению, не регламентируется. Тем не менее, микробоценозы ЭГС массивов торфяных грунтов представляют собой их важнейший компонент. Поэтому при инженерно-экологических изысканиях и исследовании микробоценоза ЭГС массивов торфяных грунтов необходимо исходить из различий в видовом и количественном составе микробных сообществ, формирующихся в низинных, переходных или верховых торфах.

6. Фитоценозы, развивающиеся на указанных трех типах массивов торфяных грунтов, также существенно отличаются друг от друга: для верховых характерны преимущественно гигрофитные растительные сообще-

¹² Действует на территории РФ и Беларуси.

ства, не требовательные к богатству питательных веществ, для переходных – смешанные, а для низинных — преимущественно гелофитные фитоценозы.

7. Зооценозы торфяных массивов, связанные с соответствующими микробо- и фитоценозами, также приобрели специфические черты: для массивов верховых торфов характерны гигрофильные обедненные зооценозы, для мезофильных – смешанные, а для низинных – наиболее богатые в видовом и количественном отношении зооценозы.

Все отмеченные выше характерные черты ЭГС массивов торфяных грунтов необходимо учитывать при проведении инженерно-экологических изысканий. Выполненный анализ позволяет сделать выводы.

1. Инженерно-экологические изыскания, проводимые на массивах торфяных грунтов, должны осуществляться с учетом специфических особенностей состава и структуры формирующихся на них эколого-геологических систем, их абиотических и биотических компонентов.

2. Эколого-геологические системы, формирующиеся на массивах торфяных грунтов, и их компоненты обладают характерными особенностями, которые в основном обусловлены их специфическими литотопами, представленными различными торфяными грунтами.

3. В рамках создания Союзного государства и программы совершенствования стандартизации при обновлении нормативных документов по инженерно-экологическим изысканиям, в частности ТКП 45-1.02-253-2012 (02250) и СП 502.1325800.2021 и других, необходимо внести дополнения по учету специфики различных ЭГС, исследовании микробоценозов, поскольку микробные сообщества существенно влияют на все компоненты эколого-геологических систем и могут являться их надежными биоиндикаторами.

Библиографические ссылки

1. ТКП 45-1.02-253-2012 (02250). Инженерно-геоэкологические изыскания для строительства. Правила проведения. Минск : Минстройархитектуры, 2012.

2. СП 502.1325800.2021. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. Москва : Рос. ин-т стандартизации, 2021.

3. *Дашко Р. Э., Карпенко А. Г.* К вопросу о необходимости изучения влияния болот как биогеоценозов на изменение инженерно-геологических условий // Инженерная геология. 2021. Т. XVI, № 2. С. 32–41.

4. *Галкин А. Н.* Инженерная геология Беларуси. Часть 1. Грунты Беларуси / Под ред. В. А. Королева. Витебск : Изд-во ВГУ имени П. М. Машерова, 2016.

5. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. Москва : Стандартинформ, 2020.

УДК 551.24 +528.85(476)

ПОИСКИ ГЛУБИННОЙ НЕФТИ В ПРИПЯТСКОМ ПРОГИБЕ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГЕОФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИХ СТРУКТУР

В. Н. Губин

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

В результате комплексной интерпретации данных дистанционного зондирования Земли из космоса и геолого-геофизической информации достигается возможность картирования геофлюидодинамических структур разгрузки глубинных углеводородов в осадочном чехле Припятского прогиба. Это позволяет в пределах отдельных площадей нефтегазоносного бассейна выявить нефтеперспективные объекты, и тем самым способствует проведению поисковых работ на нефть.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли; геофлюидодинамические структуры; мантийные разломы; кольцевые структуры; миграция углеводородных флюидов; нефтеперспективные объекты.

THE SEARCH FOR DEEP OIL IN THE PRIPYAT TROUGH BASED ON REMOTE SENSING OF GEOFLUIDODYNAMIC STRUCTURES

V. N. Gubin

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4,
220030, Minsk, Belarus, vngubin@mail.ru*

As a result of a comprehensive interpretation of the Earth's remote sensing data from space and geological and geophysical information, it is possible to map the geofluidodynamic structures of unloading deep coal deposits in the sedimentary cover of the Pripyat trough. This makes it possible to identify oil-promising objects within the boundaries of separate areas of the oil and gas basin and thereby facilitates oil prospecting.

Keywords: remote sensing of the Earth; geofluidodynamic structures; mantle faults; ring structures; migration of hydrocarbon fluids; oil-prospective objects.

На современном этапе поисков глубинной нефти в осадочных бассейнах особое внимание уделяется выявлению связи нефтегазоносности недр с мантийными очагами генерации углеводородов (УВ) и зонами их локализованной разгрузки в земной коре [1–3]. В развитии неорганического направления в нефтяной геологии важную роль играют научно обоснованные выводы выдающегося ученого XX в.

Н. А. Кудрявцева о мантийнодегазационном генезисе нефти и роли глубинных разломов в вертикальной миграции УВ-флюидов в осадочный чехол и образовании нефтегазовых месторождений [4]. Придерживаясь актуальной в настоящее время научной точки зрения Н. А. Кудрявцева поиски залежей УВ в нефтегазоносных бассейнах, в том числе в пределах Припятского прогиба, весьма перспективно вести в зонах глубинных (мантийных) разломов и прилегающих к ним кольцевых структурах земной коры.

Припятский прогиб, расположенный на западе Восточно-Европейской платформы, образовался в результате литрического раскалывания земной коры под воздействием процессов рифтогенеза на герцинском этапе. В это время геодинамическая обстановка растяжения палеорифтового бассейна сопровождалась формированием литрических разломов земной коры мантийного заложения и интенсивным проявлением магматизма [5, 6]. Геодинамический режим рифтовой стадии определил благоприятные условия для вертикальной миграции УВ-флюидов из верхней мантии в осадочный чехол и образования залежей нефти.

В Припятском прогибе ведущую роль в восходящей миграции мантийных УВ играют геофлюидодинамические структуры. Они представляют собой активные на неотектоническом этапе (от позднего олигоцена, около 30 млн лет назад, до настоящего времени) глубинные разломы и кольцевые структуры, образующие проницаемые каналы для разгрузки мантийных флюидопотоков в осадочную толщу земной коры и формирования зон нефтегазонакопления и месторождений нефти в девонских и верхнепротерозойских отложениях.

Геофлюидодинамические структуры обнаруживают также связь с разломами, блоковыми, блоково-пликативными и пликативными структурами нефтеносных комплексов верхнедевонской толщи осадочного чехла и контролируют как известные нефтяные месторождения, так и перспективные на залежи УВ участки и объекты.

На основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса и сейсморазведки достигается возможность выявления пространственных закономерностей распределения геофлюидодинамических структур. Разломы мантийного заложения и кольцевые структуры земной коры, испытывающие новейшую активизацию в позднеолигоценчетвертичное время, отражаются на земной поверхности и дешифрируются на космических снимках (КС) в виде линейно ориентированных и дугообразных линеаментов [2, 7].

При поисках глубинной нефти в Припятском прогибе особое внимание следует уделять флюидално-газовой активизации мантийных разломов. В позднеолигоцен-четвертичное время, как и на предшествующих

этапах развития прогиба, высокой тектонической активностью отличались региональные разломы мантийного заложения: Речицко-Вишанский и Червонослободско-Малодушинский. Примыкающие к мантийным разломам кольцевые структуры земной коры обнаруживают связь с каналами разгрузки мантийных флюидопотоков в осадочный чехол и размещением залежей нефти.

В пределах Речицко-Вишанского и Червонослободско-Малодушинского мантийных разломов суммарные амплитуды неотектонических деформаций достигают порядка 120 м. Зоны линейных приразломных поднятий отличаются высокими градиентами современных вертикальных движений земной коры. По данным повторного высокоточного нивелирования подобные деформации здесь составляют до 25–30 мм/год, что на порядок выше региональных вертикальных перемещений земной поверхности на территории Припятского прогиба в целом. Новейшая активизация глубинных разломов отражается повышенными значениями геотермического поля осадочного чехла, обусловленных подтоком глубинного тепла из высокотемпературных очагов верхней мантии и оказывающим влияние на тепловой режим Припятского прогиба.

Глубинные разломы определили характер нефтегазоносности Северного структурного ареала Припятского прогиба. Так, с Речицко-Вишанским разломом мантийного заложения сопряжена одноименная зона нефтегазонакопления, включающая Речицкое, Осташковичское, Тишковское, Вишанское и другие промышленные месторождения нефти. В пределах промежуточного блока Речицко-Вишанского разлома открыто Угольское месторождение нефти, содержащее тектонически экранированную залежь в семилукском горизонте подсолевых отложений верхнего девона на глубине 5,2 км.

В пределах Речицкого месторождения нефти проведены геофлюидодинамические исследования, позволившие по результатам оценки современных вертикальных движений земной коры выделить активную геодинамическую зону разгрузки мантийных флюидопотоков в осадочный чехол. Рассматриваемая зона земной коры, дешифрируемая также на КС, приурочена к кентрогенной структуре – узлу пересечения Речицкого разлома с разрывным нарушением северо-восточного простирания, выраженным в кристаллическом фундаменте. Геодинамическая зона, по-видимому, является основным проводником флюидных систем из фундамента и более глубоких горизонтов земной коры в осадочную толщу.

При поисках глубинной нефти в Припятском прогибе важное значение приобретает выяснение геофлюидодинамических особенностей Полесской кольцевой структуры диаметром около 260 км. Следует отметить,

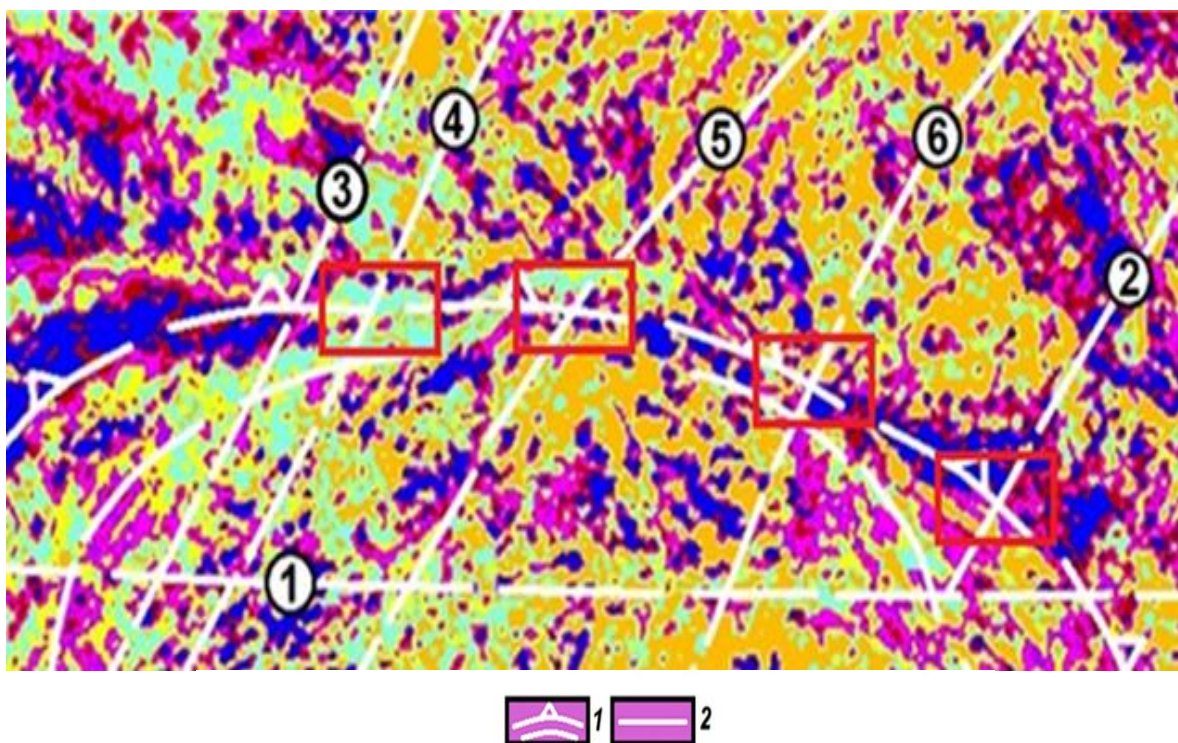
что сходные по размерам и геологической природе подобного типа кольцевые мегаструктуры в пределах нефтегазоносных бассейнов создают благоприятные условия для миграции глубинных УВ-флюидов в верхнюю часть земной коры и формирования залежей нефти. Еще в 1870-х гг. Д. И. Менделеев – химик, геолог и нефтяник, придерживаясь неорганической теории происхождения нефти, обратил внимание на размещение нефтяных месторождений «по дугам больших кругов, отображающих линии разломов».

Северный сегмент Полесской кольцевой структуры охватывает Южный структурный ареал Припятского прогиба. Существующие в пределах северного сегмента зоны разуплотнения, дешифрируемые на КС в виде дугообразных линеаментов, по аналогии с мантийными разломами, возможно, насыщены УВ-флюидами. Это позволяет предположить, что северный сегмент мегаструктуры контролирует размещение залежей нефти.

Потенциально перспективными в нефтегазоносном отношении являются участки пересечения северного сегмента Полесской кольцевой структуры Малыньско-Туровским, Пержанско-Симоновичским, Первомайско-Заозерным и Лоевским разломами (рисунок).

Такие участки земной коры, или кентрогенные структуры, характеризующиеся повышенной трещиноватостью осадочного чехла и кристаллического фундамента, а также контрастностью проявления новейших тектонических движений, создают благоприятные геофлюидодинамические условия для восходящей циркуляции глубинных УВ и формирования залежей нефти. При этом возникают максимальные напряжения в литосферном пространстве и происходит интенсивная вертикальная миграция УВ-флюидов из верхней мантии в консолидируемую часть земной коры и осадочную толщу.

К неотектонически активным глубинным разломам и зонам нефтегазонакопления тяготеют кольцевые структуры тектоногенной природы диаметром от 2–3 до 15 км. Кольцевые объекты локального уровня нередко осложнены системами линеаментов — индикаторов повышенной трещиноватости отдельных участков нефтеносных структур, создающих благоприятные условия для вертикальной миграции УВ-флюидов из верхней мантии в земную кору и контролирующих формирование в осадочном чехле залежей нефти.



1 – дугообразные линеаменты Полесской мегаструктуры, 2 – линеаменты, отражающие неотектонически активные глубинные разломы (цифры в кружках): 1 – Южно-Припятский; 2 – Лоевский; 3 – Микашевичский; 4 – Малыньско-Туровский; 5 – Пержанско-Симоновичский; 6 – Первомайско-Заозерный; нефтеперспективные участки (оконалированы красными линиями)

Космоструктурная карта северного сегмента Полесской кольцевой мегаструктуры

Таким образом, инновационной технологией прогноза нефтегазоносности Припятского прогиба является картирование геофлюидодинамических структур разгрузки глубинных УВ в осадочном чехле на основе комплексного анализа данных ДЗЗ из космоса и геолого-геофизической информации. При этом достигается возможность выявления пространственных закономерностей распределения глубинных разломов и кольцевых структур, образующих проницаемые каналы для разгрузки мантийных флюидопотоков в осадочную толщу земной коры и формирования зон нефтегазонакопления и месторождений нефти.

Библиографические ссылки

1. Грибик Я. Г. Связь нефтеносности Припятского прогиба с глубинным геологическим строением // Докл. НАН Беларуси. 2004. Т. 8, № 5. С. 87– 69.
2. Губин В. Н. Новейшая активность и флюидодинамика глубинных разломов Припятского прогиба // Вестн. БГУ. 2016. Сер. 2, № 3. С. 113–117.
3. Тимурзиев А. И., Шумейкин С. А., Шумейкин А. С. Методы и технологии оценки перспектив нефтегазоносности территорий на основе комплексного анализа

потенциальных полей, данных сейсморазведки, топогеодезической и космической съемки // Электрон. журн. «Глубинная нефть». 2014. Т. 2, № 3. С. 307–340.

4. *Кудрявцев Н. А.* Генезис нефти и газа. Ленинград : Недра, 1973.

5. *Айзберг Р. Е., Старчик Т. А.* Синрифтовая геодинамика Припятского прогиба. Минск : Беларус. навука, 2013.

6. *Гарецкий Р. Г., Клушин С. В.* Листрические разломы в Припятском палеорифте // Геотектоника. 1989. № 1. С. 48–60.

7. *Гридин В. И., Дмитриевский А. Н.* Системно-аэрокосмическое изучение нефтегазоносных территорий. Москва : Наука, 1994.

УДК: 55(476)

АНАЛИЗ БУРОВОЙ ИЗУЧЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Т. А. Жидкова

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

В статье приведен пример построения геологических профилей территории Минской области Республики Беларусь для разработки и сопровождения ГИС-проектов, отражающих буровую изученность территории с последующей количественной интерпретацией полученных данных.

Ключевые слова: геологические профили; четвертичные отложения; буровая изученность; Минская область; Беларусь.

ANALYSIS OF THE DRILLING STUDY OF THE TERRITORY OF THE MINSK REGION FOR CARRYING OUT GEOLOGICAL SURVEY WORK OF A NEW GENERATION

T. A. Zhydkova

*Belorussian State University, Nezavisimosti Ave., 4,
220030, Minsk, Belarus, tazhydkova@gmail.com*

The article provides an example of building profiles of the geological study of the territory of the Minsk region of the Republic of Belarus for the development and maintenance of GIS projects reflecting the drilling study of the territory with subsequent quantitative interpretation of the data obtained.

Keywords: geological profiles; quaternary deposits; drilling study; Minsk region; Belarus

Буровая изученность является важной составляющей в различных направлениях геологического изучения территории: от планирования и проведения геологоразведочных работ, до прогнозных исследований и геологического моделирования.

Причем немаловажной *качественной* составляющей при исследованиях является использование корректного массива пространственных данных, дающего представление о положении объектов (буровых скважин, линий профилей и др.). Расчет же *количественных характеристик*, таких как плотность бурения, изучение суммарной глубины скважин к

площади исследуемой территории, а также плотность расположения профилей позволяет выявить степень геологической изученности территории и спрогнозировать дальнейшие направления для изысканий [1].

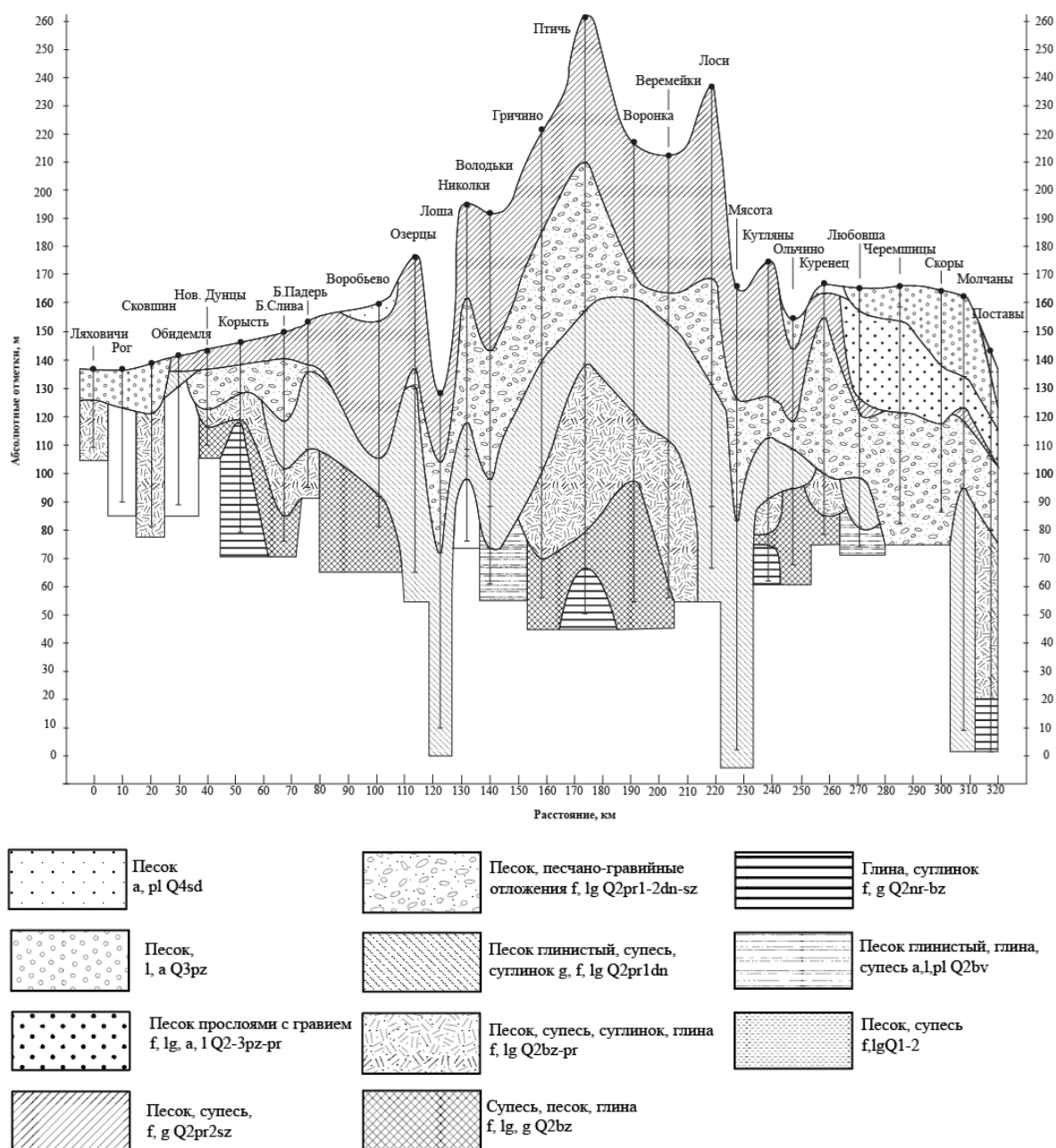
Целью проводимых исследований стало составление геологических профилей Минской области, как основы для прогнозирования полезных ископаемых региона, а также обеспечения различных отраслей промышленности и сельского хозяйства геологической информацией для решения вопросов в области строительства, мелиорации, экологии и др.

Скважины, использованные для построения геологических профилей, были пробурены в разные годы, начиная с послевоенных лет и до настоящего времени как с отбором кернового материала, так и сплошным забоем, когда тип горной породы определяли по шламу. Вследствие этого детальность документирования геологических разрезов, их литолого-минералогического строения неодинакова. Встречаются описания пород, слагающих разрез, без тщательного разделения кровли и подошвы напластования различных, прежде всего – его маломощных слоев, что влияло на надежность проведения разделяющих их границ и, в определенной мере – их стратиграфического описания [2, 3].

Примером выполненных работ может служить описание меридионального профиля, при построении которого учитывались данные по 27 скважинам, расположенных в Мядельском, Вилейском, Молодечненском, Минском, Дзержинском, Узденском, Слуцком и Солигорском районах Минской обл. (рисунок). Протяженность профиля – 320 км. Расстояние между скважинами варьировало от 7,2 до 25,9 км, абсолютные отметки устьев – 178,5–261,8 м.

Отличительной особенностью профиля является четкое доминирование разновозрастных групп отложений в его северной и центральной частях, а также различие в суммарных мощностях четвертичных отложений в целом по профилю [3, 4].

Суммарная мощность отложений в северной части профиля (скв. Кутляны-Поставы) составляет 77,4–154,3 м, центральной (Лоша-Мясота) меняется от 119,2 до 211,6 м, южной (Ляховичи-Озерцы) – 28 до 112 м. В скв. Любовша, Черемшицы, Скоры, Молчаны, Поставы выявлены поозерские отложения позднего плейстоцена, поозерско-припятские отложения среднего и позднего плейстоцена, а также днепровско-сожские отложения среднего плейстоцена. Они составляют от 85 до 100 % четвертичный отложений в указанных скважинах.



Меридиональный профиль по линии скважин Ляховичи-Поставы

Мощности колеблются в пределах 8,5–29 м (gQ_{3pz}); 11,4–32,5 м ($f,lg,a,lQ_{2-3pz-pr}$); 10,2–55 м ($f,lgQ_{2pr1-2dn-sz}$). Состав отложений – преимущественно пески, сменяемые песчано-гравийными смесями.

В центральной части профиля четко прослеживаются сменяющие друг друга слои сожских, днепровско-сожских, днепровских и березинско-припятских отложений. Сожские отложения выделяются в верхней части профиля. Их мощность составляет от 3,6 до 68,2, представлены песками и супесями. Центральная часть профиля – это днепровско-сожские,

днепровские отложения. Гравелистые пески днепровско-сожского возраста сменяются днепровскими глинистыми песками, суглинками и супесями. Мощности меняются от 9,2 до 55 м и от 20 до 82,3 м соответственно. Березинско-припятские отложения в центральной части профиля (скважины Гричино, Птичь, Воронка, Веремейки) обладают значительной мощностью – от 24,8 до 60,4 м. Далее по профилю они представлены фрагментарно в виде линз небольшой мощности. Сложены песками, супесями, суглинками и глиной.

Южная часть разреза – скв. Ляховичи-Озерцы — характеризуются постепенным уменьшением мощности четвертичной толщи с севера на юг, в точке наблюдения Ляховичи она составляет 28 м. Однородность отложений прослеживается в скв. Ляховичи-Сковшин. Это озерные и аллювиальные пески, сменяющиеся с глубин 122–126 м флювиальными и лимногляциальными песками с прослойками супесей, глин и суглинков.

В точках наблюдения Обидемля-Озерцы отложения разнородны. Состав отложений схож с северным и центральным участками профиля частично. Преобладающими являются сожские отложения мощностью 6,8–48,8 м (пески, супеси), днепровские отложения мощностью 8,8–64,9 м (супеси, глинистые пески, суглинки), а также березинские супеси, пески и глины мощностью 10–12 м.

Собранная информация может быть использована для разработки и сопровождения ГИС-проектов, отражающих буровую изученность территории Республики Беларусь с последующей количественной интерпретацией полученных данных.

Библиографические ссылки

1. Арбузова Е. В., Любимова А. В., Толмачева Е. Р. Анализ картографических материалов по геолого-геофизической изученности на УВС для решения практических задач нефтяной геологии // Геоинформатика. 2018. № 3. С. 98–105.
2. Зуй В. И. Буровая изученность кайнозойских отложений Минской области // Проблемы региональной геологии запада Восточно-Европейской платформы и смежных территорий : материалы III Международ. науч. конф, Минск, 15 дек. 2021 г. Минск : БГУ, 2021. С. 295–297.
3. Зуй В. И., Жидкова Т. А. Буровая изученность и геологические профили четвертичных отложений Минской области, Беларусь // Мониторинг. Наука и технологии. 2023. № 4(58). С. 13–23.
4. Основы геологии Беларуси / Под общ. ред. А. С. Махнач [и др.]. Минск : Ин-т геол. наук, 2004.
5. Кухарчик Ю. В. Геология четвертичных отложений. Минск : БГУ, 2011. 160 с.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫМ РАБОТАМ

И. Р. Захария¹⁾, В. Н. Силуянов¹⁾, Р. В. Асвинов²⁾

¹⁾Государственное предприятие «НПЦ по геологии», Филиал «Институт геологии»
ул. Академика Купревича, 7, 220084, г. Минск, Беларусь, oil_ig@geologiya.by

²⁾РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», ул. Рогачевская, 9, 246003,
г. Гомель, Беларусь, r.asvinov@beloil.by

Приведена аргументация необходимости изменения подходов к проведению геологоразведочных работ (ГРР) на нефть и газ с учетом возможности их глубинного происхождения, рассмотрена роль тектонических дислокаций и трещинообразования в процессе миграции флюидов. Приведены ключевые моменты, поставленные в основу новых подходов к ГРР.

Ключевые слова: кристаллический фундамент; глубинная концепция; тектонический разлом; трещиноватость; миграция; стратегия геологоразведочных работ.

NEW APPROACHES TO GEOLOGICAL EXPLORATION

I. R. Zakharia¹⁾, V. N. Siluyanov¹⁾, R. V. Asvinov²⁾

¹⁾State Enterprise «Research and Production Center for Geology»,
Branch «Institute of Geology», Akademik Kuprevich St., 7, 220084, Minsk, Belarus,
oil_ig@geologiya.by

²⁾State Production Association Belorusneft
Rogachevskaya St., 9, 246003, Gomel, Belarus, r.asvinov@beloil.by

Arguments are given for the need to change approaches to conducting geological exploration for oil and gas, taking into account the possibility of their deep origin, and considers the role of tectonic dislocations and fracturing in the process of fluid migration. Key points are presented, which are the basis of new approaches to exploration.

Keywords: crystalline foundation; deep concept; tectonic fault; fracturing; exploration strategy.

Существуют две основные концепции происхождения нефти: биогенная и глубинная. Биогенная концепция, известная как «осадочно-миграционная теория» [1], которая долгое время считалась доминирующей, объясняет формирование нефтяных скоплений за счет различных процессов трансформации и миграции экзогенного органического вещества биотического генезиса.

Однако глубинная концепция, основанная на неорганическом, глубинном происхождении нефти, к настоящему времени подтверждается

большим количеством фактов и получает все больше поддержки в среде геологов-нефтяников. Ее принятие требует пересмотра подходов к геологоразведочным работам, ведет к пониманию того, что значительное внимание необходимо уделять изучению разломной тектоники, вопросам миграции углеводородов (УВ), методам высокоточных геохимических и геотермических исследований для обнаружения ореолов рассеяния над скоплениями УВ и др.

Сейсморазведка является основным и практически единственным методом выявления перспективных на УВ объектов, но успешность поисковых работ на нефть и газ по всем изученным бассейнам мира в настоящее время составляет по разным оценкам в среднем 0,2–0,3 [2, 3]. То есть порядка 70–80 % разбуренных структур по разным причинам оказываются «пустыми». Принятие глубинной концепции и перестройка в связи с этим принципов ГРП может повысить успешность поисковых работ, увеличив глубинность исследований за счёт пород кристаллического фундамента (КФ), и сконцентрировав поиски в приразломных зонах и зонах развития тектонической трещиноватости как в КФ, так и в осадочном чехле (ОЧ).

Обе концепции — биогенная и глубинная — имеют одинаковые базовые критерии нефтегазоносности, но существенно различаются в трактовке процессов образования и миграции УВ. Глубинная концепция подчеркивает роль разломной тектоники в процессах субвертикальной миграции УВ и отвергает возможность их концентрации за счет поступления из нефтесборных площадей по латерали, как это предполагает биогенная концепция. Поэтому для поисков глубинной нефти необходимо всестороннее изучение разломной сети как путей миграции и процессов разломообразования, изучение глубинных эманаций и ареалов рассеяния УВ и их компонентов, изучение плотности теплового потока.

Тектонические разломы как объект изучения в свете глубинной концепции происхождения нефти приобретают важнейшее значение как пути поступления УВ в места их возможной аккумуляции. В Припятском прогибе, как и в ряде других нефтегазоносных бассейнов (НГБ) мира, большинство нефтяных залежей связано с разломами и контролируется ними: зоны нефтенакопления приурочены к основным региональным ступенеобразующим тектоническим разломам [4, 5]. Необходимо детально изучать глубинность разломов, их проводимость, активность и ее длительность, время активации/затухания, а также узлы (пересечения) разломов, так как эти показатели в целом влияют на формирование скоплений УВ глубинного генезиса. Также важно выяснение связи всех уже открытых месторождений с разломной тектоникой, оценка реальных расстояний возможного смещения скоплений нефти от разломов (путей глубинного

поступления), поиск зон развития трещиноватых пород и изучение генезиса трещинообразования.

Одной из важных особенностей скоплений нефти в КФ является то, что они, как правило, имеют неопределенные размеры и форму – то есть отсутствует как таковая ловушка в традиционном ее понимании. Поэтому для установления контуров таких аккумулятивных форм — объектов поиска — необходимо применение различных современных методов сейсморазведки и другие способы, позволяющие установить границы зон разуплотнения в теле КФ.

Миграцию, движение нефти в пустотном пространстве горных пород обуславливают три силы: сила всплытия (разность плотностей нефти и пластовой воды), гидродинамическая разгрузка эманаций глубинных процессов и конвективный тепломассоперенос. Все три силы направлены вертикально вверх. В то же время сила межмолекулярного взаимодействия между нефтью и поверхностью пустот породы – это основная сила, препятствующая движению нефти, и в латеральном, и в вертикальном направлениях [6, 7]. Силы энергетического взаимодействия УВ с твёрдой фазой, то есть сорбционные силы, весьма значительны и с учетом высокой дисперсности пустот могут вызвать связывание вплоть до 70 % нефти на нефтяных месторождениях, что снижает коэффициент вытеснения и извлечения. Такое влияние поверхностных явлений на сам процесс миграции нефти в пласте обосновывает невозможность эмиграции так называемой микронепти из глинистых пород и ее аккумуляции в породах-коллекторах. Миграция нефти как отдельной жидкой фазы происходит в основном за счет сил всплытия, вектор направленности которых и определяет вертикальный характер миграции как преобладающий [6]. Латеральная миграция нефти детально не изучена и вряд ли окажет существенное влияние на формирование скоплений УВ. Поступление нефти в ловушки происходит в результате тектонического разуплотнения пород и разломов из глубинных источников или разрушающихся скоплений.

Закон Н. А. Кудрявцева (1973) гласит, что если «...нефть или газ имеются в каком-либо горизонте разреза, в том или ином количестве они найдутся и во всех нижележащих горизонтах (хотя бы в виде следов миграции по трещинам)» [8, с. 140]. Из данного закона вытекает, что под уже открытыми месторождениями в осадочном чехле высока вероятность наличия УВ в нижележащих горизонтах как в ОЧ, так и в КФ при наличии ловушек – пород-коллекторов и флюидоупоров. И чем выше этажность уже установленной нефтеносности, тем больше вероятность обнаружения скоплений в нижних интервалах разреза.

Таким образом, закон Кудрявцева позволяет решать и обратную поисковую задачу: при прогнозировании и поисках нефти в КФ искать как

под уже открытыми/разрабатываемыми месторождениями, так и рядом в аналогичных структурно-тектонических условиях.

Геохимические исследования также являются весьма важным поисковым инструментом и должны быть направлены на поиск ореолов рассеивания УВ, геохимических аномалий, изучение состава эманаций над месторождениями и над разломами, на изучение различий геохимических полей в условиях активных и неактивных разломов, на изучение связи содержания органического углерода в породах с их нефтеносностью в свете глубинной концепции происхождения нефти. Современные технологии газогеохимической съемки высокоточной аппаратурой позволяют обнаружить глубинный водород и другие глубинные эманации, которые могут быть индикаторами УВ скоплений.

Новые подходы к геологоразведочным работам на нефть и газ, несмотря на то, что учитывают возможность и реальность глубинного генезиса УВ, в целом не отрицают роль структурного фактора при поиске скоплений УВ в ОЧ и наличия ловушки как необходимого атрибута аккумуляции УВ. Основа новых подходов – привязка поисков к сети тектонических нарушений и отрицание латеральной миграции нефти.

Ключевые моменты нового подхода к ГРП на основании глубинной концепции происхождения УВ, следующие:

- приуроченность возможных ловушек к основным глубинным разломам и их ответвлениям;
- сейсмические работы направлены как на детальное изучение разломной сети ОЧ и ее прослеживание в КФ, так и поиск зон разуплотнения и дезинтеграции в теле КФ, исследование коры выветривания;
- процесс ГРП включает всестороннее изучение разломов, их активность, градацию и возможную нефтегазоносность;
- невозможность сколь-нибудь значимой латеральной миграции УВ;
- возможность нефтегазоносности как осадочного чехла, так и кристаллического фундамента, что увеличивает потенциал региона;
- этажность нефтегазонакопления — согласно закону Кудрявцева, под уже открытыми месторождениями в осадочном чехле высока вероятность наличия скоплений УВ в нижележащих горизонтах;
- этажность скоплений в осадочном чехле как поисковый критерий для кристаллического фундамента: чем выше этаж нефтегазоносности чехла, тем более вероятны скопления в нижележающих горизонтах при наличии коллекторов и флюидоупоров для них;
- изучение теплового потока, теплового поля бассейна как показателя глубинных процессов и индикатора активных разломов;

- изучение ореолов рассеяния УВ и/или их компонентов, а также сопутствующих элементов – геохимических аномалий, прямыми методами как показателей наличия скоплений УВ и индикаторов активных разломов;
- как поисковый критерий выступает и состав пород КФ – большинство открытых месторождений мира в фундаменте приурочено к кислым породам – гранитам и гранитоидам.

Библиографические ссылки

1. *Вассоевич Н. Б.* Теория осадочно-миграционного происхождения нефти (исторический обзор и современное состояние) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1967. № 11. С. 135–156.
2. *Прищеп О. М., Отмас А. А., Куранов А. В.* Достоверность оценок перспективных ресурсов углеводородного сырья на подготовленных к бурению объектах // Минеральные ресурсы России. 2011. № 1. С. 21–26.
3. *Галкин С. В.* Методология учета геологических рисков на этапе поисков и разведки нефтяных месторождений // Вестн. ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2012. № 4. С. 23–32.
4. Геология и нефтегазоносность запада Восточно-Европейской платформы: К 70-летию БелНИГРИ. Минск : Беларус. навука, 1997.
5. Залежи углеводородов неантиклинального типа Припятско-Донецкого авлакогена / И. М. Шахновский [и др.]. Минск : Наука, 1986.
6. *Захария И. Р.* Миграция нефти в пустотном пространстве горных пород: латеральная или восходящая? // Литосфера. 2022. № 2(57). С. 76–87.
7. *Захария И. Р., Цагельник А. А.* Поверхностные явления на границе раздела фаз и нефтеотдача // Поиски и освоение нефтяных ресурсов Республики Беларусь: Сб. науч. тр. БелНИПИнефть, вып. 9. Минск : Экоперспектива, 2017. С. 50–58.
8. *Кудрявцев Н. А.* Генезис нефти и газа. Ленинград : Недра, 1973.

УДК 550.8:528:550.812.2:553 (476)

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

В. И. Зуй¹⁾, В. А. Крошинский²⁾, О. В. Силицкая¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030,
г. Минск, Беларусь, zui@bsu.by, silitskayaov@bsu.by

²⁾Государственное предприятие «НПЦ по геологии», ул. Академика Купревича, 7,
220084, г. Минск, Беларусь, kron0151@gmail.com

Составлены карты для территории Минской обл.: буровой изученности по разноглубинным скважинам, пробуренным в регионе, мощности четвертичных отложений, рельефа кровли березинского горизонта и подошвы четвертичной толщи. Наблюдается значительная дифференциация картируемых параметров на всей территории региона. Строительные материалы — пески, глины и подземные воды — являются главными видами полезных ископаемых.

Ключевые слова: геологические карты; четвертичные отложения; буровая изученность; Минская область; Беларусь.

