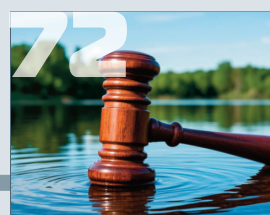


Научный электронный журнал ГеоИнфо

Особенности эколого-геологических систем автотранспортного комплекса Белоруссии
Стр. 10

Цифровой глаз геолога: нейросетевая оценка качества и достоверности изображений...
Стр. 48

Гидравлическая связь между водными объектами: анализ нормативной базы
Стр. 72



GEOINFO

ISSN 2949-0677 (ONLINE)

WWW.GEOINFO.RU

TOM VIII • 1-2026

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ НАУЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА «ГЕОИНФО»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Самарин Евгений Николаевич

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной и экологической геологии, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

samarinen@mail.ru

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абрамов Владимир Юрьевич

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии имени В.М. Швеца, МГРИ имени С. Орджоникидзе Avlad1961@yandex.ru

Артюшенко Игорь Александрович

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Проектирование и строительство железных дорог», Российский университет транспорта (МИИТ) i.art95@mail.ru

Баборыкин Максим Юрьевич

Кандидат геолого-минералогических наук, главный геолог, ООО «Аэрогеоматика», имеет степень MBA baborykin@ya.ru

Белов Константин Владимирович

Кандидат геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой гидрогеологии имени В.М. Швеца, гидрогеологический факультет МГРИ имени С. Орджоникидзе belovkv@mgri.ru

Бершов Алексей Викторович

Ассистент кафедры инженерной и экологической геологии, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, генеральный директор, ООО «Петромоделинг» alexey.bershov@petromodeling.com

Бучкин Виталий Алексеевич

Доктор технических наук, доцент buchkin@mail.ru

Ван Пин (Wang Ping)

Кандидат геолого-минералогических наук, профессор, Институт географических наук и исследования природных ресурсов Академии наук, КНР wangping@igsnr.ac.cn

Галкин Александр Николаевич

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры экологии и географии, УО «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова» galkin-alexandr@yandex.ru

Еременко Виталий Андреевич

Доктор технических наук, профессор РАН, директор научно-исследовательского центра «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии», Горный институт НИТУ «МИСиС» prof.eremenko@gmail.com

Ермолов Александр Александрович

Кандидат географических наук, научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории геоэкологии Севера, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова ermolov@geogr.msu.ru

Жидков Роман Юрьевич

Кандидат геолого-минералогических наук, главный инженер отдела цифровой картографии, ГБУ «Мосгоргеотрест» rzhidkov@gmail.com

Зайцев Андрей Александрович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Путь и путевое хозяйство», Российский университет транспорта (МИИТ) andrei.zaitsev2010@yandex.ru

Исаев Владислав Сергеевич

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Университет МГУ ППИ (Шэньчжэнь, КНР) 6620240023@smbu.edu.com

Королев Владимир Александрович

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной и экологической геологии, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, член-корреспондент РАЕН va-korolev@bk.ru

Кошурников Андрей Викторович

Доктор геолого-минералогических наук, научный сотрудник кафедры криолитологии и гляциологии, старший научный сотрудник лаборатории математических методов и геокриологического прогноза, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, генеральный директор, ООО «МГУ-Геофизика» koshurnikov@msu-geophysics.ru

Латыпов Айрат Исламгалиевич

Доктор геолого-минералогических наук, руководитель лаборатории по исследованию грунтов в строительстве, доцент по специальности «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение», Казанский федеральный университет airatlat@mail.ru

Лю Цзянькунь (Jiankun Liu)

Кандидат геолого-минералогических наук, профессор, Университет Сунь Ятсена (Гуанчжоу, КНР) liujiank@mail.sysu.edu.cn

Мариничев Максим Борисович

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры оснований и фундаментов, Кубанский государственный аграрный университет marinichev@list.ru

Матерухин Андрей Викторович

Доктор технических наук, декан факультета геоинформатики и информационной безопасности, МИИГАиК materukhinav@edu.miiigaik.ru

Маштаков Александр Сергеевич

Кандидат геолого-минералогических наук, директор, ООО «ВОЛГАСТРОЙТЕХНОЛОГИЯ» alsergmast@yandex.ru

Мирный Анатолий Юрьевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной и экологической геологии, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, генеральный директор, ООО «Независимая геотехника» MirnyuAY@mail.ru

Миронюк Сергей Григорьевич

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова; научный сотрудник, ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова»
mironyuks@gmail.com

Молдобеков Болот Дуйшеналиевич

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент, содиректор, Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли
b.moldobekov@caiag.kg

Пиоро Екатерина Владимировна

Кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор, ООО «Петромоделинг Лаб»
ekaterina.piore@petromodeling.com

Погорелов Анатолий Валерьевич

Доктор геологических наук, профессор кафедры геоинформатики, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»
pogorelov_av@bk.ru

Салихов Фарид Салохиддинович

Доктор геолого-минералогических наук, доцент кафедры математики и естественных наук, филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе
ffaarriidd@bk.ru

Самсонов Тимофей Евгеньевич

Доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, и.о. заведующего кафедрой картографии и геоинформатики географического факультета, МГУ имени М.В. Ломоносова
tsamsonov@geogr.msu.ru

Слободян Владимир Юрьевич

Генеральный директор АО «Институт экологического проектирования и изысканий» (АО «ИЭПИ»)
v.slobodyan@iepi.ru

Степаненко Виктор Михайлович

Доктор физико-математических наук, заместитель директора, Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ имени М.В. Ломоносова
v.stepanenko@rcc.msu.ru

Судакова Мария Сергеевна

Кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры сейсмологии и геоакустики, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова; научный сотрудник Института криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН
m.s.sudakova@yandex.ru

Труфанов Александр Николаевич

Кандидат технических наук, заведующий лабораторией методов исследования грунтов, НИИОСП им. Н.М. Герсееванова АО «НИЦ «Строительство»
trufanov54@gmail.com

Федоренко Евгений Николаевич

Доктор технических наук, научный консультант, ООО «НИП-Информатика»
Evgeniy.Fedorenko@nipinfor.ru

Фоменко Игорь Константинович

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной геологии МГРИ имени С. Орджоникидзе
fomenkoik@mgri.ru

Фролова Юлия Владимировна

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной и экологической геологии, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
ju_frolova@mail.ru

Харитоновна Наталья Александровна

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
tchenat@mail.ru

Цимбельман Никита Яковлевич

Доктор технических наук, доцент, профессор и директор департамента геоинформационных технологий Политехнического института, Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ)
tsimbelman.nya@dvfu.ru

Чалов Сергей Романович

Доктор геологических наук, заведующий НИ лабораторией эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, профессор кафедры гидрологии суши, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
hydroserg@mail.ru

Черепанский Михаил Михайлович

Доктор геологических наук, профессор кафедры гидрогеологии имени В.М. Швеца, гидрогеологический факультет МГРИ имени С. Орджоникидзе
vodamch@mail.ru

Чибунечев Александр Георгиевич

Доктор технических наук, профессор кафедры фотограмметрии, МИИГАиК
agchib@mail.ru

Чжан Шэнжун (Zhang Shengrong)

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Северо-Восточный университет лесного хозяйства (Харбин, КНР)
zhangshengrong1988@nefu.edu.cn

Чжан Цзе (Zhang Ze)

Кандидат геолого-минералогических наук, профессор факультета гражданского строительства и транспорта, Северо-Восточный университет лесного хозяйства (Харбин, КНР), директор Китайско-Российской лаборатории инженерии и экологии холодных регионов
zez@nefu.edu.cn

Шаповалов Владимир Леонидович

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Путь и путевое хозяйство», ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»
shapovalovvl@rgups.ru

Шарафутдинов Рафаэль Фаритович

Доктор технических наук, директор НИИОСП имени Н.М. Герсееванова АО «НИЦ «Строительство», учёный секретарь Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГТиФ)
linegeo@mail.ru

Шепитько Таисия Васильевна

Доктор технических наук, профессор, директор Института пути, строительства и сооружений МИИТ, председатель ученого совета института
shepitko-tv@mail.ru

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ ЖУРНАЛА



Геотехническая лаборатория
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



ООО «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»



ООО «КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

АО «ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЙ»

СПОНСОРЫ ЖУРНАЛА



ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ООО НПП «ГЕОТЕК»



MALININSOFT



ПрогрессГео
ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ПРОГРЕССГЕО

EngGeo

Обработка и хранение результатов
инженерно-геологических
изысканий

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
«ENGCEO»



Казгеолаб
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ



ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ДЛЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ



АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ
ГРУНТОВ



РОССИЙСКОЕ ИНЖЕНЕРНОЕ ПО

ГЕОИНФО

Электронное издание

Издается с марта 2016 года.

Периодичность: 4 выпуска в год.

ISSN: 2949-0677

Префикс DOI: 10.58339

Редакцией журнала принимаются к рассмотрению статьи по следующим темам: инженерные изыскания для строительства; геотехническое проектирование; инженерная и экологическая геология; механика грунтов, геотехника, проектирование оснований и фундаментов; экология и экологические исследования; проблемы инженерно-геологического риска; методы прогнозирования, предотвращения, минимизации и ликвидации последствий опасных природных процессов и явлений; инженерная защита территории.

Учредитель:

ИП Ананко Виктор Николаевич

Издательство:

ГеоИнфо, ИП Ананко В.Н.

Адрес:

119146, РФ, Москва,
ул. 3-я Фрунзенская, 10/12

Редакция:

Самарин Евгений Николаевич
Главный редактор

Васин Михаил Васильевич
Обозреватель

Дьяченко Людмила
Специальный корреспондент

Еремеева Мария
Специальный корреспондент

Виноградова Вера
Специальный корреспондент

Дизайн и верстка:

ИП Лившиц С.С.

Официальный сайт:

Geoinfo.ru

Адрес в НЭБ:

https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=80357

Распространяется бесплатно.

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.

Дата выхода в свет: 11.06.2026

© Ананко Виктор Николаевич, 2026

© ГеоИнфо, 2026

Фото на обложке: ГеоИнфо

Владимир Александрович Королев. Некролог8

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Особенности эколого-геологических систем автотранспортного комплекса Белоруссии10
Королев В.А., Галкин А.Н.

МЕХАНИКА ГРУНТОВ. GEOTECHNIKA

Оптимизация расчетов осадки при проектировании насыпей на оттаивающих грунтах40
Вавринюк Т.С., Федоренко Е.В.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Цифровой глаз геолога: нейросетевая экспертиза подлинности изображений керна для изысканий48
Никифоров Н.В., Барабошкин Е.Е.

ГИС И ДЗЗ

ДЗЗ обеспечивает безопасность: как цифровые технологии меняют управление шельфовыми проектами в Арктике62
Ананко В.Н.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Гидравлическая связь между водными объектами: анализ нормативной базы72
Гуревич Е.В.

ПЕРЕВОДНЫЕ СТАТЬИ

Прорыв воды в тоннель «Шицзиншань» во время строительства (г. Чжухай, провинция Гуандун, Китай)78
Кун. Х.-Ц. и др.

ПРИЛОЖЕНИЯ**ДИСКУССИИ ПРОФЕССИОНАЛОВ**

Главогэсэкспертиза создает полноценную инженерную платформу: как в этом помогают изменения в законодательстве и искусственный интеллект?90
Ананко В.Н.

ОБЗОРЫ СОБЫТИЙ

Есть такая профессия – сооружения защищать: в КФУ отметили юбилей специальности «Гидрогеология и инженерная геология»96
Васин М.В.

Молодые исследователи из МГУ имени М.В. Ломоносова выступили с докладами на XIX Машеровских чтениях в Витебске100
Красовская И.А., Галкин А.Н.

КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ

О монографии В.А. Королёва и В.Т. Трофимова «Систематика эколого-геологических систем»104
Королёв В.А., Трофимов В.Т.

О монографии В.А. Королёва, В.Т. Трофимова и А.Н. Галкина «Эколого-геологические системы рекреационных комплексов»107
Королёв В.А., Трофимов В.Т., Галкин А.Н.

Соответствие научным специальностям ВАК

Тематика публикаций журнала «ГеоИнфо» соответствует следующим научным специальностям, утвержденным Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования Российской Федерации:

1. Естественные науки**1.6. Науки о Земле и окружающей среде**

- 1.6.1. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика
- 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых
- 1.6.6. Гидрогеология
- 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение
- 1.6.8. Гляциология и криология Земли
- 1.6.9. Геофизика
- 1.6.15. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель

Vladimir Aleksandrovich Korolev. Obituary8

ECOLOGICAL GEOLOGY

Features of ecological-geological systems of the motor transport complex of Belarus10

[Korolev V.A.], Galkin A.N.

SOIL AND ROCK MECHANICS. GEOTECHNICS

Optimization of settlement calculations in the design of embankments on thawing soils40

Vavrinyuk T.S., Fedorenko E.V.

ENGINEERING GEOLOGY. ENGINEERING-GEOLOGICAL INVESTIGATIONS

The geologist’s digital eye: assessing the quality and reliability of images of engineering-geological borehole core using neural networks48

Nikiforov N.V., Baraboshkin E.E.

GIS AND REMOTE SENSING

Remote sensing ensures safety: how digital technologies are transforming the management of offshore projects in the Arctic62

Ananko V.N.

TRANSLATED ARTICLES

Water inrush hazard in Shijingshan Tunnel during construction, Zhuhai, Guangdong, China72

Kong H.-Q., Zhao L.-S., Zhang N.

ENGINEERING HYDROLOGY. ENGINEERING HYDROMETEOROLOGICAL INVESTIGATIONS

Hydraulic connection between water bodies: analysis of the regulatory framework78

Gurevich E.V.

APPENDICES

PROFESSIONAL DISCUSSIONS

The Main Directorate of State Expertise is creating a comprehensive engineering platform: how are legislative changes and artificial intelligence contributing to this process?90

Ananko V.N.

EVENT REVIEWS

There is such a profession – protecting structures: Kazan Federal University celebrates the anniversary of the Hydrogeology and Engineering Geology specialization96

Vasin M.V.

Young researchers from Lomonosov Moscow State University presented reports at the 19th Masherov Readings in Vitebsk100

Krasovskaya I.A., Galkin A.N.

BOOK REVIEWS

On the monograph “Systematics of Ecological-Geological Systems” by V.A. Korolev and V.T. Trofimov104

[Korolev V.A.], Trofimov V.T.

On the monograph “Ecological-geological systems of recreational complexes” by V.A. Korolev, V.T. Trofimov, and A.N. Galkin107

[Korolev V.A.], Trofimov V.T., Galkin A.N.

1.6.16.	Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия
1.6.17.	Океанология
1.6.18.	Науки об атмосфере и климате
1.6.19.	Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия
1.6.20.	Геоинформатика, картография
1.6.21.	Геоэкология
1.6.22.	Геодезия
2.	Технические науки
2.1.	Строительство и архитектура
2.1.2.	Основания и фундаменты, подземные сооружения
2.1.6.	Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология
2.1.8.	Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей
2.9.	Транспортное строительство
2.9.2.	Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

GEOINFO

Electronic publication

Published since 2016

Publication frequency:
10 issues per year

ISSN: 2949-0677

DOI prefix: 10.58339

The editorial board of the journal accepts for consideration articles on the following topics: Site Investigation for Construction; Geotechnical Designing; Engineering and Ecological Geology; Soil Mechanics; Geotechnics; Design of Bases and Foundations; Ecology and Environmental Studies; Engineering-Geological Risk Problems; Methods for Forecasting, Preventing, Minimizing and Eliminating the Consequences of Hazardous Natural Processes and Phenomena; Engineering Protection of Territories.

Founder:

Ananko Viktor Nikolaevich

Publisher:

GeoInfo, individual entrepreneur
Ananko V.N.

Address:

10/12 3rd Frunzenskaya str., Moscow, 119146, Russian Federation

Editorial staff:

editor-in-chief:
Samarin Evgenii Nikolaevich;

analyst:
Vasin Mikhail Vasilyevich;

D'yachenko Lyudmila
Special Correspondent;

Eremeeva Mariya
Special Correspondent;

Vinogradova Vera
Special Correspondent;

Designer and layout designer:

individual entrepreneur
Livshic S.S.

Official website:

Geoinfo.ru

Address in the National Electronic Library of the RF:

https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=80357

It is distributed for free

The editorial staff is not responsible for the content of advertising materials

Publication date: 11.06.2026

© Ananko Viktor Nikolaevich, 2026

© GeoInfo, 2026

Cover photo: GeoInfo

ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ КОРОЛЁВ

(04.09.1948 - 04.04.2026)



Редакция журнала «ГеоИнфо» с прискорбием сообщает, что 4 апреля 2026 года после тяжёлой болезни ушёл из жизни Владимир Александрович Королёв, профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАЕН, член редакционной коллегии журнала «ГеоИнфо». Это был учёный фантастической работоспособности, который обогащал науку оригинальными идеями и разработками, занимал активную общественную позицию, участвовал в многочисленных конференциях, активно работал в научных обществах, редколлегиях научных журналов и диссертационных советах, имел многочисленных учеников. Его уход – большая утрата для научного сообщества и всех, кто знал этого замечательного человека.

Владимир Александрович родился в семье служащих. После окончания в 1966 году средней школы № 1 в Москве работал в строительном отделе проектного института техником, а затем инженером. В 1969 году поступил на вечернее отделение геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Во время учебы в 1969–

1973 годах параллельно работал в Ставропольской партии Северо-Кавказской экспедиции при кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых этого же факультета, пройдя путь от лаборанта и техника-коллектора до инженера. Окончил университет в 1973 году по кафедре грунтоведения и инженерной геологии. В 1974–1977 годах обучался в аспирантуре геологического факультета. В 1978 году под руководством члена-корреспондента АН СССР Евгения Михайловича Сергеева и старшего научного сотрудника Ренаты Исааковны Злочевской защитил кандидатскую диссертацию «Роль температурного фактора при формировании электроповерхностных и физико-механических свойств водонасыщенных глинистых грунтов». Рената Исааковна тогда говорила: «Лучше Володи Королева работать никто не может. Потрясающая целеустремленность, четкое планирование и желание достичь весомого результата в любом деле, за какое бы он ни брался...».

В 1977–1979 годах Владимир Александрович работал младшим научным сотрудником проблемной лаборатории «Исследование влияния геологических факторов на физико-химическое закрепление грунтов» геологи-

ческого факультета МГУ, участвовал в полевых работах в Средней Азии. С 1979 года был ассистентом, с 1990 – доцентом, с 1993 – профессором кафедры инженерной геологии и охраны геологической среды (позже переименованной в кафедру инженерной и экологической геологии) этого факультета. В 1989 году защитил докторскую диссертацию «Термодинамика дисперсных нёмёрзлых грунтов».

Основными направлениями научной деятельности Владимира Александровича были грунтоведение, электрокинетические явления в грунтах, механика грунтов, грунты-аналоги космических тел, термодинамика грунтов, инженерная геодинамика, мониторинг геологической среды, экологическая геология, очистка грунтов от загрязнений, эколого-геологические системы и их систематика. Результатом его многогранной научной деятельности стали 513 статей в научных журналах, 64 книги, включая учебники и учебные пособия, более 320 тезисов в сборниках и более 160 докладов на все-союзных, всероссийских и международных конференциях, конгрессах, совещаниях и симпозиумах. В том числе он был автором «Каталога коллекции чешуйчатокрылых (Lepidoptera)» в 7 частях, сборника фантастических повестей «Нереальная реальность» (2022 г.), фундаментального труда «Искусство и время: воспоминания и размышления о связи времен в искусстве» (2018 г.).

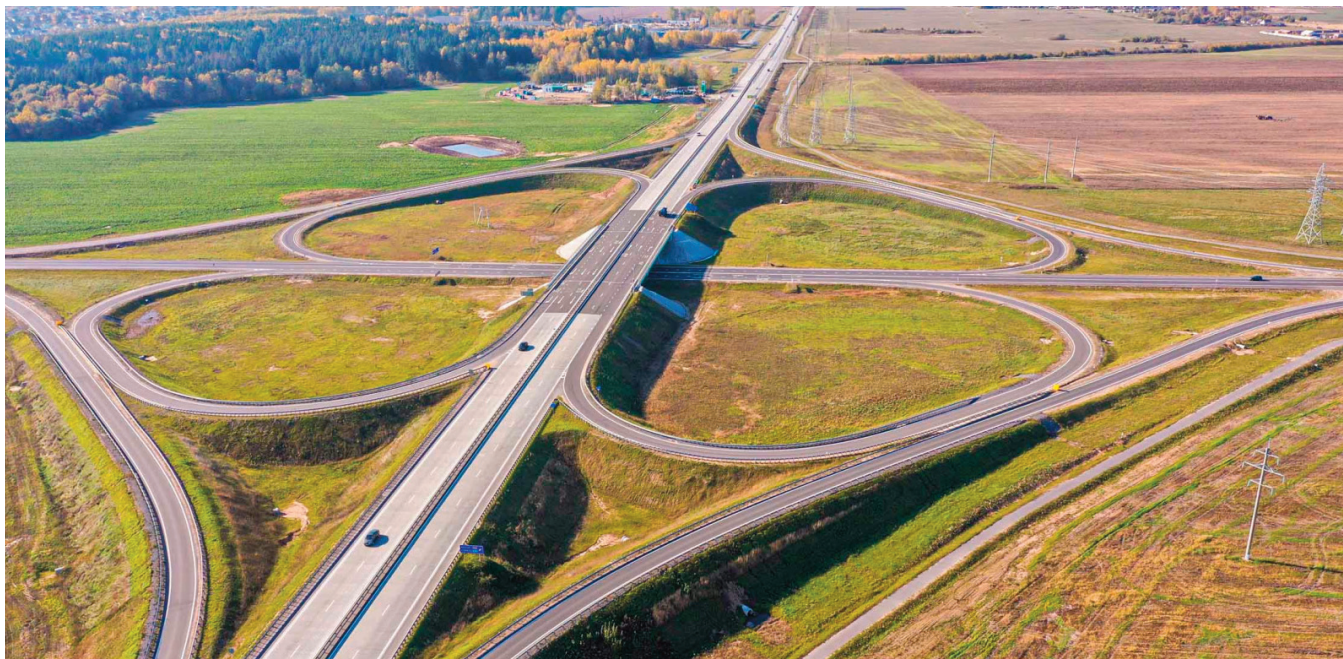
Владимир Александрович Королёв был не только выдающимся учёным, но и преданным своему делу педагогом. Вся его жизнь и профессиональная деятельность стали ярким примером творческого служения науке и образованию. Его вклад в развитие кафедры, факультета и всего Московского государственного университета невозможно переоценить. Он разработал 57 учебных курсов, читал лекции по дисциплинам «Мониторинг геологической среды», «Грунтоведение», «Инженерная и экологическая геодинамика», «Методология научных исследований в инженерной геологии», «Современные проблемы инженерной геологии», «Очистка грунтов от загрязнений», «Актуальные проблемы инженерной геологии», «Термодинамика грунтов» и другим. Подготовил 12 кандидатов наук, десятки специалистов, бакалавров и магистров. Участвовал в прове-

дении учебной геологической практики в Крыму в 1980–1985 годах, учебной практики по полевым методам гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических и эколого-геологических исследований в Звенигороде в 1975–1979 и 1986–2022 годах.

Кроме того, Владимир Александрович с 1989 года был членом Московского общества испытателей природы (МОИП), в работе которого принимал активное участие. В 1998 году он стал членом Российской академии естественных наук (РАЕН), в 2010 году – региональной общественной научной организации «Охотинское общество грунтоведов», в 2011 году – Международной ассоциации по инженерной геологии и окружающей среде (МАИГ), в 2012 году – Ассоциации «Инженерные изыскания в строительстве» (АИИС). В разные годы принимал активное участие в работе редколлегии ряда журналов, в число которых вошли «Соросовский образовательный журнал» (1995–2000 гг.), «Инженерная геология» (2008–2026 гг.), «Инженерные изыскания» (2009–2013 гг.), «Геориск» (2009–2013 гг.), «Грунтоведение» (2012 – 2026 гг.), «ГеоИнфо» (2022–2026 гг.).

Коллеги и студенты ценили профессора Королёва за разносторонние знания, необыкновенное трудолюбие, целеустремлённость и порядочность. Благодаря этим качествам Владимир Александрович завоевал большой авторитет и уважение в профессиональном сообществе. В 2011 году он получил почетное звание «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации», в 2014 году – «Заслуженный профессор Московского университета». Он был награждён почетными нагрудными знаками «250 лет МГУ» (2004 г.) и «270 лет МГУ» (2025 г.), нагрудным знаком «Отличник разведки недр» (2010 г.), почетным знаком РАЕН «За заслуги в развитии науки и экономики России» (2017 г.), медалью Е.М. Сергеева «За вклад в развитие инженерной геологии» (2017 г.), почетной грамотой Президента России В.В. Путина (2023 г.).

Владимир Александрович был незаменимым членом редколлегии и самым активным автором нашего журнала, всегда поддерживал и продвигал «ГеоИнфо» в научном сообществе. Мы выражаем искренние соболезнования его родным, близким и коллегам.



ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА БЕЛОРУССИИ

Поступила 28.01.2026

Принята к публикации 5.03.2026

Опубликована 11.06.2026

КОРОЛЁВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д. г.-м. н., профессор, г. Москва, Россия

ГАЛКИН А.Н.

Профессор кафедры экологии и географии Витебского государственного университета имени П.М. Машерова, д. г.-м. н., профессор, г. Витебск, Белоруссия
galkin-alexandr@yandex.by

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена изучению эколого-геологических систем (ЭГС), связанных с автотранспортным комплексом Белоруссии. Эти системы, играющие ключевую роль в транспортной инфраструктуре и занимающие значительные территории, до сих пор остаются практически неисследованными, а имеющиеся сведения об их абиотических и биотических составляющих носят фрагментарный характер. Используя ранее предложенную авторами классификацию природных и техногенных ЭГС территории Белоруссии и систематику ЭГС транспортно-коммуникационных комплексов, авторы предприняли попытку дать комплексную характеристику эколого-геологических систем автотранспортного комплекса страны. В работе детально рассматриваются особенности их абиотических (литотопа, гидротопы, атмотопы), биокосных (эдафотопы) и биотических (микробеценоза, фитоценоза, зооценоза, социума) компонентов. Полученные результаты и выявленные закономерности могут служить основой для понимания особенностей аналогичных ЭГС в России и являются важными для проведения инженерно-экологических исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

эколого-геологическая система (ЭГС); автотранспортный комплекс; технолитотоп; техноэдафотоп; техномикробеценоз; технофитоценоз; технозооценоз; Белоруссия.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Королёв В.А., Галкин А.Н., 2026. Особенности эколого-геологических систем автотранспортного комплекса Белоруссии // Геоинфо. 2026. Т. 8. № 1. С. 10–38. DOI:10.58339/2949-0677-2026-8-1-10-38.

FEATURES OF ECOLOGICAL-GEOLOGICAL SYSTEMS OF THE MOTOR TRANSPORT COMPLEX OF BELARUS

Received: 28.01.2026

Accepted for publication 5.03.2026

Published 11.06.2026

KOROLEV V.A.

DSc (Geology and Mineralogy), professor at the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

GALKIN A.N.

DSc, professor at the Department of Ecology and Geography, Masharov Vitebsk State University, Vitebsk, Belarus
galkin-alexandr@yandex.by

ABSTRACT

This article examines the ecological-geological systems (EGS) associated with the Belarusian motor transport sector. These systems, which play a key role in transport infrastructure and occupy significant territories, remain virtually unexplored, and existing information on their abiotic and biotic components is fragmentary.

The authors attempt to provide a comprehensive description of the EGS in the motor transport sector of the country using the classification of natural and man-made EGS in Belarus and the taxonomy of EGS in transport and communications systems that were previously proposed by them. The paper examines in detail the characteristics of their abiotic (lithotope, hydrotople, atmotope), bioinert (edaphotope), and biotic (microbocoenosis, phytocoenosis, zoocoenosis, and socium) components.

The obtained results and identified patterns may serve as a basis for understanding the features of similar ecological-geological systems in Russia, and they are important for conducting engineering-ecological studies.

KEYWORDS:

ecological-geological system (EGS); motor transport complex; technolithotope; technoedaphotope; technomicrobiocenosis; technophytocenosis; technozoocenosis; Belarus.

FOR CITATION:

Korolev V.A., Galkin A.N. Osobennosti ekologo-geologicheskikh sistem avtotransportnogo kompleksa Belorussii [Features of ecological-geological systems of the motor transport complex of Belarus] // *GeoInfo*. 2026. T. 8. № 1. S. 10–38. DOI:10.58339/2949-0677-2026-8-1-10-38 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ

В экологической геологии и геоэкологии центральное место занимает эколого-геологическая система (ЭГС), чья структура и классификация, предложенные В.Т. Трофимовым [1], являются основополагающими. На территории Белоруссии выделяются различные типы ЭГС – как природные, так и техногенные (включая техноприродные, природно-техногенные и искусственные, или антропогенно созданные). Природные и некоторые техногенные ЭГС изучены достаточно хорошо: определена их систематика и описаны абиотические (литотоп, гидротоп), биокосные (эдафотоп) и биотические (микробоценоз, фитоценоз, зооценоз) компоненты [2–10]. Однако искусственные ЭГС на территории республики исследованы пока недостаточно.

Как ранее уже отмечалось [2, 3], в Белоруссии выделено шесть классов эколого-геологических систем, сформированных

под влиянием деятельности человека: горнопромышленные, промышленные, оборонно-промышленные, селитебные, транспортно-коммуникационные и агрономические ЭГС. Особое место среди них занимают ЭГС транспортно-коммуникационных комплексов. Их стабильное функционирование является ключевым фактором не только для обеспечения мобильности населения и доступа к услугам, но и для бесперебойной работы всех отраслей экономики. С точки зрения экологии это является основополагающим условием для поддержания жизнеспособности экосистем. Более того, надежность и безопасность транспортной инфраструктуры напрямую влияют на национальную безопасность государства, что также имеет экологические последствия.

Согласно ранее опубликованной статье [11], под *эколого-геологической системой транспортно-коммуникационного комплекса* понимается *определенный участок литосферы, где происходит взаимодействие геологической среды и живых*



Рис. 1. Структура ЭГС транспортно-коммуникационных комплексов [11]

организмов (включая человека), обеспечиваемое транспортно-информационными потоками вещества, энергии и информации. Эта система является частью более широкой экосистемы и рассматривается как объект исследования экологической геологии, определяющий, по существу, все экологические функции литосферы – ресурсную, геохимическую, геофизическую и геодинамическую.

Эколого-геологические системы транспортно-коммуникационных комплексов по структуре схожи с другими искусственными ЭГС (рис. 1). Они включают в себя как абиотические (литотоп, гидротоп, атмотоп, технические сооружения) и биокосные (эдафотоп), так и биотические (микробоценоз, фитоценоз, зооценоз, социум) компоненты, но техногенно измененные или антропогенно созданные за счет социума и построенных им технических транспортно-коммуникационных сооружений.

Ранее нами была предложена классификация эколого-геологических систем транспортно-коммуникационных комплексов [11], согласно которой в рассматриваемом классе ЭГС выделяется восемь типов: ЭГС автотранспортных, железнодорожных, транспортных терминалов, воднотранспорт-

ных, авиационных, транспортно-космических, коммуникационно-энергетических и промышленно-продуктопроводных комплексов.

Примечательно, что Белоруссия располагает практически всеми вышеперечисленными типами ЭГС (за исключением транспортно-космических), что подчеркивает стратегическую роль республики как важнейшего транспортного узла, соединяющего Западную Европу, Россию и Азию. Ведущее место среди указанных типов эколого-геологических систем в стране занимают ЭГС автотранспортного комплекса. Это объясняется географическим положением Белоруссии как внутриконтинентального государства, где автомобильный транспорт является наиболее удобным и эффективным средством для перемещения людей и грузов как внутри страны, так и на международном уровне. Важность автомобильных дорог подтверждается наличием в стране пяти международных трасс категории E, имеющих общую длину 1841 км (рис. 2). Кроме того, через Белоруссию проходят трансъевропейские транспортные коридоры II (Берлин – Варшава – Минск – Москва – Нижний Новгород) и IX (Хельсинки – Александрополис) с ответвлением IXB (Ка-



Рис. 2. Международные автомобильные трассы и трансевропейские транспортные коридоры, пересекающие Белоруссию [13]

лининград/Клайпеда – Киев), суммарная протяженность которых составляет 1534 км. В частности, трасса М-1/Е-30 (Брест – Минск – граница РФ), являющаяся частью коридора II, имеет протяженность 610 км на территории республики и характеризуется высокой интенсивностью движения (8500–10000 автомобилей в сутки на отдельных участках). Трасса М-8/Е-95 (граница РФ – Гомель – граница Украины) протяженностью 456 км проходит с севера на юг и входит в состав коридора IX, связывающего Финляндию, Россию, Беларусь, Украину, Молдову, Румынию, Болгарию и Грецию. Ответвление IXB (Гомель – Минск – Вильнюс – Клайпеда – Калининград) длиной 468 км обеспечивает доступ к портам Калининграда для грузоотправителей из восточных регионов Украины и центральной России [12].

Автотранспортное хозяйство Белоруссии – это сложная технико-экономическая структура. Она включает в себя не только сами автомобильные дороги, но и всю производственную базу организаций, ответственных за их жизненный цикл: от проектирования, строительства и реконструкции до содержания, ремонта, диагностики, а также производства дорожной техники, добычи и переработки нерудных материалов.

Взаимодействуя с окружающей природной средой, эта система формирует ЭГС автотранспортного комплекса – совокупность взаимосвязанных природных и созданных человеком элементов, чья работа направлена на обеспечение непрерывного и безопасного движения автотранспорта, а также на поддержание устойчивости геологической среды в зоне их влияния.

Эколого-геологические характеристики, структура и специфика этих ЭГС существенно отличаются от таковых для других подобных систем и до сих пор остаются малоизученными. В связи с этим на основе ранее разработанной нами классификации эколого-геологических систем территории Белоруссии [2, 3], а также систематики ЭГС транспортно-коммуникационных комплексов [11] в данной статье предпринята попытка представить общее описание рассматриваемых эколого-геологических систем, а также выявить и охарактеризовать особенности их абиотических (техническая составляющая, литотоп, гидротоп, атмотоп), биокосных (эдафотоп) и биотических (микробценоз, фитоценоз, зооценоз, социум) компонентов. Это и стало основной целью исследования и его задачами.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КОМПОНЕНТЫ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ЭГС АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Автомобильный транспорт и вся его инфраструктура относятся к основным источникам воздействий на окружающую природную среду. Это воздействие многогранно и проявляется по большей части в химическом, физическом и механическом загрязнении, оказывая существенное влияние на состояние экосистем и здоровье человека. Прежде всего автотранспорт является значительным источником загрязнения атмосферного воздуха. На его долю приходится 89% общего объема вредных примесей, поступающих в атмосферу от всех видов транспорта [14], и эта доля продолжает расти, несмотря на технологические усовершенствования двигателей.

Наибольшая доля химического загрязнения приходится на отработавшие газы (ОГ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Они содержат около двухсот веществ, большинство из которых токсично. К токсичным компонентам относятся оксид углерода, углеводороды, оксиды азота и серы, альдегиды, сажа, бензо(а)пирен и соединения свинца. Причиной образования оксида углерода является неполное сгорание топлива. При этом следует отметить, что химический состав ОГ зависит от вида и качества топлива, технологии производства, способа сжигания в двигателе и его технического состояния.

Кроме отработавших газов источниками загрязнения атмосферного воздуха являются картерные газы, а также испарение топлива из топливной системы. Согласно данным, приведенным в книге [15], легковой автомобиль при среднегодовом пробеге 15 тыс. км сжигает 4,36 т кислорода и выбрасывает 3,25 т углекислого газа, 0,8 т оксида углерода, 0,2 т углеводородов, 0,04 т оксида азота. В отличие от промышленных предприятий, выброс которых концентрируется в определенной зоне, автотранспорт является передвижным источником загрязнения и рассеивает выбросы непосредственно в приземном слое атмосферы.

Попадая в атмосферу, компоненты ОГ ДВС, с одной стороны, смешиваются с имеющимися в воздухе загрязнителями, а с другой – претерпевают ряд сложных превращений, приводящих к образованию новых соединений. Одновременно идут процессы разбавления и удаления загрязнителей из атмосферного воздуха путем мокрого и сухого осаждения на поверхность земли. В связи с огромным многообразием химических превращений загрязнителей в атмосферном воздухе их состав чрезвычайно динамичен.

При движении автомобилей происходит истирание дорожных покрытий и автомобильных шин, продукты износа

которых смешиваются с твердыми частицами отработавших газов. К этому добавляется грязь, занесенная на проезжую часть с прилегающего к дороге почвенного слоя. В результате образуется пыль, в сухую погоду поднимающаяся над дорогой в воздух. Она переносится ветром на расстояния от нескольких до сотен километров. Химический состав и объем образующейся пыли напрямую зависят от типа дорожного покрытия. Наибольшее количество пыли образуется на грунтовых и гравийных дорогах. Пыль с гравийных дорог преимущественно состоит из диоксида кремния. На грунтовых дорогах до 90% пыли составляют кварцевые частицы, а остальная доля приходится на оксиды алюминия, железа, кальция и другие элементы. Валовый выброс пыли с автомобильных дорог без капитального покрытия (грунтовых, гравийных, щебеночных) превышает 56 тыс. т. На дорогах с асфальтобетонным покрытием в состав пыли дополнительно входят продукты износа битумсодержащих вяжущих материалов, а также частицы краски или пластмассы от дорожной разметки [14].

Сточные воды автомобильных дорог и других непроницаемых поверхностей являются одним из главных источников загрязнения поверхностных и подземных вод. Дождевые и талые воды, стекающие с дорог, несут с собой бензин, моторное масло, тяжелые металлы и другие вредные вещества.

Шум, производимый автомобилями, – одна из самых больших проблем, связанных с дорожным движением. Этот фактор доминирует в городской акустической среде, формируя от 60 до 80% общего шумового фона. Источники шума многообразны – от работы двигателя и трансмиссии до элементов подвески и аэродинамического сопротивления кузова. Несмотря на регулирование уровня шума для новых транспортных средств, их эксплуатация и естественный износ приводят к значительному увеличению шумовой нагрузки, что пагубно сказывается на комфортности проживания и здоровье населения.