GEOLOGICAL MAPPING OF QUATERNARY SEDIMENTS WITHIN THE MINSK REGION

V. I. Zui¹⁾, V. A. Kroshinsky²⁾, O. V. Silitskaya¹⁾

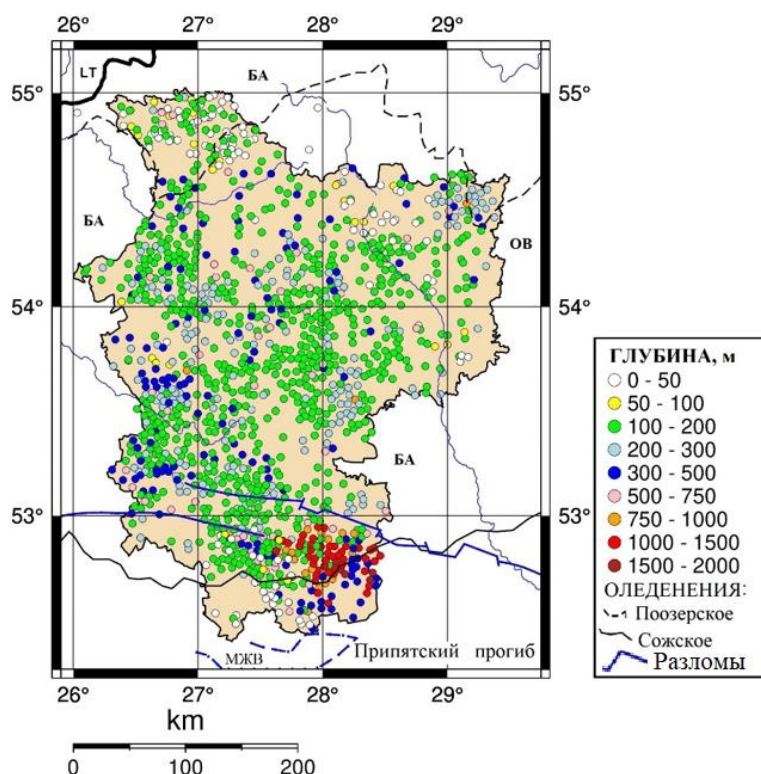
¹⁾Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4, 220030, Minsk, Belarus,
zui@bsu.by, silitskayaov@bsu.by

²⁾ State Enterprise «SPC for Geology», Akademik Kuprevich St., 7, 220084, Minsk,
Belarus, kron0151@gmail.com

Maps have been compiled for the territory of the Minsk region: drilling exploration using boreholes of varying depths drilled within the region; the surface relief of Quaternary deposits and the roof relief of the Berezinsky horizon; the thickness of the Quaternary deposits. The maps show significant differentiation of mapped parameters throughout the region. Construction materials: sands, clays and groundwater are the main types of minerals.

Key words: geological maps; Quaternary deposits; drilling exploration; Minsk region; Belarus.

В границах Минской обл. прослеживаются отложения двух оледенений. Южная граница поозерского оледенения заходит на ее территорию на двух локальных участках на крайнем северо-востоке и крайнем северо-западе. Граница древнего сожского оледенения (рис. 1) проводится в южной части области, которая относится к Припятскому прогибу. Последствия обоих оледенений находят отражение в рельефе. Ледниковые (моренные) аккумуляции четвертичного возраста [1] входят в состав самой верхней толщи платформенного чехла.



МЖВ – Микашевичско-Житковичский выступ кристаллического фундамента; БА – Белорусская антеклиз; ОВ – Оршанская впадина; ЛТ – Литва; штриховая и сплошная линии черного цвета – границы поозерского и сожского оледенений, соответственно. Синие линии – основные разломы, ограничивающие на севере Припятский прогиб

Рис. 1. Буровые скважины и их глубины в Минской обл. [2, с изменениями]

Буровая изученность региона неравномерная. В северной и центральной частях региона – в пределах Белорусской антеклизы – преобладают мелкие скважины – первые сотни метров. Многие скважины пробурены для целей питьевого водоснабжения населенных пунктов. Их глубина увеличивается в южном направлении по мере возрастания полноты геологического разреза вплоть до 1–2 км в границах глубокого осадочного бассейна – Припятского прогиба [3].

Мощность четвертичных отложений в изучаемом регионе изменяется в широких пределах: приблизительно от 20 до более чем 200 м при среднем значении – 108 м (рис. 2).

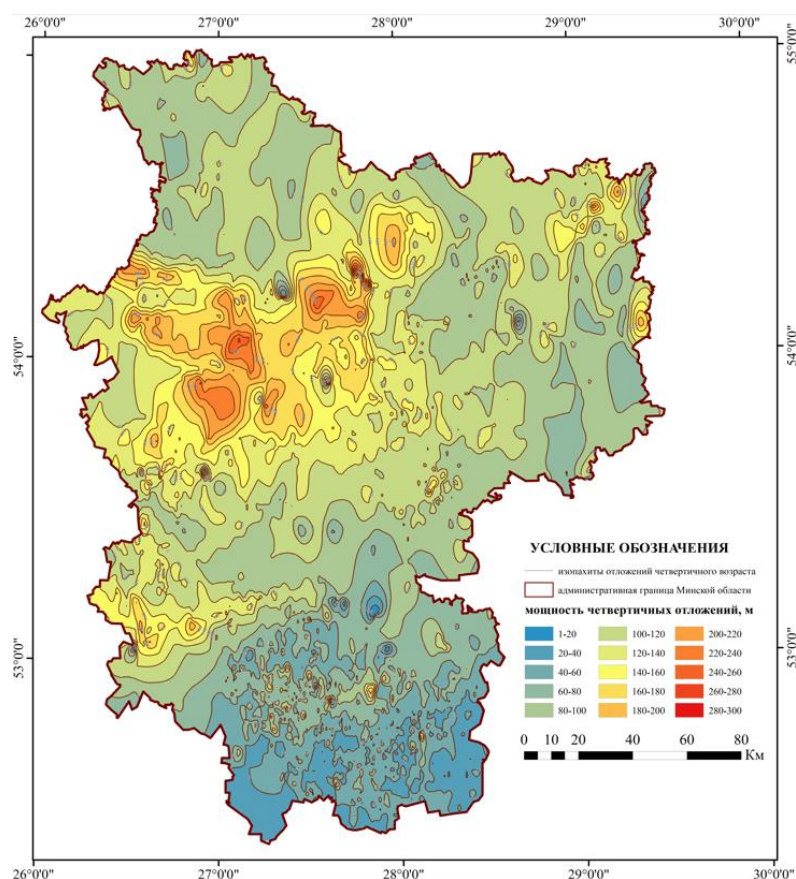


Рис. 2. Карта мощности четвертичных отложений в регионе

Построенная карта отражает наиболее контрастные изменения мощности четвертичной толщи на участках, тяготеющих к Минской возвышенности и Копыльской гряде. Мощность четвертичной толщи значительно снижается до первых десятков метров в южной части региона в пределах северо-западной части Припятского прогиба. В северной части области четвертичные отложения подстилаются толщами девонского возраста [4].

Карта поверхности березинского горизонта четвертичной толщи приведена на рис. 3. Она также отражает существенную дифференциацию по площади изогипс кровли ее рельефа приблизительно от -30 на небольших локальных участках центрально-северной части области до обширных зон с превышением до $+150$ м относительно уровня моря.

В целом рельеф поверхности подошвы четвертичной толщи более спокойный. Однако на ряде участков наблюдается значительная дифференциация картируемого параметра. Поверхность этих отложений изменяется приблизительно от менее чем -60 м до более чем $+200$ м на небольших локальных участках при преобладании значений от 60 до ~ 100 м.

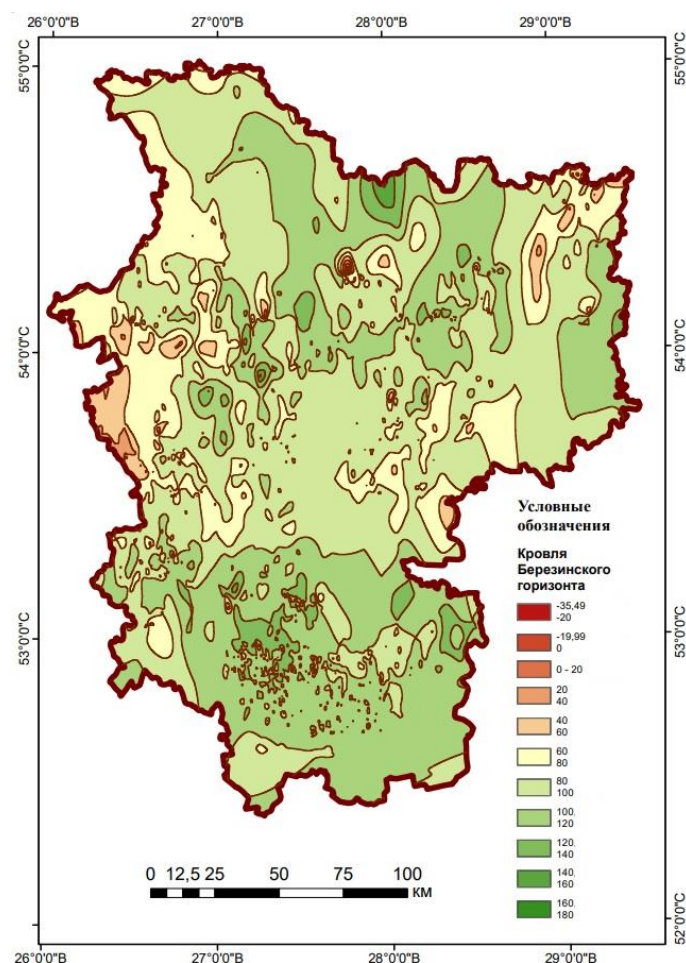


Рис. 3. Карта поверхности березинского горизонта четвертичной толщи в регионе

Отдельные локальные аномалии рельефа с изогипсами до +100–120 м выделены в северной приграничной части территории. Его низкие значения (от 0 до –20 м отмечены вдоль западной границы и в центре области. Карта отражает наиболее контрастное залегание кровли дочетвертичных отложений, прежде всего в южных районах области, относящихся к северо-западу Припятского прогиба и расположенных севернее Микашевичско-Житковичского выступа фундамента (рис. 4).

Четвертичные отложения региона представлены рядом стратиграфических горизонтов [5]. В рамках краткой статьи нет возможности остановиться на других погоризонтных картах.

Горные породы морен широко используются в промышленных масштабах как источник строительных материалов. Торф и горизонты подземных вод питьевого качества встречаются в верхах геологического разреза.

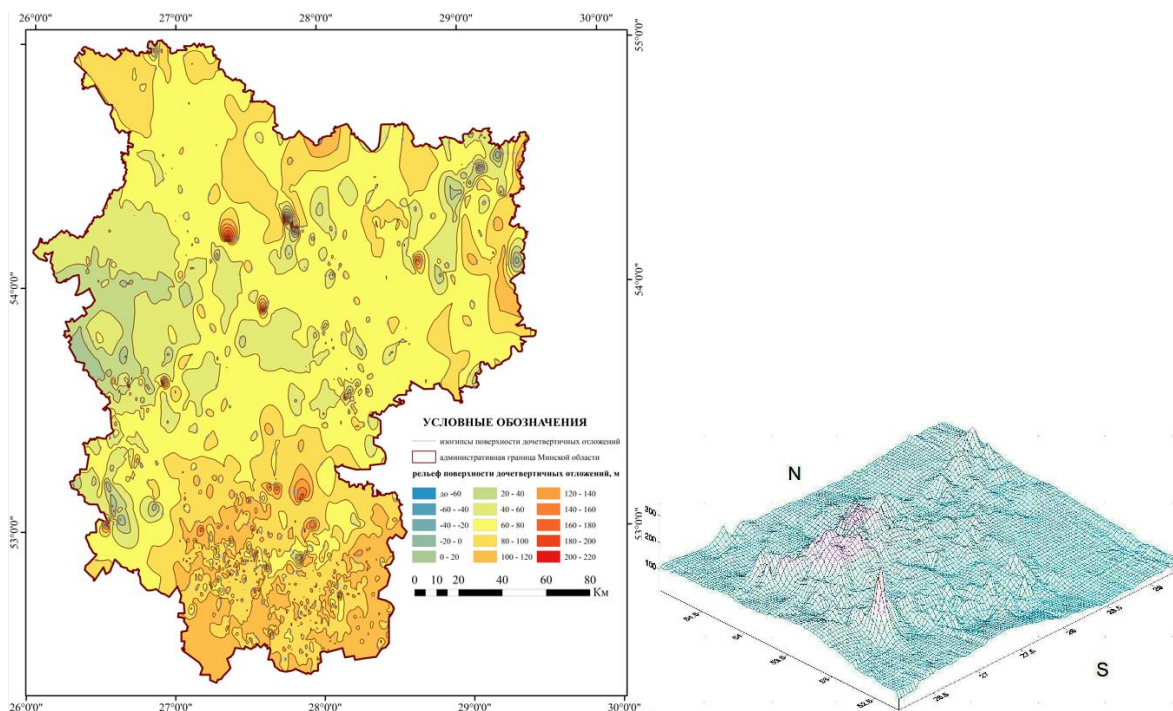


Рис. 4. Карта подошвы четвертичной толщи и ее 3D вид

Каркасная карта (рис. 4, справа) дает лучшее визуальное восприятие изменчивости рельефа подошвы рассматриваемых отложений в регионе.

Четвертичная толща региона представлена рядом стратиграфических горизонтов [5]. В рамках краткой статьи нет возможности остановиться на других погоризонтных картах.

Библиографические ссылки

1. Матвеев А. В. Ледниковые отложения Белоруссии. Минск : Наука и техника, 1971.
2. Зуй В. И., Жидкова Т. А. Буровая изученность и геологические профили четвертичных отложений Минской области, Беларусь // Мониторинг. Наука и технологии. 2023, № 4(58). С. 13–23.
3. Геология Беларуси / Под ред. А. С. Махнач, Р. Г. Гарецкого, А. В. Матвеева и др. Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001.
4. Махнач А. А. Введение в геологию Беларуси. Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2004.
5. Санько А. Ф., Кручек С. А. Стратиграфия отложений платформенного чехла Беларуси: метод. рекомендации для студентов геогр. фак. спец. I-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых». Минск : БГУ, 2014.

**ЦИФРОВАЯ ПЕТРОГРАФИЯ.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ОБРАБОТКЕ
И АНАЛИЗЕ ШЛИФОВ МИНЕРАЛОВ ГОРНЫХ ПОРОД**

А. А. Калина, В. П. Самодуров

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, aleksandrkalina2006@gmail.com, samodurov@bsu.by*

Изучена проблема отсутствия современных методов по качественному анализу шлифов горных пород и минералов, обработке и описанию тончайших срезов. Основной целью работы является рассмотрение вопроса об эффективном использовании нейросетей, их обучение и внедрение в петрографию для развития качественного цифрового метода анализа и постепенного ухода от использования трудоемкого человеческого труда в данном вопросе. Как итог, минимизация погрешности и увеличение точности конечного результата при обработке данных исследуемых шлифов горных пород.

Ключевые слова: цифровая петрография; нейронные сети; обучение нейросетей; шлиф.

**DIGITAL PETROGRAPHY.
USE OF NEURAL NETWORKS IN THE PROCESSING
AND ANALYSIS OF MINERALS ROCK THIN SECTIONS**

A. A. Kalina, V. P. Samodurov

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4,
220030, Minsk, Belarus, aleksandrkalina2006@gmail.com, samodurov@bsu.by*

The problem of the lack of modern methods for the qualitative analysis of minerals rock thin sections, processing and description of thin sections has been studied. The main goal of the work is to consider the issue of the effective use of neural networks, their training and implementation in petrography for the development of a high-quality digital method of analysis and a gradual shift away from the use of labor-intensive human labor in this matter.

Keywords: digital petrography; neural networks; neural networks learning; thin slice.

Введение. Петрография – наука, описывающая горные породы и составляющие их минералы [1]. На протяжении всей истории данной науки и основную описательную роль и все камеральные работы выполнял и выполняет человек. Начиная от выполнения первичных работ по сбору материалов, описания, структурирования информации и заканчивая анализом собранных данных, практически все этапы

выполняются вручную человеком, используя цифровые технологии лишь для упрощения систематизации данных [2]. Ресурсы цифровых технологий, предоставленных нам и находящихся практически в свободном доступе, в петрографии не просто не раскрыты, но даже были отвергнуты рядом специалистов в этой области. Однако современные цифровые технологии развиваются с невероятной скоростью, с каждым днем появляется все больше возможностей по расширению функционала цифровых программ, а, значит, появляется пространство для адаптации различных программ в новые сферы научной и исследовательской деятельности. В последнее время все большую популярность, как в общественных массах, так и в научной сфере набирают так называемые нейронные сети. И, не спроста, ведь обученные нейронные сети уже способны выполнять различного рода задачи, порой неподвластные человеческому мозгу.

Нейронные сети. Основной принцип работы нейронных сетей. Нейронная сеть (также искусственная нейронная сеть, ИНС, или просто нейросеть) — сложная математическая модель, а также ее программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма. Детальный принцип создания нейронных сетей до конца неизвестен и держится в определенной секретности. Однако основной принцип работы нейросетей понятен. По своей сути, нейросеть – это цифровое воплощение устройства биологических нейронов, например, тех, что находятся и функционируют в головном мозге человека. Тем не менее нейросети не обладают никакой биологической составляющей, ведь это всего только сложная математическая модель преобразованная и структурированная благодаря аппаратному и программному воплощению в понятный для человека механизм. Однако, невозможно не заметить сходство между устройством нейросетей и человеческим мозгом. Клетки человеческого мозга, называемые нейронами, образуют сложную сеть с высокой степенью взаимосвязи и посылают друг другу электрические сигналы, обрабатывая информацию. Примерно по похожему принципу работают и ИНС (рис. 1). Можем сделать вывод, что нейросети способны представлять интерес в различных отраслях научной деятельности человека. Исключением не является и наука петрография.

Этапы внедрения нейронных сетей в петрографию. Таким образом, практически бесспорным является утверждение о том, что нейросети способны выполнять ряд сложных задач (пока что в цифровом плане) не хуже, а, быть может, и лучше человека. Из этого следует, что ИНС можно внедрять и для анализа геологических, а если быть точным, петрографических данных. Конечно, такая процедура будет протекать в несколько этапов:

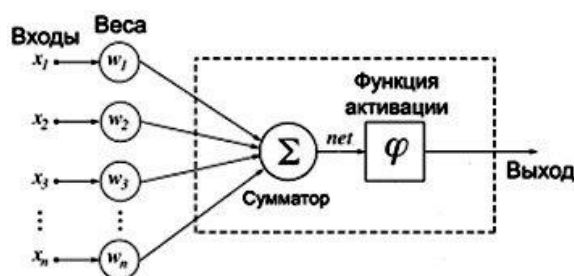


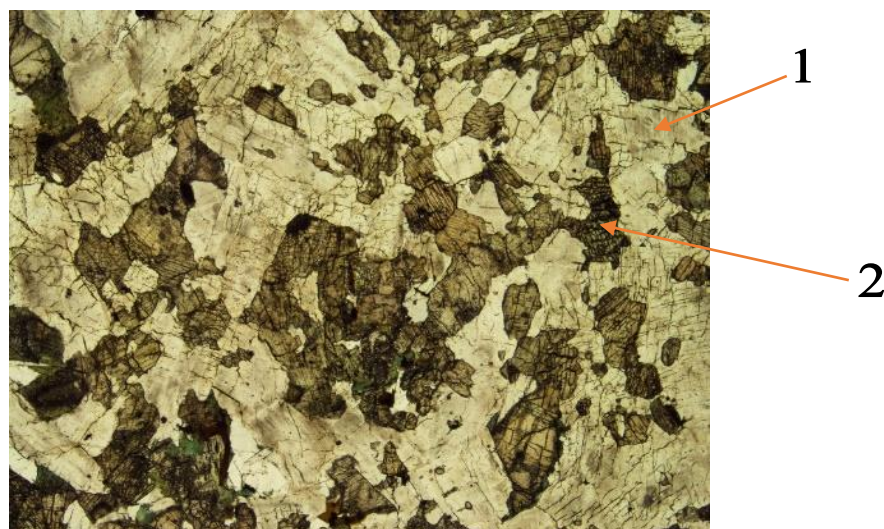
Рис.1. Схема искусственного нейрона

- обучение нейросетей на основе подготовленной базе данных;
- испытание искусственных нейронных сетей;
- непосредственное внедрение и использование нейронных сетей.

Первый важный этап по внедрению нейросетей в цифровую петрографию — это обучение ИНС. Пожалуй, это самый трудоемкий и сложный этап. Все дело в том, что нейросети точно также обучаются, как маленький ребенок познает мир. Конечно, генезис и само протекание данного процесса у ребенка и нейросетей абсолютно разные несмотря на то, что принцип несколько схож. Любая искусственная нейронная сеть должна пройти этап обучения. Для этого создается специальная база данных, на основе которой нейросеть благодаря различным командам, программам и участию человека спустя огромное множество попыток постепенно обучается. Применительно к цифровой петрографии, мы должны «прогнать» через нейросеть огромное количество фотографий шлифов горных пород. Каждая такая фотография будет иметь свой «флаг», пометку с описанием, благодаря которой нейросеть будет постепенно обучаться на основании реальных фотографий (рис. 2).

Таким образом, каждая фотография будет нести определенный смысл, описание, которое нейросеть запомнит и в дальнейшем, при выдаче ИНС правильной информации, нам нужно лишь подтвердить ее. Если же нейросеть будет делать ошибки, придется увеличить количество «тренировочной» информации или изменить ее смысл, так до тех пор, пока нейросеть не начнет выдавать правильные ответы.

После успешного основного этапа прохождения обучения нейронной сети, ее постепенно нужно начинать испытывать на реальных образцах шлифов, давать различные задания. При этом процесс обучения еще не окончен, данные процессы должны протекать параллельно.



Примечание. Цифры 1–2 – минералы разного цвета, на которые нейросеть обращает внимание и запоминает цвета благодаря прикреплённому описанию.

Рис. 2. Микрофотография шлифа

При успешном прохождении последних двух этапов, нейросети можно внедрять для постоянного использования. Конечно, это должно произойти только после того, как погрешность и количество ошибок будет на уровне или не будет превышать показатели такой же работы, выполненной человеком [3]. Как только значение погрешности обработки данных нейросетью сравняется со значением погрешности при обработке данных человеком, можно будет увеличивать объемы информации по анализу и обработке данных для нейросети.

Положительные и отрицательные стороны использования нейросетей в цифровой петрографии. Оценка рисков. Использование ИНС в петрографии, безусловно, ознаменует новый этап развития данной науки. Однако в данном вопросе можно выделить положительные и отрицательные стороны. К положительным относятся: многократное ускорение процесса анализа и обработки данных шлифов горных пород; увеличение точности обработки данных и минимизация среднеквадратичного отклонения (StdDev) текущего выхода перцептрона и желаемого выхода [4]; упрощение проведения камеральных работ для персонала, снижение человеческого присутствия при обработке данных, как итог минимизация ошибок и погрешности из-за человеческого фактора.

Отрицательные стороны: трудоемкий и долговременный этап обучения нейросетей; снижение значимости человека при таких работах, что может привести к сокращению и потери рабочих мест персонала; зависимость точности результата от качества исходных данных.

Следует отметить, что риски использования нейросетей в цифровой петрографии минимальны.

Вывод. ИНС являются оптимальным решением по развитию цифровой петрографии [5]. Нейросети способны качественно обрабатывать данные на основе фотографий шлифов горных пород, что в разы ускоряет процесс анализа данных и уменьшает вероятность погрешности и вывода ошибочного результата при проведении таких работ.

Библиографические ссылки

1. *Вильямс Х., Гилберт Ч. М., Тернер Ф. Дж.* Петрография. Введение в изучение горных пород в шлифах. Москва : Изд-во иностр. лит., 1957.
2. Петрографический атлас метаморфических и магматических пород кристаллического фундамента Беларуси. Кн.1 / А. А. Толкачикова, Н. В. Аксаментова, М. П. Гуринович, О. А. Пискун, О. Ю. Носова. Минск : Нац. библ. Беларуси, 2018.
3. *Василенок Е. А.* Структурно-текстурные особенности магматических и метаморфических пород по данным цифровой петрографии. Магистер. работа, БГУ, географ. фак., каф. динам. геологии; науч. рук. В. П. Самодуров. Минск, 2017.
4. *Василенок Е. А., Самодуров В. П.* Количественный анализ цифровых изображений горных пород // Современные проблемы геологии, геохимии и поисков месторождений полезных ископаемых : материалы Международ. науч. конф., посвящ. 110-летию со дня рожд. акад. К. И. Лукашёва (1907–1987), 23–25 мая 2017 г., Минск / Отв. ред. О. В. Лукашёв : в 2 ч. Минск : Право и экономика, 2017. Ч. 2. С. 4–6.
5. *Самодуров В. П., Василенок Е. А., Еленский Ю. Н., Ероховец А. М.* Цифровая ультрафиолетовая петрография: методические подходы и приложения // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2020. № 1. С. 86–94.

УДК 551.435.42(476)

СТРУКТУРА И ПРОИСХОЖДЕНИЕ БЕРЕЗИНСКИХ ЛЕДНИКОВЫХ ЛОЖБИН В БЕЛАРУСИ

М. Е. Комаровский

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

Исследована проблема происхождения березинских ложбин на территории Беларуси. Целью работы являлось изучение основных особенностей морфологии, геологического строения и формирования березинской генерации ложбин. В ней выделены и описаны основные типы ледниковых ложбин, образованных ледником и талыми ледниковыми водами. Рассмотрены условия и механизм образования ложбин. Показана связь таких форм с особенностями геологического строения региона, структурой и динамикой березинского ледника.

Ключевые слова: ледниковые ложбины; гляциодепрессии; березинская генерация; ложе ледника; ледниковый поток; экзарация; гляциодислокации.

STRUCTURE AND ORIGIN OF THE BEREZINA GLACIAL VALLEYS IN BELARUS

M. E. Komarovskiy

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4, Minsk
220030, Belarus, mkomarovskiy@mail.ru*

The problem of the origin of the Berezina valleys on the territory of Belarus has been studied. The purpose of the work was to study the main features of the morphology, geological structure and formation of the Berezina generation of valleys. It identifies and describes the main types of glacial valleys formed by the glacier and melt glacial waters. The conditions and mechanism of formation of valleys are considered. The connection of such forms with the peculiarities of the geological structure of the region, the structure and dynamics of the Berezina glacier is shown.

Key words: glacial valleys; glacial basins; Berezina generation; glacier bed; ice stream; exaration; glacial tectonics.

Березинская генерация ложбин широко развита в поверхности дочетвертичных отложений и основании четвертичной толщи области березинского оледенения территории Беларуси. Она отличается характером расположения, разнообразием состава образующих ее морфогенетических

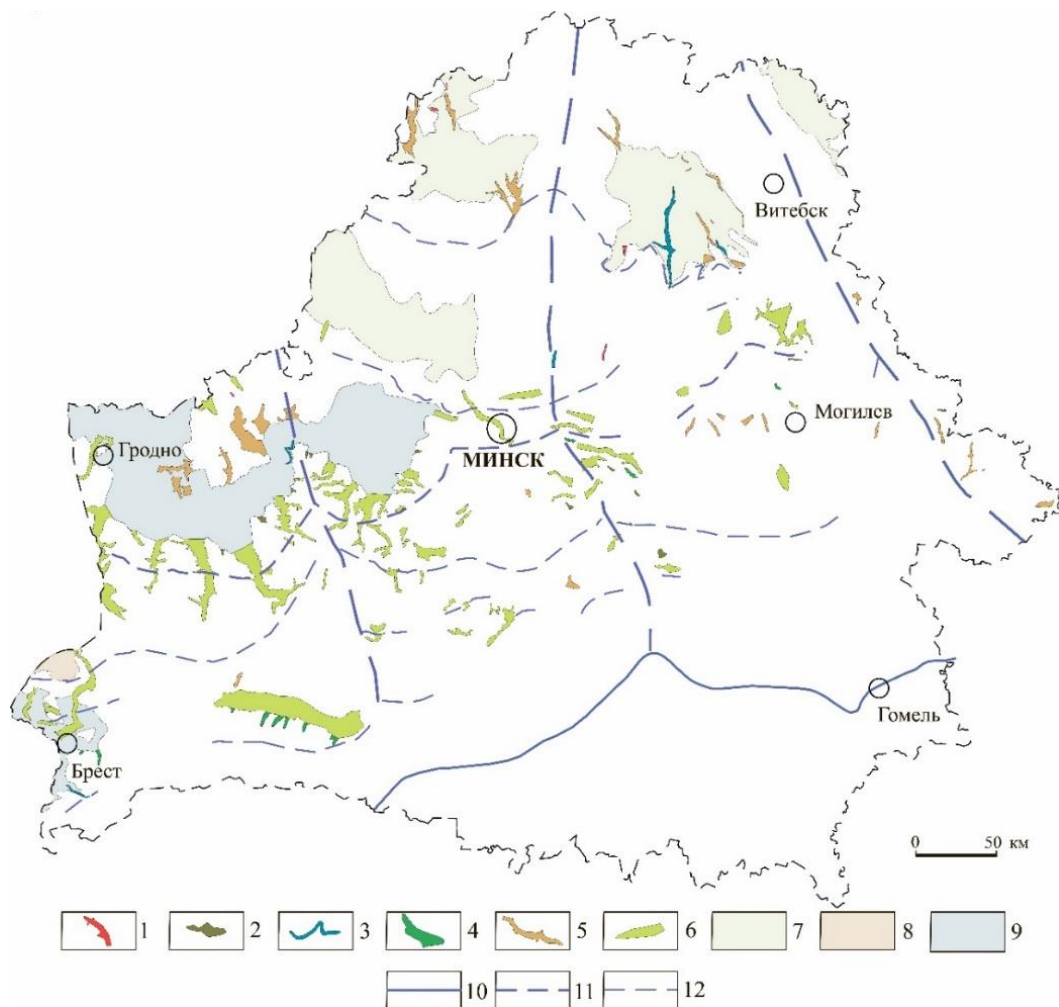
типов ледниковых ложбин, отчетливой выраженностью в погребенном рельефе и условиями образования.

В расположении березинских ложбин обнаруживается связь с древними низинами, участкам развития деформируемых пород со скальными выступами в цоколе и зонами активных разломов преимущественно субмеридионального, северо-восточного и субширотного направлений, а также радиально-секторальной структурой и динамикой березинского ледника [1, с. 110; 2, с. 86; 3, с. 95]. При этом большинство ложбин приурочено к полосам развития краевого ледникового рельефа и к крупным бассейнам, соответствующим ледниковым потокам и лопастям, к границам остановок и возвратно-трансгрессивных подвижек края ледника.

В березинской генерации по морфологии и условиям образования выделено 9 типов ледниковых ложбин. Уникальность березинской генерации заключается: 1) в преобладании ложбин ледниковой экзарации, выдавливания и размыва (67,0 %), ледниковой экзарации и размыва (32,0 %) и сокращении доли ложбин других типов; 2) наиболее существенной роли в ней крупных полигенетических котловин и троговых ложбин; 3) наследовании большинством ложбин в основных чертах ранее сформированных врезов (рисунок).

Формирование котловин ледниковой экзарации и размыва происходило во внутренней области березинского оледенения вдоль динамически активных осей ледниковых потоков в пределах благоприятно ориентированных понижений и было результатом плакинга, корразии и абразии девонских песчаников на севере страны. В образовании котловин краевой области березинского оледенения основными процессами были ледниковая экзарация и выдавливание. В фазу выдвижения ледник вызывал на площадях определенного геологического строения абразию, срезание, отрыв, отщепление и выдавливание пород ложа. Такие участки располагались вдоль линий наиболее быстрого течения льда, на территории низин ясельдинского рельефа, развития мягких пород, неглубокого залегания скальных пород (низины, огибающие с севера Белорусскую антеклизу) [4, с. 73; 5, с. 185]. Экзарационное углубление поверхности ложа здесь оказывалось в несколько десятков метров. В этап деградации, когда котловины заняли гигантские активные лопасти и преобразовались в гляциодепрессии, повторные надвигания лопастей вызвали заложение складчатых и разрывных гляциоструктур в краевом льду, а также срыв, отдавливание, деформирование и создание гляциодислокаций различного типа в отложениях ложа. В центре и западе страны в этом процессе около нескольких десятков метров пород субстрата было снесено и выдавлено на дистальный склон гляциодепрессий.

В итоге краевые зоны лопастей березинского ледника смогли расширить и углубить предшествующие впадины и образовать в периферийной зоне окаймляющие полосы напорных конечно-моренных возвышенностей и гряд.



1 – ложбины ледниковой экзарации; 2 – ложбины ледникового выдавливания; 3 – субгляциальные водно-эрозионные ложбины; 4–9 – врезы полигенетического происхождения (4 – ложбины ледниковой экзарации и выдавливания, 5 – экзарационно-эрозионные ложбины, 6 – ложбины ледниковой экзарации, выдавливания и размыва, 7 – котловины ледниковой экзарации и размыва, 8 – котловины ледниковой экзарации и выдавливания; 9 – котловины ледниковой экзарации, выдавливания и размыва); границы: 10 – березинского оледенения, 11 – минской стадии, 12 – фаз и осцилляций.

Расположение основных морфогенетических типов березинских ледниковых ложбин

Троговые ложбины вырабатывались как во внутренней, так и в краевой зонах на всех этапах развития березинского оледенения. Их формирование включало следующие последовательно сменяющие друг друга события и процессы: 1) размыв потоками талых ледниковых вод и подпрудными водоемами днищ и нижних склонов древних врезов и

частичное заполнение их покровами флювио- и лимногляциальных отложений; 2) продвижение по ложбинам наиболее быстрых масс льда, углубление и расширение ложбин за счет главным образом экзарации пород на днище и бортах, создание основной морены (трансгрессивная фаза); 3) возникновение, задержки и подвижки ледниковых языков в пределах осевых ложбин, создание дугообразных поперечных врезов и напорных конечных морен за счет выдавливания и деформации материала вдоль края языков (фаза деградации); 4) преобразования водно-ледниковой эрозией и аккумуляцией (стагнация ледника). В эволюции ложбин северных районов Беларуси третьего события могло и не быть.

Субгляциальные водно-эрозионные ложбины обуславливались канализированной эрозией талых ледниковых вод у основания ледника, проявившейся в деградационную фазу оледенения в зафронтальной зоне лопастей на дистальных склонах котловин и вдоль зон разломов. Быстрые выбросы больших объемов талой воды, накопившейся в подледных или наледных водоемах, сопровождалась врезанием и расширением подледных каналов в основании ледника и формированием флювиогляциальных дельт и конусов выноса в их устьях [6, с. 35; 7, с. 15].

Библиографические ссылки

1. Комаровский М. Е., Хилькевич Е. В. Соотношение между ледниковыми ложбинами и активными разломами на территории Беларуси // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2018. № 2. С. 106–117.
2. Комаровский М. Е., Семенюк А. С. Значение геологического строения и литологии коренных пород для распределения и происхождения ледниковых ложбин на территории Беларуси // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2020. № 2. С. 78–90.
3. Комаровский М. Е. Значение рельефа в возникновении ледниковых ложбин в Беларуси // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2021. № 1. С. 93–106.
4. Горецкий Г. И. Особенности палеопотамологии ледниковых областей (на примере Белорусского Понеманья). Минск : Наука и техника, 1980.
5. Левков Э. А. Гляциотектоника. Минск : Наука и техника; 1980.
6. Kehew A. E., Piotrowski J. A., Jørgensen F. Tunnel valleys: Concepts and controversies – A review // Earth-Science Reviews. 2012. No. 113. P. 33–58.
7. Хилькевич Е. В. Геологическое строение, морфология и формирование субгляциальных водно-эрозионных ложбин на территории Белорусского Поозерья в квартере : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Минск, 2022.

УДК 551.24

ШИРОТНЫЕ СДВИГОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ В СТРУКТУРЕ БРАГИНСКО-ЛОЕВСКОЙ СЕДЛОВИНЫ (ЗАПАД ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

О. Ф. Кузьменкова, Т. В. Воскобойникова

*Государственное предприятие «НПЦ по геологии»,
ул. Купревича, 7, 220141, г. Минск, Беларусь, kuzmenkovaof@mail.ru*

Брагинско-Лоевская седловина сформировалась на герцинском этапе активизации Восточно-Европейской платформы в узле пересечения глубинных разломов палеопротерозойского заложения северо-восточного простирания и широтной Припятско-Брестской (Припятско-Саратовской) системы левосторонних сдвигов. Разломный узел осложнен меридиональной Одесско-Гомельской системой правосторонних сдвигов и позднедевонскими разломами северо-западного простирания.

Ключевые слова: Лоевская структурная перемычка; Брагинский выступ; Одесско-Гомельская зона разломов; Припятско-Брестская система разломов; левосторонний сдвиг.

LATITUDINAL SHEAR DEFORMATIONS IN THE STRUCTURE OF THE BRAGIN-LOYEV SADDLE (WEST OF THE EASTERN EUROPEAN PLATFORM)

O. Kuzmenkova, T. Voskoboinikova

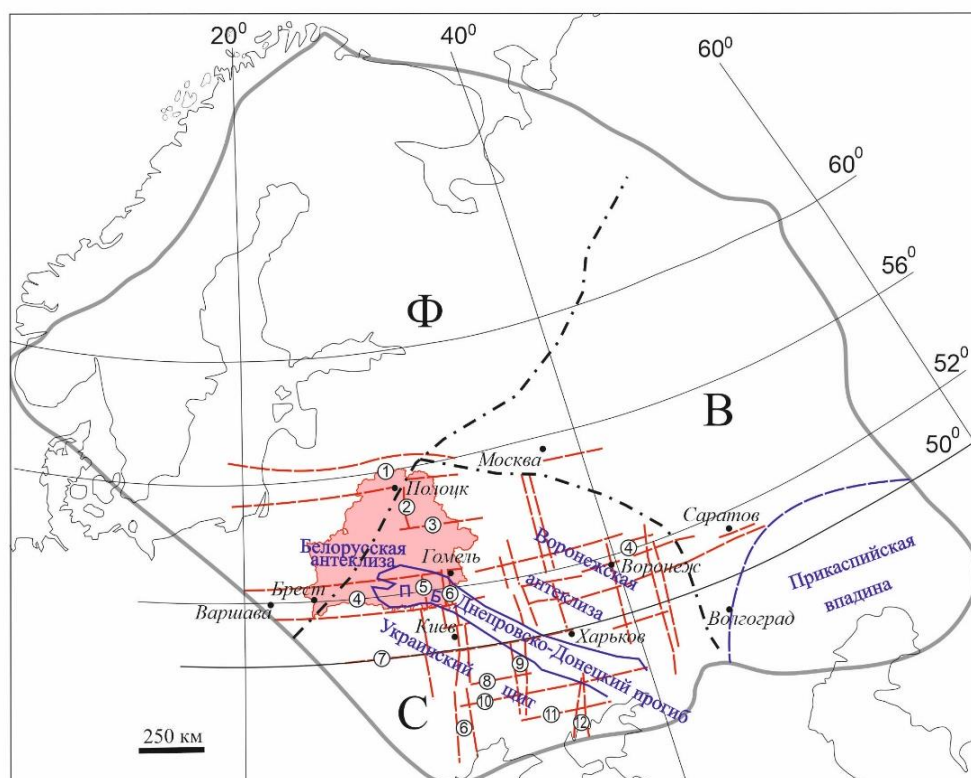
*State Enterprise «Research and Production Center for Geology»,
Akademik Kuprevich St., 7, 220141, Minsk, Belarus, kuzmenkovaof@mail.ru*

The Bragin-Loyev Saddle formed at the Hercynian stage of activation of the East European Platform at the junction of deep faults of the Paleoproterozoic formation of the northeastern strike and the latitudinal Pripyat-Brest (Pripyat-Saratov) system of left-sided shifts. The fault node complicated by the meridional Odessa-Gomel system of right-sided shifts and sinrift Late Devonian faults of the northwestern strike.

Keywords: Loyev Structural Bridge; Bragin Ledge; Odessa-Gomel fault zone; Pripyat-Brest fault system; left-sided shift

В структуре земной коры запада Восточно-Европейской платформы (ВЕП) помимо разломов северо-западного и северо-восточного простирания широко проявлены меридиональные и широтные разломы глубинного заложения [1; 2, с. 20; 3, с. 62; 4 и др.].