Особую экологическую опасность представляют вибрации, возникающие при передвижении тяжелых грузовых автомобилей. Вибрационное воздействие транспорта к настоящему времени изучено недостаточно, однако известно, что такого рода воздействия негативно отражаются на целостности инженерных сооружений (включая мосты, тоннели и дамбы), могут провоцировать некоторые опасные природные явления (оползни, в том числе обвалы), а также ускоряют износ зданий и сооружений, исторических памятников и культурных объектов [14].

Движение автотранспорта и сами автомобильные дороги приводят к значительным изменениям в природных экосистемах. Например, пыль, образующаяся в результате работы транспорта, содержит вредные вещества из выхлопных газов, некоторые из которых токсичны для растительности. Эти за-

Таблица 1. Источники и состав вредных веществ, выделяющихся при работе автотранспортных предприятий эксплуатационного и ремонтного профиля [17]

Название зоны, участка, отделения	Выделяющиеся вредные вещества и/или отходы
Участок мойки автомобилей	Пыль, щелочи, синтетические поверхностно-активные вещества, нефтепродукты, растворимые кислоты, фенолы
Зона технического обслуживания, участок диагностирования	Оксиды углерода, углеводороды, оксиды азота, масляный туман, сажа, пыль
Слесарно-механическое отделение	Пыль абразивная, металлическая, стружка, масляный туман, эмульсии
Электротехническое отделение	Абразивная и асбестовая пыль, канифоль, пары кислот
Аккумуляторный участок	Промывочные растворы, пары кислот, электролиты, шламы, щелочные аэрозоли
Отделение топливной аппаратуры	Бензин, керосин, дизельное топливо, ацетон, бензол, ветошь
Медницко-жестяницкое отделение	Пары кислот, наждачная и металлическая пыль, такие отходы, как лом черных и цветных металлов, отработанный флюс, шлаки и шламы пайки, обрезки зачистных кругов и др.
Сварочное отделение	Минеральная пыль, сварочный аэрозоль, оксиды марганца, азота, хрома, хлористый водород (хлорид водорода), фториды
Арматурное отделение	Пыль, сварочный аэрозоль, металлические, древесные и пластмассовые отходы, в том числе древесная и металлическая стружка
Участок шиномонтажа и ремонта шин	Минеральная и резиновая пыль, сернистый ангидрид (диоксид серы), пары бензина
Участок лакокрасочных покрытий	Минеральная и органическая пыль, пары растворителей, аэрозоли красок
Участок обкатки двигателей	Оксиды углерода, углеводороды, оксиды азота, сажа, сернистый ангидрид (диоксид серы)
Стоянки личного и технологического автотранспорта	Оксиды углерода, углеводороды, оксиды азота, сажа, сернистый ангидрид (диоксид серы), пыль
Освещение помещений	Ртутьсодержащие лампы
Жизнедеятельность персонала	Твердые бытовые отходы

грязнители оседают на листьях, препятствуя фотосинтезу, проникают в ткани растений, вызывая их повреждение и приводя к снижению продуктивности и изменению структуры растительности даже на значительном удалении от дорог [16].

Применяемые противогололедные реагенты (хлориды натрия, кальция, магния и др.) могут быть токсичны для чувствительных растений и животных. Песок, смываемый поверхностным стоком с автомобильных дорог, способен трансформировать среду обитания в водотоках, создавая неблагоприятные условия для населяющих их организмов.

Весьма многогранным является влияние на окружающую среду процесса строительства автомобильных дорог. Каждая

дорога – это протяженная полоса земли, отторгнутая у природы и преобразованная для нужд транспорта¹, что делает ее инородным телом в естественном ландшафте и нарушает экологический баланс.

Строительство автомобильных трасс способно кардинально изменить ландшафт (включая рельеф, гидрологические особенности) и климат, тем самым нарушая привычные места обитания растительного и животного мира.

Процесс строительства, как правило, начинается с выбора маршрута, который часто требует вырубки лесов, осушения водно-болотных угодий и т.д. К другим технологическим процессам, негативно влияющим на окружающую среду, от-

¹ На строительство 1 км современной автомагистрали требуется до 10–12 га площади. Помимо этого дополнительные площади отводятся для технологических целей – устройства складов хранения строительных материалов, мест стоянок транспортной техники, размещения снятого с дороги грунта, постройки временных сооружений и подъездов и т.д. Особенно большие площади занимают транспортные развязки – от 15 га при пересечении двухполосных дорог до 35 га при пересечении магистралей с шестью полосами движения [14].

носятся: снятие плодородного слоя почвы, интенсивная работа строительной техники, изъятие территорий и фрагментация ландшафта, масштабные земляные работы, формирование дорожного полотна (включая перемещение грунта и укладку различных слоев), производство необходимых стройматериалов (добыча песка, щебня, гравия, изготовление железобетонных конструкций и др.), а также сварочные, монтажные работы и образование большого количества отходов. При этом следует отметить, что вред от эксплуатации дорожно-строительной техники, как правило, является временным и ограничивается сроками выполнения строительных или ремонтных работ.

Предприятия, занимающиеся обслуживанием и ремонтом транспортных средств, а также вспомогательные производства, здания и сооружения хозяйственного назначения (вокзалы, заправочные станции, топливные склады и т.д.), места стоянок автотранспорта и пр. оказывают не менее значительное негативное влияние на компоненты окружающей среды.

Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств требуют существенных энергетических затрат и сопровождаются большими расходами воды, выбросами загрязняющих веществ в атмосферу и водоемы, а также возникновением отходов, включая токсичные. При многих технологических процессах образуются производственные сточные воды. Например, при мойке автомобилей, очистке узлов и агрегатов в моечных машинах, ремонте аккумуляторных батарей, обработке деталей и т.д. Эти воды содержат жидкие нефтепродукты, остатки моющих средств, дезинфицирующих и противогололедных реагентов, формовочных смесей и различных растворов. В их составе присутствуют такие вещества, как бензол, ацетон, кислоты, щелочи, растворенные металлы (алюминий, бериллий, хром и пр.). Кроме того, из этих источников загрязнения в атмосферу попадают газообразные выбросы, образующиеся при работе вентиляционных систем. В состав выбросов входит большое количество минеральной и органической пыли, а также аэрозоли, в том числе масляный туман. Ремонтные работы сопровождаются загрязнением почвы, накоплением металлических, пластмассовых и резиновых отходов вблизи производственных зон и участков [17]. В таблице 1 перечислены некоторые виды загрязнений, образующихся при производственных процессах на автотранспортных предприятиях эксплуатационного и ремонтного профиля.

Таким образом, строительство автомобильных дорог и их эксплуатация чаще всего оказывают негативное влияние на природные экосистемы и окружающую среду в целом, порой провоцируя необратимые изменения. Масштабы и степень проявления этих последствий будут зависеть не только от характеристик автомобильных дорог и движения автотран-

порта, но и от множества сопутствующих факторов, связанных с организацией дорожной инфраструктуры.

ОСОБЕННОСТИ АБИОТИЧЕСКИХ И БИОКОСНЫХ КОМПОНЕНТОВ ЭГС АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА БЕЛОРУССИИ

Особенности технической составляющей ЭГС

Структура эколого-геологических систем автотранспортного комплекса аналогична структуре других техногенно измененных или антропогенно созданных ЭГС (см. рис. 1). Для них характерны как абиотические (технические сооружения, литотоп, гидротоп, атмотоп), так и биокосные (эдафотоп) и биотические (микробоценоз, фитоценоз, зооценоз) компоненты, но подвергнутые техногенному преобразованию или созданные искусственно под влиянием социума и возводимых им технических сооружений.

Техническая составляющая рассматриваемых ЭГС на территории Белоруссии, как и в пределах других промышленно развитых стран, объединяет [18]:

- сеть автомобильных дорог общего пользования;
- автомобильные парки (пассажи́рский и транспортный);
- транспортно-экспедиционные предприятия;
- специализированные предприятия по техническому обслуживанию и ремонту автотранспорта;
- авторемонтные заводы;
- производственные базы дорожных организаций;
- организации дорожного хозяйства, осуществляющие деятельность по проектированию, возведению, реконструкции, эксплуатации и капитальному ремонту автомобильных дорог;
- иные производственные организации, обеспечивающие бесперебойное функционирование дорожной сети;
- предприятия, предоставляющие связанные с дорогами услуги (то есть предприятия придорожного сервиса – автовокзалы, автостанции, автозаправочные станции (АЗС), газозаправочные пункты, гостиницы и др.).

Следует отметить, что автодорожное хозяйство Белоруссии в значительной степени опирается на государственные предприятия, находящиеся в ведении Главного управления автомобильных дорог Министерства транспорта и коммуникаций. Ключевую роль в содержании дорог играют республиканские унитарные предприятия автомобильных дорог (РУП), такие как «Минскавтодор-центр» и его региональные аналоги – «Бреставтодор», «Витебскавтодор», «Гомельавтодор», «Гродноавтодор» и «Могилевавтодор». Их главная задача – поддерживать республиканскую (магистральную) сеть страны

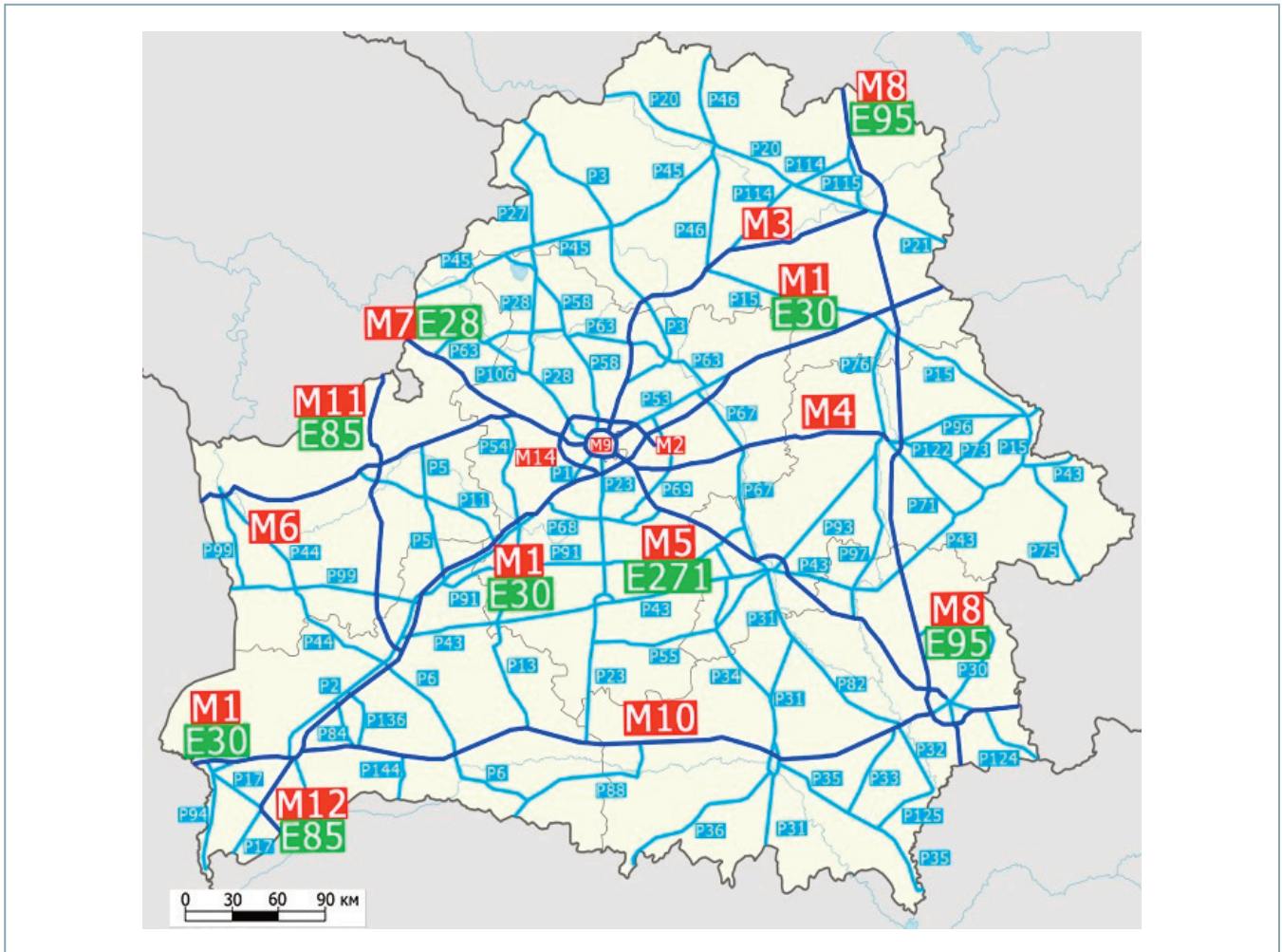


Рис. 3. Схема основных республиканских автомобильных дорог Белоруссии [19]

общего пользования в исправном состоянии. Кроме того, они занимаются изысканиями и проектированием строительства, реконструкции и ремонта дорог, разработкой схем организации дорожного движения и другими смежными задачами. В структуру этих предприятий входят строительные тресты, управления и другие организации, в некоторых из них налажено производство стройматериалов.

В дорожном хозяйстве также действуют специализированные научно-проектные организации («БелдорНИИ», «Белгипродор»), компании, отвечающие за связь и платные дороги («Белдорсвязь», «Белавтострада»), и коммунальные дорожно-строительные или коммунальные проектно-ремонтно-строительные унитарные предприятия по областям, такие как «Брестоблдорстрой», «Витебскоблдорстрой», «Гомельоблдорстрой», «Гроднооблдорстрой», «Минскоблдорстрой» и «Могилевоблдорстрой» с филиалами в районных центрах и рядом производственных организаций (таких как парки спецтехники, асфальтобетонные заводы и др.), основными задачами которых являются содержание, ремонт и развитие (строительство, реконструкция) автомобильных дорог местного уровня, обеспечение безопасного и бесперебойного движения автотранспорта

по обслуживаемой местной сети, поддержание сети дорог в проезжаемом состоянии и выполнение комплекса работ по сохранению их технико-эксплуатационных параметров [18].

Всего в автодорожном хозяйстве Белоруссии производственно-хозяйственную деятельность осуществляют 17 крупных организаций со 198 структурными единицами.

В зависимости от функционального назначения автомобильные дороги общего пользования подразделяются на республиканские и местные.

Республиканские дороги являются основой транспортной инфраструктуры, обеспечивая бесперебойное сообщение между главными населенными пунктами страны и с соседними государствами, а также входят в состав международных автодорожных сетей. Особое значение имеют дороги, соединяющие столицу республики с областными центрами, а также трассы, связывающие между собой областные центры или ведущие к Национальному аэропорту Минск. Эти дороги, обозначаемые как Р и М, находятся под государственным управлением и доступны для всех участников дорожного движения (рис. 3). Среди них выделяют 13 магистральных республиканских дорог (с маркировкой М), семь из которых



Рис. 4. Автомобильная трасса Витебск – Полоцк с асфальтобетонным покрытием (а) и Вторая минская кольцевая автомобильная дорога с цементобетонным покрытием (б) [21]

являются частью общеевропейских транспортных коридоров и служат для связи крупных населенных пунктов с пунктами пропуска на границе. Маркировку Р имеют прочие республиканские дороги.

Местные автомобильные дороги общего пользования имеют маркировку Н². Они охватывают остальные (помимо рассмотренных выше) автомобильные пути, обслуживающие города, поселки, сельские населенные пункты, и могут иметь различное покрытие, в том числе грунтовое [18].

Протяженность сети автомобильных дорог общего пользования в Беларуси по состоянию на 01.01.2025 составляла 86 538 км (в том числе 15 944 км для республиканских дорог, 70 594 км для местных). На этих дорогах функционируют 5204 моста и путепровода общей длиной 186,4 км и более 97,5 тыс. водопропускных труб.

Все республиканские дороги (15 944 км) имеют твердое покрытие, преимущественно асфальтобетонное (15 437 км) и цементобетонное (333 км) (рис. 4). Также встречаются участки с покрытием из черного щебня (67 км), мостовые (6 км) и щебеночно-гравийные (101 км). На республиканских трассах расположено множество мостовых сооружений (в количестве 2254, общей длиной 107,5 км), водопропускных труб (более 23,4 тыс., общей длиной свыше 460 км) и одна паромная переправа с механическим приводом [22].

В зависимости от эксплуатационных параметров, геометрии и условий движения автомобильные дороги в стране подразделяются на следующие технические категории: I (1814 км, включая подкатегории I-а, I-б, I-в); II (1375 км); III (5821 км); IV (6859 км); V (75 км).

Автотранспортная составляющая рассматриваемых ЭГС представлена главным образом парком транспортных средств, который ежегодно увеличивается преимущественно за счет личных автомобилей. Это подтверждается статистическими

данными Национального статистического комитета [20]. Так, с 1997 по 2024 год общее количество автомобилей в Беларуси выросло с 1502,9 тыс. до 3605,3 тыс., то есть примерно на 140%. При этом число личных автомобилей увеличилось с 1116,2 тыс. до 3226,8 тыс. (примерно на 189%), тогда как количество автотранспортных средств, принадлежащих предприятиям, организациям и учреждениям, уменьшилось с 386,7 тыс. до 378,5 тыс. (на 2,1%). Если в 1997 году на каждую тысячу жителей приходилось 148 автомобилей, то в 2024-м этот показатель вырос до 339 [20].

Основной тип транспортных средств, принадлежащих организациям страны, – грузовые автомобили. Они составляют около половины парка. Так, в 2023 году в эксплуатации находилось свыше 240 тыс. грузовиков, значительная часть которых принадлежала крупным государственным ведомствам, включая Минсельхозпрод, Минтранс, Белкоопсоюз, Минпром, Минэнерго и Минстройархитектуры [19].

По состоянию на 01.01.2024 в Беларуси было зарегистрировано около 18,5 тыс. субъектов, лицензированных для международных грузоперевозок. Для белорусских автоперевозчиков ключевым направлением остается Российская Федерация, однако наблюдается устойчивая тенденция к росту объемов перевозок в страны СНГ, Азии и Ближнего Востока, что свидетельствует о диверсификации экспортных логистических маршрутов.

В сегменте общественного автотранспорта доминирующее положение занимают автобусы – многоместные пассажирские автомобили с вместимостью от 10 человек помимо водителя. Для эксплуатации в городах и пригородах используются преимущественно низкопольные городские автобусы, а для междугородных и международных рейсовых и туристических перевозок – междугородные и туристические лайнеры. Туристические автобусы в связи с повышением их комфортности

² Также выделяют дороги необщего пользования (ведомственные, технологические, служебные, патрульные и др.). Они не относятся к местным дорогам и не имеют маркировки Н. Такие дороги могут находиться в государственной или частной собственности [18] (*прим. ред.*).

в конце XX века вполне успешно конкурируют в перевозках туристов с железнодорожным транспортом.

На начало 2024 года автобусная маршрутная сеть республики охватывала значительное количество регулярных маршрутов (6190). Структура этой сети демонстрирует приоритет пригородного сообщения (3804 маршрута), за которым следует городское (1959 маршрутов, включая 47 электробусных), междугородное (385 маршрутов) и международное (42 маршрута). Такая конфигурация отражает потребности населения в ежедневных перемещениях, а также развитие дальних и трансграничных пассажирских перевозок.