Зоны меридиональных глубинных разломов проявлены в Сарматской части ВЕП. Они имеют ширину до нескольких десятков километров, наиболее значимые из них маркируют границы литосферных блоков [5, 6 и др.] (рис. 1). На территории Беларуси выражены зоны Василевичского и Чашницкого глубинных разломов, ограничивающих с запада Брагинский и Витебский гранулитовые блоки соответственно [7], а также прослеживаемая к востоку от Василевичского разлома в пределах Брагинского гранулитового блока Гомельская система разломов. Многие исследователи выделяют ее как трансплатформенный Одесско-Гомельский лениамент, южная часть которого представляет собой Голованевскую шовную зону Украинского щита [2, с. 85; 4 и др.]. Поскольку меридиональные разломы проявлены в Сарматской части платформы, то теоретически время их заложения можно предполагать, как доколлизийное с Волго-Уралией, то есть древнее 2,1 млрд лет [5].



Разломы (цифры в кружках): 1 – Полоцко-Курземская система, 2 – Чашницкий, 3 – Бельничский, 4 – Припятско-Брестская (Припятско-Саратовская) система, 5 – Василевичский, 6 – Одесско-Гомельская, 7 – Андрушевская, 8 – Субботско-Мошоринская, 9 – Ингулецко-Криворожская, 10 – Девладовская, 11 – Конкская, 12 – Орехово-Павлоградская система. П – Припятский прогиб, Б – Брагинско-Лоевская седловина. Протоконтиненты: Ф – Фенноскандия, В – Волго-Уралия, С – Сарматия.

Рис. 1. Схема расположения меридиональных и широтных систем разломов на юго-западе Восточно-Европейской платформы

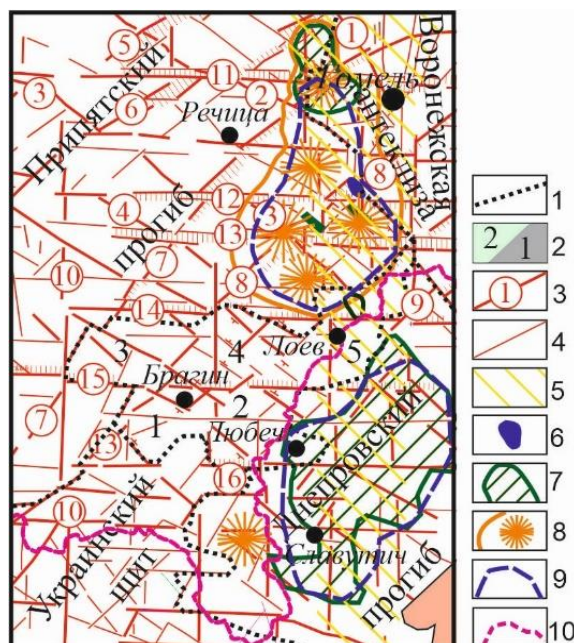
Наиболее значимые широтные системы глубинных разломов на территории Беларуси: Полоцко-Курземская, Бельничская, Припятско-Брестская [2, с. 85; 3, с. 62]. В пределах Украинского щита наиболее проявлены Полесская (является южной частью Припятско-Брестской системы), Андрушевская, Субботско-Мошоринская, Девладовская и Конкская системы разломов [8]. Эти зоны прослеживаются далее на восток в пределах Воронежской антеклизы [1]. Продолжением Припятско-Брестской (Полесской) является Гомельско-Саратовская система разломов, протягивающаяся вдоль 52° с. ш. до северного ограничения Прикаспийской впадины [9; 10]. Общая протяженность Припятско-Саратовской системы глубинных разломов составляет не менее 2000 км.

Заложение широтных разломов произошло после коллизии слагающих основание запада ВЕП протоконтинентов Сарматия и Фенноскандия около 1,8 млрд лет назад [11] в ходе субботско-мошоринского этапа растяжения [4], время которого определяют возрастом внедрения даек и массивов основного состава Украинского щита 1,8–1,75 млрд. лет назад [12]. Хатецко-Добрушскую зону разломов северного ограничения Припятско-Брестской системы широтных разломов маркирует дайка долеритов ипутьского комплекса (возраст $1788,5 \pm 3,9$ млн. лет [13]). Предполагается, что заложение широтных зон было сопряжено со сдвиговыми деформациями [1; 2, с. 85; 4]. Так, Припятско-Брестская (Припятско-Саратовская) система глубинных разломов представляет собой многоступенчатый левый сдвиг с амплитудой порядка 100 км [2, с. 85].

Перечисленные зоны разломов как широтного, так и меридионального простирания испытывали неоднократную активизацию в ходе геологической истории ВЕП. Это привело к тому, что разломная сеть раннепротерозойского возраста усложнилась дополнительными меридиональными разломными сегментами, секущими не нарушенные ранее литосферные блоки.

Брагинско-Лоевская седловина соединяет Украинский щит и Воронежскую антеклизу и разделяет Припятскую и Днепровско-Донецкую впадину. Она состоит из погребенного Брагинского выступа Украинского щита и гораздо меньшей по размеру Лоевской перемычки – поднятия фундамента в пределах приразломного грабена северного борта позднедевонского Припятско-Днепровско-Донецкого рифта (рис. 2). Фактически седловина представляет собой приподнятый блок фундамента, ограниченный разломами северо-восточного простирания палеопротерозойского синколлизийного (около 1,8 млрд лет назад) заложения, осложненный широтными левосторонними сдвигами. Как тектоническая структура в современном виде она сформировалась в ходе герцинского этапа активизации ВЕП, когда заложились новые для этой территории рифтообразующие

глубинные разломы северо-западного простирания. Активизация разломов северо-восточного простирания сопровождалась сбросами, а разломов Одесско-Гомельской системы меридионального простирания – правыми сдвигами амплитудой до первых десятков километров.



1 – границы тектонических структур первого порядка; 2 – структуры второго порядка Брагинско-Лоевской седловины (1 – Дублинская депрессия; 2 – Брагинский выступ; 3 – Хойникский погребенный выступ; 4 – Ручаевская депрессия, 5 – Лоевский выступ); 3–5 – разломы: 3 – основные и их номера: 1) Жлобинский, 2) Северо-Припятский, 3) Речицко-Вишанский, 4) Червонослободско-Малодушинский, 5) Первомайско-Заозерный, 6) Пержанско-Суражский, 7) Антоновско-Костюковичский, 8) Тетеревский, 9) Лоевско-Новозыбковский, 10) Василевичский, 11) Хатецко-Добрушская зона, 12) Борщевская зона, 13) Михальковская зона; широтные зоны: 14) Мозырско-Лоевская, 15) Великопольско-Стреличевская, 16) Южно-Припятская; 4 – прочие, 6 – Одесско-Гомельская зона разломов; 6 – 9: Припятско-Днепровская область магматизма: 6 – жлобинский комплекс щелочно-ультрамафитовой формации раннеречицкого возраста, 7 – уваровичский комплекс щелочно-мафитовой формации поздневоронежского возраста, 8 – припятский комплекс щелочно-мафического-салической формации чернинского возраста; 9 – лоевский комплекс щелочно-ультрамафитовой формации петриковского возраста; 10 – государственная граница.

Рис. 2. Тектоническая схема Брагинско-Лоевской седловины и прилегающих территорий

В узлах пересечения меридиональной Одесско-Гомельской, широтной Припятско-Брестской систем разломов и ограничивающих Припятско-Днепровско-Донецкого рифт разломов северо-западного простирания, как наиболее проницаемых участках земной коры, активно проявился щелочной магматизм позднефранско-раннефаменского возраста.

Библиографические ссылки

1. Трезуб А. И. Разрывные нарушения в фундаменте и осадочном чехле территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология, 2000. Вып. 5(10). С. 7–15.
2. Гарецкий Р. Г., Каратаев Г. И., Астапенко В. Н., Данкевич И. В. Геофизические поля и динамика тектоносферы Беларуси. Минск : ИГН НАН Беларуси, 2002.
3. Разломы земной коры Беларуси / Под ред. Р. Е. Айзберга. Минск : Красико-Принт, 2007.
4. Гинтов О. Б., Мычак С. В. Кинематика формирования Украинского щита в период 1,80–1,73 млрд лет назад по результатам изучения трещиноватости горных пород Коростенского и Корсунь-Новомиргородского плутонов // Геофиз. журн. 2014. Т. 36, № 4. С. 24–36.
5. Savko K. A., Samsonov A. V., Kholin V. M., Bazikov N. S. The Sarmatia Megablock as a Fragment of the Vaalbara Supercontinent: Correlation of Geological Events at the Archean–Paleoproterozoic Transition // Stratigraphy and Geological Correlation, 2017. Vol. 25, №. 2. P. 123–145.
6. Starostenko V., Janik T., Yegorova T., Czuba W., 'Sroda P., Lysynchuk D., Aizberg R., Garetsky R., Karataev G., Gribik Y., Farfuliak L., Kolomiyets K., Omelchenko V., Komminaho K., Tiira T., Gryn D., Guterch A., Legostaeva O., Thybo H., Tolkunov A. Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripyat–Dnieper–Donets Basin (Belarus and Ukraine) // Geophys. J. Int., 2018. No. 212. P. 1932–1962.
7. Аксаментова Н. В. Магматизм и палеогеодинамика раннепротерозойского Осницко-Микашевичского вулканоплутонического пояса. Минск : Ин-т геол. наук, 2002.
8. Алехин В. И., Гинтов О. Б. Кинематические особенности, фазы развития и металлогения системы широтных зон разломов Украинского щита // Геофиз. журн. 2004. Т. 26, № 6. С. 83–101.
9. Молотков С. П., Альбеков А. Ю. Первое рудопроявление самородной меди, связанное с верхнедевонским базальтоидным вулканизмом юго-востока Воронежской антеклизы (к вопросу о сырьевой базе металлургов Мосоловского поселения эпохи поздней бронзы в бассейне среднего течения р. Дон) // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология, 2004. № 1. С. 116–130.
10. Международная тектоническая карта Европы масштаба 1 : 5 000 000. Изд. третье / Комис. геолог. карты мира. Подкомис. тектон. карт // В. Е. Хаин, Ю. Г. Леонов. 1996.
11. Bogdanova S. Eurobridge. Paleoproterozoic Accretion of Sarmatia and Fennoscandia // Lithosphere Dynamics. Europrobe, 1996. Uppsala, 1996. P. 81–89.
12. Шумлянский Л. В., Митрохин А. В., Дюшен Ж. К., Богданова С. В., Биллстрём Ш., Омельченко А. Н., Багински Б. Петрология даек субщелочных долеритов Коростенского комплекса северо-западный район Украинского щита // Mineral. J. (Ukraine), 2018. 40, No. 1. P. 32–49.
13. Бурмистров В. Н., Котов А. Б., Пискун О. А., Сальникова Е. Б., Толкачикова А. А., Степанова А. В., Гуринович М. П. Возраст габбродолеритов «Большой дайки» юго-востока Беларуси: результаты U-Pb (ID-TIMS) геохронологических исследований бадделеита // См. выше (данный сб.).

УДК 631.459.3:551.4.042(476)

РАЗВИТИЕ ДЕФЛЯЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ И ФАКТОРЫ ЕЕ АКТИВИЗАЦИИ

Е. А. Кухарик^{1, 2)}, И. С. Данилович^{1, 3)}, И. В. Костюченко³⁾

¹⁾*Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины, 10,
220076, г. Минск, Беларусь, irina-danilovich@yandex.ru*

²⁾*Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65,
220013, г. Минск, Беларусь, shzhk@mail.ru*

³⁾*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, dilaila-m@mail.ru*

В статье изложены результаты исследований пространственно-временных особенностей распространения и интенсивности процесса дефляции на территории Беларуси. Проанализирована повторяемость и рассчитана интенсивность пыльных бурь и поземков на основании учета средней и максимальной скорости ветра, а также продолжительности явлений. Показано влияние на динамику ветровой эрозии климатического и геолого-геоморфологического факторов, сочетание которых обусловило территориальную дифференциацию показателя интенсивности рассматриваемого процесса по территории страны.

Ключевые слова: дефляция; ветровая эрозия; пыльная буря; экзогенная геодинамика; Беларусь.

DEFLATION PROCESSES ACROSS THE TERRITORY OF BELARUS AND THEIR MAIN DRIVERS

Е. А. Kukharik^{1, 2)}, I. S. Danilovich^{1, 3)}, I. V. Kostyuchenko³⁾

¹⁾*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,
F. Skoriny St., 10, 220076, Minsk, Belarus, irina-danilovich@yandex.ru*

²⁾*Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65,
220013, Minsk, Belarus, shzhk@mail.ru*

³⁾*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4,
220030, Minsk, Belarus, dilaila-m@mail.ru*

The study presents an analysis of the deflation pattern and intensity across the territory of Belarus. The frequency and intensity of dust storms were calculated based on the average and maximum wind speeds, as well as the duration of these events. The wind regime and geologic-geomorphological structure of the region were defined as a leading drivers of the spatial distribution of deflation intensity throughout the country.

Key words: deflation; wind erosion; dust storm; exogenous geodynamics; Belarus.

Введение. Дефляция в настоящее время является одним из наиболее активных экзогенных геологических процессов, проявляющихся на территории Беларуси. Развитие дефляции, обусловленное рядом факторов природного и антропогенного характера, приводит к существенным негативным последствиям для окружающей среды и жизнедеятельности человека. Они заключаются, прежде всего, в разрушении минеральных и органических почв, уничтожении посевов сельскохозяйственных культур, засыпании территорий населенных пунктов, русел рек, каналов, чаш водохранилищ продуктами эолового переноса и аккумуляции и загрязнением воздушного бассейна, снижением видимости и т. д. Это обусловило высокий интерес к рассматриваемой проблеме и постановку специальных научных исследований не только в Беларуси [1], но и в странах ближнего и дальнего зарубежья [2, 3].

На ранних этапах исследований ветровой эрозии у нас в стране различными авторами были рассмотрены основные факторы активизации и механизм проявления дефляции в условиях Беларуси, проведены оценки степени дефлированности почв, разработаны приемы и методы защиты почвенного покрова от разрушения ветром. Однако к настоящему времени накоплен значительный объем фактического материала, включающий результаты метеорологических наблюдений и уточненные оценки по интенсивности эоловых процессов. Учитывая вышесказанное, цель настоящего исследования заключается в установлении современных пространственно-временных особенностей и последствий проявления дефляции на территории Беларуси в последние десятилетия.

Материалы и методы исследований. Под пыльной бурей понимается перенос больших количеств пыли или песка сильным ветром в приземном слое воздуха, при этом может наблюдаться подъем песка и частиц почвы в воздух и одновременно оседание пыли на большой территории. Перенос пыли, частиц почвы и песка у поверхности земли до высоты не более 2 м называется пыльным поземком [4].

В исследовании использованы данные о числе случаев, сроках и продолжительности пыльных бурь и пыльных поземков за период 1961–2021 гг. по 45 метеорологическим станциям Белгидромета Минприроды. Для анализа интенсивности процессов дефляции использованы результаты ежедневных измерений средней и максимальной скорости ветра (порывов) за период 1977–2021 гг. На основании анализа скорости ветра и продолжительности пыльных бурь и поземков были определены показатели их интенсивности, выраженные в баллах. Балльность пыльных бурь и поземков по продолжительности была определена по ранжированному ряду: до 1 ч – 1 балл, 1,1–3,0 ч – 2 бала, 3,1–5,0 ч – 3 балла, более 5,1 ч – 4 балла, более 24 ч – 5 баллов. Скорость ветра до 10 м/с оценивалась в

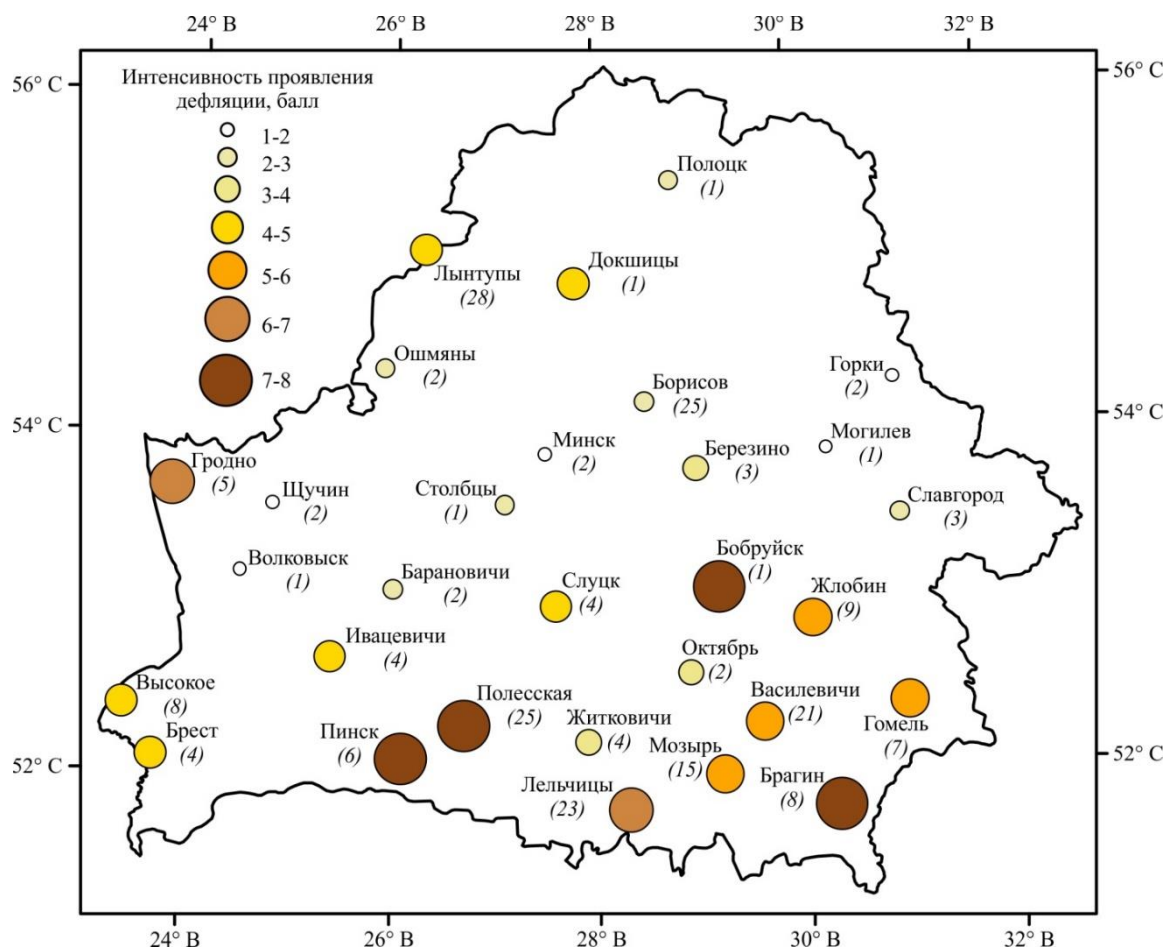
1 балл, 10,1–15,0 м/с – 2 балла, более 15 м/с – 3 балла. Влияние максимальных порывов ветра учитывалось посредством введения поправок: до 15 м/с – 1,1, до 20 м/с – 1,2, до 25 м/с – 1,3, более 25 м/с – 1,4. Далее полученные баллы для каждого случая пыльной бури/поземка перемножены и выведенные коэффициенты осреднены для каждой метеорологической станции [5]. Рассчитанное значение интенсивности пыльных бурь и поземков изменяется от 1,1 до 7,8 для рассматриваемых станций.

Результаты и их обсуждение. На территории Беларуси проявления дефляции получили широкое распространение и отмечались хотя бы один раз на 38 из 45 метеорологических станций, имеющих длительные ряды наблюдений за этим процессом. Наибольшая повторяемость пыльных бурь и поземков приходится на период 1961–1970 гг. Суммарное количество случаев этих явлений по всем станциям в начале рассматриваемого десятилетия составляло 10 случаев в год, во вторую половину десятилетия превышало в отдельные годы 80 случаев в год. В период с начала 1970-х гг. до середины 1990-х гг. повторяемость пыльных бурь и поземков значительно снизилась, но проявления дефляции наблюдаются практически ежегодно хотя бы на одной метеорологической станции страны, их суммарное количество варьирует от 1–2 до 10 явлений в год.

Средняя продолжительность проявлений дефляции составляет 3,5 ч и варьирует от нескольких минут до 10 ч и более. В последние десятилетия средняя продолжительность пыльных бурь и поземков сократилась до 2,8 ч. Средняя скорость ветра при прохождении рассматриваемых явлений составляет 3–4 м/с, средняя из максимальных значений скорость ветра отмечается на уровне 7 м/с, порывы ветра в среднем составляют 13–14 м/с, но изменяются от 7 до 24 м/с.

Результаты расчета интенсивности дефляции по продолжительности явления и скорости ветра (рисунок) показывают, что наибольшие значения интенсивности процесса характерны для юго-востока Беларуси (Пинск, Полесская, Лельчицы, Брагин, Гомель, Жлобин, Бобруйск, Василевичи, Мозырь), средняя интенсивность пыльных бурь на этих станциях составляет 6–8 баллов. Пыльные бури интенсивностью 4–6 баллов характерны для метеостанций, расположенных на юго-западе и западе страны (Ивацевичи, Брест, Высокое, Гродно). Наименьшие показатели интенсивности (2–3 балла) характерны для метеорологических станций, приуроченных к Центральнобелорусским возвышенностям и грядам.

Такое пространственное распределение интенсивности пыльных бурь и поземков тесно связано с несколькими факторами, в первую очередь с климатическим, влияние которого проявляется через динамику ветрового режима, влажности воздуха, частоты и интенсивности выпадения осадков. Кроме того, интенсивность пыльных бурь и поземков предопределяется геолого-геоморфологическим фактором, т. е. характером рельефа земной поверхности и составом покровных отложений.



В скобках указано число зафиксированных проявлений дефляции на определенной метеостанции.

Схема распределения расчетного показателя интенсивности дефляции по территории Беларуси, составленная по данным за 1977–2021 гг.

Среди климатических факторов важнейшими являются скоростной режим ветра и режим увлажнения. Современное изменение климата в Беларуси связано со снижением скорости ветра (средней и максимальной) с 1970-х гг., что и обусловило уменьшение частоты проявления дефляции на территории страны. Снижение скорости ветра в теплый период года, когда дефляционные процессы более активны, оценивается в 0,6–0,7 м/с. Оно связано с заметным ростом повторяемости антициклонального характера погоды в последние десятилетия. В режиме увлажнения отмечается возрастание частоты и продолжительности засух, особенно в южной части страны [6], что обуславливает большую уязвимость почвенного покрова к дефляции.

Однако за последние 20 лет на большинстве метеостанций Беларуси летом максимальная скорость (порывы) ветра увеличилась на 1–3 м/с. Более того, с 2010 г. прослеживается увеличение годовой скорости ветра на

0,1–1,1 м/с на 50 % площади страны. Это может вызвать рост числа случаев пыльных бурь в будущем.

Геолого-геоморфологический фактор оказывает существенную роль в активизации процесса дефляции. Этому способствует плоский характер рельефа и наличие на земной поверхности податливых ветровому разрушению и переносу отложений (песчаных, переосушенных органогенных (торфяных)). Так, основной ареной проявления дефляции в Беларуси является Полесский регион, характеризующийся широким развитием заболоченных аллювиальных, озерно-аллювиальных и водно-ледниковых равнин. Кроме перечисленных выше природных особенностей Белорусского Полесья существенный вклад в динамику дефляции вносит хозяйственная деятельность человека. Известно, что начиная с 1960-х гг. на юге страны развернулись масштабные мелиоративные работы, которые привели к формированию обширных осушенных пространств. Понижение уровня грунтовых вод в сочетании с интенсивным использованием мелиорированных площадей в сельском хозяйстве привело к переосушению верхних горизонтов органогенных отложений и усилению минерализации торфа. В таких условиях покровные отложения теряют свою устойчивость к воздействию ветра и разрушаются. Наименьшие показатели интенсивности процессов дефляции характерны для Центральнорусских возвышенностей и гряд, рельеф которых сформировался преимущественно в сожскую стадию припятского оледенения. Припятские (сожские) моренные отложения достигают мощности более 300 м и слабо подвержены дефляции.

Заключение. Процессы дефляции получили широкое развитие на территории Беларуси. Результаты расчета интенсивности пыльных бурь и поземков по продолжительности явления и скорости ветра показывают, что наибольшие значения интенсивности пыльных бурь характерны для юго-востока страны, наименьшая интенсивность приурочена к Центральнорусскому региону.

Основными факторами, обуславливающими интенсивность дефляции, выступают скорость ветра и режим увлажнения, а также характер рельефа и подстилающей поверхности. Со скоростью ветра связана временная динамика повторяемости числа пыльных бурь и поземков: снижение скорости ветра, начиная с 1970-х гг. обусловило уменьшение интенсивности процессов дефляции в Беларуси. В пространственном отношении наиболее интенсивные дефляционные процессы отмечаются на юго-востоке страны и связаны с низменным характером рельефа и широким распространением податливых ветровому разрушению аллювиальных, озерно-аллювиальных, водно-ледниковых, осушенных органогенных (торфяных) отложений.

Библиографические ссылки

1. Червань А. Н., Цыбулько Н. Н., Яцухно В. М. Методические подходы и практическое применение результатов оценки деградации земель/почв Беларуси // Изв. РАН. Сер. географ. 2022. Т. 86, № 1. С. 55–68.
2. Романовская А. Ю., Савин И. Ю. Современные методы мониторинга ветровой эрозии почв // Бюл. Почвен. ин-та им. В. В. Докучаева. 2020. Вып. 104. С. 110–157.
3. Webb N. P., Kachergis E., Miller S. W., McCord S. E., Bestelmeyer B. T., Brown J. R., Chappell A., Edwards B. L., Herrick J. E., Karl J. W., Leys J. F., Metz L. J., Smarik S., Tatarko J., Van Zee J. W., Zwicke G. Indicators and benchmarks for wind erosion monitoring, assessment and management // Ecological Indicators. 2020. Vol. 110. P. 1–12.
4. Правила проведения приземных метеорологических наблюдений и работ на станциях : ТКП 17.10-12-2009 (02120). Введ. 01.04.09. Минск : Минприроды, 2009.
5. Чижигов Ю. А., Камлюк Г. Г. Особенности проявления пыльных бурь на территории Беларуси // Літасфера. 1997. № 6. С. 92–100.
6. Данилович И. С., Гледко Ю. А., Тарасевич И. В. Повторяемость засух на территории Беларуси в связи с атмосферной циркуляцией в Атлантико-Европейском секторе // Метеорология и гидрология. 2023. № 9. С. 61–71.

УДК 550.3

МЕТОД ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА СКВАЖИН

Т. С. Лисина

*ГУО «Средняя школа № 37 г. Могилева», бульвар Непокоренных, 70,
212029, г. Могилев, Беларусь, lisa100986@mail.ru*

Рассматривается один из геофизических методов исследования скважин.

Ключевые слова: исследование скважин; индукционный каротаж.

THE METHOD OF INDUCTION LOGGING OF WELLS

T. S. Lisina

*GUO «Secondary school No. 37 of Mogilev», Nepokorenniyh boul., 70,
212029, Mogilev, Belarus, lisa100986@mail.ru*

Discusses one of the geophysical methods of well research.

Keywords: exploration of wells; induction logging.

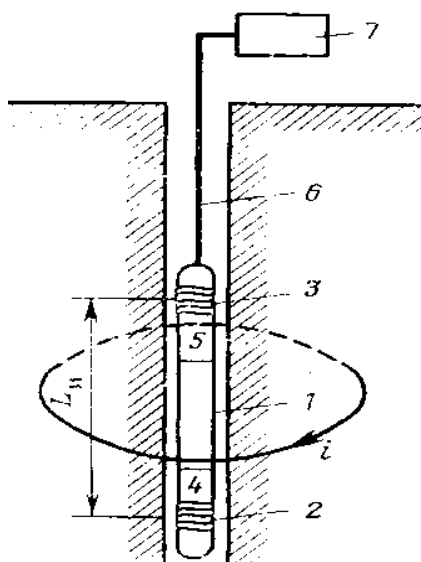
Геофизические методы исследования скважин служат для получения геологической документации разрезов скважин, выявления и промышленной оценки полезных ископаемых, осуществления контроля за разработкой нефтяных и газовых месторождений, изучения технического состояния скважин и т. д. С этой целью по данным геологического исследования скважин (ГИС) изучают в скважинных условиях физические свойства горных пород [1, с. 34].

Методы ГИС подразделяются на электрические, радиоактивные, акустические, магнитные, термические и др. Геофизические методы позволяют представить разрезы скважин комплексом физических характеристик, таких как удельное электрическое сопротивление, радиоактивность, теплопроводность изучаемых сред, скорость распространения упругих волн в них и др. [1, с. 34]. В данной статье рассмотрим один из методов ГИС – индукционный каротаж (ИК).

Индукционный каротаж (ИК) – один из наиболее важных методов электрического каротажа (рис. 1). При ИК удельную электрическую проводимость горных пород, пересеченных стволом скважины, изучают с помощью специальной установки – зонда, принимающего сигналы, индуцированные вихревыми токами окружающей среды. Основные

преимущества ИК: относительно большая глубинность исследований при незначительном влиянии вмещающих пород, отсутствие гальванического контакта установки со средой, вследствие чего становится возможным исследование пустых и заполненных непроводящей промывочной жидкостью скважин, измерение КС с большой точностью в породах с малым значением удельных сопротивлений (менее $10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) [2].

Первоначально метод разрабатывался для исследования скважин, заполненных не проводящим электрический ток буровым раствором, в котором обычно метод КС или метод экранированного заземления, имеющие систему токопроводящих и измерительных электродов, применены быть не могут. Однако в последующем были обнаружены существенные преимущества индукционного метода при изучении геологических разрезов низкого сопротивления в скважинах, заполненных обычным токопроводящим буровым раствором [3].



Обозначения. 1 – скважинный снаряд-зонд; 2 – излучающая катушка; 3 – приемная катушка; 4 – генератор; 5 – усилитель и выпрямитель; 6 – кабель; 7 – регистрирующий прибор.

Рис. 1. Принципиальная схема индукционного метода

Индукционный каротаж в комплексе с другими фокусированными методами с различной глубинностью исследований успешно решает задачи изучения разрезов по методу сопротивлений.

В рассмотренных выше методах электрического каротажа удельное электрическое сопротивление исследовалось и измерялось посредством регистрации разности потенциалов ΔU между измерительными электродами, находящимися непосредственно в электрическом поле токовых электродов. В индукционном каротаже кажущееся сопротивление горных

пород измеряется, путем регистрации, индуцированной полем вихревых токов ЭДС (ΔU), рождаемых магнитным полем генераторной катушки. Принимается, что вторичное магнитное поле находится в фазе с током в генераторной цепи. Величина ЭДС (ΔU) в измерительной цепи характеризует электропроводность окружающей среды [4].

Установка индукционного каротажа (зонд) в принципе представляет собой две индукционные катушки – генераторную и измерительную, расположенные по оси скважины на некотором расстоянии друг от друга (рис. 2).

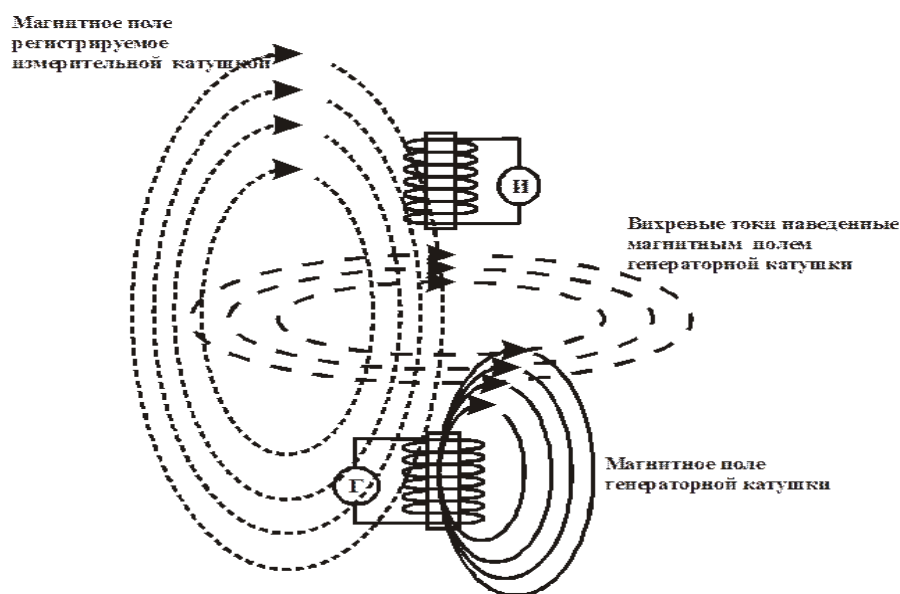


Рис. 2. Принципиальная схема создания магнитных полей при индукционном каротаже

ИК основан на изучении особенностей распространения постоянных и переменных электромагнитных полей, и определении по измеренным полям электромагнитных параметров среды, несущих важную информацию о петрофизических свойствах, термодинамическом и фазовом состоянии пород в земных недрах. Горные породы в зависимости от их состава, структуры и условий залегания обладают различными электрическими свойствами – удельным электрическим сопротивлением, диэлектрической проницаемостью и другими. Таким образом, реальный геологический разрез можно рассматривать как часть пространства, заполненную средами с различными геоэлектрическими свойствами. Эти свойства, а также геометрические параметры сред – мощность, глубина залегания, угол падения пород – определяют геоэлектрический разрез, характеризующий геологическое строение района.

Библиографические ссылки

1. *Плакс Д. П., Бабец М. А.* Промысловая геофизика: учебно-методическое пособие для студентов специальности I-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых» направления I-51 02 01 04 «Буровые работы». Минск : БНТУ, 2016.
2. StudFiles. Файловый архив студентов [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/5679524/page:5> (дата обращения: 16.09.2023).
3. StudFiles. Файловый архив студентов [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/3351136/page:3> (дата обращения: 16.01.2024).
4. Файловый архив [Электронный ресурс]. URL: <https://mlysov.ru/interpretaciya-rezultatov-geofizicheskikh-issledovanij-skvazhin> (дата обращения: 03.12.2023).
5. *Ратушняк А. Н., Теплухин В. К.* Теоретические и экспериментальные основы индукционных методов исследований скважин. Екатеринбург : УрО РАН, 2017.

УДК 551.79:581.48 (476)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ФЛОРЕ РАЗРЕЗА ГРАЛЕВО НА ЗАПАДНОЙ ДВИНЕ

Г. И. Литвинюк, О. В. Силицкая

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

Муравинское межледниковье является наиболее изученным отрезком времени в четвертичном периоде, но острота и актуальность его изучения важны для понимания процессов развития флоры и изменений климата в будущем. В статье приводятся результаты палеокарпологического изучения разреза муравинских межледниковых отложений в карьере Гралево возле г. п. Руба на северо-востоке Беларуси. По результатам изучения анализируется состав ископаемой флоры, выявлены особенности ее формирования, проведены палеоклиматические реконструкции и определены температурные параметры для оптимума муравинского межледниковья северо-востока Беларуси.

Ключевые слова: палеогеография; палеоклимат; ископаемая флора; палеокарпологический анализ; муравинское (микулинское) межледниковье.

NEW DATA ON THE FLORA OF THE GRALEVO SECTION ON THE WESTERN DVINA

G. I. Litviniuk, V.V. Silitskaya

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4,
220030, Minsk, Belarus, litvinhi@bsu.by, silitskayaov@bsu.by*

The Muravinsky interglacial is the most studied period of time in the Quaternary period, but the acuteness and relevance of its study are important for understanding the processes of flora development and climate change in the future. The article presents the results of a paleocarpological study of the section of the Muravinsky interglacial deposits in the Gralevo quarry near the town of Ruba in the north-east of Belarus. Based on the results of the study, the composition of the fossil flora is analyzed, the features of its formation are revealed, paleoclimatic reconstructions are carried out and temperature parameters for the optimum of the Muravinsky interglacial in the north-east of Belarus are determined.

Keywords: paleogeography; paleoclimate; fossil flora; paleocarpological analysis; Muravinsky (Mikulin) interglacial period.

В западной стенке доломитового карьера, расположенного на левом берегу Западной Двины в 12 км выше г. Витебска, обнажаются поозерская,

днепровская и березинская морены, разделенные муравинскими (микулинскими) и александрийскими (лихвинскими) межледниковыми торфами, гиттиями и супесями. Линзы муравинских межледниковых отложений прослеживаются на большом расстоянии и детально изучались А. Ф. Санько, Л. Н. Вознячуком, А. Н. Мотузко, Ф. Ю. Величкевичем, О. П. Кондратене и автором [1–3]. Александрийские (лихвинские) отложения вскрываются периодически при разработке вскрыши и залегают в понижении зеленовато-серой морены, залегающей на доломитах девонского возраста. Перекрываются они флювиогляциальными песками и красно-бурой мореной.

Возраст межледниковых отложений был определен различными палеонтологическими методами (палеокарпологическим, спорово-пыльцевым, териофаунистическим). А. Ф. Санько, изучавший данное обнажение в течение многих лет, построил детальный геологический профиль стенок карьера, отобрал небольшие серии образцов из различных линз для анализов, так как геологическая ситуация при снятии вскрыши все время изменяется. Две таких серии образцов были переданы автору для изучения состава ископаемой семенной флоры.

Одна серия, более полная, происходила из муравинских отложений, а вторая, состоящая всего из двух образцов, – из александрийских. Линзы межледниковых отложений очень маломощные (всего 1,5 м), часто выклиниваются, а выявленная семенная флора, особенно александрийская, бедна и не совсем выразительна. Поэтому для выяснения более детальных палеогеографических условий и более полного состава флоры в данных межледниковых следует проводить многократное изучение их отложений.

Из муравинской линзы на палеокарпологический анализ было передано 6 образцов предварительно отмытой породы. После их обработки в лабораторных условиях и выборки под микроскопом была получена небольшая флора (таблица).

Таблица

Состав семенной флоры разреза Гралево 81

Растение	Номера образцов						Обр. общий
	1	2	3	4	5	6	
Characeae gen.	ом	ом	ом	ом			1
Selaginella selaginoides (L.) Link		6	1	3	8	ом	ом
Isoetes lacustris L.						1	
Salvinia natans (L.) All.		1			мн	ом	ом
Picea sp.	+	1+	1+				+
Pinus sp.					+		+
Typha sp.	4				10	мн	1
Sparganium emersum Rehm.					1		31
S. microcarpum (Neum.) Raunk.							3

Продолжение таблицы

Растение	Номера образцов						Обр. общий
	1	2	3	4	5	6	
Sparganium sp.						66	
Potamogeton natans L.	5	4	6		34	27	45
P. cf. perfoliatus L.	7						
P. crispus L.					13		
P. gramineus L.	3				18		
P. alpinus Balbis				2		41	16
P. praelongus Wulf.	3	5	3		2		
P. filiformis Pers.	26	13	6			2	30
P. vaginatus Turcz.	12	5	31	20			
P. pusillus L.			4			ом	мн
Zannichelia palustris L.	3						
Najas major All.					мн		
N. marina L.	+				ом	10	7
Caulinia flexilis Willd.					2		3
C. minor (All.) Coss. et Germ.							2
Alisma plantago-aquatica L.					40		ом
Sagittaria sagittifolia L.					2	ом	
Stratiotes sp.					4+	1	+
Scirpus lacustris L.					23	2	15
S. sylvaticus L.					1		1
Eleocharis e gr. palustris (L.) Roem. et Schult.					2	2	12
E. ovata (Roth) Roem. et Schult.							11
Cladium cf. mariscus (L.) Pohl.							8
Carex spp.	21	9	19		65	ом	ом
Lemna trisulca L.					2	1	8
Betula alba L.	59	31	3		8		
B. humilis Schrank						5	67
Alnus cf. incana (L.) Moench			1		51	19	ом
Corylus sp.					+		
Urtica dioica L.					1	19	4
Urtica sp.							17
Pilea sp.					2		3
Rumex cf. maritimus L.	ом		3				1
Rumex sp.							3
Polygonum lapatifolium L.					2		8
Chenopodium sp.					2		23
Moehringia trinervia (L.) Clairv.	23						3
Stellaria cf. media Retz.							46
Lychnis sp.		1					
Nuphar lutea (L.) Smith					2+	3+	+
Ceratophyllum demersum L.					10		
C. submersum L.			1				

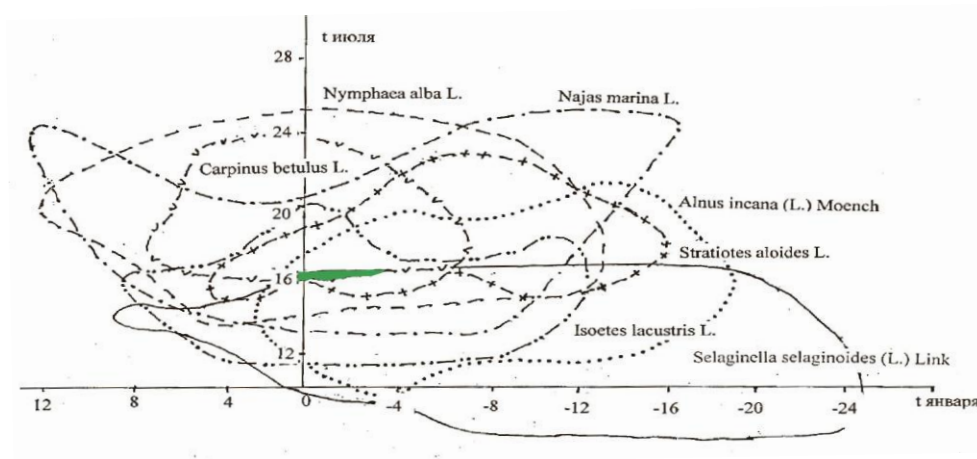
Окончание таблицы

Растение	Номера образцов						Обр. общий
	1	2	3	4	5	6	
Ranunculus sceleratus L.					47		
R. sceleratoides L.	18					14	58
R. reptans L.						5	4
R. repens L.						43	
R. flammula L.		6					
Ranunculus sp.	4					19	4
Batrachium sp.		ом	102		4	20	4
Thalictrum sp.					1		
Rorippa palustris (L.) Bess.	2	1					7
Aldrovanda vesiculosa L.					11		2
Rubus idaeus L.				1			14
Comarum palustre L.							17
Fragaria vesca L.	ом						
Potentilla anserina L.	2	2					
Potentilla sp.			2				
Empetrum nigrum L.							5
Hypericum sp.							10
Elatine hydropiper L.						40	
Viola sp.							7
Myriophyllum spicatum L.			1+		8		ом
M. verticillatum L.						4	
Myriophyllum sp.	1						
Hippuris vulgaris L.		1	2	1		1	9
Lysimachia vulgaris L.							1
Menyanthes trifoliata L.					18	1	+
Lycopus europaeus L.					20	2	34
Mentha arvensis L.					13		
Cirsium palustre L.		1	2				1

Примечание: ом – очень много остатков, более 100; мн – много, более 50; + единичные обломки семян.

Выявленная флора по сравнению с ранее полученной, хоть и содержит элементы оптимума межледниковья (Caulinia, Stratiotes, Corylus, Aldrovanda), но значительно беднее за счет отсутствия термофильных элементов из группы бразениевого комплекса. Она, по-видимому, отражает неоптимальные отрезки межледниковья и этим дополняет ее видовой состав. В результате повторного изучения выявлено 17 новых видов из семейств осоковых, розоцветных, обитающих в основном по болотам, лугам, берегам водоемов на севере республики, свидетельствующих об умеренных и даже прохладных условиях. В результате общий состав флоры увеличился и насчитывает 115 видов древесных, кустарниковых и травянистых растений. Проведенные палеоклиматические исследования путем совмещения ареалов распространения термофильных видов ископаемых

плодов и семян позволили установить, что средние температуры июля для данной местности колебались в пределах от +16,0 °С до +17,0 °С, а января – от +1,0 °С до –3,0 °С (рисунок). Полученные данные вполне сопоставимы с данными по близ расположенным разрезам, такими как Белый Ров (июль – от +17,0 °С до +24,0 °С; январь – от +7,0 °С до –7,2 °С), Островец (июль – от +17,2 °С до +20,5 °С; январь – от +0,2–0,3 °С до –7,2–7,3 °С), а также хорошо коррелируются с палинологическими материалами [4], что позволяет составить более полное представление о флоре и растительности существовавшей на северо-востоке Беларуси в муравинское время [4–6].



Реконструкция палеотемпературных показателей
для оптимума муравинского межледникового разреза Гралево

Библиографические ссылки

1. Санько А. Ф. Неоплейстоцен северо-восточной Белоруссии и смежных районов РСФСР. Минск : Наука и техника, 1987.
2. Величkevич Ф. Ю. Плейстоценовые флоры ледниковых областей Восточно-Европейской равнины. Минск : Наука и техника, 1982.
3. Литвинюк Г. И. Межледниковая флора разреза Гралево на Западной Двине // Палеонтология и ее роль в познании геологического строения территории Белоруссии. Минск : Наука и техника, 1986. С. 210–216.
4. Рылова Т. Б., Савченко И. Е., Винтер Х. Растительность и климат территории Беларуси и Польши в позднеприпятское (поздняя одра), муравинское (эем) и раннепоозерское (ранний вистулиан) время // Літасфера. 2013. № 2(39). С. 3–23.
5. Литвинюк Г. И. Палекарпологические и палеоклиматические исследования муравинских межледниковых флор Белорусской гряды // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2020. № 2. С. 70–77.
6. Литвинюк Г. И. Новые данные о геологическом строении и семенной флоре разреза Островец // Весн. Брэсц. ун-та, сер. 5. 2023. № 2. С. 100–110.

УДК 550.4:551.3(476)

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОХИМИИ АЛЛЮВИАЛЬНОГО ЛИТОГЕНЕЗА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

О. В. Лукашёв, О. В. Силицкая

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
20030, г. Минск, Беларусь, lukashev@bsu.by, silitskayaov@bsu.by*

Рассмотрены основные черты геохимии аллювиального литогенеза на территории Беларуси.

Ключевые слова: аллювиальный литогенез; макро- и микроэлементы; обстановки; гипергенное минералообразование; фации аллювия; формы нахождения.

THE MAIN FEATURES OF THE GEOCHEMISTRY OF THE ALLUVIAL LITHOGENESIS ON THE TERRITORY OF BELARUS

O.V. Lukashev, V.V. Silitskaya

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4,
220030, Minsk, Belarus, lukashev@bsu.by, silitskayaov@bsu.by*

The main features of the geochemistry of alluvial lithogenesis in the territory of Belarus are considered.

Keywords: alluvial lithogenesis; macro- and microelements; environments; hypergenic mineral formation; facies of alluvium; forms of location.

I. Геохимические обстановки аллювиального литогенеза. В речных долинах выделяются три вида геохимических обстановок: субаквальная (транссубаквальная), супераквальная и элювиальная.

Субаквальная (транссубаквальная) обстановка свойственна руслу, старичным и болотным водоёмам поймы.

В русле, характеризующемся, как правило, преимущественным накоплением обломочного материала, миграция и аккумуляция элементов осуществляется в виде терригенных минералов и обломков пород. Распределение элементов подчиняется дифференциации по размерам и удельному весу частиц по зонам: стрежень → пристрежневая полоса → русловая отмель. В последней, за счет волнового прибоя, могут образовываться природные шлихи, обогащённые минералами редких и рассеянных элементов. Ввиду преимущественного развития песчаного материала, литогенез характеризуется, в основном, накоплением Si, в меньшей мере – Al,

K, Na, Ca, Mg и микроэлементов. Новообразования – оксиды Fe, карбонаты – здесь проявлены слабо. Диагенетические преобразования заключаются в некотором уплотнении осадка, окислении. Среда в целом нейтральная или слабощелочная.

В старичных и болотных водоемах процессы механической садки выражены слабо и связаны с осаждением илистого материала. Широко развиты биохимические процессы. Обстановка, в основном, слабощелочная или слабокислая. Формируются гипергенные оксиды Fe и карбонаты, в старицах в щелочной среде образуются сульфиды Fe (пирит, марказит), в болотах – фосфаты (вивианит).

Супераквальная обстановка свойственна пойме. Особенности протекания процессов аллювиального литогенеза здесь проявляются в чередовании аквальных и аэральных условий, ослабленной по сравнению с руслом силе потока речных вод в период половодий, влиянии грунтовых вод, большом разнообразии геоморфологических обстановок и др.

В пойме выделяются участки с преимущественным накоплением тонкого обломочного материала в прибрежной пойме, хемогенных (луговые мергели, болотные железные руды на заболоченных поймах) и биогенных продуктов (торф – в притеррасной пойме).

Ослабленное движение речных вод ведёт к механическому накоплению элементов в составе тонких песков, супесей, глин, наилков.

Смена аквальных и аэральных условий обуславливает большую интенсивность процессов выветривания, окисления, восстановления, коагуляции коллоидов и их кристаллизации и т. д. Проявляются процессы диагенетического преобразования: обезвоживание и отвердевание осадка, коагуляция и синерезис коллоидов, формирование гипергенных минералов. В кислой среде широко распространены оксиды и гидрооксиды Fe и Mn. В местах скопления органического вещества и развития микроорганизмов (восстановительная среда) формируются карбонаты, фосфаты, окисные формы Fe переходят в закисные, а при наличии H_2S – в FeS_2 .

Литогенез в условиях поймы тесно связан с почвообразованием. Инфильтрация атмосферных осадков и паводковых вод ведёт к перераспределению с развитием горизонтов ожелезнения и оглеения.

По сравнению с субаквальной обстановкой, в супераквальной происходит бо́льшая концентрация Al, Fe, Mn и микроэлементов.

Элювиальная обстановка свойственна преимущественно террасам, где ранее сформированные аллювиальные отложения испытывают вторичные эпигенетические изменения. Выветривание, миграция и перераспределение элементов здесь связаны, главным образом, с элювиальными, делювиальными и эоловыми процессами. Геохимическая специфика почвообразования заключается, в основном, в подзолообразовании.

Применительно, например, к бассейну р. Днепр соотношение обстановок литогенеза имеет следующий характер: 1. Уменьшение доли субаквальных и возрастание доли супераквальных обстановок вниз и вкрест простирающихся речных долин. 2. В субаквальных обстановках влияние на среду литогенеза преимущественного накопления обломочного материала уменьшается, а биогенного и хемогенного – возрастает от стрежени вглубь поймы и вниз по долине реки. 3. Роль биогенного материала и биохимических процессов усиливается по мере развития старичных и болотных водоёмов (ряд: затон → старица ранней, озёрной стадии зарастания → болото). 4. В пределах супераквальных обстановок преимущественное накопление обломочного материала ослабевает, а биогенное и хемогенное усиливается в направлении от приречной к центральной и притеррасовой поймам. 5. Роль биогенных процессов и продуктов в межледниковом литогенезе возрастает с периодическими потеплениями и уменьшается с похолоданиями климата.

II. Гипергенное минералообразование в аллювии. В частности, для бассейна р. Днепр выделяется 6 групп гипергенных минералов [1]: 1) оксиды и гидрооксиды Fe, Mn, Ti, Si; 2) карбонаты Ca, Mg, Fe, Mn; 3) фосфаты; 4) сульфиды Fe; 5) сульфаты Ca; 6) алюмосиликаты.

Гидрооксиды Fe – наиболее распространённые новообразования. Представлены порошковатыми и плёночными налётами и корками, студенистыми сгустками, примазками на обломках, конкреционными стяжениями, ортзандами и ортштейновыми горизонтами, болотными рудами, псевдоморфозами по корням растений. Сложены гидрогётитом, коллоидными гидрооксидами, лимонитом и – редко – лепидокрокитом и др. Развитие вторичных оксидов и гидрооксидов Fe^{3+} придаёт осадкам желтую, желтовато-бурую и бурую окраску. В условиях обводнённых пойм осадки имеют серый цвет из-за закисных (Fe^{2+}) соединений Fe. *Гидрооксиды Mn* обычно образуют смеси с оксидами Fe. Иногда отмечаются самостоятельные выделения псиломелана в виде примазок и порошковатых налетов. *Гидрооксиды Ti* (лейкоксен) встречаются в виде зерен, пленок и налетов на ильмените и биотите. *Гидрооксиды Si* в виде новообразований опала, развивающихся по растительным остаткам, отмечены в русловом и пойменном аллювии бассейна р. Припять.

Карбонаты в речных осадках встречаются в виде порошковатых налетов, примазок, конкреций и самостоятельных горизонтов, образующихся как в современных пойменных и старичных условиях, так и древних аллювиальных свитах. Представлены кальцитом, реже – доломитом, сидеритом, очень редко – манганокальцитом.

Фосфаты встречаются в старицах, на заболоченных поймах и на I надпойменных террасах; реже отмечаются в русловом аллювии (рр. Припять, Горынь, Птичь и др.). Представлены порошковатыми, пленочными и комковатыми образованиями (вивианит, бераунит, керчинит).

Сульфиды Fe встречаются редко. Пирит и марказит отмечены, главным образом, в старичных, реже пойменных осадках. Возможно присутствие гидротроилита и мельниковита.

Сульфаты Ca (гипс) встречены в пойменных осадках муравинского возраста в долине р. Припять.

Алюмосиликаты формируются преимущественно за счет выветривания полевых шпатов и слюд – гидрослюда, монтмориллонит и др.

III. Литогеохимические фации аллювия. По данным комплексного изучения речных отложений, предложена классификация обстановок литогенеза на основе выделения литогеохимических фаций (литогенная; сиаллитно-глинистая; биогенная; сиаллитно-ферритная; сиаллитно-карбонатная) [1].

IV. Формы (состояния) нахождения химических элементов. Валовое (общее) содержание химического элемента в донных отложениях (а также почвах, осадочных породах) включает в себя сумму различных форм (состояний) его нахождения – водорастворимую (1), адсорбированную (2), органическую (3), гидрооксидную (4), прочносвязанную [2]. При воздействии на образец аммонийно-ацетатного буфера в раствор поступают первая-вторая («подвижные») формы, при воздействии слабой кислотой (например, 1 М HCl) – первая-вторая и, частично, третья и четвертая формы, условно понимаемые в этом случае в сумме как «условно-подвижные».

В большинстве случаев, в естественных условиях Беларуси для химических элементов характерно нахождение преимущественно в прочносвязанной форме в кристаллической решетке тех или иных минералов. В зависимости от особенностей протекания процессов техногенного загрязнения и геохимических свойств элементов наблюдается различная степень их перераспределения между указанными формами. Определение форм позволяет судить об интенсивности протекания техногенных процессов и вовлечённости химических элементов в геохимическую миграцию. Использование же данных валового содержания в таких случаях может быть малоинформативным (за счет меньшей контрастности получаемых показателей и др.).

Например, по данным [3], 60 % от общего содержания Zn в осадках водохранилища «Минское море» находится в кристаллической структуре минералов, в 2 км ниже плотины Чижевского водохранилища этот показатель составляет 14 %, тогда как в устье канала Минской станции аэрации – 3 %, и далее, вниз по течению – 7 %. С другой стороны, в указанном

направлении соответственно растут доли адсорбированной и гидрооксидной форм – с 8 до 34–41 % и с 18 до 28–40 %. Иная картина наблюдается в данной ситуации для Cu: 74 % от общего содержания элемента в осадках водохранилища «Минское море» находится в гидрооксидной форме, тогда как в устье канала Минской станции аэрации на 70 % в органической. Для Cd очень важной оказывается адсорбированная форма – 61 % от общего содержания в осадках устья канала и т. д. Вместе с тем, следует отметить, что полный анализ проб методом постадийных вытяжек [2] достаточно трудоёмок и не пригоден для массовых геохимических работ. Как правило, исследователи ограничиваются одной показательной вытяжкой (например, 1 М HCl, см. выше).

Определенный интерес также представляет изучение закономерностей распределения металлов-загрязнителей по отдельным фракциям гранулометрического спектра. Так, согласно данным [4], в техноgeoхимических обстановках наблюдается преимущественный рост содержания Pb, Ni, Cr, Cu, Zn в пелитовой и мелкодисперсной фракциях, что связано с резким естественным увеличением содержания в этих фракциях реагирующего с металлами органического вещества. Изучение металлов в мелких гранулометрических фракциях позволяет проследивать техногенные аномалии в осадках на значительно больших удалениях от источников загрязнения, чем при работе с осадком в целом (например, с фракцией менее 1 мм). С другой стороны, данные по осадку в целом так же важны, так как позволяют сопоставлять друг с другом более-менее однотипные осадки, отобранные на разных территориях [5].

Библиографические ссылки

1. Кузнецов В. А. Геохимия аллювиального литогенеза. Минск : Наука и техника, 1973.
2. Кузнецов В. А., Шимко Г. А. Метод постадийных вытяжек при геохимических исследованиях. Минск : Навука і тэхніка, 1990.
3. Савченко В. В. Техногенный поток рассеяния р. Свислочь // Докл. АН Беларуси. 1992. Т. 36, № 1. С. 67–71.
4. Савченко В. В., Шиманович С. Л., Мурашко Л. И., Колосова Т. Е. Трансформация донных осадков рек при техногенном воздействии // Докл. АН Беларуси. 1993. Т. 37, № 6. С. 99–103.
5. Лукашёв О. В., Жуковская Н. В., Лукашёва Н. Г., Савченко В. В. Геохимические методы мониторинга субаквальных систем (теоретические и прикладные аспекты) // Журн. Белорус. гос. ун-та. 2017. № 1. С. 146–170.

УДК 631.459.3:551.4.042(476)

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ БЕЛАРУСИ

А. В. Матвеев¹⁾, Е. А. Кухарик^{1, 2)}

¹⁾*Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины, 10
220076, г. Минск, Беларусь, matveyev@nature-nas.by*

²⁾*Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65,
220013, г. Минск, Беларусь, shzhk@mail.ru*

На основании применения комплексной методики, включающей изучение опубликованных и фондовых источников, геологических, геоморфологических, топографических карт разных годов издания и масштабов, данных дистанционных съемок и материалов полевых и маршрутных наблюдений, картометрических и картосоставительских работ на территории Центральной Беларуси установлена сеть активных на современном этапе разломов. Показаны особенности их площадного распространения и дифференциации по ориентировке и длине, охарактеризованы геодинамические процессы, происходящие в зонах рассматриваемых разрывных нарушений.

Ключевые слова: активный разлом; эндогенная геодинамика; Центральная Беларусь.

FEATURES OF THE FIELD OF ACTIVE FAULTS IN THE TERRITORY OF CENTRAL BELARUS

A. V. Matveyev¹⁾, E. A. Kukharik^{1, 2)}

¹⁾*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,
F. Skoryna St., 10, 220076, Minsk, Belarus, matveyev@nature-nas.by*

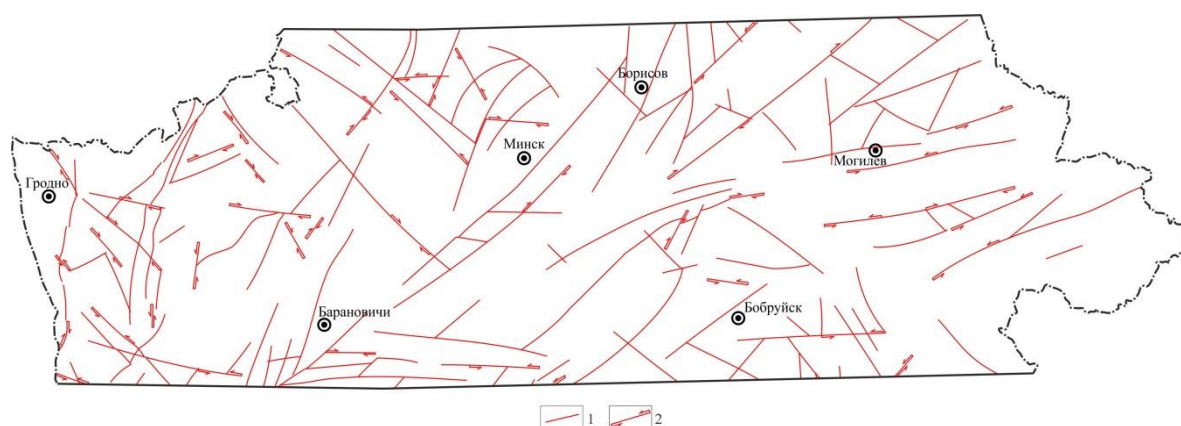
²⁾*Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65,
220013, Minsk, Belarus, shzhk@mail.ru*

A network of active faults has been established on the base of a complex methodology, including the study of published and fund sources, geological, geomorphological, topographic maps of different scales, remote sensing data and materials from field and route observations, cartometric and mapping works on the territory of Central Belarus. The features of their areal distribution and differentiation by orientation and length are shown. And the geodynamic processes occurring in the zones of the considered faults are also characterized.

Keywords: active fault; endogenic geodynamics; Central Belarus.

Несмотря на приуроченность территории Центральной Беларуси к западной части древней Восточно-Европейской платформы, в пределах

этого региона происходит активизация разрывных нарушений [1]. Выполненными исследованиями, которые базировались на применении комплексной методики, включающей изучение опубликованных и фондовых источников, геологических, геоморфологических, топографических карт разных годов издания и масштабов, данных дистанционных съемок и материалов полевых и маршрутных наблюдений, картометрических и картосоставительских работ, установлена сеть из 163 фрагментов активных на современном этапе разломов (рис. 1).



Примечание. 1 – фрагменты активных разломов; 2 – участки проявления горизонтальных смещений по разломным зонам.

Рис. 1. Схема активных разломов территории Центральной Беларуси

Для характеристики особенностей площадного распространения активных на современном этапе разломов были выполнены расчеты плотности рассматриваемых структур на 1 км^2 и построена соответствующая схема (рис. 2). Так, наибольшая плотность разрывных нарушений, равная $150\text{--}200 \text{ м/км}^2$, отмечена в пределах Центрально-Белорусского массива и Ивацевичского погребенного выступа. Несколько меньшие показатели плотности активных разломов ($100\text{--}150 \text{ м/км}^2$) отмечены в центральных частях Воложинского грабена и Жлобинской седловины, в юго-восточных осевых районах Белорусской антеклизы (окрестности г. Волковыск) и Оршанской впадины (вблизи г. Осиповичи), а также у западной границы Могилевской мульды. Плотность активных разломов, равная $50\text{--}100 \text{ м/км}^2$, отмечается в северных, западных и восточных районах Белорусской антеклизы, в восточной и южной частях Оршанской впадины, в крайних северо-западных районах Припятского прогиба. Наименьшие показатели плотности (менее 50 м/км^2) активных разломов характерны для Мазурского погребенного выступа на крайнем западе Центральнорусского региона, а также для значительных по площади участков Белорусской и Воронежской антеклиз и Оршанской впадины.

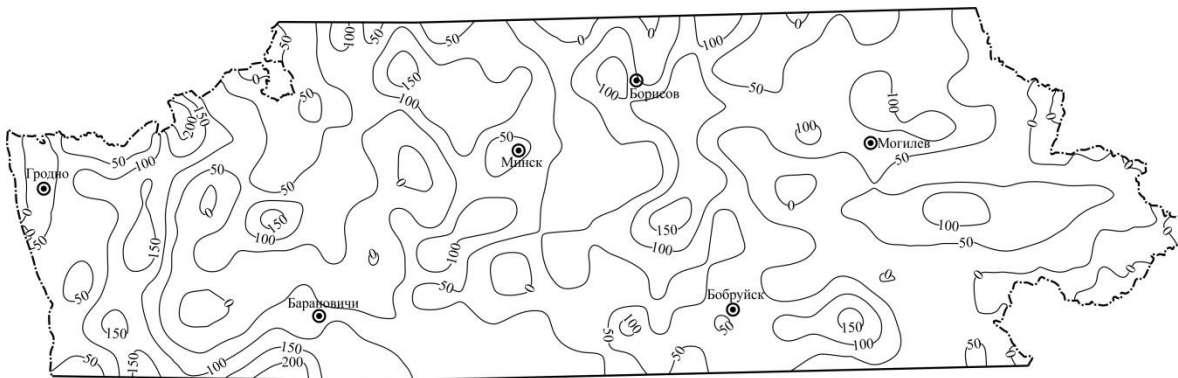


Рис. 2. Схема плотности активных разломов территории Центральной Беларуси, м/км²

Отмечается дифференциация участков активных разломов по длине. Так, протяженность фрагментов дизъюнктивов колеблется в довольно широких пределах – от 3 до 134 км при среднем значении в 36 км. Преобладающее количество разрывных нарушений (87,1 %) имеет длину менее 60 км, а оставшиеся фрагменты дизъюнктивов (12,9 %) вытянуты на 60 км и более. Четко выделяется пик в распределении активных разломов по длине в диапазоне 10–30 км – к нему приурочены 41,7 % от общего числа выделенных активных разрывных нарушений (рис. 3а).

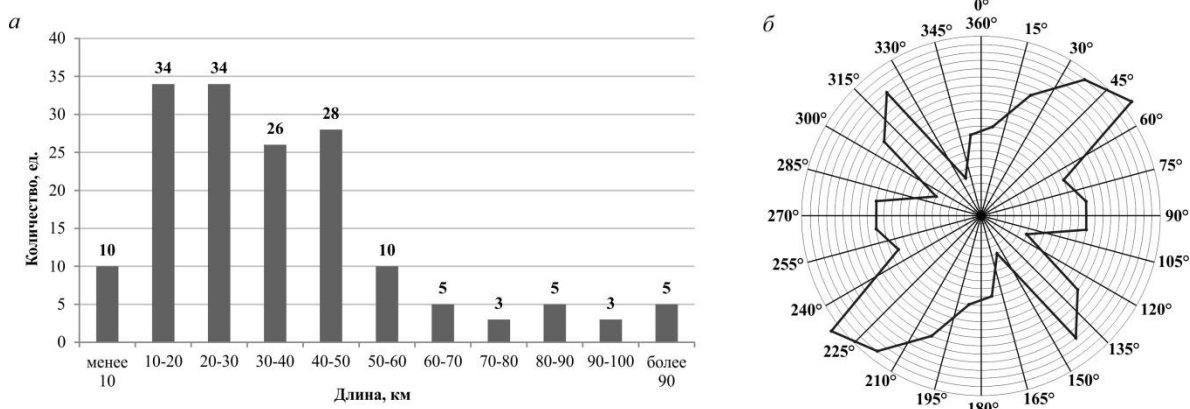


Рис. 3. Гистограмма дифференциации активных разломов по длине (а) и роза-диаграмма распределения этих структур по ориентировке (1 круговое деление равно 1 разрывному нарушению в подсчете) (б)

Существуют также отличия в ориентировке фрагментов активных разломов. Выполненные нами расчеты показали, что 70 дизъюнктивов (42,9 %) имеют диагональное северо-восток – юго-западное, 44 (27,0 %) – диагональное северо-запад–юго-восточное, 25 (15,3 %) – субширотное и

24 (14,7 %) – субмеридиональное простирание. Четко выделяется диагональный северо-восток–юго-западный пик в ориентировке фрагментов активных разломов, приуроченный к диапазонам 30° - 45° – 210° - 225° (21 разрывное нарушение, или 12,9 % от общего количества) и 45° - 60° – 225° - 240° (23 разрывных нарушения, или 14,1 % от общего количества). Второй по значимости максимум в ориентировке дизъюнктивов — диагональный северо-запад – юго-восточный – приурочен к диапазону 135° - 150° – 315° - 330° и насчитывает 19 активных разломов (11,7 %) (рис. 3б).

Проведенные ранее исследования [1–3] показывают, что характер расположения активных разрывных нарушений и их ориентировка служат индикатором разнонаправленных напряжений в земной коре региона. Так, выделяющийся диагональный северо-восток – юго-западный максимум в простирании активных разломов свидетельствует о передаче тектонических напряжений в юго-восточном направлении из восточной части котловины Балтийского моря, которая начала формироваться в среднем плейстоцене. По данным А. К. Карабанова, Р. Г. Гарецкого, Р. Е. Айзберга [4], за последние 400 тыс. лет в этом регионе амплитуда нисходящих неотектонических движений составила не менее 150–200 м, что обуславливает продолжающуюся в настоящее время перестройку структурного плана и сказывается на особенностях эндогенной геодинамики исследуемого региона. Существование второго по значимости диагонального северо-запад – юго-восточного максимума в ориентировке активных дизъюнктивов может быть объяснено динамическим воздействием альпийского Карпатского орогена, формирование которого продолжается в настоящее время. Этот вывод подтверждается материалами Е. А. Паталаха с соавторами: восточный сектор Карпат отвечает фронту Паннонской плиты, которая смещается к востоку под влиянием Адриатического индентора [5]. Ю. Г. Гатинским с соавторами показано, что Паннонский блок испытывает горизонтальное смещение в восток-северо-восточном направлении со скоростью более 20 мм/год [6]. Немаловажным фактором активизации разрывных нарушений явилось также неоднократное внедрение в плейстоцене покровных оледенений в пределы территории Беларуси [3].

Современные геодинамические процессы, протекающие в зонах активных разломов, выражаются в вертикальных смещениях с повышенными градиентами скоростей, которые могут достигать 10-20 мм/год, а также в горизонтальных подвижках, проявлении газово-геохимических и геофизических аномалий. По данным [7, 8], в зонах разломов содержится повышенная концентрация Ni, V, Cu, Y, Ti, реже – Cr, Zr, Co, Mn, Yb, Pb, В, Nb, Be. Эти особенности проявляющихся современных геодинамических процессов в зонах активных разломов могут оказывать существенное влияние на устойчивость различных зданий и сооружений, обуславливать

ухудшение геоэкологической обстановки и осложнение хозяйственного освоения территорий.

Изложенные выше материалы позволяют сделать несколько выводов.

1. На территории Центральной Беларуси в настоящее время существует сеть активных разломов, в зонах которых проявляются геодинамические процессы, приводящие к формированию аномалий в геофизических и геохимических полях.

2. Выделенные дизъюнктивы в территориальном отношении распределены неравномерно. Наибольшая их плотность характерна для Центрально-Белорусского массива и Ивацевичского погребенного выступа ($150\text{--}200\text{ м/км}^2$), наименьшая – для Мазурского погребенного выступа, а также для значительных по площади участков Воронежской антеклизы и Оршанской впадины (менее 50 м/км^2). Активные разломы дифференцируются также по длине и ориентировке.

3. Важными факторами активизации разрывных нарушений являются современные геодинамические процессы, происходящие в Балтийском бассейне и Карпатской горной стране, а также неоднократное внедрение на территорию Беларуси мощных ледниковых покровов в плейстоцене.

Библиографические ссылки

1. Матвеев А. В., Нечипоренко Л. А. Линеаменты территории Беларуси. Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001.

2. Разломы земной коры Беларуси / Под ред. Р. Е. Айзберга. Минск : Красико-Принт, 2007.

3. Матвеев А. В. Активизация разломов в квартере на территории Беларуси // VIII Всероссийское совещ. по изучению четвертич. периода «Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований» : сб. ст. / редкол.: Г. Г. Матишов (гл. ред.) [и др.]. Ростов н/Д. : Изд-во ЮНЦ РАН, 2013. С. 426–428.

4. Карабанов А. К., Гарецкий Р. Г., Айзберг Р. Е. Неотектоника и неогеодиника запада Восточно-Европейской платформы. Минск : Беларуская навука, 2009.

5. Паталаха Е. И., Гончар В. В., Сенченков И. К., Червинко О. П. Элементы геодинамики Карпат. Прогноз углеводородов и сейсмоопасности. Киев : ПП «ЕКМО», 2003.

6. Гатинский Ю. Г., Рундквист Д. В., Тюпкин Ю. С. Блоковые структуры и кинематика Западной Евразии по данным GPS // Геотектоника. 2007. № 1. С. 30–42.

7. Матвеев А. В., Бордон В. Е. Геохимия четвертичных отложений Беларуси. Минск : Беларус. навука, 2013.

8. Матвеев А. В., Карабанов А. К., Автушко М. И. Радон в геологических комплексах Беларуси. Минск : Беларус. навука, 2017.

551.734(476-11)

**БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ОТЛОЖЕНИЙ ДЕВОНСКОЙ СИСТЕМЫ РАЗРЕЗА
ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ 4П КЛИМОВИЧСКАЯ**

В. Ю. Обуховская, Т. Ф. Саченко

*Государственное предприятие «Научно-производственный центр по геологии»,
ул. Купревича, 7, 220084, г. Минск, Беларусь, strat_ig@geologiya.by*

Уточнено биостратиграфическое расчленение девонских отложений в пределах съемочного листа N-36-XX (Кричев) благодаря бурению параметрической скв. 4П Климовичская. За его основу приняты региональная стратиграфическая схема девонских отложений Беларуси (2010 г.) и Стратиграфическая схема Республики Беларусь (2017 г.). Руководящими группами палеонтологических остатков, на которых базируется стратиграфическое расчленение девонских отложений, являются брахиоподы, ихтиофауна и миоспоры.

Ключевые слова: Оршанская впадина; съемочный лист; параметрическая скважина; лона; брахиоподы; ихтиофауна; миоспоры.

**BIOSTRATIGRAPHIC CHARACTERISTICS
OF THE DEVONIAN DEPOSITS OF THE SECTION
OF THE PARAMETRIC BOREHOLE 4P KLIMOVITCHI**

V. Yu. Abukhovskaya, T. F. Sachanka

*State Enterprise «Research and Production Center for Geology»,
Kuprevicha St., 7., 220084, Minsk, Belarus, strat_ig@geologiya.by*

The biostratigraphic subdivision of the Devonian deposits in limits of topo sheet N-36-XX (Krichev) due to drilling of the parametric borehole 4P Klimovitchi is specified. The regional stratigraphic chart of the Devonian deposits of Belarus (2010) and Stratigraphic chart of Republic of Belarus (2017) are used as the basis for studies. The index fossil groups, on which stratigraphic division of Devonian deposits is based, are brachiopods, ichthyofauna and miospores.

Keywords: Orsha Depression; topo sheet; parametric borehole; lone; brachiopods; ichthyofauna; miospores.

В связи с проведением параметрического бурения и глубинного геологического картирования в юго-восточной части Беларуси у д. Высокое Климовичского р-на Могилевской обл., в пределах съемочного листа N-36-XX (Кричев) была пробурена параметрическая скв. 4П (Климовичская). В тектоническом плане ее местоположение отвечает зоне

сочленения западного склона Воронежской антеклизы (Суражский погребенный выступ) и юго-восточной части Оршанской впадины.

Образования нижнего отдела девонской системы (D_1) эмсского яруса (D_{1e}) верхнеэмсского подъяруса (D_{1e2}) в объеме витебского горизонта (*свиты*) (D_{1vt}) выделены в инт. 457,0–498,0 м (мощность 41,0 м). Отложения витебского горизонта (*свиты*) являются базальными для девонских отложений Беларуси. Они трансгрессивно с большим стратиграфическим перерывом залегают на породах вендской системы. По литологическим данным горизонт (*свита*) подразделяется на обольские (D_{1ob}) (*нижняя подсвита*) и лепельские слои (D_{1lp}) (*верхняя подсвита*) [1, 2].

Обольские слои (D_{1ob}) (*нижняя подсвита*) (инт. 485,8–498,0 м = 12,2 м) представлены пачкой переслаивания песчаников пестроцветных, полевошпатово-кварцевых, разнзернистых, крепких, на гипсово-доломитовом цементе и глин серых с зеленоватым оттенком, доломитистых, с прослоями гипсов. В разрезе преобладают песчаники. Из органических остатков здесь присутствуют беззамковые брахиоподы вида *Laima latgalica* Gravitis. Данный вид характерен для резнекского горизонта Латвии, который сопоставляется с витебским горизонтом Беларуси [2,3]. Комплекс миоспор лоны «*Rhabdosporites mirus* – *Gneudnaspora divellomedia*» указывает на витебский возраст вмещающих отложений.

Лепельские слои (D_{1lp}) (*верхняя подсвита*) (инт. 457,0–485,8 м = 28,8 м) сложены глинами разноокрашенными, опесчаненными, местами слабо слюдистыми с подчиненными прослоями песчаника разнзернистого, на глинистом и глинисто-гипсовом цементе. В кровле слоев появляются тонкие прослои глин доломитистых и доломита опесчаненного с оолитами. Присутствуют ходы илоедов (преимущественно в нижней части) и фаунистический детрит. Здесь определены беззамковые брахиоподы вида *Laima latgalica* Gravitis, являющиеся индикатором витебского возраста данных отложений [2, 3].

Средний отдел (D_2) девонской системы представлен эйфельским и живетским ярусами.

Эйфельский ярус (D_{2ef}), подразделяется на нижне-, средне-, и верхнеэйфельский подъярусы [4]. В разряде региональных стратиграфических подразделений нижний подъярус включает адровский горизонт и нижнюю часть наровского надгоризонта — освейский горизонт, среднему подъярусу отвечает средняя часть наровского надгоризонта — городокский горизонт, а верхнему, соответственно, верхняя часть наровского надгоризонта — костюковичский горизонт.

Адровский горизонт (*свита*) (D_{2ad}), (инт. 449,0–457,0 м = 8 м) сложен доломитом серым, зеленовато-серым, местами опесчаненным с прослоями песчаника на глинистом цементе (в нижней части) и глинами серыми

и пестроцветными доломитистыми, опесчаненными. Возраст установлен по палинокомплексу лоны «*Periplectrotriletes tortus* – *Elenisporis biformis*». Наровский надгоризонт (*серия*) (D_{2nr}) выделен в объеме освейского, городокского и костюковичского горизонтов и одноименных *свит* [1, 2].

Освейский горизонт (*свита*) (D_{2os}) (инт. 422,0–449,0 м = 27 м). В строении горизонта выделяются две пачки. Нижняя (441,6–449,0 м = 7,4 м) – карбонатно-сульфатная представлена чередованием глин светло-серых, доломитовых, переходящих в глинистые доломиты и гипсов серых. В подошве – доломит серый, светлый (в основании до белесого) с гнездами и прослойками гипса. В освейских отложениях также выделен комплекс миоспор лоны «*Periplectrotriletes tortus* – *Elenisporis biformis*». Верхняя (422,0–441,6 м = 19,6 м) – доломитово-мергельная пачка, складывается глинами серыми, доломитовыми, местами переходящими в мергель серый, часто опесчаненными, до песчаников на глинистом цементе, в средней части с прослоями доломита опесчаненного. Присутствуют прослои гипса оранжевого. Ближе к кровле порода пестроцветная. Присутствуют редкие остатки ихтиофауны. Возраст отложений установлен по комплексам миоспор лоны «*Periplectrotriletes tortus* – *Elenisporis biformis*».