Особое значение имеют предприятия, обеспечивающие бесперебойную работу дорожной сети и предоставление связанных с ней услуг. В настоящее время республиканские дороги Белоруссии обслуживаются 414 автозаправочными станциями (рис. 5), 159 газозаправочными пунктами, 72 гостиницами, 45 автомойками, 101 охраняемой стоянкой, 436 торговыми предприятиями, 586 пунктами общественного питания и 74 пунктами технического обслуживания.

Отметим, что успешная работа автомобильного транспорта страны требует хороших дорог. Концепцией развития транспортного комплекса Белоруссии до 2030 года предусмотрено создание подсистемы интеллектуальных транспортных систем и стандартов, которые обеспечат срок службы автомобильных дорог длительностью не менее 30 лет, а также применение неразрезных монолитных конструкций при строительстве и реконструкции мостов, которое обеспечит срок их службы до капитального ремонта длительностью не менее 50 лет [19].

Особенности технолитотопа

Под технолитотопом ЭГС автотранспортного комплекса Белоруссии подразумеваются грунты различного происхождения, служащие либо основанием или вмещающей средой сооружений, либо материалом для строительства. Сюда входят как природные образования – скальные и дисперсные грунты различного генезиса (магматические, метаморфические и осадочные), так и грунты, созданные человеком. Последние, называемые техногенными, включают в себя как естественные грунты, подвергшиеся изменениям и перемещению в результате производственной и хозяйственной деятельности, так и антропогенные образования, которые представляют собой твердые отходы жизнедеятельности населения, характеризующиеся коренными изменениями состава, структуры и текстуры природного минерального и органического сырья.

По степени техногенного воздействия на литосферу эколого-геологические системы автотранспортного комплекса часто сравнимы с ЭГС промышленных и горнопромышленных комплексов. Это проявляется в изменениях структуры, состава



Рис. 5. Автозаправочная станция на трассе М-3 в Логойском районе Минской области [19]

и свойств грунтов, форм рельефа и гидрогеологических условий. Строительство автомобильных дорог неизбежно приводит к трансформации природного рельефа, требуя создания насыпей и выемок, что существенно влияет на геологическую составляющую этих ЭГС.

Ключевым элементом дорожной конструкции является земляное полотно – геотехническая конструкция, выполняемая в виде грунтовых насыпей, выемок или полунасыпей-полувыемок, служащая основанием для дорожной одежды, а также для размещения технических средств организации дорожного движения и обустройства автомобильной дороги [23]. Как грунтовое сооружение земляное полотно обладает рядом важных характеристик, таких как прочность, устойчивость, ремонтпригодность, надежность и экономичность, которые напрямую зависят от свойств применяемых грунтов.

От прочности земляного полотна зависит срок службы дорожной одежды и, как следствие, автомобильной дороги при сохранении транспортно-эксплуатационных качеств. Прочность земляного полотна достигается правильным выбором конструкции, устройством надежного водоотвода и его содержанием, своевременным устранением повреждений дорожной одежды в процессе эксплуатации автомобильной дороги. Однако прочность и устойчивость земляного полотна в значительной степени зависят от правильного производства земляных работ (рационального размещения в теле насыпи грунтов, различных по своим физико-механическим свойствам; достижения необходимой плотности при условии оптимальной влажности грунтов и т.д.). Для сооружения земляного полотна обычно используются местные или привозные грунты, обладающие различными физическими и физико-механическими характеристиками [23]. Лучше всего подходят щебенистые, галечные, гравийные, крупно- и среднезернистые песчаные грунты, которые обладают высокой несущей способностью, хорошо пропускают воду (являются дренирующими) и не изменяют своих свойств при замерзании.



Рис. 6. Реконструкция республиканской автомобильной дороги Р23 Минск – Микашевичи с применением геосинтетических материалов [25]

Грунтовый массив, соприкасающийся с дорогой, в той или иной степени испытывает периодические воздействия от подвижной нагрузки, отличающиеся динамическим характером. При недостаточной устойчивости грунтового массива могут происходить соответствующие деформации. В этом случае обычной практикой служит улучшение (укрепление) грунтов основания сооружения. Например, еще в 1960-х – начале 1970-х годов при строительстве автомобильных дорог были изучены особенности укрепления полесских мелкозернистых песков и других наиболее характерных для Белоруссии грунтов. Исследования того времени доказали возможность использования в качестве оснований автодорог слабых грунтов (кроме текучих) независимо от вида покрытия, нагрузок и интенсивности движения [24].

Улучшенные основания получили широкое распространение в республике в первой половине 1980-х годов. Исследовались возможности укрепления гравийно-песчаных материалов известью, однако более эффективным оказалось использование золы-уноса ТЭЦ. Для укрепления верхней части земляного полотна и слоев дорожной одежды стали применять гидрофобизированные грунты, обработанные водными растворами поверхностно-активных веществ (ПАВ). Также была разработана технология устройства оснований из доломитового щебня. В 2000-е годы для регулирования водно-теплового режима конструкции дорожного полотна и укрепления откосов земляных сооружений стали использовать геосинтетические материалы в качестве защитной прослойки и обратного фильтра (рис. 6). В этих целях нашел широкое применение и геотекстиль с семенами трав.

Определенными отличиями характеризуются литотопы местных грунтовых дорог страны.

Грунтовой считается любая дорога, не имеющая капитального твердого покрытия (асфальтобетонного, цементобетонного или т.п.), а представляющая собой земляное полотно, сформированное из естественного грунта или с добавлением минеральных материалов (песка, гравия, шлака или др.).

Грунтовые дороги Белоруссии можно условно разделить на три типа [26]:

- 1) улучшенные (имеют покрытие из песчано-гравийной смеси, щебня или т.п. и чаще всего относятся к автомобильным дорогам общего пользования V технической категории);
- 2) проселочные (представляют собой укатанные грунтовые дороги, иногда выравниваемые грейдерами, и могут относиться к местным дорогам общего пользования V технической категории либо к дорогам необщего пользования);
- 3) полевые и лесные (представляют собой две параллельные колеи, возникшие в результате движения транспорта, и чаще всего относятся к дорогам необщего пользования, к которым не применяется классификация по техническим категориям I–V).

Важно отметить, что дороги второго и третьего типов часто не устраиваются целенаправленно, а возникают естественным образом в результате регулярного проезда транспортных средств.

При строительстве улучшенных грунтовых дорог с покрытием в первую очередь проводят инженерно-геологические изыскания. Затем приступают к основным работам, среди которых: уплотнение грунта, организация водоотвода, подготовка дорожного корыта, устройство основания (в том числе дорожной подушки), укладка верхнего покрытия с последующим уплотнением и при необходимости с поверхностной обработкой.

Улучшенные грунтовые дороги с покрытием делят на песчаные, гравийные, щебёночные, песчано-гравийные, грунто-щебёночные и т.п.

Песчаные дороги подходят для участков с минимальной нагрузкой – например, для разъезда единичных автомобилей. При их строительстве снимается верхний слой грунта, затем уплотняются стенки и дно корыта, засыпается песок и тщательно трамбуется катком. Главный недостаток таких дорог – недостаточное возвышение над уровнем местности или его отсутствие, из-за чего они быстро разрушаются под тяжестью техники и размываются дождями [26].

При интенсивном движении колесного транспорта предпочтительнее использовать щебёночные дороги. Их устраивают в три этапа с применением щебня двух фракций: крупный щебень с размерами частиц 40×70 мм укладывают в корыто первым слоем, а поверх него – слой из мелкого щебня (40×20 мм). Тщательное соблюдение технологии позволяет мелким частицам заполнять пустоты между крупными, что обеспечивает высокую плотность покрытия.

Песчано-гравийные дороги часто строятся, например, в зонах садово-дачных участков. Их преимущество – невысокая стоимость и быстрое устройство. Технология строительства схожа с описанной выше: подготовка корыта, основания и

верхнего покрытия. Однако такие дороги менее устойчивы к воздействию воды и перепадам температуры, что сокращает срок их службы.

Оптимальным вариантом по многим параметрам является послойное устройство улучшенных грунтовых дорог с покрытием (из разных слоев щебня, гравия, песчано-гравийной смеси). С одной стороны, эта технология обеспечивает более высокую прочность и долговечность дорожного полотна, а с другой – улучшает дренажные свойства, благодаря чему снижается риск размывов и деформаций при неблагоприятных погодных условиях. Такая конструкция позволяет равномерно распределять нагрузку от транспортных средств на основание, минимизируя образование колеи и трещин. При строительстве первый слой создают из крупного щебня, который выполняет функцию жесткого основания и способствует отводу воды. Следующий слой (выравнивающий) отсыпают более мелким щебнем или песчано-гравийной смесью, что обеспечивает заполнение пустот, дополнительное уплотнение структуры и заклинивание зерен. Верхний слой устраивают из дорожно-строительных материалов еще более мелких фракций (мелкого щебня, песчано-гравийной смеси) для получения ровной и гладкой рабочей поверхности. Каждый слой как следует уплотняется катком, что обеспечивает максимальную плотность, улучшая характеристики дороги. Кроме прочего, послойное строительство позволяет в дальнейшем сравнительно легко проводить ремонтные работы и замену отдельных слоев без необходимости полного демонтажа покрытия [26].

Как было ранее отмечено, одной из первопричин воздействия дорог на массивы грунтов и геологическую среду в целом является изменение рельефа в результате сооружения насыпей, выемок и систем поверхностного водоотвода. Реализация данного фактора может идти либо путем изменения режима ряда природных геологических процессов, либо в результате возникновения новых инженерно-геологических процессов.

Особенности гидротопы

Одним из ярко выраженных последствий создания новых геоморфологических форм в процессе строительства автомобильных дорог является *изменение поверхностного стока воды* как одной из составляющих *гидротопы* рассматриваемых ЭГС. Прежде всего насыпи, расположенные в определенной конфигурации, могут прерывать естественное движение воды по поверхности грунтового массива. В результате этого участки земель, находящиеся ниже насыпи, могут частично осушаться. На участках выше насыпи при грамотно спроектированном земляном полотне, как правило, не происходит переувлажнения благодаря установленной системе для отвода

поверхностных вод. Однако при нарушении работы этой системы могут возникать проблемы с переувлажнением прилегающих к дороге территорий или боковых площадок, что может привести к образованию заболоченных земель.

Воздействие на геологическую составляющую ЭГС вследствие изменения условий стока может оказаться заметным, если по тем или иным причинам возникнет застой воды. Чаще всего это происходит на равнинных участках.

Заметное изменение гидрологических условий может наблюдаться при строительстве дорог на болотах. В этом случае водопропускные сооружения обычно выносят на край болота с целью устройства их фундаментов на прочном грунте. Однако при наличии стока это сопряжено с возможностью некоторого подъема уровня воды в болоте с верховой стороны [27].

Наряду с поверхностным стоком при строительстве автомобильных дорог изменяется и режим грунтовых вод. Так, вскрытие водоносных горизонтов при устройстве выемок приводит к трансформации фильтрационных характеристик грунтов и перераспределению потоков подземных вод. Перехват потока грунтовых вод выемкой может вызвать дефицит питания нижележащих водоносных горизонтов. Необходимость устройства дренажных систем для стабилизации откосов и основания выемки приводит к локальному понижению уровня грунтовых вод (УГВ). Наиболее чувствительна к таким изменениям верховодка, залегающая в линзах, которая может быть полностью ликвидирована. В то же время строительство дорожных насыпей на торфяных основаниях без предварительного выторфовывания и с использованием малопроницаемых грунтов может привести к нарушению естественной циркуляции воды в торфяной залежи и, как следствие, к подъему УГВ.

Особенности экологической геодинамической функции

Строительство и эксплуатация ЭГС автотранспортного комплекса часто являются причинами возникновения и развития различных экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений, влияющих на *экологическую геодинамическую функцию* этих ЭГС. Среди таких процессов следует отметить водную эрозию, русловые процессы, выветривание, склоновые процессы, проседания поверхности территории из-за изменения напряженного состояния грунтов или суффозии и др. Например, при строительстве дорог изменение ландшафта и нарушение естественного стока воды могут привести к развитию водной эрозии. Особенно подвержены этому свежесформированные откосы дорожных выемок и насыпей. Их крутизна и недоуплотненность слагающего их грунта делают их уязвимыми. Проявлению эрозии могут



Рис. 7. Часть автомобильной дороги Р54 в Воложинском районе Минской области, которая была разрушена 30.05.2019 в результате водной эрозии из-за сильного ливня [28]

способствовать также вырубка леса в полосе отвода, корчевка пней, снятие почвенно-растительного слоя или его нарушение дорожными машинами, интенсивное выпадение атмосферных осадков, некачественная рекультивация нарушенных земель или ее отсутствие, проявления сопутствующих геологических процессов (выветривание, оползни, осыпи, оплывины и др.).

Водоотводные каналы также выступают в роли очагов интенсивной эрозии, особенно когда их продольные уклоны превышают допустимые или когда их сечения выбраны без должного обоснования. В результате таких недочетов каналы могут трансформироваться в овраги, что нередко наблюдается на участках строительства дорог, особенно там, где присутствуют лёссовидные грунты.

Местные грунтовые дороги, проложенные на территориях, подверженных эрозии, после размывов и образования промоин нередко выходят из строя и требуют ремонта практически каждый год. Это часто приводит к расширению овражной сети.

Изменение гидрологического режима рек в процессе создания мостов может приводить к активизации донной и боковой эрозии. В результате этого страдают опоры мостов, поскольку их фундаменты подвергаются вскрытию из-за данных процессов. Строительство дорог в сильно пересеченной местности приводит к созданию глубоких выемок, обнажающих грунты, ранее защищенные от воздействия внешних факторов окружающей среды. Обнажившись, эти грунты начинают интенсивно выветриваться, и из-за крутизны откосов продукты их разрушения осыпаются вниз, загрязняя каналы и проезжую часть. Нередко в откосах глубоких выемок и высоких насыпей автомобильных дорог можно наблюдать оползневые процессы (рис. 8). Чаще всего откосы оползают по причине плохой организации поверхностного стока воды с дороги, отсутствия водоотводных канав, слабого укрепления или устройства более крутых откосов, которые используемый грунт не может обеспечить.

Существенные проблемы при эксплуатации автомобильных дорог возникают из-за процессов, связанных с изменениями условий тепло- и массопереноса в верхних слоях грунта. Эти процессы связаны прежде всего с условиями эксплуатации дороги в зимнее время, а также с устройством искусственной системы поверхностного водоотвода. Очистка снега с проезжей части зимой вызывает увеличение глубины промерзания. По данным наблюдений, глубина промерзания под проезжей частью в 1,5–2,5 раза больше, чем в поле. При небольшой высоте насыпи, а также в выемках в зону промерзания после устройства дороги окажутся вовлеченными слои, ранее находившиеся за ее пределами. Это может вызывать текстурные изменения в слоях под влиянием влаги при промерзании и морозном пучении [27].

В целом можно подчеркнуть, что автомобильные дороги тесно взаимосвязаны с грунтовыми массивами. По этой причине дорога как инженерное сооружение подвергается постоянному воздействию геологических процессов.

Особенности экологической геохимической функции

С функционированием ЭГС автотранспортных комплексов в Белоруссии связано также химическое загрязнение грунтов, поверхностных и подземных вод, что, в сущности, обуславливает *экологическую геохимическую функцию* рассматриваемых ЭГС. Особенно остро данная проблема стоит при эксплуатации автомобильных дорог, вдоль которых часто возникают литохимические (педохимические) и гидрогеохимические полиэлементные аномалии с широкой ассоциацией элементов-загрязнителей. Например, исследования А.В. Матвеева и др. [30] показали, что в Белоруссии вдоль автодорог покровные грунты чаще всего загрязнены такими элементами, как Zr, Pb, Mn, Cu, Ti, Ni, Cr, V, значительно реже Ba, P, B. Причем максимальное количество таких контаминантов приурочено к полосе 40–80 м от полотна дороги, а заметное загрязнение прослеживается в зоне до 300 м. При этом, как отмечают авторы работы [30], распределение техногенных примесей в придорожных полосах довольно неравномерное и на отдельных участках их содержание может достигать величин, приближающихся к предельно допустимым концентрациям и даже превышающих их. Указано также, что степень загрязнения грунтов коррелирует не столько с рангом дороги (международного, республиканского, местного значения), сколько с интенсивностью движения по ней.

Остро в стране стоит проблема засоления земель, прилегающих к автомобильным дорогам. Это происходит из-за активного применения противогололедных реагентов (ПГР) в зимний период [31]. Основным таким реагентом является техническая



Рис. 8. Оползень на новой объездной дороге г. Гродно, произошедший 04.07.2021: а – вид сбоку; б – вид сверху [29]

соль (галит), которая на 96–98% состоит из хлорида натрия. В ее состав также входят примеси нитратов, фосфатов и сульфатов натрия и кальция. Эта соль используется как в чистом виде, так и в смеси с песком, чаще всего в пропорции 1:1 [32]. Ситуация усугубляется тем, что на некоторых участках дорог количество вносимых ПГР в два раза и более превышает установленные нормы [33]. Такое чрезмерное использование этих реагентов, особенно в сочетании с другими факторами, связанными с эксплуатацией дорог, неизбежно приводит к загрязнению грунтов, поверхностных и подземных вод.

Помимо солей и тяжелых металлов, значительную угрозу для грунтов и водных объектов на территории Белоруссии представляют нефтепродукты. Основными источниками их попадания в грунтовые массивы и заключенные в них подземные воды являются: разливы топлива при транспортировке по дорогам; сточные воды от станций технического обслуживания и ремонта автомобилей; склады горюче-смазочных материалов на автотранспортных предприятиях; автозаправочные станции.

Хотя современные АЗС и оснащены герметичным оборудованием, что снижает риск утечек топлива под землю, количество проливов у топливораздаточных колонок и на площадках слива топлива остается высоким. По оценкам, на каждую тонну бензина приходится до 100 г пролитого топлива, а на тонну дизельного топлива – до 50 г [35]. Эти проливы, а также движение транспорта и атмосферные осадки приводят к значительному загрязнению поверхностного стока. Исследования, проведенные на АЗС в крупных городах, показали, что поверхностный сток может содержать от 1,2 до 28,7 мг/дм³ нефтепродуктов [34].

Загрязненный поверхностный сток оказывает особенно сильное воздействие на грунтовый массив в тех случаях,

когда отсутствует ливневая канализация и системы очистки сточных вод. Не все АЗС оборудованы закрытыми системами водоотведения и очистными сооружениями. Однако даже при их наличии часть загрязненного стока (от 10 до 30%) проникает в грунтовую толщу через незамощенные участки, газоны и трещины в дорожном покрытии [34].