Городокский горизонт (*свита*) (D_{2gr}) (инт. 359,0–422,0 м = 63 м). В его строении выделяются три пачки. Нижняя пачка (инт. 403,0–422 м = 19 м) в разрезе представляет собой переслаивание доломита серого, пелитоморфного, мергеля серого с зеленоватым оттенком (в подошве с вишневыми пятнами) и глины серой, разрушенной. Отмечаются прослои оранжевого и розового гипса. Отложения охарактеризованы миоспорами лоны «*Grandispora naumovii*» [5]. Средняя пачка (инт. 384,3–403,0 м = 18,7 м) представляет собой доломитовую толщу с прослоями мергелей и глин. Доломиты серые, кавернозные, в нижней части глинистые, неясно-тонкослоистые. На глубине 393,8 м — прослой доломита (0,2 м) брекчиевидного, ниже которого в керне отмечаются прослои сульфатов в глинистых разностях в виде гипса оранжевого. Мергели серые, в разной степени глинистые. Глины серые, оскольчатые, не карбонатные. В породе присутствует перетертый органический детрит с редкими остракодами, рыбными остатками, умбеллами. Здесь определены единичные миоспоры *Dibolisporites capitellatus* (Tschibr.) Archang. и акритархи-лейосферы. Верхняя пачка (инт. 359,0–384,3 м = 25,3 м) представлена толщей переслаивания и взаимных переходов мергеля и глины доломитовых, серых и пестроцветных (в подошве интервала с вишневыми пятнами), с редкими, маломощными прослоями доломита (мощностью до 0,25 м) серого, светлого, крепкого, монолитного. В кровле интервала алевролит светло-голубовато-серый, глинистый с отпечатками представителей ихтиофауны и беззамковых брахиопод. Среди рыб определены *Ptychodictyon rimosum* Gross,

Onychodontiformes indet., *Sarcopterygii* indet. характерные для отложений городокского горизонта (*свиты*) горизонта. В этой части разреза выделен миоспоровый комплекс лоны «*Cirratriradites monogrammos*» [5].

Костюковичский горизонт (*свита*) (D₂ks) (инт. 335,7–359,0 м = 23,3 м). Нижняя граница проведена в подошве маломощного прослая песчаника (0,2 м) на доломитовом цементе, переходящего в доломит серый (0,8 м), мелкопористо-кавернозный с раковинным детритом и реликтами замковых брахиопод, которые являются своеобразным биостратиграфическим маркером, появление которых в разрезе отмечает нижнюю границу костюковичского горизонта (*свиты*). Выше, разрез сложен переслаиванием глин участками алевролитистых и алевролитов пестроцветных (серых с оттенками сиреневого, охристого, палевого, в середине интервала – бурых и серовато-бурых). Глины плитчатые, реже – слоистые. В породе присутствуют обугленные и пиритизированные растительные остатки, ходы илоедов, остатки ихтиофауны и брахиопод. Среди брахиопод определены: *Productella* ex. gr. *subaculeata* (Murchison), *Variatrypa sokolovae* (Ljaschenko), *Emanuella* sp., *Bicarinatina tichomirovi* Batrucova, *B. livica* Gravitis, *Lingula* cf. *aperta* Batrucova. Среди комплекса ихтиофауны присутствуют: *Nostolepis kernavensis* Valiuk., *Asterolepis* cf. *estonica* Gross, *Placodermi* indet., *Coccosteidae* gen. indet., *Onychodontiformes* indet., чешуёй *Acanthodes* ? sp., *Osteolepididae* gen. indet. Среди макрофаунистических остатков также присутствуют сколекодонты, гастроподы и пелециподы. Комплексы фауны являются индикатором нормально-морских условий осадконакопления. Выделенные в породах костюковичского возраста миоспоровые ассоциации соответствуют лоне «*Rhabdosporites langii* – *Chelinospora timanica*» [1, 2, 5, 6].

Выше залегают отложения среднего отдела (D₂) живетского яруса (D₂g), в объеме трех подъярусов. В разряде региональных и местных стратиграфических подразделений нижнему и среднему подъярусам отвечают образования полоцкого горизонта (*свиты*) в составе горынских (*нижняя подсвита*), столинских (*средняя подсвита*) и морочских слоев (*верхняя подсвита*), а верхнему подъярису отвечает нижняя часть ланского надгоризонта — убортский горизонт (*хотимская свита*) [1, 2].

Полоцкий горизонт (*свита*) (D₂plc) (инт. 175,0–335,7 м = 160,7 м) в объеме горынских (*нижняя подсвита*), столинских (*средняя подсвита*) и морочских слоев (*верхняя подсвита*) со стратиграфическим несогласием залегает на образованиях костюковичского горизонта.

Горынские слои (*нижняя подсвита*) (D₂grn) (инт. 254,2–335,7 м = 81,5 м) слагаются в нижней части (инт. 316,0–335,7 м = 19,7 м) алевролитами пестроцветными, слюдистыми с прослоями алевролита, в средней (инт. 298,0–316,0 м = 18 м) — переслаиванием глины кирпичной, алевролитистой,

местами слюдистой, и алевролита серого с охристыми пятнами, а в верхней (инт. 254,2–298,0 м = 43,8 м) – алевролитами и алевролитами мергелеподобными пестроцветными, слюдистыми с прослоями песчаников разноокрашенных, кварцевых, тонко- и разнзернистых, на глинистом цементе, слюдистых. В породе присутствуют ходы илоедов, редкий пиритизированный фаунистический детрит. В алевролитах встречены остатки ихтиофауны, среди которых присутствуют пластинки панцирных рыб, а также редкие остракоды.

Столинские слои (*средняя подсвита*) (D_{2stl}) (инт. 186,0–254,2 м = 68,2 м) представлены алевролитами пестроцветными с прослоями глин алевролитистых и песчаников в разной степени слюдистых (инт. 237,6–254,2 м = 16,6 м); песками и песчаниками в основном сероцветными, на глинистом цементе, переходящими в алевролиты (инт. 201,3–237,6 м = 36,3 м). В верхней части разреза преобладают глины зеленовато- и сиреневато-серые, и алевролиты глинистые голубовато-серыми. В инт. 193,0–197,0 м залегает прослой глины серой с углистыми остатками, переходящий в прослой угля. В разрезе присутствуют обугленные и пиритизированные растительные остатки, фаунистический детрит. Возраст отложений датирован по миоспорам зоны «*Geminospora extensa*».

Морочские слои (*верхняя подсвита*) (D_{2mr}) (инт. 175,0–186,0 м = 11,0 м) сложены переслаиванием алевролитов в разной степени глинистых и песчаников серых с оттенками зеленоватого, сиреневатого, горчичного. Встречается рассеянный обугленный детрит. Из отложений выделен палинокомплекс зоны «*Geminospora extensa*», идентичный предыдущему.

Убортский горизонт (D_{2ub}), хотимская (*свита*) (D_{2kht}) (инт. 166,0–175,0 м = 9,0 м) представлена алевролитами (участками мергелеподобными) и глинами алевролитистыми серыми и пестроцветными. В подошве *свиты* залегает маломощный песчаник (0,4 м), голубовато-серый, полевошпатово-кварцевый, на карбонатном цементе, слюдистый, кавернозный, отмечающий нижнюю границу горизонта. Отложения охарактеризованы единичными миоспорами видов: *Acanthotriletes uncatus* Naum., *Geminospora rugosa* (Naum.) Obuch., *G. notata* (Naum.) Obuch., *G. parvibasilaria* (Naum.) Byv., *Stenozonotriletes extensus* Naum. var. *minor* Naum. Здесь же обнаружены акритархи родов *Leiosphaeridia*, *Psophosphaera* и *Gorgonisphaeridium*.

Завершают разрез девонских отложений образования нижнефранского подъяруса (D_{3f}) верхнего отдела девонской системы (D₃), которые здесь представлены только отложениями желонского горизонта (*свиты*) (верхняя часть ланского надгоризонта (D_{2-3ln})).

Желонский горизонт (*свита*) (D_{3zhl}) (инт. 156,0–166,0 м = 10 м) сложена алевролитами серыми, глинистыми и песчанистыми, переходящими

в глины алевритистые, с прослоем мергеля пестроцветного, опесчаненного. Из отложений выделены единичные миоспоры видов: *Geminospora rugosa* (Naum.) Obuch., *Lophozonotriletes* sp.

Отложения девона с крупным стратиграфическим перерывом перекрываются образованиями юрской системы.

Информация о биостратиграфическом расчленении девонских отложений разреза параметрической скв. 4П Климовичская, пробуренной на съёмочном листе N-36-XX (Кричев), позволит уточнить объем данных отложений на исследуемой территории, а также послужит необходимым материалом по созданию основы для составления государственных геологических карт масштаба 1 : 200 000 нового поколения и для проведения геологической съемки и поисковых работ на полезные ископаемые.

Коллектив авторов выражает благодарность Д. П. Плаксу за любезно предоставленные данные по определению ихтиофауны.

Библиографические ссылки

1. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 23.01.2017 № 8 «Об утверждении Стратиграфической схемы Республики Беларусь».

2. Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси: объяснительная записка / С. А. Кручек [и др.]. Минск : БелНИГРИ, 2010.

3. Девон и карбон Прибалтики / С. А. Сорокин [и др.]. Рига : Зинатне, 1981.

4. Обуховская Т. Г., Кручек С. А., Обуховская В. Ю., Плакс Д. П. К вопросу о подъярусном расчленении эйфельского яруса среднего девона // Проблемы региональной геологии и поисков полезных ископаемых : материалы VII Унив. геол. чтений, Минск, 4–6 апр. 2013 г. Минск : Изд. Центр БГУ, 2013. С. 35–37.

5. Обуховская В. Ю. Палинологическая характеристика эмских-эйфельских отложений Беларуси и проблема их корреляции // Проблема современной палинологии. Сыктывкар : ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2011. Т. 1. С. 197–198.

6. Обуховская В. Ю. Палинофации костюковичского горизонта верхнего эйфеля Беларуси // Палеоэкология и современное состояние геологической среды Беларуси. Минск : БелНИГРИ, 1998. С. 5–10.

УДК 551.435 (476)

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ФЛЮВИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

А. И. Павловский

*Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65,
г. Минск, 220013, Беларусь, aipavlovsky@mail.ru*

Приведены результаты комплексного изучения условий развития флювиальных процессов на территории Беларуси. Флювиальный литоморфогенез развивается по принципу катены, основными звеньями которой являются делювиальный смыв и аккумуляция — эрозия и аккумуляция временных русловых потоков — эрозия и аккумуляция постоянных русловых потоков, которые привязаны к определенным гипсометрическим уровням, на каждом из которых формируются характерные отложения и рельеф. На специфику и интенсивного развития флювиальных процессов на территории Беларуси при всем многообразии природно-хозяйственных обстановок определяющее значение имеют энергетический потенциал рельефа, бассейновая структура территории и хозяйственная деятельность человека.

Ключевые слова: мофолитогенез; флювиальные процессы; делювиальный смыв; временные русловые потоки; ручейковая сеть; овражно-балочные системы; речные долины.

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF FLUVIAL PROCESSES IN THE TERRITORY OF BELARUS

A. I. Pavlovsky

*Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65,
Minsk, 220013, Belarus, aipavlovsky@mail.ru*

The results of a comprehensive study of the conditions for the development of fluvial processes on the territory of Belarus are presented. Fluvial lithomorphogenesis develops according to the catena principle, the main links of which are colluvial washout and accumulation – erosion and accumulation of temporary channel flows – erosion and accumulation of permanent channel flows, which are tied to certain hypsometric levels, at each of which characteristic deposits and relief are formed. The energy potential of the relief, the basin structure of the territory and human economic activity are of decisive importance for the specificity and intensive development of fluvial processes on the territory of Belarus, with all the diversity of natural and economic situations.

Keywords: mopholitogenesis; fluvial processes; deluvial wash; temporary channel flows; stream network; gully-beam systems; river valleys.

Изучению современного морфолитогенеза в настоящее время уделяется значительное внимание, причем одним из самых актуальных направлений подобных работ является исследование флювиальных процессов в рамках единого водно-эрозионно-аккумулятивного цикла. Это обусловливается, прежде всего, значительным материальным ущербом, наносимым деятельностью текучих вод, в результате которой разрушаются инженерные сооружения и коммуникации, уничтожаются сельскохозяйственные угодья, лесные насаждения и прочее. Кроме того, интенсивное развитие флювиальных процессов значительно ухудшает среду обитания человека, обостряя и без того серьезные экологические проблемы. При этом необходимо отметить, что в каждом регионе эти процессы проявляются своеобразно и требует специальных разносторонних исследований. Без таких работ невозможно решить сложный комплекс задач, связанных с инженерным освоением территории, рациональным использованием природных ресурсов, улучшением экологической обстановки.

Флювиальный литоморфогенез развивается по принципу катены, основными звеньями которой являются делювиальный смыв и аккумуляция – эрозия и аккумуляция временных русловых потоков – эрозия и аккумуляция постоянных русловых потоков, которые привязаны к определенным гипсометрическим уровням, на каждом из которых происходит эрозия, транспорт и аккумуляция наносов. Законы развития, взаимосвязь и взаимообусловленность проявления всех видов флювиальных процессов, сопряженность их развития во всех звеньях сети водных потоков сформулированы в работах Н. И. Маккавеева, Н. Е. Кондратьева, М. А. Великанова, А. Ю. Сидорчука, Р. С. Чалова [1–4].

Единство и взаимосвязь всех звеньев водно-эрозионно-аккумулятивного цикла (флювиальный литоморфогенез) проявляется на склонах, в овражно-балочной сети и в речных долинах, образуя аллювиальные, делювиальные и пролювиальные отложения, а также характерные формы рельефа.

Эрозия — процесс разрушения горных пород и почв под действием водных потоков. Можно выделить плоскостную эрозию (делювиальный смыв), линейную эрозию временных русловых потоков (овражная) и эрозию постоянных русловых потоков (речная) в результате проявления которых образуются выработанные формы рельефа.

Транспорт наносов – перенос водными потоками продуктов разрушения горных пород. Интенсивность эрозии и количество перемещаемых отложений, следствие «живой силы» стекающей с водосборов воды, которая определяется ее массой и скоростью. Эти параметры зависят от климатических и геолого-геоморфологических условий территории.

Аккумуляция – накопление продуктов размыва, образование аккумулятивных форм рельефа и соответствующих отложений.

Эрозия, транспорт и аккумуляция отложений в пределах флювиальной системы проявляются повсеместно и довольно сложно провести между ними пространственно-временные границы. Наиболее хорошо выделяются следствия развития флювиальных процессов в виде эрозионных (овраги, балки, речные долины) и аккумулятивные формы рельефа (конусы выноса оврагов и балок, поймы и дельты рек). Важно отметить, что в системе постоянно идут процессы, с одной стороны, приводящие к выполаживанию неровностей и уменьшающие расчлененность рельефа, а с другой, увеличивающую расчлененность рельефа и приводящие к образованию выработанных форм. Везде, где имеется сток, происходит естественная нормальная эрозия, которая в условиях интенсивного инженерно-хозяйственного освоения резко возрастает.

Все звенья водно-эрозионно-аккумулятивного цикла оказывают большое влияние на формирование инженерно-геологических условий территорий, поэтому они изучаются в отдельности, хотя переходы из одного вида в другой происходят постепенно, без резких границ и строгих классификационных признаков, определяя тем самым непрерывность эрозионного процесса [5]. В тоже время, флювиальные процессы, наряду с непрерывностью имеют прерывистый характер, что отражается в их структурном положении в рельефе на определенных гипсометрических уровнях, взаимосвязанных по принципу катены. Каждое звено водно-эрозионно-аккумулятивного цикла имеет разные пространственно-временные параметры и формирует характерный рельеф и отложения [6].

В пределах Беларуси флювиальные процессы на позднеплейстоцен-голоценовом этапе являются самыми значительными по литоморфогенетическому значению экзогенными геолого-геоморфологическими и инженерно-геологическими процессами. Их изучением в разные годы занимались В. А. Дементьев, А. Х. Шкляр, О. Ф. Якушко, В. В. Жилко, А. И. Паярская, Б. С. Болдышев, А. А. Лепешев, А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко, В. М. Мотуз, Г. А. Колпашников, А. И. Павловский, А. Н. Галкин [7] и др.

Территория Беларуси занимает западную часть Восточно-Европейской равнины и входит в область развития покровных материковых оледенений в квартере, которые оказали непосредственное влияние на формирование толщи поверхностных отложений и рельефа. На позднеплейстоцен-голоценовом этапе происходит интенсивное преобразование реликтовых морфоскульптур ледникового, водно-ледникового, озерно-ледникового генезиса и формирующих их отложений современными геолого-

геоморфологическими процессами, где ведущая роль принадлежит флювиальному литоморфогенезу. Развитие флювиальных процессов в значительной степени предопределено комплексом природно-антропогенных условий, которые можно разделить на климатические, морфометрические, геологические, почвенно-растительные и техногенные группы факторов.

Влияние этих групп факторов на флювиальные процессы отличается пространственно-временной неоднородностью на территории Беларуси. Компонентный анализ наиболее существенных параметров (крутизна и длина склонов, густота и глубина расчленения рельефа, состав и допустимые неразмывающие скорости покровных отложений, режим влажности, лесистость, распаханность площади водосборов и т. д.) позволил выделить три главные компоненты, вклад которых в общую дисперсию комплекса показателей превышает 50 % [7].

Первая главная компонента имеет вклад 27,5 % общей дисперсии и максимальные компонентные положительные веса приходятся на вертикальное расчленение и крутизну склонов, отрицательные – на длину речной сети и площадь водосборных бассейнов. Учитывая компонентные веса и пространственное распределение значений, первую главную компоненту можно рассматривать как интегральный фактор влияния морфометрических характеристик на развитие флювиальных процессов – противопоставление возвышенностей Центральной Беларуси низинам Полесья и Поозерья.

Вторая главная компонента (вклад 15,9 %) отличается следующими особенностями: положительные веса приходятся на площади водосборных бассейнов и длины водотоков, отрицательные – на слой стока в период снеготаяния и лесистость. Она отражает различия между северной, центральной и южной частями республики и характеризует влияние бассейновой раздробленности территории на развитие флювиальных процессов.

Для третьей главной компоненты (12,8 %) максимальные положительные веса приходятся на лесистость, густоту расчленения рельефа и площади водосборных бассейнов, отрицательные – на распаханность территории и величину слоя поверхностного среднегодового стока. пространственная интерпретация полученных результатов отражает влияние степени хозяйственной освоенности территории на интенсивность процессов

Более 40 % приходится на другие компоненты, что свидетельствует о широкой вариативности развития флювиальных процессов и их зависимости от большого количества внешних и внутренних факторов.

Таким образом, очевидно, что для формирования и интенсивного развития флювиальных процессов на территории Беларуси при всем многообразии природно-хозяйственных обстановок определяющее значение

имеют энергетический потенциал рельефа, бассейновая структура территории и хозяйственная деятельность человека.

Флювиальный рельеф занимает на территории Беларуси значительные площади, его формирование связано с рельефообразующей деятельностью единого водного эрозионно-аккумулятивного цикла, отдельные звенья которого привязаны к определенным гипсометрическим уровням.

На приводораздельных пространствах развивается пластовый и ручейковый (струйчатый) сток, формирующий особый микрорельеф. Пластовый сток возникает при объеме осадков, превышающем количество воды, необходимое для смачивания почвы и растительности. Глубина таких потоков зависит от микрорельефа, шероховатости и других особенностей склонов и изменяется от нескольких миллиметров до первых сантиметров. В результате, на склонах образуются микропонижения различной формы, подготавливающие склон к струйчатому размыву. Морфологическая роль ручейкового стока более значительна, особенно на территориях интенсивного хозяйственного использования, и проявляется в формировании ручейковой сети различных порядков (по морфометрическим характеристикам). Делювиальный смыв определяет баланс вещества на различных участках склона. В привершинных и наиболее крутых частях склона наблюдается размыв, по мере насыщения наносами (при постоянном уклоне) возникают зоны транзита, у подножья склонов формируются микроконуса выноса и маломощные делювиальные шлейфы.

Рельеф, создаваемый временными русловыми водными потоками, формируется в пределах краевых ледниковых возвышенностей, в прибортовых частях речных долин и отличается широким морфологическим разнообразием. На разных стадиях развития выделяются промоины, овраги, балки, часто сливающиеся в крупные овражно-балочные системы со сложным плановым рисунком и разнообразными морфометрическими характеристиками. Трансформация пластового и струйчатого стока, в определенных условиях приводит к возникновению временных русловых потоков, обладающих достаточной эрозионной и транспортирующей способностью для создания овражно-балочного рельефа. Происходит процесс дальнейшей эрозии, транспорта и аккумуляции вещества с его частичным выносом в речные долины и образованием аккумулятивных форм рельефа — балочных террас и конусов выноса.

Формы рельефа, создаваемые деятельностью постоянных русловых водных потоков на территории Беларуси сопоставимы по своим параметрам с гляциальной реликтовой морфоскульптурой. В результате сформировалась густая сеть речных долин, масштабность их распространения можно оценить коэффициентом густоты речной сети, который составляет

около 0,5 км/км² [8]. Речная сеть Беларуси принадлежит бассейнам Черного и Балтийского морей, в пределах которых наблюдаются морфологические различия флювиального рельефа, а также интенсивности его развития.

В целом для рек балтийского бассейна основная роль в развитии русловых процессов принадлежит геолого-геоморфологическому фактору. Они отличаются более узкими надпойменными террасами, выраженностью линейных элементов рельефа. Для малых рек характерны участки неразработанных V-образных симметричных долин, преобладание вертикальных русловых деформаций и повышенная эрозионная активность.

Речные долины черноморского бассейна отличаются хорошей разработанностью, широким спектром различных по морфологии пойм и надпойменных террас. Поперечные профили долин ассиметричные, трапецевидные, преобладают горизонтальные русловые деформации (гидродинамический фактор), пониженная эрозионная активность и накопление аллювиальных толщ.

Библиографические ссылки

1. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. Москва: Изд-во АН СССР, 1955.
2. Маккавеев Н. И. Основные модели развития рельефа // Геоморфология. 1986. № 3. С. 6–15.
3. Маккавеев Н. И., Чалов Р. С. Русловые процессы. Москва: Изд-во МГУ, 1986.
4. Кондратьев Н. Е., Попов И. В., Сниценко Ф. В. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Ленинград: Гидрометеиздат, 1982.
5. Динамическая геоморфология / Под ред. Г. С. Ананьева, Ю. Г. Симонова, А. И. Спиридонова. Москва: Изд-во МГУ, 1992.
6. Галкин А. Н., Матвеев А. В., Павловский А. И., Санько А. Ф. Инженерная геология Беларуси. В 3 ч. Ч. 2. Инженерная геодинамика Беларуси / Под ред. В. А. Королева. Витебск: ВГУ им. П. М. Машерова, 2017.
7. Павловский А. И. Закономерности проявления эрозионных процессов на территории Беларуси. Минск: Навука і тэхніка, 1994.
8. Матвеев А. В., Гурский Б. Н., Левицкая Р. И. Рельеф Белоруссии. Минск: Университетское, 1988.

УДК 552.086

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФАТОВ В ПЕСЧАНИКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАВАЙ (ВЕНЕСУЭЛА)

В. П. Самодуров, А. А. Калина, С. А. Ковалевич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, vladimirsamodurov1946@gmail.com,
aleksandrkalina2006@gmail.com, sofiya.kovalevich2005@gmail.com*

Рассмотрены основные типы фосфатных руд и их физико-механические свойства, определяющие эффективность их обогащения. Разработана программа количественного определения содержания франколитовых пеллет в песчаниках фосфоритового месторождения Навай.

Ключевые слова: фосфатные руды; анализ франколита.

QUANTIFICATION PHOSPHATE CONTENT IN SANDSTONES NAVAÍ FIELDS (VENEZUELA)

V. P. Samodurov, A. A. Kalina, S. A. Kovalevich

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4, 220030, Minsk, Belarus,
vladimirsamodurov1946@gmail.com, aleksandrkalina2006@gmail.com,
sofiya.kovalevich2005@gmail.com*

The main types of phosphate ores and their physical and mechanical properties, which determine the efficiency of their enrichment, are considered. A computer program has been developed for the quantitative determination of the content of francolite pellets in the sandstones of the Navai phosphorite deposit.

Keywords: phosphate ores; francolite content determination.

Природные фосфаты являются сырьем для производства фосфатных удобрений, фосфора, фосфорной кислоты. Фосфор также применяется в металлургии, процессах производства стекла и керамики. Фосфаты добывают из трех основных горных пород: апатитов, фосфоритов и франколитов. Апатиты встречаются в фойдолитах – щелочных ультраосновных плутонических породах, а также в карбонатитах [1]. Здесь они представлены шестигранными удлиненными монокристаллами или в виде сахаровидных агрегатов. В осадочных породах распространены фосфориты, которые представлены черными сферолитовыми конкрециями, с лучистым

внутренним строением [2]. Франколит распространен в песчаных осадках в виде сферических или удлинённых гранул (пеллет). Обычно в центре пеллеты содержится микроросток кварца, на который нарастают микро-слои биогенного вещества в условиях мелководной волноприбойной зоны.

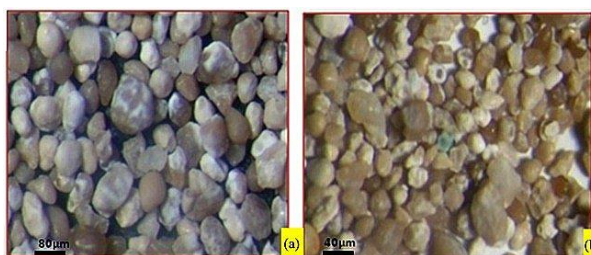
Апатит, фосфорит и франколит различаются по размерам, физическим и механическим параметрам, которые существенно влияют на процессы обогащения фосфатных руд. Франколит представляет собой богатую карбонатами разновидность минерала фторапатита. Он имеет переменный химический состав, который может быть представлен $(\text{Ca, Mg, Sr, Na})_{10}(\text{PO}_4, \text{SO}_4, \text{CO}_3)_6\text{F}_{2-3}$ [3]. Франколит минерал непрозрачный, с низкой твёрдостью – 5, плотностью $2,7 \text{ г/см}^3$ или менее в землистых разностях – пеллетах. Пеллеты распространены в песчаниках прибрежных морских образований в ассоциации с кварцевыми зёрнами. Поэтому в процессе обогащения фосфатов на этапе дробления и помола исходной породы пеллеты легко разрушаются, затрудняя процессы обогащения.



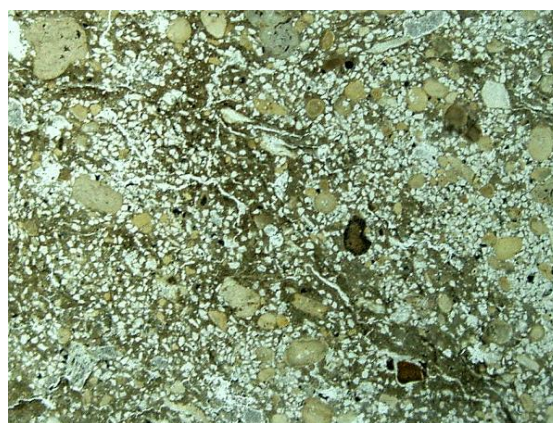
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Кристаллы апатита размером 0,5–1,0 см а) [1], фосфорит лучистого строения размером 4,5 см б) по [2], пеллеты франколита размером 80 и 40 мкм в) [4], шлиф фосфатной породы месторождения Навай (Венесуэла), размер поля зрения 2,5 мм г)

На рис. 1г представлена микрофотография фосфатной породы месторождения Навай (Венесуэла), представленной для исследований В. Э. Кутырло. Эта микрофотография используется здесь как пример при разработке методического подхода компьютерного определения количественного содержания фосфатов в рудах месторождения Навай.

Количественное определение содержания минералов в составе изучаемой породы обычно выполняется с помощью программного комплекса Fiji (ImageJ), предназначенного для исследований цифровых фотографий. Однако для выполнения аналитической процедуры предварительно необходимо выделить изучаемый минерал в составе горной породы. Для этого обычно используют операцию «Цветной порог» (Color Threshold), но в дисперсных поликомпонентных породах параметры цветов разных минералов перекрываются, что препятствует их выделению (рис. 2).

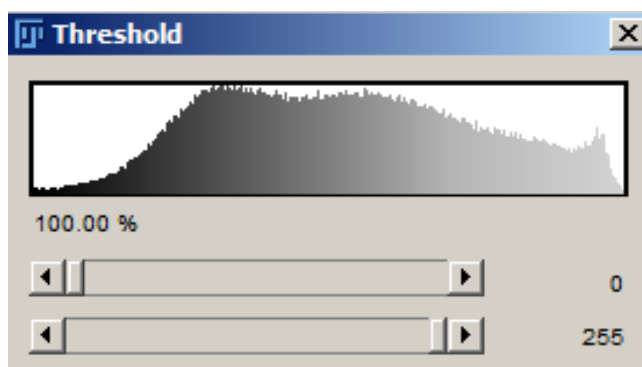


Рис. 2. Распределение параметра «яркость» микрофотографии 1г

Сегментацию минеральных компонентов также выполняют с помощью программ машинного обучения (ML). В составе программного комплекса Fiji присутствует плагин Trainable Weka Segmentation. Он также эффективен для минеральных зерен с существенными различиями параметров цветности, но в условиях перекрытия этих параметров результаты сегментации бывают неудовлетворительными.

Нами разработана программа выделения минеральных зерен в условиях перекрытия цветовых параметров минералов в шлифах горных пород (рис. 3). Особенностью изучения шлифов горных пород в петрографическом микроскопе является возможность оптической идентификации минералов, основываясь на их кристаллооптических характеристиках.

В окне программы представлены две одинаковые микрофотографии шлифа изучаемой породы. Левая микрофотография служит для сравнения результатов определения франколита. Выделение франколита выполняется на правой микрофотографии. После щелчка мыши по изучаемому

зерну франколита значения цветности в цветовом пространстве RGB выводятся в окна Edit, со значениями «Красный», «Зеленый», «Синий». Кнопка Button «Применить» запускает процесс поиска аналогичных цветов по всей поверхности микрофотографии с окном ± 10 . Франколит здесь выделяется желтым цветом, а его содержание можно определить кнопкой «Содержание». Можно видеть большое разнообразие размеров частиц франколита, при этом дисперсные частицы составляют здесь подавляющее большинство. Общее содержание франколита в изучаемом шлифе составляет 23,7 %.

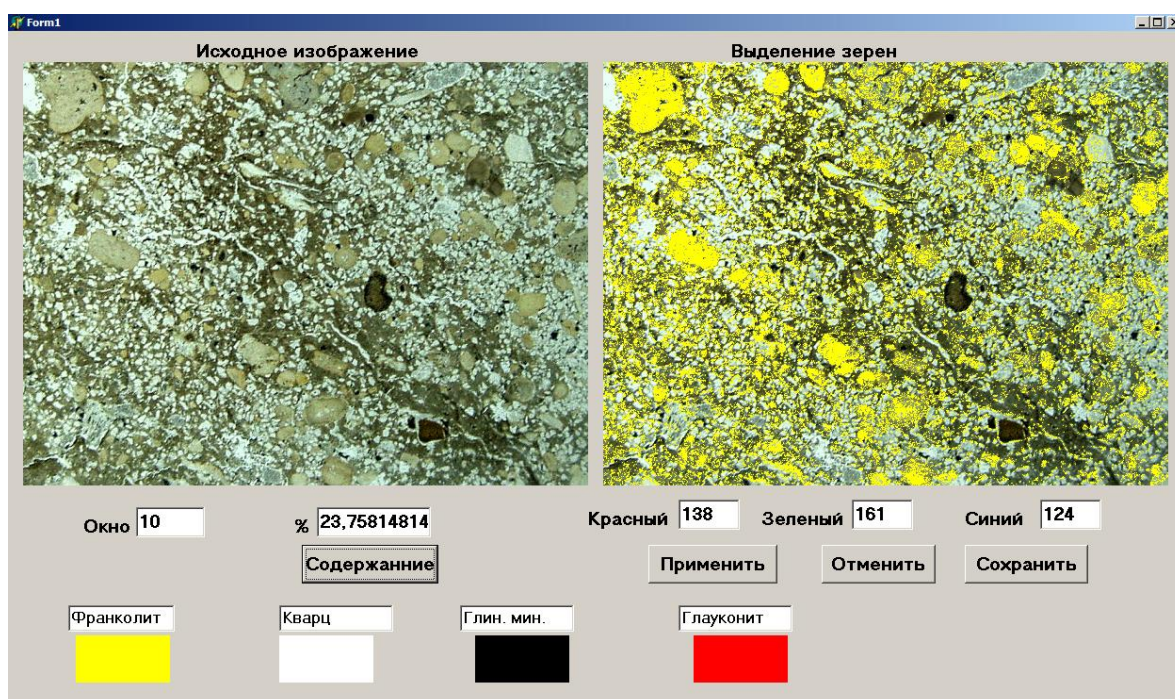


Рис. 3. Результат выделения пеллет франколита в шлифе фосфатных пород месторождения Навай (Венесуэла)

Дополнительные количественные данные можно получить с помощью программного комплекса Fiji. Подготовка микрофотографии к анализу включает операцию «Цветной порог», выделяя франколит по жёлтому цвету. Преобразование изучаемой микрофотографии в бинарное изображение выполняется операцией $Fiji > Color Threshold$, а затем $Fiji > Process > Binary > Fill Holes$. В результате франколит выделяется чёрными зёрнами на белом фоне, а бинарное изображение становится пригодным для анализа частиц (рис. 4).

Обобщенные параметры анализа: общее число частиц франколита на микрофотографии — 8743, при этом содержание франколита составляет 25,86 %. Некоторое увеличение этого параметра связано с применением

операции «Заполнить пустоты» (Fill Holes). Параметр «Округлость» (Circularity) составляет 0,83, что связано с условиями формирования пеллет франколита — процессами окатывания в волноприбойной зоне. Плотность пеллет (Solidity) достигает 0,86, так как окатыши франколита постепенно накапливают микрочастицы органического вещества.

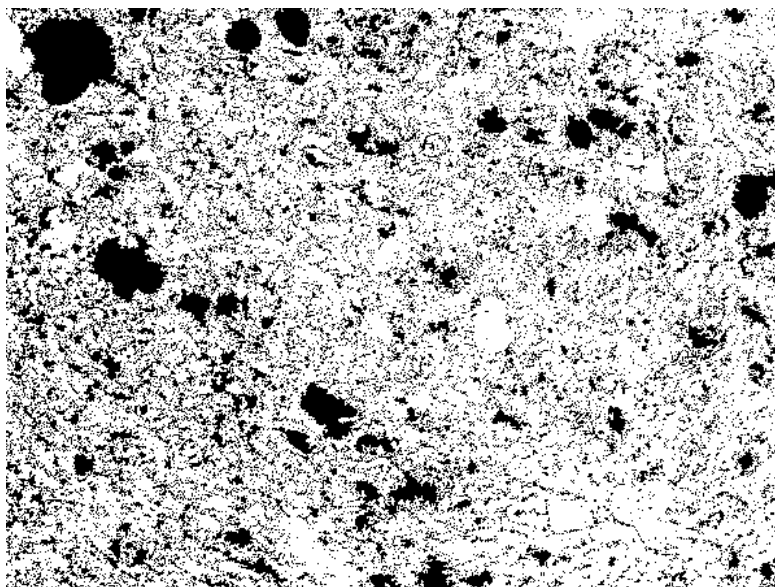


Рис. 4. Бинарное изображение, на котором франколит выделен черным цветом, является исходным для выполнения количественного анализа фосфатов

Заключение. Разработанный подход определения дисперсного франколита месторождения Навай (Венесуэла) позволяет выполнить анализ содержаний дисперсных фосфатных пеллет в условиях перекрытия параметров цветности минералов в составе породы.

Библиографические ссылки

1. Апатит – «обманщик» с доброй душой [Электронный ресурс]. URL: <https://mineralpro.ru/gems/apatite> (дата обращения: 09.03.2024).
2. Описание фосфорита. Свойства фосфорита. Применение фосфорита [Электронный ресурс]. URL: <https://tvoi-uvelirr.ru/opisanie-fosforita-svoystva-fosforita-primenenie-fosforita> (дата обращения: 09.03.2024).
3. Francolite [Электронный ресурс]. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Francolite> (дата обращения: 09.03.2024).
4. Salim Boulemia, Messaoud Hamimed, Salah Bouhlel, Jaloul Bejaoui. Petro-Mineralogical Analysis of Sedimentary Phosphate of Marine Origin, Case of the Locality of El Kouif (Algerian-Tunisian Confines) // Open J. of Geol. 2015. Vol. 5 No. 3. P. 146–173.

УДК 553.086

ИЗУЧЕНИЕ МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ МАКРО- И МИКРОПЕТРОГРАФИИ

В. П. Самодуров, С. А. Ковалевич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, vladimirsamodurov1946@gmail.com,
sofiya.kovalevich2005@gmail.com*

Исследованы возможности программного комплекса Fiji (ImageJ) для количественного анализа содержаний рудных минералов в составе горных пород и содержаний вулканического стекла в эффузивных породах, а также определения индекса мафичности plutonic пород.

Ключевые слова: цифровая петрография; Fiji (ImageJ); цветной порог; индекс мафичности; содержание рудных минералов.

STUDY OF MAGMA AND METAMORPHIC ROCKS BY DIGITAL MACRO- AND MICROPETROGRAPHY METHODS

V. P. Samodurov, S.A. Kovalevich

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4, 220030, Minsk, Belarus,
vladimirsamodurov1946@gmail.com, sofiya.kovalevich2005@gmail.com*

The capabilities of the Fiji (ImageJ) software package for the quantitative analysis of the content of ore minerals in rocks and the content of volcanic glass in effusive rocks, as well as the determination of the maficity index of plutonic rocks, were investigated.

Keywords: digital petrography; Fiji (ImageJ); color threshold; maficity index; content of ore minerals.

Цели и задачи. В работе представлены методические подходы к количественному определению индекса мафичности горных пород, анализу содержаний рудных минералов и количественному определению содержаний вулканического стекла в шлифах магматических пород. Объектами исследований служили учебные образцы горных пород кафедры региональной геологии Белорусского государственного университета и микрофотографии шлифов, полученных из Internet.

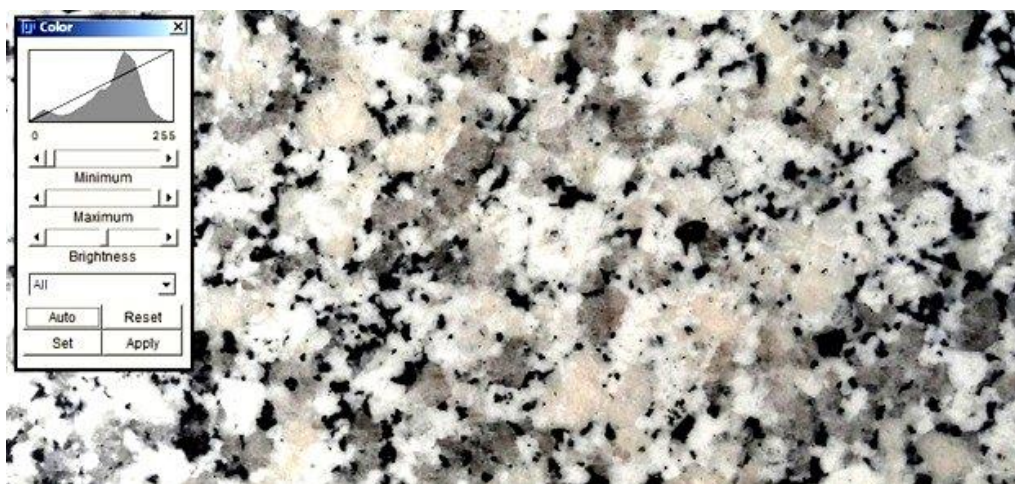
Методический подход включает этап получения и хранения исходных микрофотографий шлифов в режиме «без анализатора» и «в скрещенных николях». Эти работы выполнены с использованием

цифрового петрографического микроскопа NIKON Eclipse Ni-E. Этот прибор снабжен механизированными устройствами и имеет компьютерное управление с помощью программы NIS-elements. Дальнейшая подготовка микрофотографий к анализу и выполнение аналитических исследований выполнялись с помощью программного обеспечения Fiji (ImageJ). Эта программа свободного доступа ориентирована на количественный анализ фотографий, в том числе микрофотографий шлифов горных пород.

Особенностью микроскопа NIKON Eclipse Ni-E является небольшое поле зрения – 6,25 мм с использованием объектива $\times 2$. Для надёжного определения статистических параметров желательно исследовать всю поверхность шлифа. Этого можно достичь, составляя мозаичное изображение шлифа или выполнить несколько микрофотографий по-отдельности, а результаты определений усреднить.

Подготовка и анализ цифровых фотографий выполнялись с помощью программного комплекса Fiji (ImageJ). Этот комплекс позволяет оперировать с изображениями многих форматов, выполняя редакцию и подготовку цифровых фотографий к анализу [1]. Количественный анализ изображений определяет разнообразные данные – от определения содержаний минеральных компонентов в породе до статистических параметров вариаций формы, размеров, ориентаций зерен и др.

Использование методов цифровой петрографии для определения цветового индекса (индекса мафичности «М») плутонических пород. Исходным цифровым изображением служила фотография полированной плитки гранита размером 15 $\times$ 7 см (рис. 1). В составе гранита преобладают кварц, калиевый полевой шпат и кислый плагиоклаз, а мафический биотит обычно присутствует в подчинённых содержаниях. Процедуру подготовки цифровой фотографии гранита к анализу можно выполнить, используя метод повышения контраста: Fiji > Image > Adjust > Color balance. Далее для выделения биотита используются особенности его цветности – темный цвет, присущий мафическим минералам. Для этого применяют операцию *цветной порог* (color threshold): Fiji > Image > Adjust > Color Threshold. Параметры цветного порога можно варьировать. В данной работе использовалось пространство HSB (Hue = цвет, Saturation = насыщенность цвета, Brightness = яркость). Под окном каждого параметра расположены два ползунка, определяющие нижнюю и верхнюю границу диапазона пропускания цвета изучаемых минералов. Результат выделения биотита с помощью операции Color Threshold показан на рис. 2. Это изображение является бинарным (.bin) и используется для количественного анализа отдельных (выделенных) минералов в составе горной породы.



Размер поля зрения 15 см. На врезке – окно регулировки контраста изображения.

Рис. 1. Цифровая фотография гранита



На врезке – окно управления параметрами цветности в пространстве HSB.

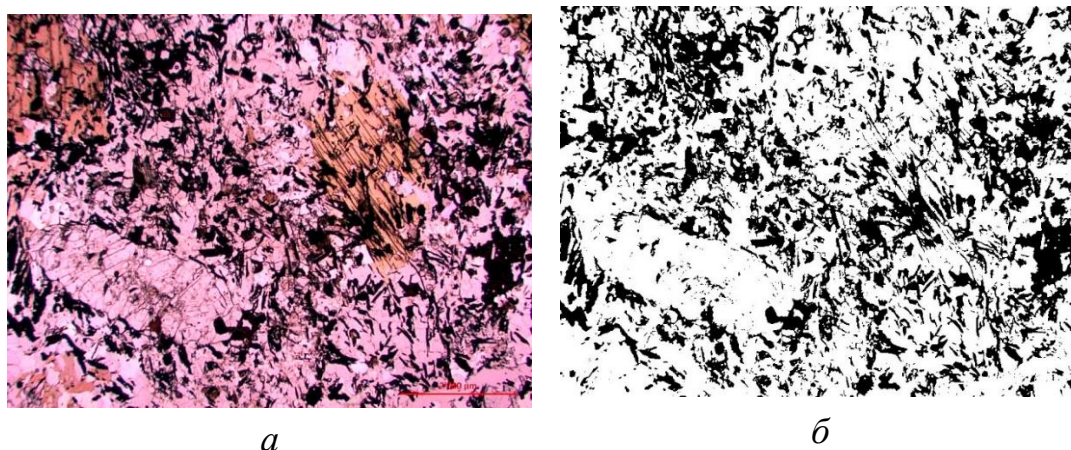
Рис. 2. Результат выделения биотита после применения операции color threshold

Анализ выделенного минерала выполняется следующим образом: Fiji > Analyze > Analyze Particles. Перед началом измерений на этапе Fiji > Analyze следует установить параметры анализа (Set Measurements), отмечая необходимые параметры измерений. Можно отметить все параметры, и в этом случае таблица результатов будет содержать полный набор параметров, включая как количественные параметры, так и статистические параметры распределений характеристик минерала.

Анализ бинарного изображения color threshold в цветах B&W выполняется по черному цвету на белом фоне. Результаты анализа получают в двух формах — таблицу количественных параметров всех частиц по-отдельности и таблицу обобщенных результатов (Summary). Среди многих

параметров нас интересует параметр общей площади мафических минералов в составе гранита. Этот параметр в таблице Summary равен 9,008 % в колонке %Area.

Данный методический подход является также эффективным способом определения содержаний рудных минералов в шлифах горных пород. Примером может служить определение содержаний графита в составе кристаллических сланцев. Определение содержаний графита связано с большими трудозатратами, а методы цифровой петрографии позволяют получить количественные данные содержаний графита в шлифах. На рис. 3 представлена микрофотография шлифа графитсодержащего кристаллического сланца в режиме «без анализатора». Результатами анализа определено присутствие в поле зрения 1006 минеральных зерен графита, а общее содержание его составляет 32,58 %.



а – без анализатора, *б* – результат выделения зерен графита с помощью операции color threshold. Размер поля зрения 2,5 мм.

Рис. 3. Микрофотография шлифа графитсодержащего кристаллического сланца [2]

Этот подход также может быть использован для определения содержаний вулканического стекла в шлифах эффузивных горных пород. Вулканическое стекло в скрещенных николях гаснет, и поэтому его содержание может быть определено с помощью данного метода. Однако присутствие непрозрачных рудных минералов дает добавочный вклад в количественное содержание стекла. На рис. 4 приведён пример количественного определения содержания вулканического стекла в основной массе риолита. Микрофотография шлифа снята в режиме «в скрещенных николях» и «без анализатора» с объективом $\times 40$ [2]. Используя операцию color threshold, было определено общее содержание стекла и непрозрачных минералов (рис. 4*а* и 4*б*). Это общее содержание составляет 79,73 %. Остальные

20,27% составляют микролиты в составе основной массы риолита. Содержание непрозрачных минералов определялось по микрофотографии шлифа в режиме «без анализатора» (рис. 4в). Анализ микрофотографии порога В&W показал присутствие 12,47 % непрозрачных минералов. Таким образом, содержание вулканического стекла в основной массе риолита составляет 67,27 %.

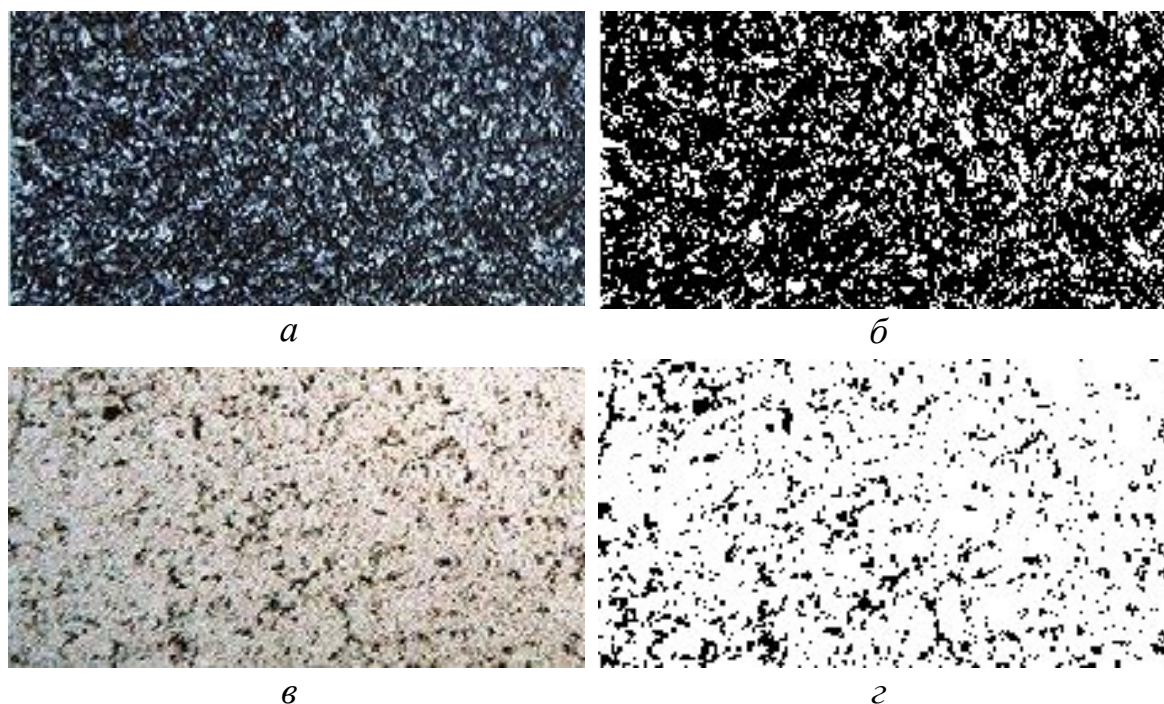


Рис. 4. Микрофотография основной массы риолита в скрещенных николях а, и результат применения порога В&W б, микрофотография шлифа без анализатора в, результат применения порога В&W г. Размер поля зрения 2,5 мм

Заключение. Программный комплекс Fiji (ImageJ) позволяет выполнять обработку микро- и макроизображений штучков и шлифов горных пород с последующим количественным анализом содержаний минералов, а также определять статистические параметры распределения минеральных зерен по их размерам и форме. Это открывает новые возможности изучения процессов формирования горных пород и выполнения количественные оценки содержаний рудных компонентов для оценки рудоносности пород.

Библиографические ссылки

1. Конюхов А. Л. Руководство к использованию программного комплекса ImageJ для обработки изображений: учеб. метод. пос.. Томск : Кафедра ТУ, ТУСУР, 2012.
2. Walker I. An Introduction to Mineralogical Terms and Observations with the Leica CME [Электронный ресурс]. URL: <http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artfeb04/iwouslides.html> (дата обращения: 09.03.2024).

УДК 552.5

ИЗУЧЕНИЕ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ МИКРОПЕТРОГРАФИИ

В. П. Самодуров, Е. С. Филитович

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, vladimirsamodurov1946@gmail.com, elizza3007@gmail.com*

Разработаны методические подходы к анализу песчаных грунтов методами цифровой петрографии с использованием программного комплекса Fiji (ImageJ). Определены статистические параметры распределения размеров минеральных зерен, а также параметры, характеризующие форму частиц.

Ключевые слова: цифровая петрография; Fiji (ImageJ); анализ минеральных зерен.

V. P. Samodurov, E. S. Filitovich

STUDY OF SANDY GROUNDS FOR CONSTRUCTION USING DIGITAL MICROPETROGRAPHY METHODS

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4, 220030, Minsk, Belarus,
220030, г. Минск, Беларусь, vladimirsamodurov1946@gmail.com, elizza3007@gmail.com*

Methodical approaches to the analysis of sandy soils using digital petrography method and software package Fiji (ImageJ) have been developed. The statistical parameters of the mineral size distribution, as well as the particle shape parameters, were determined.

Keywords: digital petrography; Fiji (ImageJ); mineral particles analysis.

Цели и задачи. В данной работе представлены результаты разработки методических подходов к исследованию песчаной фракции грунтов под строительство. В работе использованы современные методы цифровой петрографии с применением программных комплексов для обработки и анализа цифровых изображений. Объектами исследований служили образцы песчаных грунтов Беларуси.

Методический подход основан на использовании новых возможностей современной цифровой петрографии. Работа выполнена с помощью цифрового петрографического микроскопа NIKON Eclipse, который имеет компьютерное управление и снабжён механизированными устройствами, позволяющими выполнять съёмки микрообъектов шлифов горных пород и шлихов. Многие аналитические приёмы в настоящее время не используются в практике петрографических исследований по

ряду причин, поэтому в данной работе поставлена задача определить наиболее эффективные методические подходы количественного анализа песков.

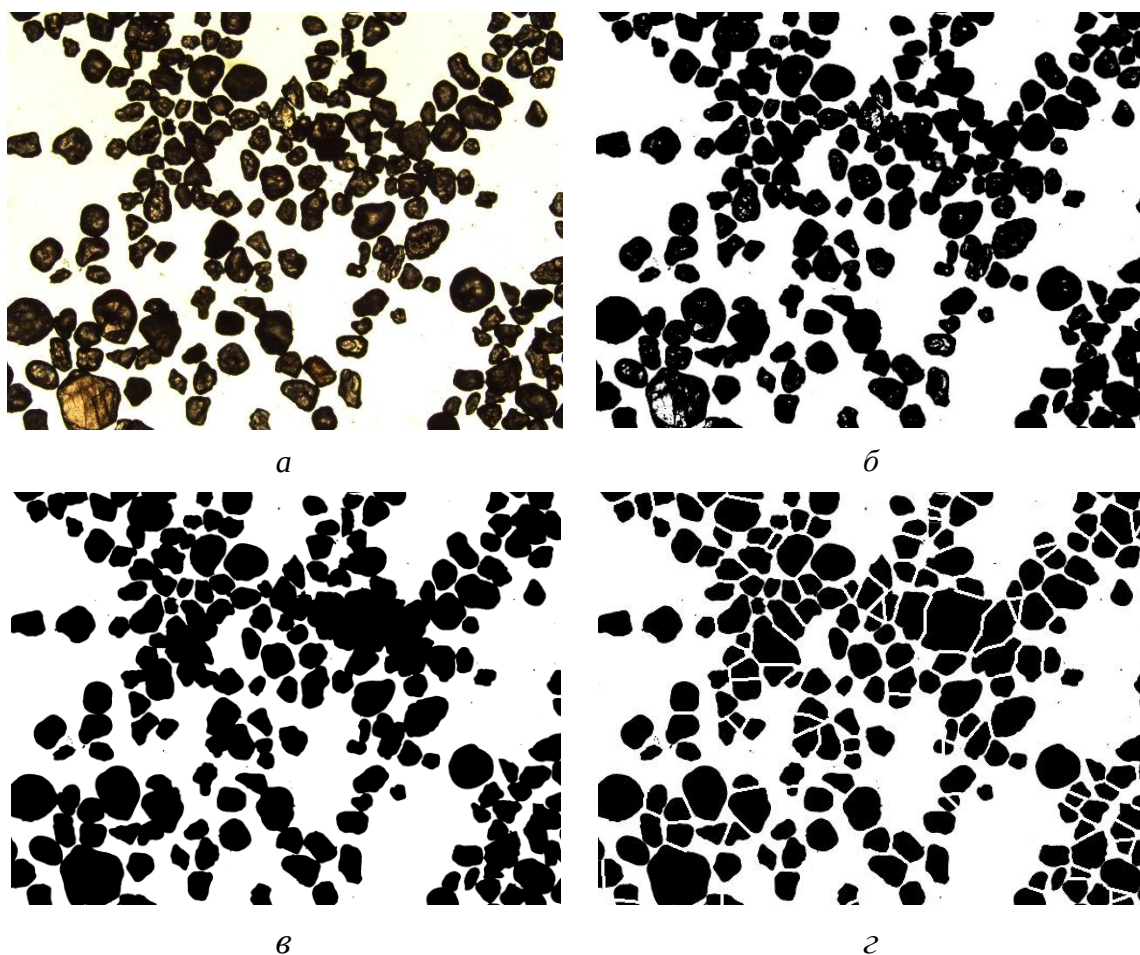
Основными этапами работы являются: получение исходных цифровых микрофотографий шлихов, подготовка их к анализу и выполнение количественного анализа минеральных зерен в составе шлихов с помощью программного комплекса Fiji (ImageJ) [1, 4]. Подготовка к изучению шлихов состоит в нанесении равномерного слоя песчаной фракции на предметное стекло без использования иммерсионной жидкости и без покровного стекла. Шлих должен быть однослойным, без перекрытия зерен. Съемка микрофотографий выполняется в режиме «на просвет». Из-за большой разницы показателей преломления минералов и воздуха зерна имеют высокий контраст и четкие границы, что облегчает изучение их размеров и формы.

Дальнейшие этапы количественного анализа шлихов выполнялись с помощью программного комплекса Fiji (ImageJ). Подготовка к анализу состоит в создании бинарного изображения изучаемого шлиха с помощью операции «Цветной порог» (Color Threshold): Image > Adjust > Color Threshold [2]. Выделение минеральных зерен удобнее проводить в цветовом пространстве HSB (hue, saturation, brightness). Метод использования порога можно оставить Default, а цвета выделения минералов с помощью порога лучше выбрать B&W (черно-белый), при этом изучаемые зерна будут выделены черным цветом на белом фоне (рисунок, б). В случае появления белых пятен внутри зерен, следует применить операцию «Заполнить дырки»: Process > Binary > Fill Holes (рисунок, в). Бинарные изображения могут быть представлены в разных форматах. Пиксели на бинарных изображениях с расширением .bin имеют значения 0 или 1. В приложении Process > Binary пиксели имеют значение 0 или 255, поэтому перед дальнейшими операциями следует применить преобразование Process > Binary > Make Binary. Часто минеральные зерна в шлихах соприкасаются, поэтому их следует разделить для дальнейшего анализа отдельных частиц. Это можно выполнить с помощью операции «Водораздел» (Watershed), которая также входит в пакет Process > Binary. На рисунке (г) представлен результат разделения агрегатов минеральных зёрен на отдельные зерна. На этом этап подготовки цифровой фотографии к анализу минеральных зерен завершается.

Анализ зерен выполняют с помощью программного комплекса Fiji (ImageJ) в последовательности: Analyze > Analyze Particles [3]. При активации этой процедуры появляется всплывающее окно, предлагающее установить параметры анализа частиц. Параметр Size (pixel²) определяет диапазон площади измеряемых частиц. Он может быть задан в диапазоне

3 – Infinity. В этом случае сверхмелкие частицы размером 1 pixel не будут приниматься к анализу. Другие параметры можно оставить неизменными: Circularity (0.00–1.00); Show – Nothing. Следует отметить параметры для применения: Display results; Clear results; Summarize.

Результатом анализа минеральных зерен Analyze > Analyze Particles являются две таблицы: «Summary» и «Results». Таблица «Summary» содержит обобщённые результаты анализа и содержит ряд параметров: число анализируемых минеральных зерен (Count); общая площадь частиц (Total Area); средний размер (Average Size); процентное содержание минеральных зерен (%Area), а также ряд усреднённых параметров формы зерен. Таблица «Results» содержит результаты анализа всех частиц по отдельности, при этом большинство параметров содержат данные о форме минеральных зерен.



Исходная микрофотография образца Р-4, Ф2 *а*, бинарное изображение после операции «Color Threshold» *б*, изображение после операции «Fill Holes» *в*, разделение частиц после операции «Watershed» *г*

Таким образом, в образце Р-4, Ф2 (рисунок) выделены 241 минеральных зерен, которые занимают 46,3 % площади препарата. Средний размер частиц в шлихе составляет 9443,38 рix, а средний периметр равен 344,76 рix. Плотность (solidity) определяется как площадь частицы, деленную на площадь ее выпуклой оболочки, и составляет 0,930. Такой высокий показатель связан с применением операции «Fill Holes». Округлость «Circularity» определяется как $Circ = 4\pi(\text{площадь}/\text{перим.}^2)$ и равна 0,743, что характерно для окатанного песчаного материала.

Заключение. Современные методы цифровой петрографии существенно расширяют возможности анализа песчаных грунтов. Результаты анализа содержат два типа параметров: подсчет минеральных зерен и статистику их распределений, а с другой стороны – изучение многих количественных характеристик морфологии (формы) зерен, недоступные для анализа песков классическими методами. Особенности формы песчаных зерен (их окатанность) обычно определяют с помощью трафаретов по 5-бальной шкале [5, 6]. Этот параметр свидетельствует о длительности переноса и количества переотложений песчаной фракции обломочных пород.

Программный комплекс Fiji (ImageJ) определяет множество характеристик формы частиц, таких как: perimeter, bounding rectangle, fit ellipse, circularity, aspect ratio, roundness, solidity, Feret's diameter. Эти количественные данные могут служить основой для установления закономерностей и связей разных параметров формы и размеров минеральных зерен для исследования процессов формирования песчаных грунтов.

Библиографические ссылки

1. Конюхов А. Л. Руководство к использованию программного комплекса ImageJ для обработки изображений: учеб. метод. пос. Томск : Кафедра ТУ, ТУСУР, 2012.
2. Workshop: Particle Analysis [Электронный ресурс]. URL: <https://imagej.net/imaging/particle-analysis#:~:text=For%20color%20images%2C%20setting%20the,B%26W%20as%20the%20thresholding%20color> (дата обращения: 09.02.2024).
3. Analyse Menu [Электронный ресурс]. URL: <https://imagej.net/ij/docs/menus/analyze.html> (дата обращения: 09.02.2024).
4. Workshop: Image processing and Analysis with ImageJ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.google.com/search?q=ImageJ+analyse+menu&oq=ImageJ+analyse+menu&aqs=chrome..69i57j0i13i19i512l4j0i19i22i30l5.25086j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF> (дата обращения: 09.02.2024).
5. Платонов М. В., Тугарова М. А. Петрография обломочных и карбонатных пород. СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун.-та, 2017.
6. Шванов В. Н. Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Ленинград : Недра, 1987.

УДК 911.2+551.4.05

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ПРИРОДЫ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

О. В. Силицкая

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

Изучены тектоническое строение, рельеф и физико-географическое районирование Фенноскандии и Восточно-Европейской равнины. Рельеф в большей степени оказывается обращенным и не зависит от древней докембрийской платформы и проявлений неотектонических движений. В физико-географическом районировании зональные и азональные ряды таксонов сочетаются, образуя физико-географические области.

Ключевые слова: Фенноскандия; Восточно-Европейская равнина; тектоника; рельеф; физико-географическое районирование.

REGIONAL REGULARITIES OF NATURE DEVELOPMENT OF THE EASTERN EUROPEAN PLATFORM

V. V. Silitskaya

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4,
220030, Minsk, Belarus, silitskayaov@bsu.by*

The analysis and systematization of data from literary and stock materials on regional patterns of development of the nature of the East European Platform was carried out. The tectonic structure, relief and physical-geographical zoning of Fennoscandia and the East European Plain have been studied.

Keywords: Fennoscandia; The East European Plain; tectonics; relief; physical and geographical zoning.

В тектоническом отношении рассматриваемый регион состоит из щита и плиты древней докембрийской платформы.

На Балтийском кристаллическом щите расположена Фенноскандия. В пределах выделенной тектонической структуры находятся два типа морфоструктур: цокольные равнины и низменности (Маанселькя, Хибины); глыбовые цокольные возвышенности и плоскогорья (Скандинавские горы) [1, с. 6; 2, с. 80].

Четвертичные отложения представлены флювиогляциальными формами рельефа, обусловленными неоднократными оледенениями. В пределах Фенноскандии развиты денудационно-тектонические формы.

Рельеф Фенноскандии средне- и низкогорный со значительными амплитудами высот. Холмистые равнины чередуются с долинами рек и озерами. В среднем абсолютные отметки колеблются от 0 до 250 м, преобладают высоты от 100 до 120 м. Максимальные высоты превышают 650 м в возвышенности Маанселькя. Пониженные участки приурочены к крупным водным бассейнам от 5 до 33 м.

Современный рельеф в значительной степени развивается под влиянием нивации, мерзлотных гравитационных и солифлюкционных процессов и лавин.

В четвертичное время преобладала экзарационная деятельность, Балтийский щит подвергался действию материкового льда. Ледниковые формы рельефа выражены экзарационными и аккумулятивными формами. Наиболее полно они наблюдаются на юге Карелии и на юго-восточном побережье Кольского п-ова. Повсеместно распространены флювиальные формы.

На древней докембрийской платформе располагается Восточно-Европейская равнина. В пределах платформы выделяют 6 типов морфоструктур: пластово-ярусные возвышенности (Среднерусская, Приволжская, Бугульминско-Белебеевская); моноклинально-пластовые возвышенности (Валдайская, Верхнекамская, Балтийско-Ладожский уступ); пластовые равнины и возвышенности (Прибалтийская, Верхневолжская, Полесская); аккумулятивные низменности и равнины (Прикаспийская, Печорская); полупогребенные цокольные возвышенности (Приазовская, Приднепровская); кряжевые возвышенности (Тиманский, Донецкий) [1, с. 6; 2, с. 80].

На территории Восточно-Европейской равнины гляциальные и водно-ледниковые формы рельефа проявляются в виде морен и зандров.

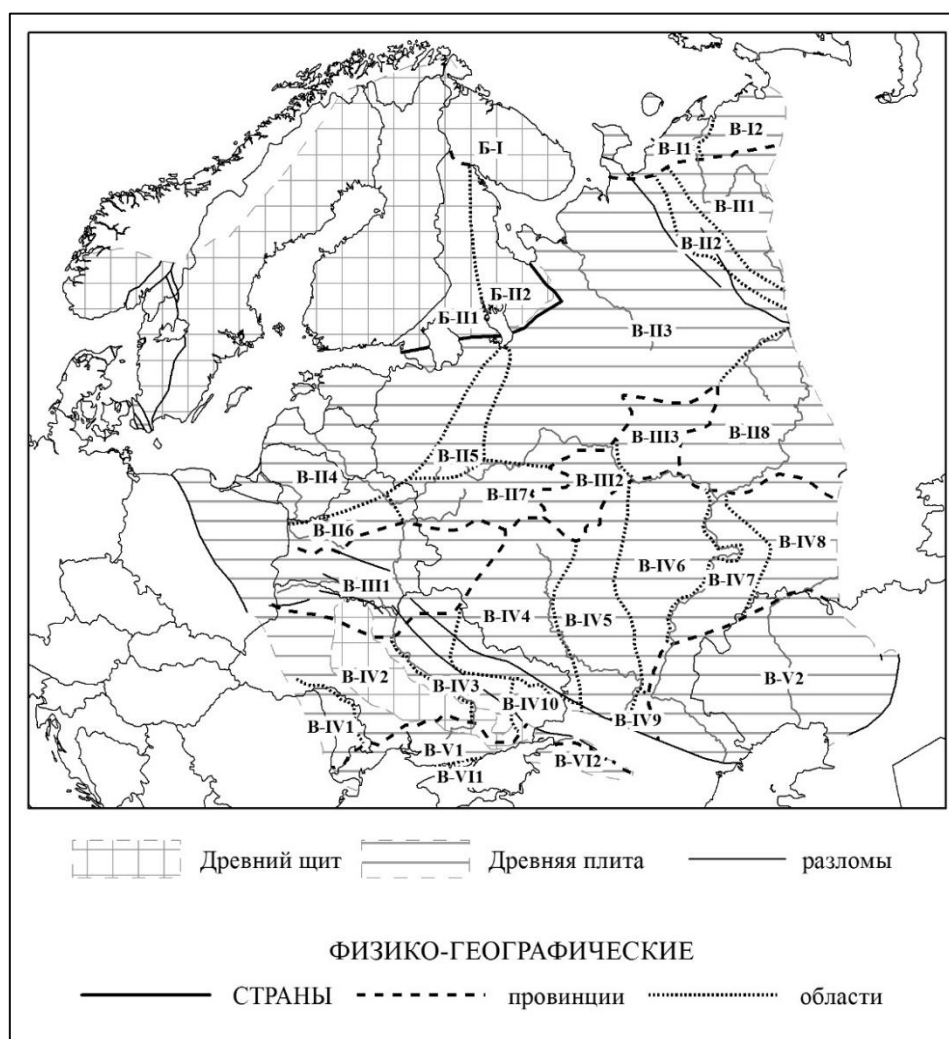
Высоты Восточно-Европейской равнины изменяются от – 28 до 470 м. Наиболее характерны высоты 0–200 м. Высота возвышенностей в пределах Восточно-Европейской равнины составляет 200–500 м. Современный рельеф равнины преобразуется процессами нивации, солюфлюкции, под влиянием эрозии возникают асимметричные склоны.

Под влиянием тектонических движений и климатических факторов на территории изучаемого региона развилось зональное распространение типов морфоскульптур. На северо-востоке Восточно-Европейской платформы развиты кряжевые возвышенности, на юго-западе – полупогребенные цокольные возвышенности. По территории Восточно-Европейской

платформы чередуются аккумулятивные низменности и равнины, пластовые равнины и возвышенности, моноклинально-пластовые и пластово-ярусные возвышенности [3, с. 149–182].

С целью выяснения степени влияния тектоники на рельеф морфоскульптуры сравнивались с орографическими объектами. Определено, что взаимосвязь тектоники и рельефа не проявляется. Рельеф в большей степени оказывается обращенным и не зависит от древней докембрийской платформы и проявлений неотектонических движений.

По схеме физико-географического районирования выделяют: страны, провинции, области (рисунок).



Физико-географические страны: Б – Фенноскандия, В – Восточно-Европейская равнина;
Физико-географические провинции: Б-I – ледниковая экзарация цокольных возвышенных равнин и мелкогогорий, Б-II – ледниковая аккумуляция цокольных низменных равнин, В-I – морские и моренные тундровые и лесотундровые равнины, В-II – моренные равнины лесной зоны, В-III – зандровые пластовые равнины (полесья), В-IV – пластовые и пластово-ярусные эрозионные равнины, В-V – морские равнины сухих степей и полупустынь, В-VI – предгорные аккумулятивные и пластовые степные равнины;

Физико-географические области: Б-I – Кольский тундрово-северотаежный полуостров, Б-II1 – Западная возвышенная ледниковая цокольная равнина Карельская, Б-II2 – Восточная низменная цокольная Карельская равнина, В-I1 – Канинско-Малоземельская моренно-морская тундровая равнина, В-I2 – Большеземельская моренно-морская тундровая равнина, В-II1 – Печорская моренная северная и среднетаежная равнина, В-II2 – Тиманская горная область, В-II3 – Северо-Двинская и Сухоно-Вычегодская моренные северо- и среднетаежные равнины, В-II4 – Прибалтийская моренно-озерная равнина с южнотаежными и широколиственными-хвойными лесами, В-II5 – Валдайская холмисто-озерная южнотаежная и широколиственно-хвойная возвышенность, В-II6 – Белорусская возвышенность со смешанными лесами, В-II7 – Смоленско-Московская возвышенность со вторично-моренными равнинами со смешанными лесами, В-II8 – Вятско-Камская возвышенность с южнотаежными и смешанными лесами, В-III1 – Припятско-Днепровское Полесье со смешанными и широколиственными лесами, В-III2 – Мещерское Полесье с широколиственно-хвойными лесами, В-III3 – Унженско-Ветлужское Полесье с южнотаежными лесами, В-IV1 – Эрозионные возвышенные равнины Молдавии с широколиственными лесами и лесостепью, В-IV2 – Подольская и Приднепровская эрозионные возвышенности с широколиственными лесами, лесостепью и степью, В-IV3 – Приднепровская аллювиальная лесостепная и степная равнина, В-IV4 – Среднерусская эрозионная лесостепная и степная возвышенность, В-IV5 – Окско-Донская аллювиальная лесостепная и степная равнина, В-IV6 – Приволжская эрозионная лесная и степная возвышенность, В-IV7 – Низкая Заволжская аллювиальная лесостепная и степная равнина, В-IV8 – Высокая Заволжская эрозионная лесостепная и степная равнина, В-IV9 – Ергенинская эрозионная полупустынная сухостепная возвышенность, В-IV10 – Донецкий лесостепной кряж, В-V1 – Азово-Причерноморская морская степная низменность, В-V2 – Прикаспийская морская полупустынная и пустынная низменность, В-VI1 – Северо-Крымская аккумулятивная и пластовая степная равнина, В-VI2 – Степные и аккумулятивные равнины Предкавказья. Ставропольская пластовая возвышенность.

Схема физико-географического районирования и тектонического строения
Фенноскандии и Восточно-Европейской равнины [1–5]

В состав физико-географической страны *Фенноскандии* входят 2 физико-географические провинции: ледниковая экзарация цокольных возвышенных равнин и мелкогорий; ледниковая аккумуляция цокольных низменных равнин.

Физико-географическая страна *Восточно-Европейская равнина* представлена 6 физико-географическими провинциями: морские и моренные тундровые и лесотундровые равнины; моренные равнины лесной зоны; зандровые пластовые равнины (полесья); пластовые и пластово-ярусные эрозионные равнины; морские равнины сухих степей и полупустынь; предгорные аккумулятивные и пластовые степные равнины. В каждой провинции выделяют от 2 до 10 областей [3, с. 149–182].

В физико-географическом районировании Фенноскандии и Восточно-Европейской равнины зональные ряды таксонов проявляются в виде природных зон и подзон, а зональные – в виде типов морфоструктур и морфоскульптур. В районировании зональные и а зональные ряды таксонов сочетаются, образуя физико-географические области.

Библиографические ссылки

1. Кольмакова Е. Г., Козлов Е. А. Физическая география материков. Северная и Средняя Европа. Европейское Средиземноморье : практикум. Минск : БГУ, 2013.
2. Физико-географический атлас мира / Гл. ред. Ю. В. Герасимов. Москва : ГУГК ГГК СССР, 1964.
3. Тушинский Г. К., Давыдова М. И. Физическая география СССР : учеб. пос. Москва : Просвещение, 1976.
4. Силицкая О. В., Лукашев О. В. Возможности, предоставляемые ArcGIS для интерпретации результатов изучения геологической деятельности рек Восточно-Европейской платформы и смежных территорий // Современное географическое познание окружающего мира : сб. материалов Международ. конкурса науч.-исслед. проектов молодых ученых и обучающихся, Оренбург, 28 февр. 2023 г. / Оренбург. гос. пед. ун-т; сост.: Н. А. Иванищева, А. Н. Тюрин. Оренбург, 2023. С. 331–343.
5. Силицкая О. В. Применение ArcGIS в изучении геологической деятельности рек // VI Симп. «Междисциплинарные подходы в биологии, медицине и науках о Земле: теоретические и прикладные аспекты» : материалы симпозиума XVIII (L) Международ. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей», приуроч. к 50-летию КемГУ, Кемерово, 26 апр. 2023 г. / Кемеров. гос. ун-т ; редкол.: Ф. Ю. Кайзер (науч. ред.). Кемерово, 2023. Вып. 24. С. 165–168.

УДК 004.85

ОСОБЕННОСТИ ИМПОРТА И ТИПИЗАЦИИ ГЕОДАННЫХ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ

Д. Л. Творонович-Севрук

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, seuruk@ya.ru*

Рассматриваются актуальные вопросы интеграции искусственного интеллекта в процесс генерации научных знаний, в частности, проблемы типизации геоданных, их дифференциации для совершенствования цифровых систем. Освещаются вопросы различий между традиционными программными продуктами и системами искусственного интеллекта, проблемы выявления и устранения «белого шума» из геоданных для улучшения качества информации, экспортируемой цифровыми системами.

Ключевые слова: искусственный интеллект; геоданные; науки о Земле; субъектность искусственного интеллекта; импорт данных, типизация геоданных.

FEATURES OF IMPORTING AND TYPING GEODATA IN THE PROCESS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE DEVELOPMENT IN EARTH SCIENCES

D. L. Tvaranovich-Seuruk

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4,
220030, Minsk, Belarus, seuruk@ya.ru*

The article discusses topical issues of integrating AI into the process of generating scientific knowledge, in particular, the problems of typing geodata, their differentiation for improving digital systems. The issues of differences between traditional software products and artificial intelligence systems, the problems of identifying and eliminating «white noise» from geodata to improve the quality of data exported by AI systems are also considered.

Keywords: artificial intelligence; geodata; Earth sciences; AI subjectivity; data import; geodata typing.

В настоящее время активное применение технологий искусственного интеллекта (ИИ) получило широкое распространение в большинстве областей познавательной деятельности человека [1], рассмотрим некоторые фундаментальные проблемы внедрения и использования данного инструмента в науках о Земле. Процесс работы технологий ИИ непосредственно

связан с постоянным развитием алгоритмов обработки геоданных, их накоплением, систематизацией, циклической обработкой и др. В настоящей статье под технологиями ИИ автор понимает не традиционные программные продукты, обладающие хотя и высоким функционалом [2], но не являющимися отдельными суверенными субъектами научного поиска (в несколько ограниченном и управляемом формате) в отдельной предметной области или смежных областях под определенным контролем исследователей – людей, – а именно такие вычислительные системы, которые способны «генерировать» некоторую информацию, являющуюся научным знанием. Такие системы могут быть основаны как на технологиях нейросетей, так и развитых компонентах машинного сознания. Естественно, результаты научного поиска, полученные при помощи ИИ, должны верифицироваться и проверяться на соответствие актуальным научным парадигмам.

Отличительной особенностью систем ИИ является приобретаемый ими некоторый элемент субъектности в процессе научного поиска. Выдвинутое положение в настоящее время может быть пока дискуссионным, однако, диффузия таких цифровых технологий в науку неизбежна и неотвратима. Рассмотрим же тезисно такую базовую проблему [3, 4] интеграции систем ИИ в науки о Земле, решение которой при обработке малых объемов информации для людей – исследователей не представляет значительных сложностей, как типизация импортируемых геоданных в контексте развития систем ИИ.

Импортируемые данные в науках о Земле [2], являющиеся исходным материалом для обработки системами ИИ, можно, с одной стороны, условно подразделить на растровые и векторные. С другой стороны, геоданные дифференцируются как условно одномерные, представленные слоями геоданных, например, в виде топоосновы, мониторинга глубины грунтовых вод, гидрохимии и др., так и многомерные, например, спектрально-временная и псевдоакустическая параметризации волнового поля на временных разрезах и кубах в нефтегазовой геологии. Естественно, геоданные, импортируемые в систему ИИ, дифференцируются по степени «сортированности», наиболее высокой степенью обладают упорядоченные массивы данных в виде разнообразных баз данных, хорошим примером которых являются метеорологические наблюдения, показания дебита скважин, сейсмического мониторинга и др., и «несортированные» в виде кластеров несистемных единичных наблюдений – составных компонентов «озер данных», сложенных, например, отдельными неоцифрованными фондовыми материалами такими как геологические отчеты, в частности, по региональной геологии, в «растровом» формате.

Помимо указанных типов информации геоданные, содержащиеся в традиционных источниках, дифференцируются по специфике содержания, в частности, текстовой и графической составляющим, особенностям визуализации контента, что требует отдельной адаптации процесса импорта исходных материалов в среду ИИ. В частности, отдельным направлением обучения нейросетей [5] в науках о Земле является создание разнонаправленных алгоритмов обеспечения процесса ввода-вывода и многоуровневой верификации неоднородной информации (геоданные).

Следующей важной составляющей функционирования ИИ в контексте рассматриваемой проблемы типизации импортируемых данных является обеспечение адекватного сопоставления новой информации с ранее сохранёнными единичными и несистемными материалами, незадействованными ранее. Упомянутая операция важна для составления прогнозов, моделей и целей картирования в широком спектре прикладных и фундаментальных проблем в науках о Земле.

Для ИИ в настоящее время характерны сложности «встраивания» единичных несистемных данных в научную картину мира. Указанная особенность основана на имманентной составляющей архитектур систем обработки данных, распространённых в первой четверти XXI в. Следует отметить важность для субъектов исследования условно единичных несортированных данных, которые всегда будут встречаться в науках о Земле, по причинам присущей для них особенности, проявляющейся в «непредсказуемости» появления отдельных событий и феноменов, доступных для исследователя. Однако, указанный тип данных не является «потерянным» для ИИ в науках о Земле. При определённых сценариях обработки указанной информации, она требует отдельной «маркировки» как незадействованная в конкретных операциях анализа геоданных и должна «храниться» для последующего использования. Такой тип материалов «встраивается» в состав новых последующих цифровых алгоритмов обработки геоданных.