Особенности техноатмосфера

Нормальное функционирование автомобильных дорог и транспортных средств как главных технических составляющих эколого-геологических систем автотранспортного комплекса Белоруссии во многом зависит от особенностей атмосфера и климата данных ЭГС – части атмосферы с динамическими погодно-климатическими факторами. Причиной этого является то, что количественные параметры погодных условий напрямую формируют конкретные инженерные проблемы. Суточные колебания температуры, особенности циклов замерзания и оттаивания оказывают серьезное разрушительное воздействие. Высокие температуры воздуха (+30...+35 °С), несмотря на их относительную редкость, способствуют деформации асфальтобетонного покрытия, вызывая размягчение вяжущего и образование колеи. В то же время низкие температуры делают материалы хрупкими, вызывая трещины в дорожном покрытии. Количество и интенсивность осадков определяют необходимость в эффективных системах дренажа и водоотвода, а также влияют на влажностный режим земляного полотна, что критически важно для его несущей способности [23]. Ветровые нагрузки сказываются на эрозии обочин, образовании и величине заносов снега. Все эти факторы ограничивают период активного строительства, требуя использования спе-

циальных технологий в неблагоприятные сезоны, и влияют на эксплуатационные характеристики дорог, их безопасность и долговечность.

Прогнозируемое отсутствие понижения минимальных температур воздуха до минус 35 °С и ниже к 2030–2040 гг., по данным НАН Белоруссии [35], хотя и снижает риски экстремальных морозов, но не отменяет необходимости учитывать другие, более частые, но менее интенсивные климатические воздействия, которые суммарно могут привести к значительному износу полотна автомобильных дорог. Важный момент, который часто упускается, заключается в том, что снижение экстремально низких температур не означает исчезновения проблем, связанных с морозом. Напротив, увеличение числа переходов через 0 °С становится еще более разрушительным фактором, требующим постоянного внимания к качеству материалов и проектирования автодорожного строительства.

Особенности техноэдафотоп

Почвы, находящиеся в сфере влияния эколого-геологических систем автотранспортного комплекса, классифицируются как техногенно измененные. Они представляют собой трансформированные под воздействием человеческой деятельности земельные ресурсы, в которых в определенной мере сочетаются характеристики почв горнодобывающих (при создании карьеров, валов, дамб и пр.) и селитебных территорий. С последними их объединяет не столько близость к населенным пунктам, сколько совокупность характерных общих признаков, таких как формирование почв на насыпных или перемешанных грунтах или культурном слое (например, при строительстве автотранспортных баз, предприятий придорожного сервиса и пр.); наличие в верхних слоях строительного, бытового и другого мусора; нейтральная или щелочная реакция среды; специфические физико-механические и другие свойства (например, высокая плотность, уплотненность, каменистость).

В зависимости от характера дневной поверхности, территории, занятые ЭГС автотранспортного комплекса, подразделяются на два основных типа – открытые (с частичным озеленением) и закрытые (застроенные и заасфальтированные) [36].

На открытых пространствах выделяют четыре основные категории поверхностных почвенно-грунтовых образований:

- 1) естественно-антропогенные почвы с поверхностными преобразованиями;
- 2) антропогенно глубоко измененные почвы;
- 3) молодые почвы, возникшие на обнажившихся или насыпных породах;

4) искусственно созданные почвоподобные образования (технозёмы), которые формируются при рекультивации территорий, пострадавших от различных аварий на транспорте (например, разливы опасных химических веществ, нефтепродуктов и пр.).

На территориях с асфальтовым покрытием второго типа под асфальтобетонным слоем или иным дорожным покрытием появляются особые образования – запечатанные грунты, в том числе экранозёмы³.

Естественно-антропогенные поверхностно-преобразованные почвы выделяются тем, что верхний слой почвы глубиной до 50 см подвергается повреждению, трансформации или обогащению внесенными материалами, тогда как средние и нижние горизонты сохраняют природную структуру. Их подразделение основывается на исходном типе почвы с добавлением первой части «техно-» (например, технодерновые, технодерново-подзолистые и др.). Такие почвы, как правило, встречаются в придорожных полосах автомагистралей.

Антропогенно глубоко преобразованные почвы включают механически и химически преобразованные почвы и технозёмы. Механически преобразованными называют почвы, которые подверглись сильным изменениям вследствие глубокого вскрытия, перемешивания и перестройки почвенного профиля (например, при выемках грунта для фундаментов зданий, прокладке коммуникаций, ландшафтных планировках и т.п.). В их составе отсутствуют естественные генетические почвенные горизонты.

Химически преобразованные почвы характеризуются морфологическими изменениями, вызванными воздействиями вредных химических веществ, приводящими к серьезному загрязнению и стратификации техногенных субстратов (примером являются почвы на территориях разлива нефтепродуктов при авариях). В этих почвах существенно меняются генетические горизонты, образуются новые слои, характерные для почвообразования с техногенным воздействием. Получившийся профиль может частично напоминать естественный, но чаще он представляет собой уникальное почвенно-техногенное образование без точных природных аналогов. В таком профиле меняются процессы миграции веществ, гумусообразования и другие почвенные процессы.

Молодые почвы, развивающиеся на техногенных субстратах, находятся на начальных стадиях формирования и встречаются на рыхлых или плотных природных или техногенных грунтах (наиболее ранние из них называют эмбриозёмами). Они имеют слабый, органогенный верхний слой мощностью менее 5 см, а их нижние горизонты формируются из естественных

³ В инженерно-геологическом контексте экранозёмы можно рассматривать как разновидность запечатанных грунтов, поскольку в инженерной геологии почвы относят к грунтам (прим. ред.).

Таблица 2. Средние показатели элементов загрязнителей (мг/кг сухого вещества) в почве лесных фитоценозов на различном удалении от дорожного полотна [32]

Расстояние от полотна дороги, м	Тяжелые металлы						Компоненты ПГР	
	Ni	Co	Pb	Cu	Zn	Cd	Cl ⁻	Na ⁺
0–5	24,1±1,85	2,7±0,50	12,6±0,82	38,9±3,58	34,0±2,70	>9,4±0,12	69,9±16,89	110,8±16,90
10	25,7±1,21	3,2±0,46	11,5±0,74	35,5±2,39	30,7±1,58	>9,4±0,05	58,2±11,41	61,2±16,21
20	27,3±1,84	3,7±0,45	11,9±0,72	33,8±2,08	30,4±1,72	>9,4±0,09	58,2±6,82	38,3±5,99
35	25,7±2,57	4,1±0,0,48	10,6±0,77	33,1±2,58	29,5±1,20	>9,4±0,04	52,1±8,67	18,0±3,50
150	25,1±2,12	3,8±0,47	12,2±0,78	34,9±2,54	28,4±0,12	>9,4±0,04	49,0±10,93	14,8±5,67
300	22,8±1,82	3,5±0,55	12,7±0,82	30,3±2,70	28,4±0,15	>9,4±0,05	39,2±2,49	5,0±0,37
Среднее значение	25,1	3,5	11,9	34,4	30,3	9,4	54,2	41,9

или насыпных грунтов (например, на откосах дорожных выемок и насыпей). По сути, эти почвы представляют собой литогенные почвоподобные образования [36].

Искусственные почвоподобные образования, называемые техноземами, создаются в результате технических мероприятий по восстановлению земель, пострадавших от человеческой деятельности. Они характеризуются наличием насыпных горизонтов (из природных или техногенных материалов) общей мощностью свыше 50 см и потенциально плодородного поверхностного слоя. В отличие от естественных почв, технозёмы не имеют генетической связи между составляющими их слоями и, следовательно, не обладают развитой системой генетических горизонтов, несмотря на выполнение почвенных функций.

Строительство дорог и транспортной инфраструктуры неизбежно ведет к тому, что почва и другие грунты оказываются запечатанными (см. рис. 6, 7). Почвы, погребенные под дорожными покрытиями (экранозёмы), подвергаются серьезным трансформациям: они становятся сильно уплотненными, нарушается их водный, тепловой и газовый баланс, а населяющие их микроорганизмы сталкиваются с дефицитом кислорода. Эти почвы лишены возможности получать питательные вещества извне, а их верхние слои часто повреждаются в процессе строительства. Удаление плодородного слоя перед прокладкой дороги с последующим его покрытием строительными материалами приводит к формированию соответствующих запечатанных грунтов [36].

Почвы эколого-геологических систем автотранспортного комплекса, как и грунты литотопов этих ЭГС, в значительной степени подвержены химическому загрязнению. Причем источники и элементный состав загрязнений в обеих средах практически идентичны.

В этом плане представляет интерес исследовательская работа А.В. Судника и соавторов [31–33], посвященная изучению загрязнения придорожных территорий в результате

эксплуатации и содержания автомобильных дорог в Белоруссии. В качестве объектов исследования ими были выбраны отдельные участки основных автомобильных магистралей: М1/Е30 «Брест (Козловичи) – Минск – граница Российской Федерации (Редьки)», М3 «Минск – Витебск», а также М9 «Минская кольцевая автомобильная дорога» (МКАД). Для мониторинга загрязнения придорожных зон компонентами противогололедных реагентов (ПГР) проводился отбор образцов почв (в двух горизонтах: 0–10 и 10–20 см), лесной подстилки и зеленых мхов на расстояниях 5, 10, 20, 35, 150, 300 м от МКАД (всего было отобрано 192 образца) с учетом рельефа участка (в выемке, на насыпи и при условных нулевых отметках естественной поверхности земли) согласно методическим рекомендациям [37]. Результаты этих исследований приведены в таблице 2.

Анализ результатов пространственного распределения привнесенных химических элементов, рассеянных в почве, снежном покрове и компонентах лесных фитоценозов, позволил авторам статьи [1] установить, что наибольший вред наносится, как правило, непосредственно опушечным территориям вдоль автодорог. Были определены три зоны с различной степенью накопления загрязняющих веществ: первая (0–5 м от полотна дороги) – с их концентрацией, превышающей средний уровень в 2 раза и более; вторая (5–35 м) – со средней концентрацией; третья (35–300 м) – с концентрацией ниже средней. Открытые территории способствуют переносу загрязнителей (главным образом с воздушным потоком) на более дальние от проезжей части участки. При отсутствии защитного древесного барьера вдоль полей содержание загрязнителей в снежном покрове зимой, а в растительности летом остается значительным даже на расстоянии 300 м от дороги, при этом максимальные концентрации наблюдаются в пределах первых 150 м.

По итогам проведенного анализа загрязнения почвенно-растительного покрова придорожных территорий комплексом

техногенных металлов и компонентов ПГР было установлено, что на этих территориях происходит долговременное накопление различных привнесенных химических элементов и формируются относительно четкие градиенты их содержания в пространстве [32].

ОСОБЕННОСТИ БИОТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ЭГС АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА БЕЛОРУССИИ

Особенности техномикробиоценоза

Микроорганизмы, включая простейших, водоросли, грибы, актиномицеты и бактерии, являются неотъемлемой частью техномикробиоценоза эколого-геологических систем автотранспортного комплекса Белоруссии, как и других подобных систем. Большая часть этих микроорганизмов обитает в почве, где они играют ключевую роль в поддержании экосистемных процессов и биогеохимических циклов. Однако, несмотря на их важность, микробное разнообразие рассматриваемых ЭГС в стране практически не изучено. Это затрудняет понимание влияния антропогенных факторов, связанных с автотранспортом, на микробное разнообразие и функции почвенных экосистем. Тем не менее исследования, проведенные И.Д. Свистовой, И.И. Корецкой, А.П. Щербак-ковым, Х.А. Джувеликян и другими [38, 39 и др.], предоставляют ценную информацию для характеристики особенностей видового состава и эколого-трофической структуры микробных сообществ (МСО) в контексте функционирования ЭГС автотранспортного комплекса.

В частности, И.Д. Свистовой с коллегами [38] на одном из отрезков (485–490 км) автомагистрали «Дон» были выполнены мониторинговые исследования автотранспортного загрязнения черноземной почвы на разных элементах рельефа в открытых придорожных экосистемах (ПЭС) на расстояниях 10, 50 и 100 м от полотна дороги, а также перед и за лесополосой продуваемого типа (10 и 30 м от трассы) в придорожных лесомелиоративных ландшафтах. Исследования включали анализ содержания тяжелых металлов (ТМ) и нефтепродуктов в почве, численности эколого-трофических групп почвенной микрофлоры, а также расчеты показателей структуры микробных сообществ, таких как коэффициент иммобилизации азота, коэффициент олиготрофности и соотношение мицелиальных форм. Результаты этих исследований сводятся к следующему.

В почвенном покрове накопление ТМ наблюдается только в верхнем его слое. На расстояниях 10 и 50 м почва является среднезагрязненной, а на расстоянии от дороги 100 м – сла-

бозагрязненной. Превышение ПДК на равнинных участках местности на расстоянии 10 м от дороги зафиксировано только для свинца (в 1,3 раза) и кадмия (в 1,2 раза). На пониженных участках рельефа, куда с дороги вместе с талой и дождевой водой сносится осевшая пыль, содержание подвижных форм данных металлов превышало ПДК в 1,3–1,5 раза на расстоянии 10 м и 1,2–1,3 раза на расстоянии 50 м. Для всех эколого-трофических групп почвенной микрофлоры наблюдалось закономерное снижение численности по мере приближения к автотрассе. Особенно заметны были эти изменения летом в период иссушения почвы. В качестве фонового уровня была выбрана точка забора проб на расстоянии 100 м от дороги в открытой придорожной экосистеме с ровным рельефом.

Степень снижения численности (антропоотолерантность) различных групп микроорганизмов сильно различалась. Наиболее чувствительными оказались бактерии-иммобилизаторы азота: их численность снижалась по сравнению с фоном в 4–4,5 раза на ровных участках и в 5,8–6,3 раза на пониженных участках рельефа. Грибы также показали существенное сокращение – в 2,5–3 раза и 3–4 раза соответственно. Содержание азотобактера (процент обрастания почвенных агрегатов) уменьшалось практически до нуля у кромки дороги. Более устойчивыми оказались бактерии-аммонификаторы, олигонитрофилы и актиномицеты: их численность снижалась у трассы в 1,5–2 раза по сравнению с фоном. Наиболее сильное угнетение микрофлоры всех эколого-трофических групп отмечалось в открытых придорожных экосистемах на пониженных участках рельефа. Численность микроорганизмов не достигала фонового уровня даже на расстоянии 100 м от трассы. Для устойчивых групп почвенной микрофлоры динамика роста численности с удалением от дороги была аналогична таковой на ровных участках, тогда как для более чувствительных групп наблюдалось отставание. Так, концентрация азотобактера на расстоянии 50 м практически не увеличивалась, а на удалении 100 м составляла лишь около 15% от фонового значения. Лесомелиоративные полосы выступили в роли наилучшего барьера для аэротехногенных выбросов автотранспорта: уже в 30 м за лесополосой численность всех групп почвенной микрофлоры соответствовала фоновой.

Различия в антропоотолерантности эколого-трофических групп почвенной микрофлоры привели к нарушению структуры микробного сообщества. Коэффициенты олиготрофности и соотношения мицелиальных микроорганизмов оставались стабильными во всех точках отбора, однако коэффициент иммобилизации азота у полотна дороги (1,4–1,6) существенно уступал фоновым значениям (3,1–3,7), особенно на участках пониженного рельефа – на расстоянии от автотрассы до 50 м.

Снижение этого показателя отражает уменьшение способности микрофлоры связывать и удерживать минеральный азот в биомассе, что ведет к нарушению азотного цикла в почве [38].

Активность почвенной микрофлоры оценивалась по уровню выделения из почвы углекислого газа и по потенциальной активности азотфиксации. Биологическая активность почвы у автомобильного полотна снижалась значительно сильнее: эмиссия CO_2 уменьшалась в 3–3,5 раза, а потенциальная активность азотфиксации – в 20 раз. На пониженных участках рельефа на расстоянии 100 м от дороги уровень азотфиксации составлял только около 12% от фонового значения. Это свидетельствует о том, что физиологическая активность микроорганизмов подавлялась гораздо сильнее, чем их численность.

Сокращение биоразнообразия микробного сообщества вблизи автомагистрали было продемонстрировано на примере почвенных микромицетов. Общая плотность типичных видов грибов у кромки дороги увеличивалась с 43% до 77–81% за счет вытеснения редких и случайных видов. Такая тенденция, известная как «концентрация доминирования», может привести к снижению устойчивости микробных сообществ техногенно измененной почвы, расположенной рядом с автотрассой [40].

Изменения касались и видового состава микроорганизмов. Некоторые грибы, типичные для фоновых участков, становились редкими или случайными у дороги, тогда как на почве около автодороги появлялись новые виды, нехарактерные для естественных почв. Значения коэффициента сходства между пробами, взятыми в 10 и 100 м от автотрассы, колебались в пределах 0,44–0,65. На пониженных участках рельефа число общих видов грибов уменьшалось, а различия в структуре микробиоценозов проявлялись особенно четко на уровне доминирующих видов.

Все типичные микромицеты авторы исследования [38] разделили на три группы:

- 1) виды, чувствительные к антропогенной нагрузке (преобладали на расстоянии 100 м, но отсутствовали вдоль полотна дороги);
- 2) устойчивые виды (их частота встречаемости оставалась стабильной);
- 3) виды-индикаторы загрязнения (их доминирующее положение резко возрастало вблизи автотрассы).

К первой группе относились фитопатогенные грибы (*Botrytis cinerea* и виды рода *Fusarium*), а также грибы, развивающиеся на растительных остатках (*Rhizopus stolonifer* и *Chaetomium* sp.). Снижение их встречаемости, вероятно, связано с угнетением растительности в придорожной зоне. Например, вид *Botrytis cinerea* исчезает уже на 100-метровом удалении от дороги, особенно на участках с пониженным рельефом.

Во вторую группу входят эвритопные виды с широким экологическим диапазоном. Однако на пониженных участках

рельефа наблюдались некоторые изменения состава: вид *Alternaria tenuis* из доминирующих переходил в категорию часто встречающихся, эпифит *Cladosporium herbarum* из группы устойчивых переходил в группу чувствительных видов, появлялись новые виды, такие как *Penicillium chrysogenum* (ранее – *P. notatum*) и *Trichoderma harzianum*.

Наибольший интерес для мониторинговых исследований представляет третья группа видов. Эти виды, ранее редкие или отсутствовавшие в фоновых черноземах, становились часто встречающимися в техногенно измененных почвах около автотрассы (пенициллы *P. funiculosum*, *P. terlikowskii*, *P. rugulosum*, аспергиллы *A. terreus*, *A. ochraceus*, *A. fumigatus* и *Paecilomyces farinosum*). На участках с пониженным рельефом численность этих видов возрастала, при этом *P. funiculosum* и *A. terreus* становились доминирующими в микробном сообществе.

Некоторые виды грибов, устойчивые к загрязнению, содержат темные пигменты, обладающие антиоксидантными свойствами, которые защищают их от неблагоприятных абиотических факторов, таких как высыхание, интенсивное солнечное излучение и радиоактивное облучение [41]. Другие устойчивые и индикаторные виды способны синтезировать токсины с антибиотическим, фунгицидным, фитотоксичным и зоотоксичным действием [42, 43]. По всей вероятности, именно такие особенности их метаболизма обеспечивают им преимущества в усиливающейся конкурентной борьбе с другими грибами в условиях техногенного загрязнения (явление, называемое некоторыми авторами метаболическим регулированием).