Отдельной субпроблемой типизации геоданных является процесс выделения и элиминации истинного «белого шума» среди импортированных материалов в системы ИИ и акцентировании на актуальной информации. Первичные материалы часто, на первый взгляд, по своей структуре являются хаотическими и несистемными, например, кривые каротажных диаграмм, распределение минералов в шлифах, особенности литологии определённого геологического разреза и др. Для человека-исследователя импорт в цифровые системы, сортировка и интерпретация больших объемов такой информации является затратной по времени и ресурсам операцией, а системы ИИ при соответствующей настройке способны оптимально решать указанные задачи [3–6].

Библиографические ссылки

1. Chatgpt [Электронный ресурс]. URL: <https://chatgpt.org/> (дата обращения: 10.02.2024).
2. ГИС справочник [Электронный ресурс]. URL: <https://gis4arch.blogspot.com/2019/01/blog-post.html> (дата обращения: 10.02.2024).
3. Нейросеть для полевых работ [Электронный ресурс]. URL: <https://stimul.online/articles/innovatsii/neyroset-dlya-polevykh-rabot/> (дата обращения: 10.02.2024).
4. Применение технологий искусственного интеллекта для задач геологоразведки [Электронный ресурс]. URL: https://nedra.gazprom.ru/d/textpage/da/218/bondarev_evgeniy_ai.pdf (дата обращения: 10.02.2024).
5. Эксперименты с нейронными сетями на данных сейсморазведки [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/ods/articles/482780/> (дата обращения: 10.02.2024).
6. ГенИИ в образовании. Как новое поколение нейросетей изменило EdTech [Электронный ресурс]. URL: <https://www.skolkovo.ru/expert-opinions/genii-v-obrazovanii-kak-novoe-pokolenie-nejrosetej-izmenilo-edtech/> (дата обращения: 10.02.2024).

УДК: 550.838.6

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В ЗОНАХ ПОТЕНЦИАЛЬНО АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ БЕЛАРУСИ

А. К. Хибиев, Н. В. Козловский, М. А. Шеметило

*Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины, 10
220076, г. Минск, Беларусь, loter_mc@mail.ru*

Рассмотрено понятие активный разлом и определение его различными авторами. Кратко описана методика изучения активных разломов. Представлены результаты обработки геофизических данных, полученных в рамках программы мониторинга на специальных геодинамических полигонах.

Ключевые слова: магнитное поле; вариации; методика; разлом; спектрометрия; геодинамический полигон.

GEOPHYSICAL FIELDS IN ZONES OF POTENTIALLY ACTIVE FAULTS ON GEODYNAMIC POLYGONS OF BELARUS

A. K. Khibiyev, N. V. Kozlovskiy, M. A. Shemiatsila

*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,
F. Skoryna St., 10, 220076, Minsk, Belarus, loter_mc@mail.ru*

The article discusses the concept of an active fault and its definition by various authors. The methodology for studying active faults is briefly described. The results of processing geophysical data obtained as part of the monitoring program at special geodynamic polygons are also presented.

Keywords: magnetic field; variations; methodology; methodology; fault; spectrometry; geodynamic polygon.

Геологический разлом – нарушение сплошности горных пород, без смещения (трещина) или со смещением пород по поверхности разрыва.

Так как чаще всего разломы состоят не из единственной трещины или разрыва, а из структурной зоны однотипных тектонических деформаций, которые ассоциируются с плоскостью разлома, то такие зоны называют зонами разлома. Геологические разломы делятся на типы в зависимости от направления движения. Наименование применяется к направлению движения разлома, а не к современной ориентации, которая могла быть

изменена под действием местных либо региональных складок, либо наклонов.

По А. А. Никонову: основная проблема в определении активных разломов — несогласованность в определении в разных странах.

Американские исследователи определяли активные разломы как «разломы, которые повторно оживлялись в недавнее геологическое время (голоцен) и, возможно, проявят себя в будущем». Близко к этому другое определение: «активные разломы и активные тектонические деформации — это такие структуры или процессы, которые происходят в настоящее время и, вероятно, будут случаться или продолжаться в будущем».

Специально образованная в Японии группа по разработке данной проблемы и созданию карты приняла, что «активными называются разломы, вдоль которых движения имели место в течение четвертичного времени (последние 2 млн лет)». Такое определение аналогично понятию «четвертичные разломы» (т. е. разломы четвертичного периода). Составители «Карты активных разломов СССР» понимали под активными признаками тектонических движений в течение голоцена, в том числе в историческое время». Но в дальнейшем расширили интервал до 100 тыс. лет.

Иначе трактует данное понятие другая группа российских исследователей: «Активными считаются современные разрывы и смещения, которые происходят в настоящее время и зафиксированы инструментально геофизическими или геодезическими методами или документально при сопоставлении разновременных карт, исторических материалов, и т. д.».

Китайские специалисты, занятые составлением Атласа активных разломов страны, ограничились постулатом о том, что в качестве активного рассматривается разлом четвертичного времени (около 1 млн лет), или обновлённый разлом, или разлом с перемещениями в течение неотектонического этапа.

А. А. Никонов предлагает следующее определение: активным разломом предлагается называть такое дизъюнктивное тектоническое нарушение геологических тел на поверхности (в рельефе) и/или в недрах, которое несет признаки направленного перемещения разделяемых им блоков (крыльев) в течение последних сотен тысяч лет на величину не менее 0,5–1 м на базе (поперек нарушения) не более 0,5–1 км, т. е. со среднерасчетной скоростью не менее сотых долей миллиметра в год.

Одна из основных специфических особенностей изучения активных разломов состоит в том, что приходится иметь дело, во-первых, с результатами тектонических процессов в виде необратимых (но подчас незначительных с точки зрения общей тектоники) нарушений и деформаций геологических тел и форм рельефа, а во-вторых, с постоянно протекающими, но не всегда однонаправленными процессами, признаки которых не столь

сосредоточены в пространстве и времени, а величины не всегда уловимы существующими методами. Поэтому активный разлом выделяют как по обычным геологическим и геоморфологическим признакам, фиксирующим накопленные необратимые деформации и смещения, так и по ряду других (геофизических, геодезических, флюидодинамических и пр.), отражающих текущую активность. Последняя может быть направленной и обратимой, постоянной и прерывистой. В. Г. Трифонов отмечает важность не столько наличия подвижки по разлому в современный геологический период, сколько возможность таковой в будущем. Если со времени последней подвижки миновало времени меньше характерного периода повторяемости, то правомерным будет полагать, что подвижка по разлому возможна в недалеком будущем, и считать изучаемый разлом активным. Значительное превышение продолжительности сейсмического «молчания» разлома после последней подвижки характерного периода повторяемости подвижек дает основание отнести разлом к неактивным. Ожидаемость будущей подвижки является тем, что переводит разлом в разряд активных. Если оснований для такого ожидания нет, то разлом следует считать неактивным.

В. Г. Трифонов и А. И. Кожурин дают такое определение разломов: разломы – хрупкие деформации земной коры, а их скопления (зоны) могут рассматриваться как проявление делимости земной коры и литосферы на подвижные и менее мобильные, относительно жесткие, слабо или вовсе недеформирующиеся области между ними. Существенной характеристикой активных разломов является то, что данные о них описывают один и тот же короткий временной интервал (позднеплейстоцен-голоценовый), что делает возможным рассматривать активные структуры, даже отстоящие друг от друга на значительные расстояния, как кинематически и динамически связанные и, таким образом, восстанавливать режим деформирования обширных пространств литосферы, земной коры и земной поверхности.

О. В. Лунин определяет разлом, как поверхность механического нарушения сплошности протяженностью более 100 м, образующаяся в деформируемом теле под действием приложенных к нему внешних сил. Более мелкие разрывные нарушения классифицируются как трещины. Разлом имеет определенную зону, включающую в себя не только тектониты разломного сместителя, но и существенно бóльшие по размерам объемы горных пород, в которых имеют место генетически связанные с его формированием пластические и разрывные деформации [1].

Основой для выделения разломов, как правило, служат геофизические методы исследования, подкреплённые определённой геологической информацией.

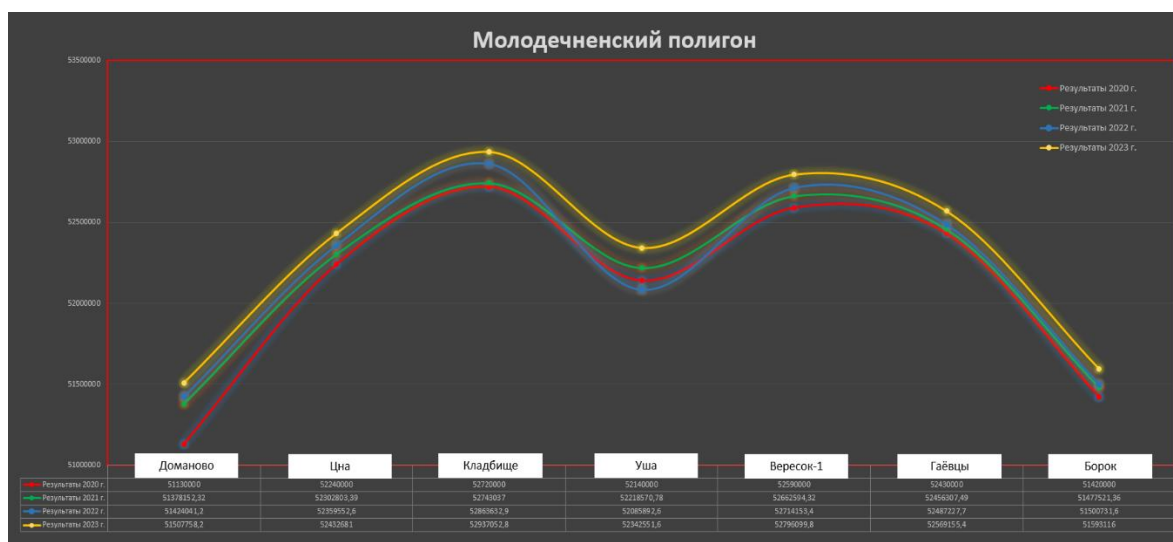
В результате многолетних наблюдений на специальных геодинимических полигонах Беларуси в рамках Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» установлено аномальное поведение во времени и пространстве магнитного поля в зонах потенциально активных разломов литосферы [2]. Активность разломов косвенно проявляется неоднородностью геофизических полей во времени. Подтверждение активности разлома или тектонической зоны производится дополнительно по результатам геологического анализа, в частности, по палеоседиментационным мощностям кайнозойских отложений.

Все признаки проявления глубинных разломов в магнитном поле можно объединить в три группы: 1) линейные вытянутые полосы градиентны магнитного полей; 2) цепочки линейных локальных аномалий магнитного поля обоих знаков; 3) нарушение закономерностей в поведении магнитного поля, «срезание» одних изоаномал другими или сочленение областей с разным рисунком изолиний [3].

Геофизические измерения геомагнитного поля на специальных геодинимических полигонах Беларуси велись с помощью оверхаузерного магнитометра MMPOS-1. Основной методикой наблюдений за геомагнитным полем в зоне Кореличского субрегионального разлома являются систематические повторные геофизические наблюдения через фиксируемые вариации гравитационного и магнитного полей во времени, что в свою очередь является методическим контролем за протеканием современных глубинно-магматических процессов. Максимально интенсивные геофизические аномалии Кореличского разлома приурочены к Воложинскому и Молодечненскому геодинимическим полигонам. Воложинский и Молодечненский полигоны расположены в западной части Белорусского кристаллического массива с залеганием поверхности кристаллического фундамента на глубине 500–600 м. Пример результатов таких наблюдений представлен на рис. 1.

Объектом спектрометрических исследований на полигонах являются ореолы рассеивания радиоактивных элементов. Фиксация мигрирующих радионуклидов, что является следствием современных глубинных тектонофизических процессов – конечное целеполагание комплексирования спектрометрической съемки с прочими геофизическими методами. Из всех видов радиоактивных излучений наибольшей проникающей способностью обладают гамма-кванты, потому спектрометрия подразумевает в первую очередь гамма-съемку [4].

Площадная спектрометрическая съёмка по изотопам K, Ra и Th была выполнена на Молодечненском и Воложинском полигонах (рис. 2).



По оси Y – значения магнитного поля в нТл, по оси X – названия пунктов наблюдений.

Рис. 1. Графики показаний магнитного поля по маршруту Молодечненского геодинамического полигона (2020–2023 гг.)

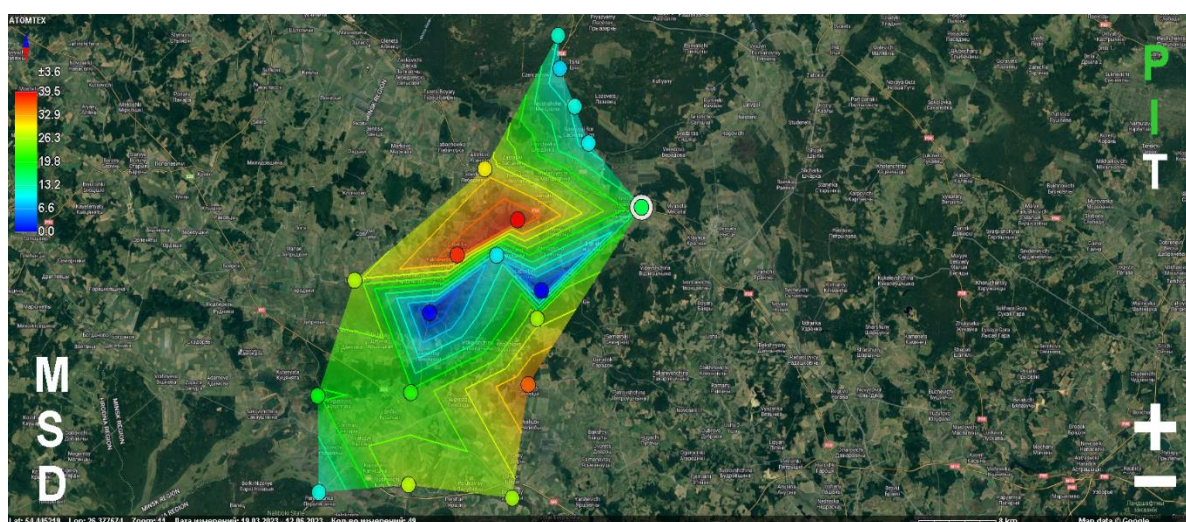


Рис. 2. Карта распространения изотопа ^{232}Th на поверхности четвертичных отложений Молодечненско-Воложинского полигона (апрель–май 2023 г.)

Авторы статьи понимают под потенциально активным разлом, зона которого сопровождается дифференциацией геофизических показателей во времени. В настоящее время Институтом природопользования НАН Беларуси осуществляется комплекс геофизических исследований на специальных геодинамических полигонах, в местах, приуроченных к потенциально активным разломам.

Библиографические ссылки

1. Активные разломы: методы, изучения, морфология, кинематика, геодинамика : в 2 ч. Москва, Иркутск : АН СССР, 1989.

2. *Гарецкий Р. Г., Каратаев Г. И., Мясников О. В., Хибиев А. К., Шаблыко П. В.* Изучение вариаций геофизических полей в зонах активных разломов Беларуси в экологическом аспекте // Материалы международ. науч. конф. «Мониторинг состояния окружающей среды в целях устойчивого развития. 25 лет Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь». Минск, 2018. С. 129–133.

3. Разломы земной коры Беларуси / Под ред. Р. Е. Айзберга. Минск : Красико-принт, 2007.

4. *Погосов А. Ю., Дубиковский В. А.* Ионизирующая радиация: радиоэкология, физика, технологии, защита: учебник для студентов вузов / Под ред. А. Ю. Погосова. Одесса : Наука и техника, 2013.

УДК 551.435.45(476)

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ РАЗНОВИДНОСТИ СУБГЛЯЦИАЛЬНЫХ ВОДНО-ЭРОЗИОННЫХ ЛОЖБИН

Е.В. Хилькевич

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, katya.xilk@list.ru*

Исследована проблема геологического строения и происхождения субгляциальных водно-эрозионных ложбин. Цель работы — охарактеризовать основные виды таких структур. Среди них выделено два морфогенетических вида: ложбины быстрых спусков подледных озер и ложбины, возникших при стоке наледных талых вод. Рассмотрена специфика формирования каждого вида ложбин.

Ключевые слова: субгляциальные водно-эрозионные ложбины; водная эрозия; субгляциальные озера; наледные талые воды; флювиогляциальные дельты.

MORPHOGENETIC TYPES OF SUBGLACIAL TUNNEL VALLEYS

E.V. Khilkevich

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4, 220030,
Minsk, Belarus, katya.xilk@list.ru*

The problem of geological structure and origin of subglacial tunnel valleys is investigated. The aim of the work is to characterize the main types of such structures. Among them, two morphogenetic types have been identified: valleys of rapid descents of subglacial lakes and valleys formed by the runoff of supraglacial melt water. The specifics of formation of each type of valleys are considered.

Keywords: subglacial tunnel valleys; water erosion; subglacial lakes; supraglacial melt water; fluvioglacial deltas.

Субгляциальные водно-эрозионные ложбины представляют собой самостоятельный тип ледниковых ложбин [1, с. 137]. Впервые в Беларуси они выделены Г. И. Горецким [2, с. 32] и названы им ложбинами водно-ледникового размыва.

Эти ложбины представляют собой вытянутые отрицательные структуры, которые отличаются от других ложбин (выпахивания, выдавливания, полигенетических) преимущественно извилистой формой, малой шириной, значительной глубиной и происхождением в ложе ледника в результате эрозии талых ледниковых вод [3, с. 33].

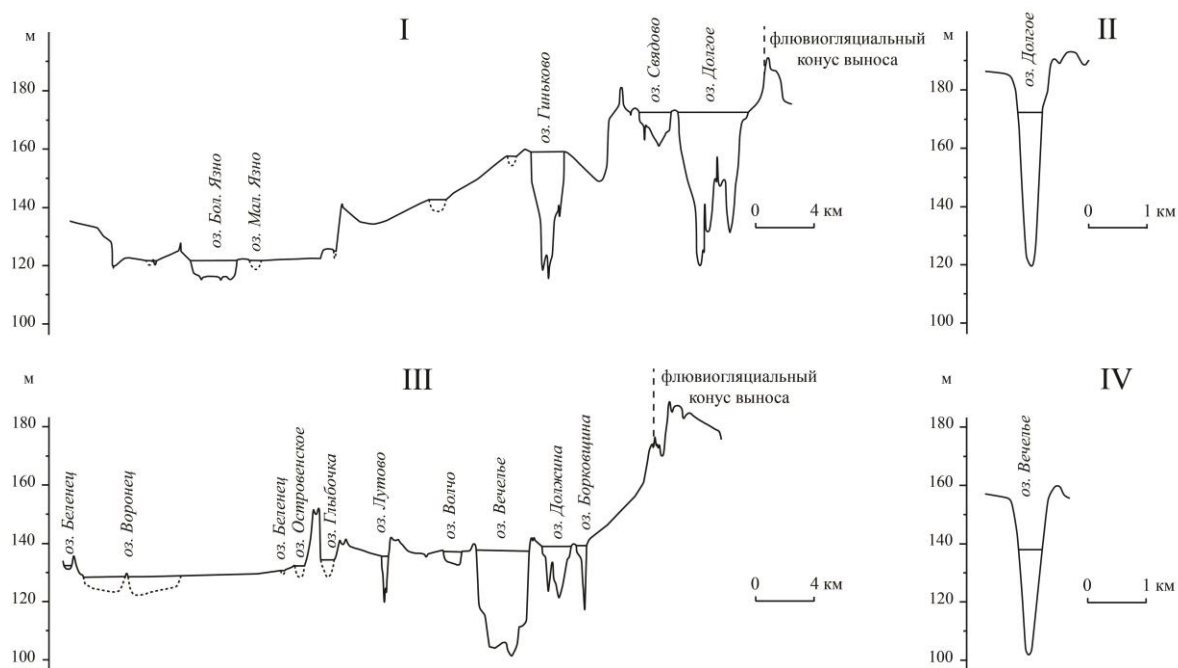
По геологическому строению, морфологии и происхождению среди подледных водно-эрозионных ложбин можно выделить две разновидности: 1) ложбины быстрых спусков подледных озер; 2) ложбины, возникшие в результате стока наледных вод [4, с. 12].

Ложбины быстрых спусков талых подледных вод начинаются во внутренней зоне краевых комплексов и протягиваются до их дистального окончания, пересекаются несколькими цепочками краевых образований. К этому виду отнесены Сорочанская, Забельская, система Долгое и Гиньковская ложбин, Вечельская, Свечанская, Филиппенская, Гребницкая, Кругликская, Тухинская, Свободная, Березовская, Соро ложбины. У северного начала всех их отмечается присутствие отложений подледных бассейнов [5, с. 259]. В современном рельефе районы распространения древних подледных озер приурочены к наиболее пониженным участкам Полоцкой низины и Шумилинской равнины, а также к придолинной полосе Западной Двины и Дисны. Территория подледного озера в дневной поверхности в основном полого-вогнутая или плоская с абсолютными отметками 134–139 м, занята обширными болотными массивами и гляциокарстовыми озерами.

Ложбины этого вида имеют спрямленную либо слабоизвилистую форму в плане, большую протяженность и относительно шире ложбин, образовавшихся в результате дренажа талых наледных вод. Некоторые из них по мере удаления от подледного озера разветвляются и прослеживаются далее в виде основной ложбины и рукавов, например, система Долгое и Гиньковской ложбин. Они достигают 48 км в длину, 0,2–0,6 км в ширину и более 75 м в глубину. В поперечном сечении они V-образные с крутизной склонов местами до 55° (рис. 1, II, IV). Продольный профиль их неровный. В нем отмечаются котловины с озерами и поднятия на межозерных перемычках. Эта закономерность характерна и для отдельных озерных котловин. Относительные превышения поднятий на межозерных перемычках над самыми глубокими участками составляют 40–60 м. В целом продольный профиль имеет тенденцию к повышению от начала ложбины к ее дистальному окончанию. Превышение южного окончания над началом может быть более 60 м (рис. 1, I, III).

Характерной особенностью рассматриваемых ложбин являются крупные флювиогляциальные конусы выноса и дельты на дистальных окончаниях. В их строении участвуют переслаивающиеся крупно- и разнотерристые пески с гравием, галькой и валунами. Вблизи выхода подледного туннеля отмечается укрупнение обломков до хорошо отсортированного и окатанного галечного и галечно-валунного материала с валунами до 1–1,5 м. Грубообломочный материал конусов выноса и дельт свидетельствует о большой энергии (объеме и высокой скорости

движения) талых подледных вод. Вышеописанные особенности морфологии ложбин и соотношения с сопутствующими образованиями дают право утверждать, что основным источником вод для их формирования были воды подледных озер, находившихся под высоким давлением.



Примечание. I – продольный профиль Долгое ложбины; II – поперечный профиль через котловину оз. Долгое; III – продольный профиль Вечельской ложбины; IV – поперечный профиль через котловину оз. Вечелье.

Рис. 1. Орографические профили ложбин быстрых спусков подледных озер

Среди ложбин этого вида нами установлены: 1) ложбины однократных спусков и 2) ложбины, образовавшиеся в результате многократных спусков вод из подледных озер. Одной из основных особенностей последних является наличие подледных террас, которые свидетельствуют о повторных циклах спуска и эрозии.

Ложбины стока наледных вод представляют собой Должанская, Карпинская, Березовская, Белая, Заборовская, Бобрицкая, Полсвижская, Худовецкая и Веринская ложбины. Они имеют извилистую форму и небольшие размеры: длину до 6 км, ширину до 300 м и глубину вреза до 17 м. В поперечном разрезе они полого V-образные и корытообразные (рис. 2, II). Крутизна склонов составляет 20–30°. Продольный профиль ложбин стока талых наледных вод также неровный. Как правило, котловины заняты озе-

рами, а межозерные участки – поднятиями. В продольном профиле отмечается незначительное понижение отметок от места начала ложбины к ее окончанию (рис. 2, I).

В устье ложбин располагаются флювиогляциальные дельты, камы и озы, сложенные мелко- и среднезернистыми песками, книзу переходящими в разномзернистые пески. Мелкие и крупные валуны в строении дельт не встречены. Отмечается отчетливая связь этих врезов с крупными камовыми массивами и озами на склонах и прилегающих территориях.

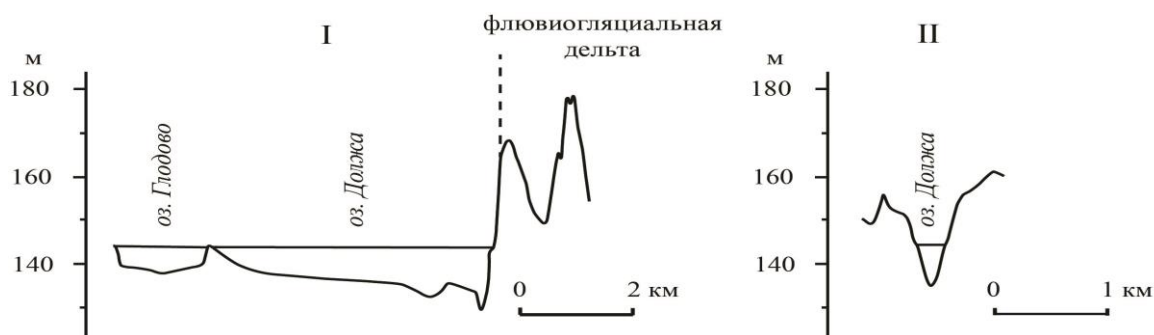


Рис. 2. Характер продольного (I) и поперечного (II) профилей Должанской ложбины спуска наледных вод

В образовании ложбин участвовали, по-нашему мнению, талые наледные и внутриледниковые воды, поступавшие в ложе ледника по системе вертикальных трещин в нем. Намного меньшие объемы талых вод по сравнению с подледными озерами определили небольшие размеры и мелкообломочный состав материала флювиогляциальных форм рельефа у окончания ложбин.

Библиографические ссылки

1. Комаровский М. Е. Палеоложбины Белорусского Поозерья. Минск : БГУ, 2009.
2. Горецкий Г. И. О происхождении и возрасте глубоких долинообразных понижений в рельефе постели антропогенных отложений ледниковых областей // Нижний плейстоцен ледниковых районов Русской равнины / Отв. ред. : Г. И. Горецкий, Н. И. Кригер. Москва : Наука, 1967. С. 17–34.
3. Kehew A. E., Piotrowski J. A., Jørgensen F. Tunnel valleys: Concepts and controversies – A review // *Earth-Science Reviews*. 2012. Vol. 113. P. 33–58.
4. Хилькевич Е. В. Геологическое строение, морфология и формирование субгляциальных водно-эрозионных ложбин на территории Белорусского Поозерья в квартере : автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Минск, 2023.
5. Хилькевич Е. В. Влияние талых ледниковых вод на формирование ложбин на территории Белорусского Поозерья // Проблемы региональной геологии запада Восточно-Европейской платформы и смежных территорий : материалы Международ. науч. конф., Минск, 10–12 апр. 2019 г. Минск : БГУ, 2020. С. 257–261.

УДК 553.04

ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ СТРАН ЮЖНОЙ АФРИКИ

Д. В. Шкраба

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

Кратко рассмотрены современные проблемы геологии стран Южной Африки.

Ключевые слова: региональная геология; добывающий сектор; геологическое картирование.

PROBLEMS OF GEOLOGY IN SOUTH AFRICA COUNTRIES

D. V. Shkraba

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4,
220030, Minsk, Belarus, lorogodrian@mail.ru*

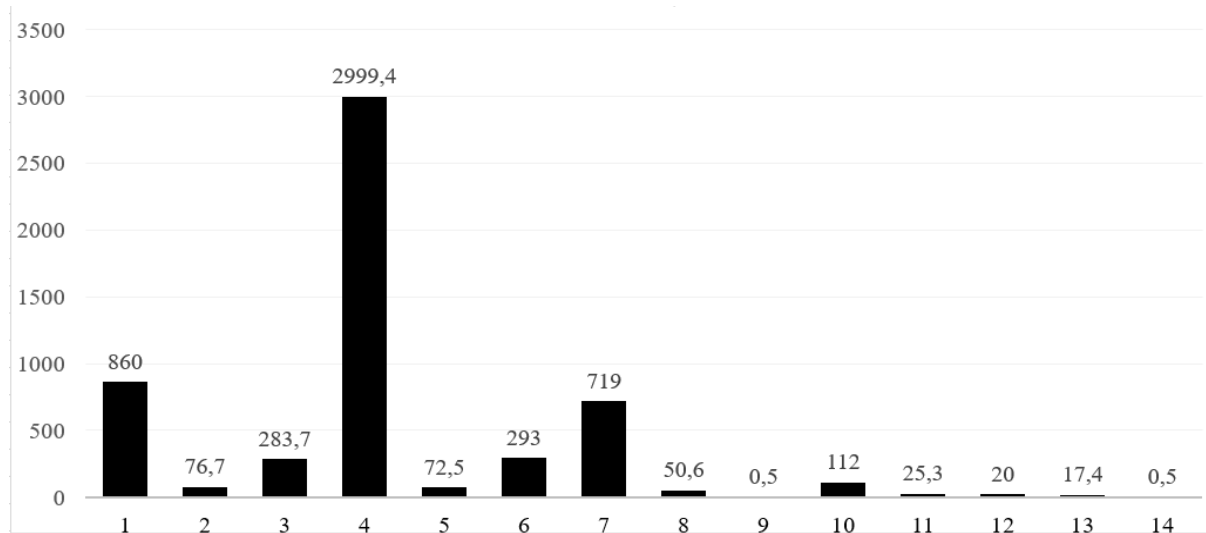
The modern problems of geology of the countries of Southern Africa are briefly considered.

Keywords: regional geology; mining sector; geological mapping.

Страны Южной Африки, обладающие богатой минерально-сырьевой базой, представляют собой объект исследования, весьма привлекательный для научного геологического сообщества. В последние десятилетия этот регион сталкивается с рядом серьезных вызовов, включая изменения климата, неэффективное управление природными ресурсами, высокий уровень геологических рисков и неоднородное экономическое развитие. Глубокое понимание и анализ данных проблем, возникающих в области геологии стран Южной Африки, являются неотъемлемым элементом стратегии обеспечения устойчивого развития этого региона.

Территория Южной Африки в целом состоит из ряда геоблоков, включающих два щита: северный – Зимбабве, и южный – Каапвальский (Трансвальский). Эти геоблоки представлены архейскими гранитно-зеленокаменными областями с купольными гранито-гнейсовыми структурами, обладающими большим потенциалом полезных ископаемых, таких как Pt, Au, Cr, Fe, алмазы, Mn, Ni, Cu, Co, P, Zn, U, Ti, Pb, Al, Ag, Ta, Sn, Nb, каменный уголь и др. В Южно-Африканском геоблоке сосредоточено около 45 % мировых запасов Au, 90 % металлов Pt-группы, 60 % запасов

Cr, 20 % Mn. Он также обладает крупнейшими запасами V, Fe и U и занимает второе место по запасам алмазов в мире [1–4]. Ценность Южно-Африканского геоблока (в сравнении с другими тектоническими структурами Африки) показана на рисунке.



1 – Западно-Африканский геоблок, 2 – геоблок Чад, 3 – геоблок Конго, 4 – Южно-Африканский геоблок, 5 – Сахарский плитный геоблок, 6 – Дамаро-Катангская складчато-надвиговая система, 7 – Мавритано-Сенегальская граничная система, 8 – Западно-Конголезская граничная система, 9 – Капская граничная система, 10 – Мозамбикская граничная система, 11 – Танзанийский геоблок, 12 – рифтовая зона Танганьика, 13 – рифтовая зона Ньяса, 14 – Нигерийская рифтовая зона.

Суммарная ценность полезных ископаемых тектонических структур Африки
(млрд долл.) [3, 4]

На территории Африки выделяют 15 импактных структур. Крупнейшей и наиболее древней на Земле является импактная структура Вредефорт, располагающаяся в протерозойском осадочном бассейне Витватерсранд. Структура Вредефорт образовалась около 2 млрд лет назад и была интенсивно эродирована, причём глубина эрозии могла достигать 15 км и более. В его ядре диаметром около 40 км выступают архейские гранулиты и другие породы, пересекаемые жилами псевдотахилитов и дайками застывшего импактного расплава. Внешнее кольцо купола сложено протерозойскими толщами, опрокинутыми в стороны от его ядра. Далее они образуют широкое, окаймляющее купол синклинальное погружение, в пределах которого сохранились осадочные породы бассейна Витватерсранд, известного своими золотыми и урановыми рудами. В золотоносных пластах месторождения Витватерсранд имеются запасы Au около 100

тыс. т, так же в них заключено около 500 тыс. т U. Преимущественно седиментогенные залежи золотых и урановых руд сохранились от эрозии в синклиналеподобной структуре Витватерсранд, возникшей благодаря крупномасштабным деформациям во время кратерообразования. Содержащие около половины мировых запасов Au, добыча которого здесь ведется более 100 лет, и значительную долю U, эти месторождения могут рассматриваться как прогенетические [3].

Скорость применения современных методов поисков и добычи полезных ископаемых в Африке зависит от наличия и доступности современных технологий и нехватки высококвалифицированного персонала. В настоящее время Беларусь и белорусские геологи могут предложить содействие странам Южной Африки, обмен научным и техническим опытом, подготовку квалифицированных кадров на базе белорусских ВУЗов. Сотрудничество между Беларусью и странами Южной Африкой в области геологии может принести взаимную выгоду, способствуя развитию науки и технологий и улучшению геологического исследования и освоения ресурсов.

Многие страны с низким и средним доходом существенно выиграли от сырьевого бума, обусловленного спросом со стороны Китая и, в меньшей степени, Индии. Бум сопровождался высокими ценами на экспортируемые ресурсы и способствовал высоким темпам экономического роста. Вместе с тем, широко распространено мнение, что горнодобывающая промышленность, хотя и способна обеспечить поступление валюты и финансовых средств, однако, не способна значительно влиять на устойчивый экономический рост и развитие человеческого потенциала. Также отмечается негативное влияние бума, увеличение неравенства, разрушение окружающей среды [5].

Для определения дальнейшей стратегии исследования геологических недр стран Южной Африки следует кратко охарактеризовать основные направления изучения данной территории.

Региональная геология входит в число крупных или даже основных разделов геологических наук. Она изучает геологическое строение определенных площадей (стратиграфию, тектонику, магматизм), историю их развития, размещение полезных ископаемых. Именно она является основным источником геологической информации, дающим представление об общем площадном распределении геологических структур, стратиграфии отдельных площадей, магматизме в их пределах, проявлении современных процессов, преобразующих земную кору, а также о полезных ископаемых изучаемых площадей – их запасах и ресурсах, других особенностях. В числе основных вопросов региональной геологии следует назвать сопо-

ставление строения и развития отдельных платформ, складчатых сооружений, других тектонических структур. Именно такое сопоставление лежит в основе сравнительно-геологического метода, который должен быть отнесен к числу основных его направлений. В том числе, выявление их эталонов, обоснование прогнозов тех или иных площадей на различные полезные ископаемые.

Основным методом региональной геологии является *геологическое картирование*, которое подразумевает составление геологической карты различного масштаба для определенных площадей. Обычно различают собственно геологическую съемку и картосоставительские работы, или составление карты для частично уже изученной территории. Геологическая съёмка разнится в зависимости от детальности изучения, или масштабов картирования (обзорное, мелко-, средне- или крупномасштабное), степени и характера проведения необходимых работ; поэтому говорят о необходимости полного изучения какой-то площади, глубинном картировании или других операциях исследования.

Сравнительно-геологический метод, хотя и относится к числу основных и широко используемых, редко, когда поддается специальному анализу. Он является неременной частью структурно-геологических исследований, когда представления о строении складчатых сооружений, платформ или их составных частей, магматических тел и других объектов интереса геологии устанавливаются на основании сопоставления с другими более детально изученными. Метод аналогий подразумевает определенную типизацию структур, при которой выводы о детально изученном ее представителе будут использоваться для других случаев.

Необходимо подчеркнуть, что сравнительно-геологический метод, метод или принцип аналогий широко используется в прогнозе и поисках полезных ископаемых, подсчёте их запасов. Все это позволяет утверждать, что сравнительно-геологический метод требует специальных и целенаправленных исследований. Должны быть четко сформулированы его возможности, обоснованы случаи применения (сопоставление крупных и локальных геологических структур, типизация их, в ряде случаев количественная характеристика), цели, задачи таких сопоставлений, выявление эталонов.

С целью получения полной, объективной информации о геологическом строении пород, залегающих в земной коре, необходимой для анализа возможности исследования локализации полезных ископаемых, и дальнейшего принятия решения о доразведке территорий, предлагается разработать единый Реестр геологической информации. Такая платформа легко масштабируется и позволит вести учет всех геологических данных.

Библиографические ссылки

1. *Красный Л. И.* Геоблоки // Геотектоника. 1967. № 5. С. 103–120.
2. *Красный Л. И., Блюман Б. А.* Геоблоковая делимость и неоднородность литосферы Земли // Отечеств. геология. 1998. № 1. С. 17–25.
3. Геолого-минерагеническая карта Мира. Масштаб 1 : 15 000 000. Объясн. зап. Ч. 1. Геология и минерагения континентов, транзиталей и Мирового океана. СПб.: Изд-во СПб картофабрики ВСЕГЕИ, 2000.
4. Геолого-минерагеническая карта Мира. Масштаб 1 : 15 000 000. Объясн. зап. Ч. 2. Минерально-сырьевые ресурсы континентов и активных транзиталей. СПб.: Изд-во СПб картофабрики ВСЕГЕИ, 2000.
5. *Кондратьев В. Б.* Роль горной промышленности в экономике [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-gornoy-promyshlennosti-v-ekonomike/viewer> (дата обращения: 09.02.2024)

УДК 624.131

**РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ
В ЗОНЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ УЧАСТКОВ
С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ФАЙЗАБАДСКОГО РАЙОНА, ТАДЖИКИСТАН)**

Б. Б. Шоназаров

*Таджикский государственный педагогический университет им. Садриддина Айни,
пр. Рудаки, 121, 734003 г. Душанбе, Таджикистан, behruz_29_12_92@mail.ru*

Приведены расчеты устойчивости откосов и склонов в зоне формирования оползневых участков с учетом сейсмических воздействий для круглоцилиндрической поверхности скольжения. В расчетах склонов на устойчивость с учетом сейсмических воздействий используются расчетные значения прочностных характеристик грунтов.

Ключевые слова: противооползневые мероприятия; лесоразведение; склон; процесс; выветривание; рельеф; фактор; эффективный.

**CALCULATION OF THE STABILITY OF SLOPES
IN THE ZONE OF FORMATION OF LANDSLIDE AREAS
WITH CONSIDERING SEISMIC IMPACTS
(BY THE EXAMPLE OF THE FAYZABAD DISTRICT, TAJIKISTAN)**

B. B. Shonazarov

*The Tajik State Pedagogical University named after Sadriiddin Aini. Rudaki Ave., 121,
734003 Dushanbe, behruz_29_12_92@mail.ru*

This article presents calculations of the stability of slopes and slopes in the zone of formation of landslide areas, taking into account seismic effects for a round-cylindrical sliding surface. In calculations of slopes for stability, taking into account seismic effects, the calculated values of the strength characteristics of soils are used.

Key words: anti-landslide measures; afforestation; slope; process; weathering; relief; factor; effective.