Исследование фитотоксических свойств почвы с использованием биотестов выявило, что формирование инициированного микробного сообщества стимулирует рост микроорганизмов, одновременно приводя к возрастанию фитотоксичности на 10–14%. Это указывает на существенный вклад микроорганизмов в развитие фитотоксикоза почвы. На расстоянии 10 м от автотрассы фитотоксичность превышала контрольный уровень в 10–15 раз для нативной почвы и в 3–5 раз для инициированного микробного сообщества, при этом фитотоксикоз почвы сохранялся на расстоянии до 50 м от трассы. В условиях пониженного рельефа местности фитотоксичность почвы в диапазоне 8–12% была зафиксирована даже на 100-метровом удалении. Примечательно, что в закрытых придорожных экосистемах за лесополосой на расстоянии 30 м от автотрассы токсические эффекты в почве отсутствовали [37].

Особенности технофитоценоза

Фитоценозы автомобильных дорог, находящиеся под непрерывным антропогенным прессом (включая кошение,

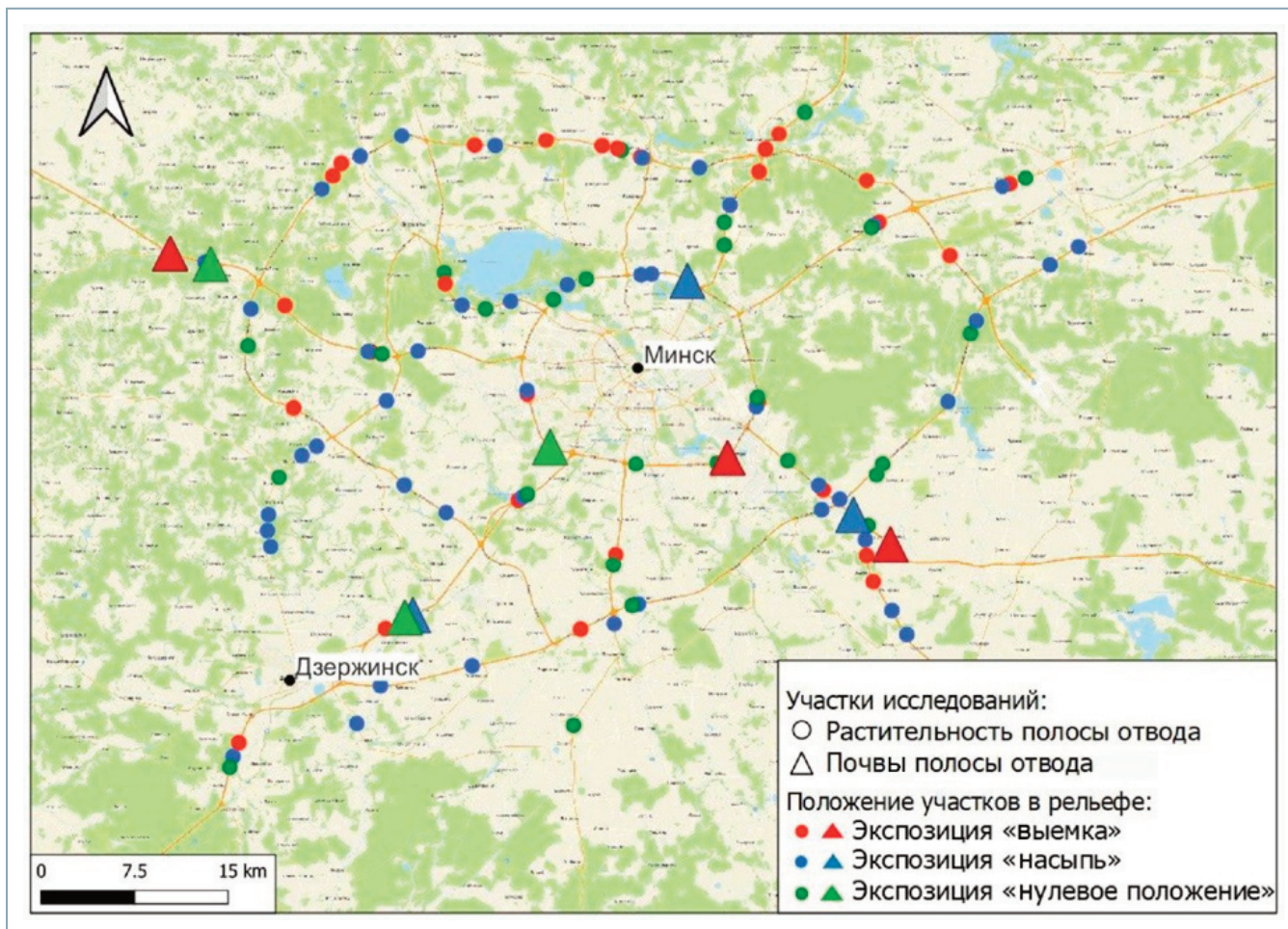


Рис. 9. Местоположение участков исследований придорожной травянистой растительности с учетом отбора образцов почвы [48]

эрозию почв, загрязнение поллютантами от автотранспорта и солевыми компонентами противогололедных реагентов) формируют экотон – своеобразную буферную зону между природными экосистемами, агрофитоценозами и искусственными объектами дорожной инфраструктуры. Морфология данной растительности определяется конструктивными особенностями полосы отвода, интенсивностью дорожного движения и характером мероприятий по уходу. Эти растительные сообщества характеризуются специфической сукцессионной стадией, доминирующими видами которой являются синантропы, что свидетельствует о регрессионных изменениях естественной растительности в условиях постоянного антропогенного воздействия [44].

Исследования Е.С. Шавалды с коллегами [45–48], посвященные эколого-флористическому анализу придорожной растительности в полосах отвода вдоль автомобильных дорог центральной части Белоруссии, выявили значительное видовое разнообразие. Работы проводились в 2021–2023 гг. в Минске в пределах МКАД и Минской области (рис. 9). В ходе исследований этими авторами было выполнено 635 геоботанических описаний на площадках размером 25–50 м² в зависимости от конфигурации полосы отвода (рис. 10). Для классификации

использовался метод Браун-Бланке, а обилие видов оценивалось по одноименной шкале [49, 50].

По итогам работ было выделено 3 класса растительных сообществ (*Polygono-Poetea annuae*, *Artemisietea vulgaris*, *Molinio-Arrhenatheretea*), 4 порядка, 6 союзов, 11 ассоциаций, 19 вариантов и 2 безранговых сообщества.

Класс *Polygono-Poetea annuae* представлен антропоотолерантными синантропными фитоценозами вдоль участков полосы отвода с сильным уплотнением, эрозией и перегревом почвенного покрова. Сообщества в основном представлены низкорослыми синантропными видами, стойкими к вытаптыванию и уплотнению интенсивно вымываемого грунта, что подтверждается единственной обнаруженной ассоциацией *Polygonetum arenastri* данного класса [47]. Диагностические виды класса *Polygono-Poetea annuae* (согласно литературным источникам для Белоруссии): *Lolium perenne*, *Plantago major*, *Polygonum arenastrum*, *Trifolium repens*, *Lepidium ruderales*, *Poa annua*, *Taraxacum officinale*, *Potentilla anserina* [47, 51].

Класс *Artemisietea vulgaris* представлен в основном синантропными видами с высокой долей двулетников и многолетников. Сообщества данного класса встречаются в секторах 2–3 (4) на участках всех экспозиций (см. рис. 9, 10) и в

секторе 1 на участках с плотной дерниной⁴. Для синтаксонов данного класса характерно доминирование высокорослых травянистых растений на богатых почвах, что подтверждается их преимущественным распространением в кюветах насыпей и выемок (см. рис. 9, 10) за счет частого отсутствия периодического сезонного кошения вдоль автодорог, смыва грунтово-почвенных материалов с откосов и их накоплением в кюветах. В состав класса входят 4 ассоциации и 2 безранговых сообщества. Диагностические виды класса *Artemisietea vulgaris*: *Artemisia vulgaris*, *Elytrigia repens*, *Tanacetum vulgare*, *Oenothera biennis*, *Artemisia absinthium*, *Carduus crispus*, *Cirsium vulgare*, *Arrhenatherum elatius*, *Dactylis glomerata* [47, 51].

Класс *Molinio-Arrhenatheretea* характерен для участков полосы отвода с наибольшей сохранностью напочвенного покрова и разнообразием видов. Для этого класса типичны свойства постоянно скашиваемого луга, пастбища и вторичной растительности, развивающейся под постоянным антропогенным прессом на развитых почвах. Он представлен шестью ассоциациями. Диагностические виды данного класса: *Achillea millefolium*, *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Festuca arundinacea*, *Scorzoneroideis autumnalis* (ранее – *Leontodon autumnalis*), *Poa pratensis*, *Deschampsia cespitosa*, *Festuca rubra*, *Rumex crispus* [52].

Обобщая полученные результаты, авторы работ [45–48] приходят к выводу, что сообщества классов *Polygono-Poetea annuae* и *Artemisietea vulgaris* характерны для наиболее нарушенных участков полос отвода, при этом *Polygono-Poetea annuae* ассоциируется преимущественно с участками с выраженным развитием эрозионных процессов и высокой плотностью почвенного субстрата. В противоположность этому, класс *Molinio-Arrhenatheretea* включает в себя большинство фитоценозов с относительно сохраненным напочвенным покровом. Основу этих фитоценозов составляют виды, часто используемые в травосмесях (например, *Bromopsis inermis*, *Dactylis glomerata*, *Elytrigia repens*, *Festuca arundinacea*, *Festuca pratensis*, *Festuca rubra*, *Lolium perenne*, *Poa pratensis*), а также индикаторы нерегулярного ухода – виды, указывающие на чрезмерную или недостаточную периодичность покоса и проблемы с водным режимом (*Calamagrostis epigeios*, *Conyza canadensis*, *Solidago canadensis*, *Phragmites australis*, *Phalaroides arundinacea*). Доминирование инвазивного золотарника канадского (*Solidago canadensis*) в некоторых сообществах свидетельствует о негативных изменениях придорожной растительности при отсутствии надлежащего ухода со стороны дорожных служб и подчеркивает значительную роль автодорог в распространении чужеродных видов, которые представляют угрозу для местных экосистем.

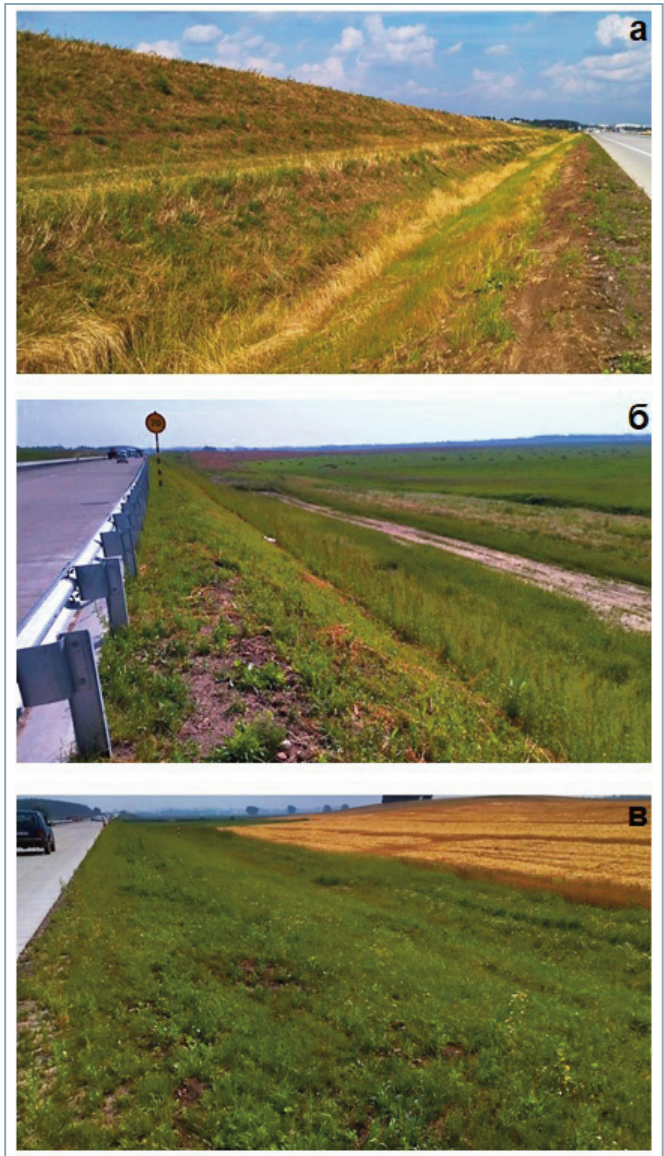


Рис. 10. Типичные конфигурации полос отвода вдоль автомобильных дорог Минской области: а – выемка, б – насыпь, в – нулевое положение [45]

Важным фактором произрастания придорожных фитоценозов является химическое загрязнение тяжелыми металлами и соевыми компонентами ПГР (ионами натрия и хлора). Типичными признаками поражения растений высокими концентрациями ТМ являются:

- снижение активности ферментов дыхания и фотосинтеза, поступления ряда веществ в клетки и ткани растений;
- задержка роста;
- повреждение корневой системы и ее хлороз (при наличии кадмия в почве в концентрациях 1–13 мг/кг);
- снижение фотосинтеза и транспирации;
- хлороз листьев и стеблей;
- желтая пятнистость листьев с последующим некрозом;
- «уродливые» формы (морфологические аномалии) растений;

⁴ Вероятно, авторы имеют в виду следующую условную нумерацию секторов МКАД (1 (северный сектор): 0–14 км длины МКАД; 2 (восточный): 14–28 км; 3 (южный): 28–42 км); 4 (западный): 42–56 км (прим. ред.).

- задержка роста корней и молодых побегов (при содержании никеля в почве 30–100 мг/кг);
- снижение интенсивности дыхания и фотосинтеза;
- увеличение поступления кадмия и снижение количества цинка в тканях растений;
- увядание растений;
- темно-зеленая окраска листьев (при содержании в почве свинца 100–500 мг/кг);
- хлороз молодых листьев и побегов (при наличии цинка в почвенном покрове в концентрациях 140–250 мг/кг) [52, 53].

В структуре фитоценозов в условиях постоянного химического загрязнения наблюдается угнетение аборигенной растительности с формированием специфических сообществ нарушенных территорий с доминированием рудеральных (сорных и адвентивных) видов [54]. Изменение концентрации тяжелых металлов в почве приводит к дифференциации некоторых аборигенных видов [55]. Для двулетних и многолетних трав высокая загрязненность почв приводит к уменьшению биометрических параметров растений [56]. Следует отметить, что незначительное повышение концентрации ТМ в почве не всегда оказывает пагубное влияние на растительность: негативные эффекты проявляются только при превышении порогового уровня токсичности [57]. Определить воздействие ТМ на состав и структуру растительных сообществ вдоль дорог затруднительно из-за сложного взаимодействия различных элементов и невозможности учесть все природные и антропогенные факторы. Поэтому при оценке растительности придорожных территорий следует принимать во внимание вероятностную устойчивость фитоценозов к уровню химического загрязнения почв.

Весьма своеобразным является негативное воздействие солей на придорожные растения. Оно включает в себя как минимум две составляющие – осмотическую и токсическую [58]. Осмотическое действие солей проявляется в том, что они создают в почве условия, при которых растениям крайне сложно поглощать воду, даже если она присутствует. Это происходит из-за снижения водного потенциала почвы, что приводит к дефициту воды в тканях растений и нарушению их внутреннего водно-солевого обмена. Этот водный стресс усугубляется токсичностью солей: избыток ионов накапливается в клетках, вызывая их повреждение, что проявляется в виде участков некроза на хвое и стеблях, особенно при резком увеличении концентрации солей. Помимо этого, высокое содержание солей в почве приводит к ее подщелачиванию, что изменяет доступность питательных веществ для растений, делая их менее подвижными и затрудняя их усвоение корнями. Более того, избыток натрия, часто присутствующего в солевых смесях, ухудшает структуру почвы, вызывая диспергирование почвенных агрегатов. Это препятствует нормальному движению

воды и дренированию, за исключением песчаных почв. В результате чрезмерное применение смесей солей для борьбы с гололедом приводит к серьезным последствиям для зеленых насаждений, снижая их жизнеспособность и внешний вид в период вегетации [32, 59].

Особенности технозооценоза

Технозооценозы изучаемых эколого-геологических систем представлены как беспозвоночными, так и позвоночными животными. Данное разнообразие в значительной степени определяется особенностями функционирования технических подсистем ЭГС, а также характеристиками литотопа, эдафотопа и фитоценоза, описанными ранее.

Аналогично большинству природных, природно-техногенных и техногенных ЭГС, в исследуемых экосистемах доминируют беспозвоночные. К ним относятся насекомые (*Insecta*), кольчатые черви (*Annelida*), паукообразные (*Arachnida*), в том числе пауки (*Araneae*) и клещи (*Acari*), и брюхоногие моллюски (*Gastropoda*). Среди насекомых, играющих ключевую роль в функционировании данных ЭГС, выделяются представители отрядов *Coleoptera* (жуки), *Lepidoptera* (чешуекрылые), *Odonata* (стрекозы) и *Hymenoptera* (перепончатокрылые). Эти таксономические группы демонстрируют высокую степень адаптации к антропогенно измененным условиям и занимают важные экологические ниши в ЭГС автотранспортного комплекса.

Функциональная значимость беспозвоночных в экосистемах объектов автотранспортной инфраструктуры является существенной, поскольку они выполняют комплекс функций, направленных на поддержание экологического равновесия. Например, насекомые, такие как представители отрядов *Coleoptera* и *Hymenoptera*, активно участвуют в процессах деструкции органического вещества, что способствует улучшению физико-химических свойств почвы и поддержанию ее продуктивности. Кроме того, они выступают в качестве трофического ресурса для многих позвоночных животных, в частности птиц, обеспечивая тем самым межъярусные связи в пищевых сетях.

Кольчатые черви играют критически важную роль в процессах аэрации почвенного профиля и трансформации органических субстратов, что создает благоприятные условия для развития растительных сообществ в придорожных полосах. Их деятельность способствует формированию более резистентных экосистем, способных к адаптации к антропогенным воздействиям.

Пауки (практически все из которых являются хищниками) и клещи (некоторые из которых тоже хищники) регулируют численность других групп беспозвоночных, предотвращая их неконтролируемое размножение и тем самым поддерживая гомеостаз в экосистеме.

Брюхоногие моллюски, предпочитающие влажные биотопы, также вносят вклад в поддержание санитарного состояния экосистем. Их присутствие и динамика численности могут служить биоиндикаторами состояния экосистемы, поскольку изменения в их популяциях могут свидетельствовать о наличии нарушений в этой системе.

Ежегодно с приходом тепла в Белоруссии часто наблюдается удивительное природное явление – массовый вылет подёнок (*Ephemeroptera*), прозванных в народе метлицами за их «метельные» скопления. Они образуют огромные рои над автомобильными дорогами. Несмотря на короткую жизнь этих эфемерных насекомых (от нескольких часов до нескольких дней), их численность может быть настолько велика, что они способны забивать радиаторы автомобилей, вызывая остановку двигателей. Схожие проблемы на дорогах создают и другие назойливые насекомые, такие как комары (*Culicidae*) и мошки (*Simuliidae*) (рис. 11).

Среди позвоночных территории Белоруссии, экологически связанных с ЭГС автотранспортного комплекса, выделяют многих представителей основных групп животных. Здесь находят себе место земноводные и рептилии, птицы и млекопитающие. Например, из земноводных вблизи автомобильных дорог можно встретить все 11 видов лягушек и жаб, обитающих в республике. В стране выявлено около 500 мест, где эти животные совершают миграции через проезжую часть. Пик таких перемещений приходится на весенний период (в апреле – мае), когда земноводные направляются к водоёмам для размножения. Именно в это время они больше всего гибнут на дорогах, что приводит к существенному сокращению их популяций.

Из рептилий вблизи дорог Белоруссии часто можно встретить прыткую ящерицу (*Lacerta agilis*), живородящую ящерицу (*Zootoca vivipara*), веретеницу ломкую (*Anguis fragilis*), обыкновенного ужа (*Natrix natrix*), гадюку обыкновенную (*Vipera berus*).

Многочисленно видовое разнообразие птиц. В зонах влияния автотранспортных магистралей обитают как лесные виды, так и представители открытых лугово-полевых ландшафтов, а также водных и прибрежных зон. Присутствуют как гнездящиеся, так и перелетные формы.

Основу сообществ составляют виды европейского происхождения, характерные для широколиственных и смешанных лесов, принадлежащие следующим семействам: врановые (*Corvidae*), вьюрковые (*Fringillidae*), голубиные (*Columbidae*), дроздовые (*Turdidae*), завирушковые (*Prunellidae*), крапивниковые (*Troglodytidae*), мухоловковые (*Muscicapidae*), пищуховые (*Certhiidae*), поползневые (*Sittidae*), синицевые (*Paridae*), скворцовые (*Sturnidae*), славковые (*Sylviidae*), соколиные (*Falconidae*), стрижиные (*Apodidae*), трясогузковые (*Motacillidae*) и др.



Рис. 11. Атака автотранспорта насекомыми на трассе М6 «Минск – Гродно» в июне 2022 года [60]

В лесных массивах, прилегающих к автомобильным дорогам, часто встречаются такие виды, как пеночка-трещотка (*Phylloscopus sibilatrix*), пеночка-теньковка (*Phylloscopus collybita*), зяблик (*Fringilla coelebs*), большая синица (*Parus major*), лесной конек (*Anthus trivialis*), крапивник (*Troglodytes troglodytes*), лесная завирушка (*Prunella modularis*), обыкновенная кукушка (*Cuculus canorus*), пестрый дятел (*Dendrocopos major*), сойка (*Garrulus glandarius*) и многие другие.

На территориях вдоль крупных магистралей, особенно вблизи населенных пунктов, наблюдается высокая численность таких синантропных видов, как серая ворона (*Corvus cornix*), галка (*Corvus monedula*), грач (*Corvus frugilegus*), сорока (*Pica pica*), белый аист (*Ciconia ciconia*), воробей полевой (*Passer montanus*), воробей домовый (*Passer domesticus*). Там также велика численность таких птиц, связанных с сельскохозяйственными угодьями, как чекан луговой (*Saxicola*



Рис. 12. Лось на трассе М6 «Минск – Гродно» [62]

rubetra), чибис (*Vanellus vanellus*), жаворонок полевой (*Alauda arvensis*), овсянка обыкновенная (*Emberiza citrinella*) и др. Встречаются и хищные птицы: канюк обыкновенный (*Buteo buteo*), лунь болотный (*Circus aeruginosus*), лунь луговой (*Circus pygargus*) и др.

У водотоков и водоемов, расположенных вблизи автомобильных дорог, обитают представители околородно-болотного и прибрежно-водного экологических комплексов. Среди них выделяются: цапля серая (*Ardea cinerea*), лебедь-шипун (*Cygnus olor*), кряква (*Anas platyrhynchos*), чирок-трескунок (*Anas querquedula*), озерная чайка (*Larus ridibundus*), ласточка береговая (*Riparia riparia*), черныш (*Tringa ochropus*) и др. Широко распространены соловей восточный (*Luscinia luscinia*).

В целом следует отметить, что придорожные пространства территории Белоруссии являются ценными ресурсами для орнитофауны, предоставляя птицам необходимые условия для успешного гнездования: доступ к пищевым ресурсам, места для временного пребывания во время миграционных путей и укрытия от неблагоприятных погодных условий, особенно в зимний период.

Что касается млекопитающих, то в полосе отвода автомобильных дорог можно встретить как мелких грызунов (таких как полевки и мыши), так и более крупных представителей фауны (таких как лоси, олени, косули, лисы и др.).

Важно отметить, что животный мир в зонах влияния рассматриваемых ЭГС является частью сложных и многокомпонентных экосистем, которые сталкиваются с множеством вызовов. Автомобильные дороги серьезно нарушают жизнь диких животных, изменяя их привычные пути миграции, места обитания и даже поведение. Постоянное движение транспорта создает смертельную опасность, приводя к тому, что многие животные становятся жертвами дорожно-транспортных происшествий (ДТП), особенно в местах пересечения автомагистралей с миграционными путями.

Эта проблема особенно остро стоит для крупных млекопитающих, таких как лоси и олени, столкновения с которыми могут привести к их гибели и к серьезным последствиям для водителей (рис. 12). Согласно статистическим данным [61], наиболее неблагоприятными в отношении ДТП с участием диких копытных животных являются республиканские автомобильные дороги: М6 (Е30) «Минск – Гродно – граница Республики Польша (Брузги)»; М2 «Минск – Национальный аэропорт Минск»; М1 (Е30) «Брест (Козловичи) – Минск – граница Российской Федерации»; М4 «Минск – Могилев»; М5 «Минск – Гомель», М8 (Е95) «Граница Российской Федерации (Езерице) – Витебск – Гомель – граница Украины (Новая Гута)».

Значение сферы автомобильного транспорта в решении социально-экономических проблем Белоруссии

На современном этапе социально-экономического развития Белоруссии наблюдается устойчивый рост значимости автомобильной и дорожной инфраструктуры. Это обуславливает необходимость формирования высокоразвитой транспортной системы и совершенствования сферы обслуживания. Автомобильная отрасль является критически важным элементом современной экономики, поскольку ее эффективность напрямую влияет на производительность других промышленных секторов и, соответственно, на общее экономическое благосостояние государства.

Автомобильный транспорт обеспечивает львиную долю грузовых и пассажирских перевозок, выполняет широкий спектр производственных функций и активно используется в международной логистике. Его основные преимущества, такие как высокая маневренность, скорость и возможность осуществления прямых перевозок от отправителя к получателю, делают его незаменимым. Мобильность автотранспорта позволяет оперативно адаптироваться к динамике пассажиро- и грузопотоков.

Роль транспорта не ограничивается лишь перемещением грузов и пассажиров. Он оказывает активное воздействие на весь процесс расширенного воспроизводства, стимулируя экономическое, культурное и социальное развитие общества. Это делает транспортную отрасль одной из базовых в экономике.

Значение автомобильного транспорта в решении социально-экономических проблем Белоруссии подчеркивается существенным ростом автомобилизации. За период с 1997 по 2024 год общее количество автомобилей в стране увеличилось с 1,5 до 3,6 млн, а число личных автомобилей выросло с 1,1 до 3,2 млн, продемонстрировав рост более чем в 2,9 раза. В условиях такой высокой обеспеченности транс-

портными средствами, наличие хорошо развитой транспортной системы становится важным фактором привлечения населения, создает конкурентное преимущество для размещения производственных предприятий и обеспечивает интеграционный эффект.

Развитие транспортной инфраструктуры способствует расширению торговых связей, повышая конкурентоспособность страны и отдельных регионов. Этот процесс, как правило, синхронизируется с общим ростом экономики. Увеличение парка автомобильного транспорта и числа предприятий, обслуживающих его, также ведет к росту потенциальных рабочих мест.

Инвестиции в транспортную инфраструктуру традиционно рассматриваются как стимул для спроса, способствующий экономическому росту и вносящий вклад в развитие регионов, городских и сельских населенных пунктов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все компоненты ЭГС автотранспортного комплекса (как абиотические, так и биотические) обладают совокупностью

специфических характеристик, обусловленных антропогенным воздействием, которые необходимо учитывать при их систематизации, описании и анализе экологических функций литосферы.

Выявленные особенности ЭГС автотранспортного комплекса Белоруссии можно рассматривать как сходные с таковыми для аналогичных ЭГС в России, что необходимо учитывать при инженерно-экологических исследованиях и изысканиях в РФ. **и**

Работа выполнена в рамках: государственной тематики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Эколого-геологические системы: структура, многообразие, систематика и их анализ» (№ ЦИТИС 121042200089-3); научного направления «Закономерности формирования и функционирования эколого-геологических систем», утвержденного приказом ректора Витебского государственного университета имени П.М. Машиерова № 12-н от 17.02.2026.

Список литературы

1. Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2009. № 2. С. 48–52.
2. Галкин А.Н., Королев В.А. Классификация эколого-геологических систем Беларуси на основе учета особенностей литотопов и инженерно-хозяйственных объектов // Литасфера. 2023. № 1 (58). С. 98–109.
3. Королев В.А., Галкин А.Н. К разработке систематики эколого-геологических систем Белоруссии // Инженерная геология. 2023. Т. 18. № 2. С. 12–28. DOI: <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2023-18-2-12-28>.
4. Королев В.А., Галкин А.Н. Особенности природных эколого-геологических систем массивов глинистых грунтов Белоруссии // ГеоИнфо. 2023. Т. 5, № 9/10. С. 12–21. DOI: [10.58339/2949-0677-2023-5-9/10-12-21](https://doi.org/10.58339/2949-0677-2023-5-9/10-12-21).
5. Королев В.А., Галкин А.Н. Природные эколого-геологические системы массивов песчаных грунтов Белоруссии // Инженерная геология. 2023. Т. 18. № 4. С. 38–49. DOI: <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2023-18-4-38-49>.
6. Королев В.А., Галкин А.Н. Особенности эколого-геологических систем массивов торфяных грунтов Белоруссии // Инженерная геология. 2024. Т. 19. № 1. С. 20–40. DOI: <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2024-19-1-20-40>.
7. Королев В.А., Галкин А.Н. Особенности эколого-геологических систем массивов лёссовых грунтов Белоруссии // ГеоИнфо. 2024. Т. 6, № 1/2. С. 48–62. DOI: [10.58339/2949-0677-2024-6-1/2-48-62](https://doi.org/10.58339/2949-0677-2024-6-1/2-48-62).
8. Королев В.А., Галкин А.Н. Особенности лесохозяйственных эколого-геологических систем Белоруссии // ГеоИнфо. 2024. Т. 6, № 12. С. 6–19. DOI: [10.58339/2949-0677-2024-6-12-6-19](https://doi.org/10.58339/2949-0677-2024-6-12-6-19).
9. Королев В.А., Галкин А.Н. Особенности сельскохозяйственных эколого-геологических систем Белоруссии // Вестник МГТУ. 2025. Т. 28. № 1. С. 49–61.
10. Королев В.А., Галкин А.Н. Особенности горнопромышленных эколого-геологических систем Белоруссии // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2025. № 4. С. 3–24.
11. Королев В.А., Галкин А.Н. Структура и систематика эколого-геологических систем транспортно-коммуникационных комплексов // ГеоИнфо. 2025. Т. 7. № 3. С. 6–17. DOI: [10.58339/2949-0677-2025-7-3-6-17](https://doi.org/10.58339/2949-0677-2025-7-3-6-17).
12. Леонович И.И., Пупейко О.В. Сеть дорог Республики Беларусь как составляющая транспортно-логистической системы // Вестник Белорусского национального технического университета. 2009. № 6. С. 71–81.
13. Витченко А.Н., Антипова Е.А., Гузова О.Н. География. Глобальные проблемы человечества: учебное пособие для 11 класса учреждений общего среднего образования с русским языком обучения (с электронным приложением для повышенного уровня). Минск: Адукацыя і выхаванне, 2021. 247 с.
14. Павлова Е.И. Экология транспорта: учебник. М.: Транспорт, 2000. 248 с.

15. Графкина М.В., Михайлов В.А., Иванов К.С. Экология и экологическая безопасность автомобиля: учебник (2-е изд., испр. и доп.). М.: Форум: Инфра-М, 2024. 320 с.
16. Скобелев В.А., Ларионов М.В. Воздействие объектов автотранспортной инфраструктуры на природную среду и ресурсный потенциал ландшафтных компонентов // International agricultural journal. 2023. № 3. С. 636–646.
17. Никишин В.Н., Барыльникова Е.П. Обеспечение экологической безопасности автотранспортного комплекса: учебное пособие. Набережные Челны, 2019. 232 с.
18. Сайт Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь [электронный ресурс]. URL: <https://mintrans.gov.by/ru/>. Дата последнего обращения: 23.02.2026.
19. Транспортная система Беларуси // Википедия. Свободная энциклопедия [электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Транспортная_система_Беларуси#Автомобильная. Дата последнего обращения: 23.02.2026.
20. Беларусь в цифрах: статистический справочник. Минск: Нац. стат. ком-т Респ. Беларусь, 2025. 63 с.
21. Якубук Ю.П., Луговская И.С. Транспорт и логистика // Белорусская энциклопедия [электронный ресурс]. URL: <https://belarusenc.by/belarus/detail-article.php?ID=9223#auto>. Дата последнего обращения: 01.03.2026.
22. Сайт РУП «Белдорцентр» [электронный ресурс]. URL: <https://beldor.centri.by/2025/03/stata2025/>. Дата последнего обращения: 23.02.2026.
23. СН 3.03.04-2019. Автомобильные дороги. Минск: Минстройархитектуры, 2020. 55 с.
24. Галкин А.Н., Акулевич А.Ф., Павловский А.И., Галезник О.И. Техногенные грунты: учеб. пособие. Минск: Вышэйшая школа, 2020. 192 с.
25. Кидяев Э. Реконструкцию автодороги Р23 «Минск – Микашевичи» планируют завершить в ноябре 2021 года // Soligorsk-news.by [электронный ресурс]. URL: <https://soligorsk-news.by/rekonstrukciju-avtodorogi-r23-minsk-mikashevichi-planirujut-zavershit-v-nojabre-2021-goda/>. Дата последнего обращения: 01.03.2026.
26. Строительство грунтовых дорог // Веб-сайт ООО «Классик-Строй» [электронный ресурс]. URL: <https://ksstroi.ru/gruntovye-dorogi.html>. Дата последнего обращения: 01.03.2026.
27. Ипатов П.П., Строкова Л.А. Общая инженерная геология: учебник. Томск: Томский политех. ун-т, 2012. 365 с.
28. Разрушенную часть дороги в Воложинском районе восстановят к 3 июня // Sputnik.by [электронный ресурс]. URL: <https://sputnik.by/20190530/Razrushennuyu-chast-dorogi-v-Volozhinskom-rayone-vozstanovyat-k-3-iyunya-1041382339.html>. Дата последнего обращения: 02.03.2026.
29. В Гродно из-за ливней обрушилась часть новой дороги. На устранение последствий уйдет около недели // Grodnonews.by [электронный ресурс]. URL: https://grodnonews.by/news/vlast/v_grodno_iz_za_livney_obrushilas_chast_novoy_dorogi_html?ysclid=mlossb97se273318861. Дата последнего обращения: 02.03.2026.
30. Матвеев А.В., Бордон В.Е., Нечипоренко Л.А. Техногенное загрязнение покровных отложений вдоль автомобильных дорог на территории Беларуси // Вучоныя запіскі Брэсцкага ўніверсітэта. 2009. Вып. 5. Ч. 2. Прыродазнаўчыя навукі. С. 110–117.
31. Судник А.В., Новицкий Р.В. Воздействие автомобильных дорог на природно-растительные комплексы и животный мир Беларуси: состояние, реальные и потенциальные угрозы, мониторинг // Современные тенденции и направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений: матер. респуб. науч.-технич. конф., посвящ. 50-летию РДУП «БелдорНИИ», Минск, 25–26 октября 2012 г. Минск: БелдорНИИ, 2012. С. 223–228.
32. Судник А., Вознячук И., Дубовик Д. Загрязнение придорожных территорий в результате эксплуатации и содержания автомобильных дорог в Беларуси // Наука и инновации. 2023. № 1. С. 72–78. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-72-78>.
33. Судник А.В., Вознячук И.П. Последствия воздействия загрязнения придорожных территорий компонентами солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в лесных биогеоценозах // Лесной вестник. 2020. Т. 24, № 6. С. 83–93.
34. Беляев А.Ю. Оценка влияния автозаправочных станций (АЗС) на геологическую среду // Материалы Международной конференции студентов и аспирантов по фундаментальным наукам «Ломоносов». Вып. 4. М.: Изд-во МГУ, 2000. С. 178.
35. В Белгидромете рассказали, как изменение климата влияет на экономику Беларуси // Belta.by [электронный ресурс]. URL: <https://belta.by/economics/view/v-belgidromete-rasskazali-kak-izmenenie-klimata-vlijaet-na-ekonomiku-belarusi-586194-2023/>. Дата последнего обращения: 02.03.2026.
36. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: учебное пособие (под ред. Г.В. Добровольского). Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
37. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования) (5-е изд., перераб. и доп.). М., 1985. 351 с.
38. Свистова И.Д., Корецкая И.И., Щербаков А.П. Микробиомониторинг автотранспортного загрязнения чернозема в разных типах придорожных экосистем // Вестник ВГУ. Сер.: География, Геоэкология. 2005. № 2. С. 107–114.
39. Щербаков А.П., Свистова И.Д., Джувеликян Х.А. Биомониторинг загрязнения почвы газовыми выбросами автотранспорта // Экология и промышленность России. 2001. № 3. С. 26-29.
40. Марфенина О.Е. Микробиологические аспекты охраны почв. М.: Изд-во МГУ, 1991. 118 с.
41. Жданова Н.Н., Василевская А.И. Меланинсодержащие грибы в экстремальных условиях. Киев: Наукова думка, 1988. 207 с.