Файзабадский район входит в состав наиболее сейсмичных областей Таджикистана. По картам сейсмического районирования, этот район относится к области IX-бальных землетрясений. Район исследований является активным в сейсмическом отношении. Ведь за последние 90 лет в Файзабадском районе произошли 2 разрушительные землетрясения (в 1930 и 1943 гг.). Таким образом, землетрясение представляют собой самое полное и серьезное испытание для всех потенциально неустойчивых

структур горных пород на склонах, на площадях в сотни или тысячи квадратных километров. Они опасны ввиду их многочисленных прямых и косвенных проявлений на земной поверхности. Прямые проявления – это колебания земной поверхности, вызываемые сейсмическими волнами и приводящие к разрушению зданий и сооружений. Косвенные – проседание и уплотнение грунта, оползни, обвалы, разжижение грунта, трещины на поверхности, лавины и прочие явления. По количеству жертв землетрясение занимает третье место после наводнений и ураганов. Но для горных территорий они занимают первое место. В горных регионах большая часть людей гибнет от оползней, грязекаменных потоков, обвалов и лавин, которые происходят благодаря землетрясениям. Поэтому при расчете устойчивости склона или откоса обязательно надо учитывать сейсмические воздействия [1–9].

Рассмотрим расчет устойчивости склона с учетом сейсмических воздействий:

Для составления уравнения моментов сил, действующих на массив сдвигающегося грунта, призма АБВА разбивается вертикальными сечениями на ряд блоков шириной 2–4 м и считается, что вес блока «Q» приложен в точке пересечения вертикали, проходящей через центр тяжести блока с дугой скольжения. Также надо учитывать, что призма АБВА образуется при пересечении окружности, проведенной из центра «O» через подошву склона, с дневной поверхностью склона АВВ (рис. 1).

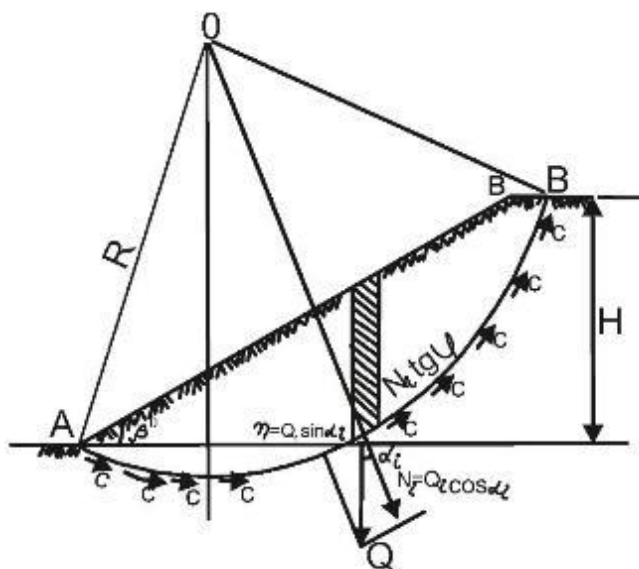


Рис. 1. Схема сил, действующих на массив сдвигающегося грунта

Коэффициент устойчивости склона при сейсмическом воздействии принимается равным $K_y \geq 1.2$.

При расчете устойчивости склонов на просадочных грунтах с учетом сейсмических воздействий прочностные характеристики грунтов ϕ и C должны определяться в условиях завершенной консолидации (медленный сдвиг образцов грунта при их полном водонасыщении) для грунтов I типа по просадочности и в условиях незавершенной консолидации (быстрый сдвиг) для II типа грунтовых условий.

В расчетах склонов на устойчивость с учетом сейсмических воздействий используются расчетные значения прочностных характеристик грунтов.

Проверка устойчивости склонов с учетом сейсмических воздействий производится для кругло-цилиндрической поверхности скольжения, координаты которой определяются по графику (рис. 2).

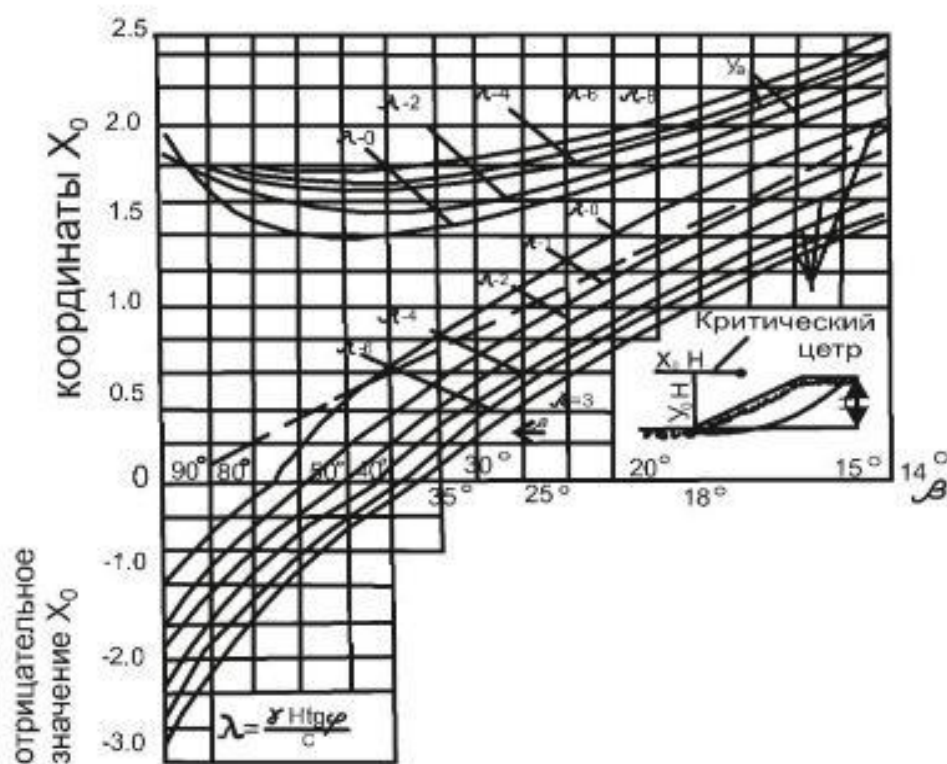


Рис. 2. График Ямбу для установления координат центра наиболее опасной кругло-цилиндрической поверхности скольжения

Учет сейсмических воздействий производится горизонтальными силами инерции S_i , определяющимися для каждого горизонтального слоя грунта по формуле:

$$S_i = K_0 P_i,$$

где K_0 – коэффициент, значения которого в зависимости от расчетной сейсмичности района строительства, принимаются с учетом результатов экспериментальных исследований. P_i – вес соответствующего горизонтального слоя грунта.

Силы инерции S_i , направленные в сторону наклонной поверхности склона, переносятся по горизонтальной линии их действия до пересечения с дугой ВГ и считаются приложенными в тех же точках, что и вес вертикальных блоков Q_i (рис. 3.).

На элементы дуги скольжения в пределах i -го блока и соответствующего слоя действуют следующие силы:

а) сдвигающие

$$T_i^{cd} = Q_i \sin \alpha_i + S_i \cos \alpha_i;$$

б) удерживающие

$$T_i^{yd} = cl_i + N_i \operatorname{tg} \alpha;$$

где $N_i = Q_i \cos \alpha_i - S_i \sin \alpha_i$

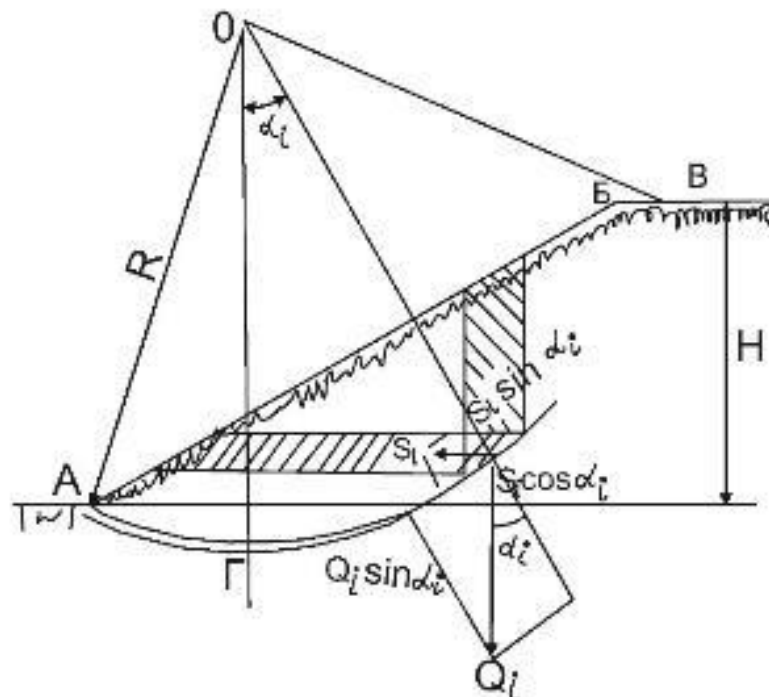


Рис. 3. Расчетная схема устойчивости склона при сейсмических воздействиях

Для этого, в зависимости от расчетной сейсмичности территории, крутизну склона условно увеличивают на сейсмический угол β (таблица) и определяют значение коэффициента устойчивости (рис. 4).

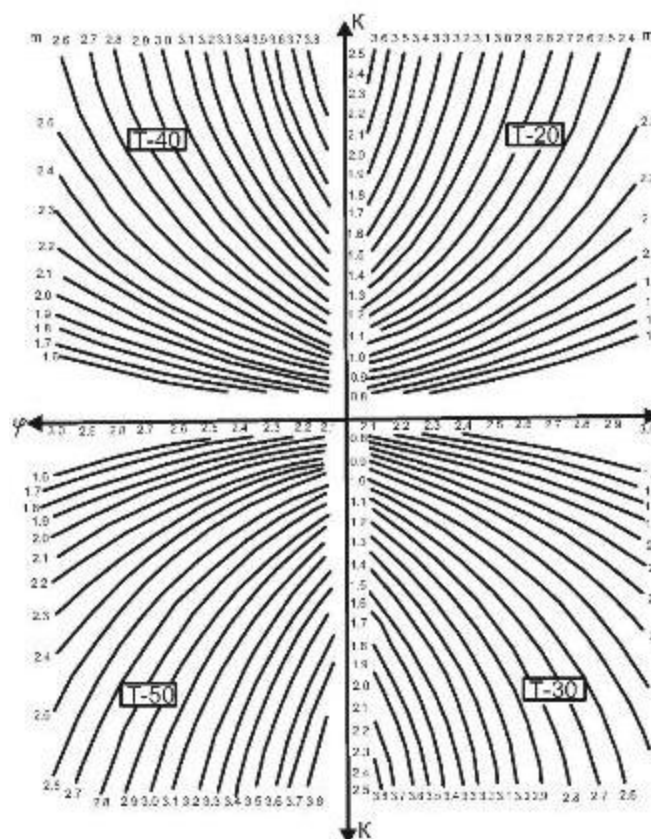


Рис. 4. Номограмма для определения коэффициента устойчивости склона, сложенного из просадочного грунта

Значение коэффициента устойчивости

Расчетная сейсмичность в баллах	7	8	9
Значения β в градусах	2	5	8

Библиографические ссылки

1. Григорян С. С., Нилов Н. Н., Остроумов А. В., Федоренко В. С. Математическое моделирование горных обвалов и оползней больших объемов // Инженерная геология. 1983. № 6. С. 61–72.
2. Зелинский И. П., Пангаев В. Ю., Шатохина Л. Н., Янковой А. П. К вопросу оценки напряженно-деформируемого состояния оползневых склонов // Инженерная геология. 1989. № 6. С. 112–117.

3. *Комилов О. К.* Заключительный отчет по результатам НИР по теме Д-36.3 «Отработать методику расчета устойчивости откосов и склонов с целью разработки рекомендаций по борьбе с оползневыми явлениями». Душанбе, 1990.

4. *Ломтадзе В. Д.* Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Ленинград : Недра, 1979.

5. *Маслов Н. Н.* Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними). Москва : Стройиздат, 1977.

6. *Маслов Н. Н.* Основы инженерной геологии и механики грунтов. Москва : Высш. шк., 1982.

7. *Ниязов А. А.* Формирование крупных оползней Средней Азии. Ташкент : Фан, 1982.

8. *Преснухин В. И.* Оползни Таджикистана (формы нарушения устойчивости склонов). Душанбе : Дониш, 1976.

9. *Шоназаров Б. Б.* Разработка эффективных мероприятий по защите территорий от оползней (на примере Файзабадского района РТ) : дис. канд. тех. наук. Душанбе, 2020.

УДК 550.8:553.982 (476)

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ БАРСУКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ

И. С. Ющенко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, rengm2016@mail.ru*

Приведена оценка геологического строения на территории Барсуковского месторождения нефти. В осадочном чехле месторождения нефти выявлены породы верхнего протерозоя, палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Установлено, что промышленная нефтеносность связана с терригенными коллекторами старооскольско-ланского горизонта и карбонатными породами саргаевского, семилукского, воронежского и задонско-елецкого горизонтов.

Ключевые слова: Барсуковское месторождение; геологическое строение; нефть; коллектор; толща; горизонт.

GEOLOGICAL STRUCTURE OF BARSUKOYE OIL FIELD

I.S. Yushchenko

*Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4,
220030, Minsk, Belarus, rengm_2016@mail.ru*

An assessment of the geological stress in the territory of the Barsukovskoye oil field is given. In the sedimentary cover of the oil field, rocks are identified as Upper Proterozoic, Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic. It has been established that industrial oil content is associated with terrigenous reservoirs of the Stary Oskol-Lansky horizon and carbonate rocks of the Sargaevsky, Semiluksky, Voronezh and Zadonsk-Elets horizons.

Keywords: Barsukovskoye field; geological structure; oil; reservoir; thickness; horizon.

Барсуковское месторождение расположено в Речицком р-не Гомельской обл. Непосредственно район месторождения пересекает шоссейная дорога Речица–Хойники, 6 км севернее – нефтепровод «Дружба». Ближайшими промышленными центрами являются гг. Речица, Гомель, Светлогорск и Мозырь. Территория месторождения представляет собой плоскую низменность с хорошо развитой гидрографической сетью (рр. Березина и Днепр). Рельеф местности расчленен слабо, абсолютные отметки поверхности земли колеблются от 133,8 до 140,3 м.

В геологическом строении Барсуковского месторождения принимают участие *AR-PR* отложения и осадочные образования верхнего *PR*,

PZ, MZ и KZ. Образования кристаллического фундамента вскрыты скв. 10, 19, 20 и представлены гранодиоритами и гнейсами общей мощностью 1–16 м [1, с. 12].

Подсолевая терригенная толща включает в себя отложения витебского, пярнуского, наровского горизонтов эйфельского яруса, старооскольского горизонта живетского яруса среднего отдела и ланского горизонта франского яруса верхнего отдела девонской системы палеозойской эратемы. В литологическом отношении толща сложена переслаиванием песчаников, глинистых доломитов, алевролитов, пестроцветных глин. Суммарная мощность подсолевых терригенных отложений колеблется от 192 м (скв. 10) до 202,5 м (скв. 61).

Подсолевая карбонатная толща залегает согласно на терригенной и представлена отложениями саргаевского, семилукского, речицкого, воронежского и евлановского горизонтов.

Саргаевский горизонт (D_{2sr}) залегает согласно на поверхности ланских отложений и представлен преимущественно доломитами, а также известняками в различной степени доломитизированными с прослоями мергелей доломитовых, глин [2]. Вскрытая мощность варьирует от 24,0 м (скв. 49) до 64,0 м (скв. 43).

Образования семилукского горизонта (D_{3sm}) согласно залегают на саргаевских породах. Они представлены доломитами с прослоями глинистых известняков-ракушечников, в основании залегают доломитовые мергели. Мощность – от 5,5 (скв. 49) до 43,0 м (скв. 43).

Речицкий горизонт (D_{3rch}) залегает несогласно и представлен глинами и мергелями с прослоями глинистых известняков и туфоалевролитов. Вскрытая мощность отложений – от 5,5 (скв. 49) до 59,0 м (скв. 15).

Воронежские отложения (D_{3vr}) залегают на образованиях речицкого горизонта. Нижнюю пачку (стреличевские слои) составляют известняки с незначительным количеством органогенно-детритового материала, ангидритизированные, с прослоями доломитов и мергелей. В основании пачки залегают мергели желваковидной текстуры. Верхняя пачка (птичские слои) представлена в основном чередованием мергелей, известняков и ангидритов [3]. В целом отмечается большая глинистость верхней пачки по сравнению с нижней. Мощность воронежского горизонта меняется от 46,5 м (скв. 49) до 180 м (скв. 43). Евлановский горизонт (D_{3ev}) сложен переслаивающимися глинами, мергелями и ангидритами. Вскрытая мощность варьирует от 22,5 м (скв. 49) до 61 м (скв. 43).

Нижнесоленосная толща представлена евлановским и ливенским горизонтами ($D_{3ev}+D_{3lv}$) и залегает несогласно на подстилающих отложениях. В литологическом отношении выделяются на три пачки. Верхняя и нижняя пачки сложены преимущественно каменной солью. В основании

промежуточной пачки залегают глины с многочисленными прослоями известняков, доломитов и ангидритов. Вскрытая мощность нижнесоленосной толщи варьирует от 85,5 м (скв. 4) до 475,0 м (скв. 65).

Межсолевая толща включает домановичский, задонский, елецкий петриковский горизонты ($D_3dm+zd+el+ptr$). Толща представлена в нижней части известняками, доломитами, мергелями и известняками доломитистыми. Выше залегают туфогенные породы (туфы псаммитовые светло-серыми с прослоями мергелей темно-серых тонкослоистых), а далее они перекрываются доломитами глинистыми. В пределах месторождения толща имеет весьма неравномерное распределение и вскрыта скв. 4, 8, 9009, 15, 18-22, 25-26, 28-30, 34, 40, 46, 50-51, 53, 60, 61, 63-65, 68-70, 73, 76, 80-81, 84, 87, 89-92, что объясняется сложностью геологического строения Барсуковской структуры. Вскрытая мощность межсолевых отложений в данных скважинах изменяется от 14 м до 793 м в скв. 89 и 19. В прикровельной части межсолевой толщи отложения разбиты многочисленными микротрещинами, имеются прослои биогермных пористо-кавернозных доломитистых известняков.

Верхняя соленосная толща складывается из двух (D_3lb-D_3pl): галитовой и глинисто-галитовой толщи. Галитовая толща сложена преимущественно солью каменной с прослоями ангидритов, доломитов, известняков доломитистых, карбонатно-ангидритовых и глинисто-ангидритовых пород. Глинисто-галитовая толща представлена переслаиванием каменной соли с известняками и мергелями [3]. Вскрытая мощность верхнесоленосных отложений изменяется от 1485,0 м до 2496,6 м.

Надсолевая толща складывается породами D (верхнеполесский горизонт), C и P систем PZ эратемы, а также образованиями MZ и KZ . Толща представлена терригенно-карбонатными породами: глинами с прослоями песчаников, алевролитов и известняков, песками и кварцево-полевошпатовыми песчаниками, мергелями, а также водно-ледниковыми образованиями. Вскрытая мощность надсолевых отложений варьирует от 791,0 м до 1162,0 м.

В тектоническом отношении Барсуковское месторождение приурочено к одноименной структуре, расположенной в пределах Малодушинской зоны поднятий Северной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба. На западе, востоке и юге поверхность среза переходит в крутозалегающие сбросы, амплитуда которых около 300 м [4]. Размеры блока по семилукскому горизонту по изолинии – 3800 м составляют $2,5 \times 5,8$ км, амплитуда структуры – 975 м.

Нефтеносность месторождения по данным бурения приурочена к терригенным коллекторам старооскольско-ланского горизонта и карбонатным породам саргаевского, семилукского, воронежского и задонско-елецкого горизонтов.

Залежь нефти старооскольско-ланского горизонта открыта скв. 32, где из инт. 3142–3178 м в колонне получен приток нефти дебитом 180 м³/сут. Нефтенасыщенные толщины старооскольского горизонта изменяются от 0,4 м до 14,4 м (наиболее встречаемые величины в пределах от 2 до 5 м). Пласты-коллекторы ланского горизонта приурочены к южной и западной зонам центрального блока. Максимальное значение эффективной нефтенасыщенной толщины – 14,4 м (скв. 89), тогда как преобладающий диапазон толщин – от 4 до 10 м. Залежь нефти саргаевского горизонта открыта скв. 9, где из инт. 3162–3180 м в колонне получен приток нефти дебитом 18 м³/сут. Коллекторами являются доломиты и частично известняки с прослоями мергелей и ангидритов. Тип коллектора – каверно-порово-трещинный. Семилукская залежь также открыта скв. 9, где из инт. 3113–3129 м в колонне получен приток нефти дебитом 354 м³/сут (является основным объектом разработки). Максимальные нефтенасыщенные толщины по семилукской залежи приурочены к районам скв. 88 и 42 и составляют 19–23 м, при среднем значении нефтенасыщенной толщины – 15,2 м [5].

Библиографические ссылки

1. *Азаренко Ф. С.* Отчет о геологических результатах работ треста «Белнефтегазразведка» за 1982 г. Гомель, 1983.
2. Стратиграфическая схема ниже-средне-верхнедевонских отложений Беларуси, 2010. Утв. Приказом Департамента по геологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь № 49 от 22.09.2010 г.
3. Стратиграфическая схема верхнедевонских отложений Беларуси, 2010. Утв. Приказом Департамента по геологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь № 49 от 22.09.2010 г.
4. Геология и нефтеносность / Офиц. сайт РУП ПО «Белоруснефть» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.belorusneft.by/sitebeloil/ru/center/science/library/geologiya-i-neftenosnost> (дата обращения: 22.08.2023).
5. Издания и публикации / Офиц. сайт БелНИПИнефть РУП ПО «Белоруснефть» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.belnipseft.by/sitenipi/ru/center/publications/edition> (дата обращения: 02.10.2023).

УДК 550.510.53+550.34

**ЗЕМЛЯТРУС У АТЛАСКІХ ГАРАХ 8 ВЕРАСНЯ 2023 г.
І СПАДАРОЖНЫЯ ЯМУ ВАРЫЯЦЫІ КРЫТЫЧНАЙ
ЧАСТАТЫ F2 ПЛАСТА ІЁНАСФЕРЫ**

С. А. Рабава^{1, 2)}

¹⁾*Федэральная дзяржаўная бюджэтная ўстанова навукі Інстытут дынамікі геасфер
імя акадэміка М. А. Садоўскага РАН, Ленінскі пр., 38, корп. 1,
119334, г. Масква, Расія, ryabovasa@mail.ru*

²⁾*Федэральная дзяржаўная бюджэтная ўстанова навукі Інстытут фізікі Зямлі
імя В. Ю. Шміта РАН, Вялікая Грузінская вуліца, 10, стар. 1,
123242, г. Масква, Расія*

Разглядаецца водгук іёнасферы на землятрэс магнітудай 6,8–7,2, які адбыўся высока ў Атласкіх гарах недалёка ад гарналыжнага курорта Укаймедэн на поўдзень ад горада Марракеша ў Марока. Пры аналізе сейсмічнай службы выкарыстоўваліся дадзеныя Еўрапейска-Міжземнаморскага сейсмалагічнага цэнтра, глабальны каталог тэнзараў цэнтраід-момантаў і спадарожнікавыя дадзеныя. З мэтай аналізу іёнасфернага водгуку прыцягваліся вынікі вышынна-частотнага зандавання, атрыманыя ў абсерваторыі дэль-Эбрэ.

Ключавыя словы: землятрэс; іёнасфернага водгуку; крытычная частата F2 пласта іёнасферы; вейвлет-аналіз.

**EARTHQUAKE IN THE ATLAS MOUNTAINS
ON SEPTEMBER 8, 2023 AND ACCOMPANYING VARIATIONS
IN THE CRITICAL FREQUENCY OF THE F2 LAYER
OF THE IONOSPHERE**

S. A. Riabova^{1, 2)}

¹⁾*Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences,
Leninsky Ave., 38, building 1, 119334, Moscow, Russia, ryabovasa@mail.ru*

²⁾*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,
B. Gruzinskaya St., 10, building 1, 123242, Moscow, Russia*

The response of the ionosphere to an earthquake of magnitude 6.8–7.2 that occurred high in the Atlas Mountains near the Oukaimeden ski resort south of the city of Marrakech in Morocco on September 8, 2023 is considered. The analysis of the seismic event used data from the US Geological Survey, the Moroccan Seismic Agency and the Euro-Mediterranean Seismological Center, a global catalog of centroid moment tensors and satellite data. In order to analyze the ionospheric response, the results of altitude-frequency sounding obtained at the Observatory del Ebre were used.

Keywords: earthquake; ionospheric response; critical frequency of the F2 layer of the ionosphere; wavelet analysis.

Землятрус, якім спадарожнічае шэраг геафізічных эфектаў, такіх як дэфармацыя і разбурэнне горных парод, генерацыя сейсмічных хваль, варыяцыі атмасфернага электрычнага поля і г.д. [1–3], выклікае таксама іёнасферны водгук. Нягледзячы на наяўныя дадзеныя, недастаткова назіральнага матэрыялу, засноўваючыся на якім, можна адэкватна прадстаўляць складаную структуру іёнасфернага эфекту землятрусаў, што неабходна для распрацоўкі канцэптуальных, тэарэтычных і феномена-лагічных мадэляў, якія апісваюць у поўным аб'ёме наступствы моцных сейсмічных з'яў [4]. У артыкуле разглядаецца водгук іёнасферы ў выглядзе варыяцый F2 пласта іёнасферы на землятрус у Атласкіх гарах 8 верасня 2023 г.

Землятрус адбыўся 8 верасня ў 23:11 па мясцовым часе (у 22:11 па сусветным часе). Эпіцэнтр землятруса знаходзіўся прыкладна ў 73,4 км на паўднёвы захад ад горада Марракеш у рэгіёне Марракеш-Сафі ў Марока [5], недалёка ад гарналыжнага курорта Укаімедэн у Атласкіх гарах [6]. Па дадзеных Геалагічнай службы ЗША, сейсмічная падзея адбылася на глыбіні 19 км і мела момантную магнітуду 6,8 [7], у той час як сейсмічнае агенцтва Марока паведаміла аб глыбіні агменю 8 км і магнітудзе 7,2 [8]. У глабальным каталогу тэнзараў цэнтроід-момантаў прыведзена значэнне магнітуды 6,9 і глыбіні 23,08 км [9]. У Марока максімальная інтэнсіўнасць землятруса па Меркалі склала IX (моцная) [10].

Наймацнейшы афтэршок меў магнітуду 5,1 і адбыўся праз 20 хвілін пасля асноўнага штуршка на адлегласці 21 км ад Марракеша-Сафі [11]. Землятрус адчуваўся ў Іспаніі, Партугаліі, Алжыры і інш. Як паведамляе Геалагічная служба ЗША, землятрус меў механізм агменю, які паказвае на ўтварэнне нахільна-надзвігавага разлому пад Высокім Атласам [6].

Пры даследаванні іёнасфернага водгуку землятруса ў Марракеш-Сафі выконвалася апрацоўка зыходных дадзеных у выглядзе іёнаграм вышынна-частотнага зандавання, атрыманых у абсерваторыі дэль-Эбрэ, размешчанай у 1344 км ад эпіцэнтра землятруса ў Марока. Зандаванне на абсерваторыі выконвалася іонозондом DPS-4D.

З мэтай гарантыі правільнасці вызначэння крытычнай частаты F2-пласта іёнасферы, пры выкананні даследаванняў у працэсе апрацоўкі дадзеных кожная іёнаграма падвяргалася ручной апрацоўцы і інтэрпрэтацыі па вядомай метадыцы [12]. У выніку фармаваўся лічбавы шэраг дадзеных часавай варыяцыі крытычнай частаты F2-пласта іёнасферы з дыскрэтызацыяй 5 мін.

У якості одного з асноўных метадаў даследавання геамагнітных варыяцый, быў абраны вейвлет-аналіз, які паказаў у прыватнасці сваю эфектыўнасць пры аналізе геамагнітных варыяцый [13, 14]. Вейвлет-аналіз дазваляе выявіць часавыя ўласцівасці сігнала, які вывучаецца, а таксама дазваляе атрымаць інфармацыю аб тым, у які момант часу з'явіліся тыя, ці іншыя кампаненты сігнала. У сапраўднай працы выкарыстоўвалася бесперапыннае вейвлет-пераўтварэнне, а ў якасці базіснага вейвлета выкарыстоўваўся вейвлет Морле. Прадстаўленне вынікаў вейвлет-пераўтварэнні аформлена ў выглядзе скалаграм (лакальны спектр энергіі) з улікам «краевых» эфектаў (конус уплыву) [15].

Перыяд разглядаемай падзеі характарызаваўся спакойным геамагнітным становішчам, што спрасціла вылучэнне выкліканых абурэнняў магнітнага поля. Апрацоўка і аналіз вынікаў вымярэнняў паказалі, што ўздзеянне на іёнасферу ажыццяўляецца з дапамогай сейсмічнай хвалі Рэлея і атмасфернай акустыка-гравітацыйнай хвалі, якія генеруюцца землятрусам.

Даследаванні выкананы ў рамках дзяржаўнага задання ИФЗ РАН і дзяржаўнага задання ИДГ РАН № 1220329000185-5 «Праява працэсаў прыроднага і тэхнагеннага паходжання ў геафізічных палях».

Библиографические ссылки

1. Адушкин В. В., Рыбнов Ю. С., Рябова С. А., Спивак А. А., Тихонова А. В. Геофизические эффекты серии сильных землетрясений в Турции 06.02.2023 г. // Физика Земли. 2023. № 6. С. 142–152. doi:10.31857/S0002333723060017
2. Рябова С. А., Спивак А. А. Вариации электрических характеристик приземной атмосферы при сильных землетрясениях. Результаты наблюдений // Физика Земли. 2021. № 4. С. 120–132. doi: 10.31857/S0002333721040074
3. Рябова С. А., Шалимов С. Л. О геомагнитных вариациях, наблюдаемых на поверхности земли и приуроченных к сильным землетрясениям // Физика Земли. 2021. № 4. С. 30–45. doi: 10.31857/S0002333722040081
4. Рябова С. А., Ольшанская Е. В., Шалимов С. Л. Отклик нижней и верхней ионосферы на землетрясения в Турции 06.02.2023 г. // Физика Земли. 2023. № 6. С. 153–162. doi: 10.31857/S0002333723060182
5. NOAA. Significant Earthquake Information, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ngdc.noaa.gov/hazel/view/hazards/earthquake/event-more-info/10705> (дата обращения: 01.02.2024).
6. Major earthquake strikes Oukaïmedene, Morocco, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000kufc/executive> (дата обращения: 01.02.2024).
7. The National Institute of Geophysics issues a report on the intensity of the earthquake and its difference from one region to another [حول تقريراً يصدر للجيوفيزياء الوطني المعهد] (in Arabic). 2M. 9 September 2023, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://2m.ma/ar/news/-/الزلازل-اليانها-حول-تقرير-الخطر-الزلازل-الي-بالمغرب-20230909> (дата обращения: 01.02.2024).

8. Global CMT Catalog Search, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.globalcmt.org/cgi-bin/globalcmt-cgi-bin/CMT5/form?itype=ymd&yr=2023&mo=9&day=8&oymr=2023&omo=9&oday=9&jyr=1976&jday=1&ojyr=1976&ojday=1&otype=nd&nday=1&lmw=6&umw=10&lms=0&ums=10&lmb=0&umb=10&llat=-90&ulat=90&llon=-180&ulon=180&lhd=0&uhd=1000&lts=-9999&uts=9999&lpe1=0&upe1=90&lpe2=0&upe2=90&list=0> (дата обращения: 01.02.2024).
9. Powerful magnitude 6.8 earthquake rattles Morocco, with five believed dead, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aljazeera.com/news/2023/9/8/powerful-6-8-magnitude-earthquake-rattles-morocco> (дата обращения: 01.02.2024)
10. Loss PAGER: M 6.8, Al Haouz, Morocco, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://earthquake.usgs.gov/product/losspager/us7000kufc/us/1697773474042/onepager.pdf> (дата обращения: 01.02.2024).
11. Major mag. 6.8 Earthquake – Marrakesh-Safi, Morocco, on Friday, Sep. 8, 2023, at 11:11 pm (Casablanca time) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.volcanodiscovery.com/earthquakes/7867274/2023-09-08/22h10/magnitude7-Morocco.html> (дата обращения: 01.02.2024).
12. Руководство URSI по интерпретации и обработке ионограмм / Под ред. П. В. Медниковой. Москва : Наука, 1977.
13. *Riabova S. A.* Study of the multifractality of geomagnetic variations at the Belsk Observatory // *Doklady Earth Sciences*. 2022. Vol. 507. No. 2. P. 299–303. doi:10.1134/S1028334X22700489.
14. *Riabova S. A., Shalimov S. L.* Response of the lower and upper ionosphere after the eruption of Shiveluch volcano on April 10, 2023 // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2024. Vol. 64, No. 1. P. 94–101. doi:10.1134/S001679322360087X.
15. *Riabova S.* Application of wavelet analysis to the analysis of geomagnetic field variations // *J. of Physics Conf. Series*. 2018. Vol. 1141. doi:10.1088/1742-6596/1141/1/012146.

УДК 622.234.573

ENVIRONMENTAL ISSUE OF THE EXTRACTION OF LOW PERMEABLE RESERVOIRS IN THE NOTHERN STRUCTURAL ZONE OF THE PRIPYAT TROUGH

A. M. Shmygaleva^{1, 2)}

¹⁾Belarusian State University, Nezavisimosti Ave., 4, 220030, Minsk, Belarus,
geoshmygaleam@bsu.by ²⁾ОАО «Белгорхимпром», Кисельова Ave., 26А, 220029, Minsk,
Belarus, sham0804@mail.ru

The article has touched upon the problem concerning environmental and health issues of shale oil and gas production. According to the Pripyat satellite image, structural zoning maps of subsalt and intersal complexes the satellite image interpretation of the Pripyat petroleum bearing area has been completed. The findings help the reader to make clear understanding in the field of mining low permeable reservoirs and take into account environmental hazards.

Keywords: hard-to-recover oil reserves; semi-reservoir; horizontal well; multi-stage hydraulic fracturing; tectonic zoning; hydrocarbon potential.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРОВ СЕВЕРНОЙ СТРУКТУРНОЙ ЗОНЫ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

А. М. Шмыгалева^{1, 2)}

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030,
г. Минск, Беларусь, geoshmygaleam@bsu.by ²⁾ОАО «Белгорхимпром», ул. Киселева,
26А, 220029, г. Минск, Беларусь, sham0804@mail.ru

Исследована проблема, связанная с вопросами экологии при добыче сланцевой нефти и газа. Выполнено структурное дешифрирование Припятской нефтегазоносной области с помощью космического снимка, а также по данным карт структурного районирования подсолевого и межсолевого комплексов. Полученные результаты помогут составить четкое представление в области разработки низкопроницаемых коллекторов и принять во внимание экологические опасности.

Ключевые слова: трудноизвлекаемые запасы нефти; полукolleктор; горизонтальная скважина; многостадийный гидроразрыв пласта; тектоническое районирование; углеводородный потенциал.

Hydraulic fracturing treatment, or fracking, has already occupied a certain place on the global oil market among the intensification methods of

hydrocarbons to borehole bottoms. The technology requires special attention for this reason.

The definition of low permeable rocks commonly associates with unconventional oil reservoirs among geologists in Russian literature. The term semi-reservoir is usually used in relation to the Pripyat oil and gas basin.

The extraction of shale oil and gas justifies advanced technologies that are being used to identify, explore and develop at least some of the hydrocarbons from shale and tight plays in the world. The development of unconventional oil fields begins with tertiary (third) recovery. In addition, the most effective are physical methods of enhanced oil recovery and the methods of influencing on the bottom hole zone. One include drilling horizontal wells, hydraulic fracturing treatment or wave action, while the other call for acid processing and well's perforation.

Generally, well fracturing must fix the problems of fracture placement, crack opening displacement, frac fluid recovery and formation productivity. Horizontal drilling enables wells to have a much longer pay zone than a traditional vertical well. Hydraulic fracturing produces porosity in the rock unit that facilitates movement of oil or gas to the well. Together, these methods allow a single well to drain a much larger volume of rock and more efficiently recover the oil and gas resources. So far, the only effective method of tight oil development has been the drilling of horizontal wells followed by cluster Plug and Perf technology of fracking. It is accommodated on the basis of Belorusneft.

The Rechitsa oil field is deposited within the Pripyat Paleorift Basin. It is Late Devonian in age and includes several stratigraphic divisions [1, p. 111].

In the Republic of Belarus, the main prospects for the development of hydrocarbons from unconventional deposits are associated with semi-collectors within the Pripyat trough. The main stratigraphic subdivision of the sedimentary section, promising for the search for hydrocarbons in them, is the Famenskaya inter-salt stratum [2, p. 130].

The Rechitsa oil field has a complex thermal history. Being situated in the north-eastern part of the trough, Rechitsa region is characterized by the period of maximum geothermal stress. It corresponded to the occurrence of the main oil and gas generation phase in the past. Appropriate reservoir conditions have determined active formation of hydrocarbons and their possible subsequent migration into adjacent rocks within the oil field [3, p. 90].

Being active at the latest neotectonic stage, linear and arcwise relief elements are associated with deep faults on a planetary scale. During satellite image interpretation lineament systems have been indentified. Special attention is given to the Earth's surface features, or terrain features, such as river valley morphology. These properties highlight the intensity of deep-seated faults on the images [4, p. 11].

The mining of oil shale can create environmental problems. There is a space problem, for during distillation the shale expands. Spent shale could be piled in valleys and compacted, but land reclamation would be troublesome. A great amount of water is required, both for distillation and for reclamation, and water supply is always a problem in the arid regions. New processing techniques that extract the oil in place without bringing the shale to the surface may eventually help solve some of the problems and lower the water requirements. It is possible to burn fractured oil shale in large underground excavations. The heat separates most of the oil from the rock; the oil can be collected as a liquid. The fires, however, would be hard to control and would affect ground-water levels. Another proposal involves heating the shale with radio waves or microwaves to separate the liquid oil from the rock [5].

The consequences of the technology are at a high degree of danger. They have a great impact on a person safety and environment. Solutions consist of methane or some radioactive elements and penetrate aquifers afterwards. Thus, hydraulic fracturing treatment and chemical solutions containing a great amount of harmful substances, various chronic diseases may be provoked.

Moreover, due to pollution of water resources and increased risk of earthquakes, it is banned in several countries of the world. Industrial production of shale oil and gas because of geological features requires large-scale drilling of the territory with immense wells or bushes of wells. At the same time most companies aim to preserve the natural uniqueness of their region in its original form.

According to the environmental data about 78 % of all waste generated within the company has being reused in Belorusneft. Waste-free production and secondary usage of resources are the areas where the environmental protection department of the company is engaged in.

Библиографические ссылки

1. Арбузов В. Н. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. Томск : Изд. Томского политехн. ун-та, 2011. С. 111–161.
2. Бескопильный В. Н., Айзберг Р. Е. О целесообразности изучения нефтегазоносности природных полуколлекторов Беларуси // Потенциал добычи горючих ископаемых в Беларуси и прогноз его реализации в первой половине XXI в. Гомель, 2012. С. 111–139.
3. Зуй В. И. Основы геотермии. Минск : БГУ, 2017. С. 85–105.
4. Губин В. Н. Геодинамика и перспективы нефтегазоносности северного сегмента Полесской кольцевой структуры // Проблемы региональной геологии и поисков полезных ископаемых : материалы VII Унив. геол. чтений, Минск, 4–6 апр. 2013 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: М. А. Журавков [и др.]. Минск : Изд. центр БГУ, 2013. С. 11–13.
5. Petroleum & Other Liquids Data [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eia.gov/petroleum/data.php#crude> (дата обращения: 01.02.2024).