42. Мирчинк Т.Г. Почвенная микология. М.: Изд-во МГУ, 1988. 220 с.
43. Билай В.И. Основы общей микологии. Киев: Выща школа, 1989. 392 с.
44. Харитонцев Б.С., Попова Е.И. Особенности видового состава растительности придорожных фитоценозов // Современ. проблемы науки и образования. 2017. № 5. Дата последнего обращения: 02.03.2026. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26905>.
45. Шавалда Е.С. Таксономический состав и экологическая характеристика придорожной флоры (на примере автомобильных дорог г. Минска и Минской области) // Организмы, популяции и сообщества в трансформирующейся среде: сб. матер. XVII Междунар. науч. экологической конф., Белгород, 22–24 ноября 2022 г. (под ред. Ю.А. Присного). Белгород, 2022. С. 240–243.
46. Шавалда Е.С. Сегетально-рудеральный компонент придорожной растительности на примере автомобильных дорог центральной части Беларуси // Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века: матер. 22-й Междунар. науч. конф., Минск, 19–20 мая 2022 г., Междунар. гос. экол. ин-т им. А.Д. Сахарова Бел. гос. ун-та. Минск, 2022. Ч. 2. С. 212–214.
47. Шавалда Е.С., Голованов Я.М. Синтаксономия придорожной растительности города Минска и Минской области (Республика Беларусь) // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2024. Т. 18, № 4. С. 234–250.
48. Шавалда Е.С., Судник А.В., Юшин Н.С., Зиньковская И.И. Структура придорожных травянистых сообществ в условиях загрязненности почв тяжелыми металлами // Природные ресурсы. 2024. № 2. С. 68–77.
49. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie: Grundzüge der Vegetationskunde. Wien, N.Y.: Springer-Verlag, 1964. 865 p. (нем.).
50. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности: учебник. М.: Логос, 2002. 264 с.
51. Арепьева Л.А., Куликова Е.Я. Эколого-географические особенности синантропной растительности класса *Artemisietea vulgaris* в городах Минск и Курск // Науч. ведомости Белгор. гос. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2016. № 25 (246) С. 31–44.
52. Узаков З.З. Тяжелые металлы и их влияние на растения // Символ науки. 2018. № 1–2. С. 52–53.
53. Давыдова С.Л., Тагасов В.И. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века: учеб. пособие. М.: Изд-во РУДН, 2002. 140 с.
54. Панасенко Н.Н., Харин А.В., Ивенкова И.М., Куликова Е.Я. Сообщества растений трансформеров: ассоциация *Urtico dioicae-Heracleetum sosnowskyi* // Бюллетень Брянск. отделения Рус. ботан. общества. 2014. Т. 2. № 5. С. 48–53.
55. Косицин А.В., Алексеева-Попова Н.В., Игошина Т.И. Внутривидовая изменчивость металлоустойчивости в некоторых южноуральских популяциях *Aster alpinus* (Asteraceae) // Ботан. журн. 1985. Т. 70, № 8. С. 1084–1091.
56. Демич Ю.А. Содержание тяжелых металлов в объектах окружающей среды и состояние растительных популяций // Вестн. СГУ. 2006. № 7 (47). С. 45–53.
57. Парахонский А.П., Беркун А.В., Ткаченко А.В., Крылов В.П. Содержание токсических веществ в листьях деревьев – экологическая характеристика урбосистемы // Междунар. журн. эксперим. образования. 2011. № 3. С. 110–111.
58. Судник А.В., Яковлев А.П. О последствиях применения в качестве противогололедного реагента хлорида натрия на состояние насаждений вдоль улиц и дорог в г. Минске // Актуальные проблемы изучения и сохранения фито- и микобиоты: матер. IV Междунар. науч.-практ. конф., приуроченной к 100-летию кафедры ботаники, Минск, 31 мая 2021 г., Биол. фак. БГУ (под ред. В.Н. Тихомирова и др.). Минск, 2021. С. 205–209.
59. Судник А., Вознячук И. О воздействии строительства и содержания автодорог на придорожную растительность // Наука и инновации. 2021. № 11. С. 34–41. DOI: <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2021-11-34-41>.
60. Атака насекомых 2022 – трасса М6 Минск-Гродно (Беларусь) // Pikabu.ru [электронный ресурс]. URL: https://pikabu.ru/story/ataka_nasekomyikh_2022_trassa_m6_minskgrodnobelarus_9164010?ysclid=mm3cqifh7a710635160. Дата последнего обращения: 02.03.2026.
61. Трассы республиканского значения, на которых происходят ДТП с участием диких животных // Belgosohota.by [электронный ресурс]. URL: <https://belgosohota.by/news/trassy-respublikanskogo-znachenija-na-kotoryh-proishodjat-dtp-s-uchastiem-dikih-zhivotnyh>. Дата последнего обращения: 02.03.2026.
62. Редкие кадры: лось выбежал перед авто и перепрыгнул бетонный забор на трассе М6 // Autogrodno.by [электронный ресурс]. URL: <https://autogrodno.by/news/29309-los-m6-pruzhok.html>. Дата последнего обращения: 02.03.2026.

References

1. Trofimov V.T. Ekologo-geologicheskaya sistema, yeyo tipy i polozheniye v strukture ekosistemy [Ecological-geological system, its types and position in the ecosystem structure] // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya. 2009. № 2. S. 48–52 (in Rus.).
2. Galkin A.N., Korolev V.A. Klassifikatsiya ehkologo-geologicheskikh sistem Belarusi na osnove ucheta osobennostei litotopov i inzhenerno-khozyaistvennykh ob"ektov [Classification of ecological-geological systems of Belarus on the basis of the characteristics of lithotopes and engineering-economic facilities] // Litasfera. 2023. № 1 (58). S. 98–109 (in Rus.).

3. Korolev V.A., Galkin A.N. K razrabotke sistematiki ehkologo-geologicheskikh sistem Belorussii [On the development of systematics of ecological-geological systems of Belarus] // *Inzhenernaya geologiya*. 2023. T. 18. № 2. S. 12–28. DOI: <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2023-18-2-12-28> (in Rus.).
4. Korolev V.A., Galkin A.N. Osobennosti prirodnykh ekologo-geologicheskikh si-stem massivov glinistykh gruntov Belorussii [Features of natural ecological-geological systems of clayey soil massifs in Belarus] // *Geoinfo*. 2023. T. 5, № 9/10. S. 12–21. DOI:10.58339/2949-0677-2023-5-9/10-12–21 (in Rus.).
5. Korolev V.A., Galkin A.N. Prirodnyye ekologo-geologicheskiye sistemy massivov peschanykh gruntov Belorussii [Natural ecological-geological systems of sandy soil massifs in Belarus] // *Inzhenernaya geologiya*. 2023. T. 18. № 4. S. 38–49. DOI: <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2023-18-4-38-49> (in Rus.).
6. Korolev V.A., Galkin A.N. Osobennosti ekologo-geologicheskikh sistem massivov torfyanykh gruntov Belorussii [Features of ecological-geological systems of peat soil masses in Belarus] // *Inzhenernaya geologiya*. 2024. T. 19. № 1. S. 20–40. DOI: <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2024-19-1-20-40> (in Rus.).
7. Korolev V.A., Galkin A.N. Osobennosti ekologo-geologicheskikh sistem massivov lessovykh gruntov Belorussii [Features of ecological-geological systems of loess soil massifs in Belarus] // *GeoInfo*. 2024. T. 6, № 1/2. S. 48–62. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-1/2-48-62 (in Rus.).
8. Korolev V.A., Galkin A.N. Osobennosti lesokhozyaystvennykh ekologo-geologicheskikh sistem Belorussii [Features of forestry ecological-geological systems of Belarus] // *GeoInfo*. 2024. T. 6, № 12. S. 6–19. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-12-6-19 (in Rus.).
9. Korolev V.A., Galkin A.N. Osobennosti sel'skokhozyaystvennykh ekologo-geologicheskikh sistem Belorussii [Features of agricultural ecological-geological systems of Belarus] // *Vestnik MGTU*. 2025. T. 28, № 1. S. 49–61 (in Rus.).
10. Korolev V.A., Galkin A.N. Osobennosti gornopromyshlennykh ekologo-geologicheskikh sistem Belorussii [Features of mining ecological-geological systems of Belarus] // *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*. 2025. № 4. S. 3–24 (in Rus.).
11. Korolev V.A., Galkin A.N. Struktura i sistematika ehkologo-geologicheskikh sistem transportno-kommunikatsionnykh kompleksov [Structure and systematics of ecological-geological systems of transport-andcommunication complexes] // *Geoinfo*. 2025. T. 7. № 3. S. 6–17. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-3-6-17 (in Rus.).
12. Leonovich I.I., Pupeyko O.V. Set' dorog Respubliki Belarus' kak sostavlyayushchaya transportno-logisticheskoy sistemy [Road network of the Republic of Belarus as a component of the transport and logistics system] // *Vestnik Belorusskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta*. 2009. № 6. S. 71–81 (in Rus.).
13. Vitchenko A.N., Antipova Ye.A., Guzova O.N. Geografiya. Global'nyye problemy chelovechestva: uchebnoye posobiye dlya 11 klassa uchrezhdeniy obshchego srednego obrazovaniya s russkim yazykom obucheniya (s elektronnyim prilozheniyem dlya povyshennogo urovnya) [Global problems of humanity: a teaching aid for the 11th grade of general secondary education institutions with the Russian language of instruction (with an electronic appendix for an advanced level)]. Minsk: Adukatsyya i vykhavanne, 2021. 247 s. (in Rus.).
14. Pavlova E.I. Ekologiya transporta: uchebnyk [Ecology of Transport: a textbook]. M.: Transport, 2000. 248 s. (in Rus.).
15. Grafkina M.V., Mikhaylov V.A., Ivanov K.S. Ekologiya i ekologicheskaya bez-opasnost' avtomobilya: uchebnyk [Ecology and Environmental Safety of a Vehicle: a textbook]. 2-ye izd., ispr. i dop. M.: Forum: Infra-M, 2024. 320 s. (in Rus.).
16. Skobelev V.A., Larionov M.V. Vozdeystviye ob"yektov avtotransportnoy infra-struktury na prirodnyuyu sredu i resursnyy potentsial landshaftnykh komponentov [Impact of motor transport infrastructure facilities on the natural environment and resource potential of landscape components] // *International agricultural journal*. 2023. № 3. S. 636–646. (in Rus.).
17. Nikishin V.N., Baryl'nikova E.P. Obespecheniye ekologicheskoy bezopasnosti avtotransportnogo kompleksa: uchebnoye posobiye [Ensuring Environmental Safety of the Motor Transport Complex: a textbook]. Naberezhnyye Chelny, 2019. 232 s. (in Rus.).
18. Sait Ministerstva transporta i kommunikatsiy Respubliki Belarus'. URL: <https://mintrans.gov.by/ru>. Data poslednego obrashcheniya: 23.02.2026 (in Rus.).
19. Transportnaya_sistema_Belarusi [Transport system of Belarus] // *Vikipediya. Svobodnaya entsiklopediya [elektronnyi resurs]*. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Transportnaya_sistema_Belarusi#Avtomobil'naya. Data poslednego obrashcheniya: 23.02.2026 (in Rus.).
20. Belarus' v tsifrakh: statisticheskiy spravochnik [Belarus in Figures: statistical handbook]. Minsk: Natsional'nyy statisticheskiy komitet Resp. Belarus', 2025. 63 s. (in Rus.).
21. Yakubuk Yu.P., Lugovskaya I.S. Transport i logistika [Transport and Logistics] // *Belorusskaya entsiklopediya [elektronnyi resurs]*. URL: <https://belarusenc.by/belarus/detail-article.php?ID=9223#railway>. Data poslednego obrashcheniya: 22.01.2026. (in Rus.).
22. Sait RUP «Beldortsentr» [elektronnyi resurs]. URL: <https://beldor.cent.r.by/2025/03/stata2025/>. Data poslednego obrashcheniya: 23.02.2026. (in Rus.).
23. SN 3.03.04-2019. Avtomobil'nyye dorogi [Highways]. Minsk: Minsstroyarkhitektury, 2020. 55 s. (in Rus.).
24. Galkin A.N., Akulevich A.F., Pavlovskii A.I., Galeznik O.I. Tekhnogennyye grunty: uchebnoye posobiye [Technogenic Soils: a textbook]. Minsk: Vyshehishaya shkola, 2020. 192 s. (in Rus.).

25. Kidyayev E. Rekonstruktsiyu avtodorogi R23 «Minsk – Mikashevichi» planiruyut za-vershit' v noyabre 2021 goda [Reconstruction of the P23 “Minsk – Mikashevichi” highway is planned to be completed in November 2021] // Soligorsk-news.by [elektronnyy resurs]. URL: <https://soligorsk-news.by/rekonstrukciju-avtodorogi-r23-minsk-mikashevichi-planirujut-zavershit-v-noyabre-2021-goda/>. Data poslednego obrashcheniya: 01.03.2026. (in Rus.).
26. Stroitel'stvo gruntovykh dorog [Construction of unpaved roads] // OOO «Klassik-Stroy» [elektronnyy resurs]. URL: <https://ksstroi.ru/gruntovye-dorogi.html>. Data poslednego ob-rashcheniya: 01.03.2026. (in Rus.).
27. Ipatov P.P., Strokova L.A. Obshchaya inzhenernaya geologiya: uchebnik [General Engineering Geology: a textbook]. Tomsk: Tomskiy politekh. un-t, 2012. 365 s. (in Rus.).
28. Razrushennuyu chast' dorogi v Volozhinskom rayone vosstanovyat k 3 iyunya [The destroyed section of the road in the Volozhin district will be restored by June 3] // Sputnik.by [elektronnyy resurs]. URL: <https://sputnik.by/20190530/Razrushennuyu-chast-dorogi-v-Volozhinskom-rayone-vosstanovyat-k-3-iyunya-1041382339.html>. Data poslednego obrashcheniya: 02.03.2026. (in Rus.).
29. V Grodno iz-za livney obrushilas' chast' novoy dorogi. Na ustraneniye posled-stviy uudet okolo nedeli [In Grodno, part of a new road collapsed due to heavy rains. It will take about a week to repair the damage] // Grodnonews.by [elektronnyy resurs]. URL: https://grodnonews.by/news/vlast/v_grodno_iz_za_livney_obrushilas_chast_novoy_doro-gi_html?ysclid=mlossb97se273318861. Data poslednego obrashcheniya: 02.03.2026 (in Rus.).
30. Matveyev A.V., Bordon V.E., Nechiporenko L.A. Tekhnogennoye zagryazneniye po-krovnykh otlozheniy vdol' avtomobil'nykh dorog na territorii Belarusi [Technogenic pollution of bed deposits along highways in Belarus] // Vuchonnyya zapiski Brestskaga univ'ersiteta. 2009. Vyp. 5. Ch. 2. Pryrodaznachyya navuki. S. 110–117 (in Rus.).
31. Sudnik A.V., Novitskiy R.V. Vozdeystviye avtomobil'nykh dorog na prirodno-rastitel'nyye komplekсы i zhivotnyy mir Belarusi: sostoyaniye, real'nyye i potentsial'nyye ugrozy, monitoring [Impact of highways on natural and plant complexes and fauna of Belarus: status, real and potential threats, monitoring] // Sovremennyye tendentsii i napravleniya stroitel'stva, remon-ta i sodержaniya avtomobil'nykh dorog i iskusstvennykh sooruzheniy: mater. respub. nauch.-tekhnich. konf., posvyashch. 50-letiyu RDUP “BeldorNII”, Minsk, 25–26 okt. 2012 g., BeldorNII. Minsk, 2012. S. 223–228 (in Rus.).
32. Sudnik A., Voznyachuk I., Dubovik D. Zagryazneniye pridorozhnykh territoriy v rezul'tate ekspluatatsii i sodержaniya avtomobil'nykh dorog v Belarusi [Pollution of roadside areas as a result of operation and maintenance of highways in Belarus] // Nauka i innovatsii. 2023. № 1. S. 72–78. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-72-78> (in Rus.).
33. Sudnik A.V., Voznyachuk I.P. Posledstviya vozdeystviya zagryazneniya pridorozhnykh territoriy komponentami solevykh reagentov na ekologicheskoye sostoyaniye pochvy i rasteniy v lesnykh biogeotsenozakh [Consequences of the impact of roadside pollution by components of salt reagents on the ecological state of soil and plants in forest biogeocenoses] // Lesnoy vestnik. 2020. T. 24, № 6. S. 83–93 (in Rus.).
34. Belyayev A.Yu. Otsenka vliyaniya avtozapravochnykh stantsiy (AZS) na geologicheskuyu sredu [Assessment of the impact of gas stations on the geological environment] // Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii studentov i aspirantov po fun-damental'nyim naukam “Lomonosov”. Vyp. 4. M.: MGU, 2000. S. 178 (in Rus.).
35. V Belgidromete rasskazali, kak izmeneniye klimata vliyayet na ekonomiku Belarusi [In Belhydromet, they explained how climate change affects the economy of Belarus] // Belta.by [elektronnyy resurs]. URL: <https://belta.by/economics/view/v-belgidromete-rasskazali-kak-izmenenie-klimata-vlijaet-na-ekonomiku-belarusi-586194-2023/>. Data poslednego obrashcheniya: 02.03.2026 (in Rus.).
36. Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokof'yeva T.V. Antropogennyye pochvy: genezis, geografiya, rekul'tivatsiya: uchebnoye posobiye [Anthropogenic Soils: Genesis, Geography, Reclamation: a textbook] / pod red. G.V. Dobrovol'skogo. Smolensk: Oykumena, 2003. 268 s. (in Rus.).
37. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniya) [Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)] (5 ye izd., pererab. i dop.) M., 1985. 351 s. (in Rus.).
38. Svistova I.D., Koretskaya I.I., Shcherbakov A.P. Mikrobiomonitoring avto-transportnogo zagryazneniya chernozema v raznykh tipakh pridorozhnykh ekosistem [Microbiomonitoring of vehicle pollution of chernozem in different types of roadside ecosystems] // Vestnik VGU. Seriya: Geografiya, Geoekologiya. 2005. № 2. S. 107–114 (in Rus.).
39. Shcherbakov A.P., Svistova I.D., Dzhuvelikyan Kh.A. Biomonitoring zagryazneniya pochvy gazovymi vybrosami avtotransporta [Biomonitoring of soil pollution by gas emissions from vehicles] // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2001. № 3. S. 26-29 (in Rus.).
40. Marfenina O.E. Mikrobiologicheskiye aspekty okhrany pochv [Microbiological Aspects of Soil Protection]. M.: MGU, 1991. 118 s. (in Rus.).
41. Zhdanova N.N., Vasilevskaya A.I. Melaninsoderzhashchiye griby v ekstremal'nykh usloviyakh [Melanin-Containing Fungi in Extreme Conditions]. Kiyev: Naukova dumka, 1988. 207 s. (in Rus.).
42. Mirchink T.G. Pochvennaya mikologiya [Soil Mycology]. M.: MGU, 1988. 220 s. (in Rus.).
43. Bilay V.I. Osnovy obshchey mikologii [Fundamentals of General Mycology]. Kiyev: Vyshcha shkola, 1989. 392 s. (in Rus.).
44. Kharitontsev B.S., Popova E.I. Osobennosti vidovogo sostava rastitel'nosti pridorozhnykh fitotsenozov [Peculiarities of the Species Composition of Vegetation in Roadside Phytocenoses] // Sovrem. problemy nauki i obrazovaniya. 2017. № 5. Data poslednego obrashcheniya: 02.03.2026. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26905> (in Rus.).

45. Shavalda E.S. Taksonomicheskiy sostav i ekologicheskaya kharakteristika pri-dorozhnoy flory (na primere avtomobil'nykh dorog g. Minska i Minskoy oblasti) [Taxonomic composition and ecological characteristics of roadside flora (using the roads of Minsk and the Minsk region as an example)] // Organizmy, populyatsii i soobshchestva v transformiruyushcheyse srede: sbornik mater. XVII Mezhdunar. nauch. ekologicheskoy konf., Belgorod, 22–24 noyabrya 2022 g. (Pod red. Yu.A. Prisnogo). Belgorod, 2022. S. 240–243. (in Rus.).
46. Shavalda E.S. Segetal'no-ruderal'nyy komponent pridorozhnoy rastitel'nosti na primere avtomobil'nykh dorog tsentral'noy chasti Belarusi [Segetal-ruderal component of roadside vegetation using the roads of the central part of Belarus as an example] // Sakharovskiye chteniya 2022 goda: ekologicheskiye problemy XXI veka: mater. 22-y Mezhdunar. nauch. konf., Minsk, 19–20 maya 2022 g.: Mezhdunar. gos. ekol. institut imeni A.D. Sakharova Bel. gos. un-ta. Minsk, 2022. Ch. 2. S. 212–214 (in Rus.).
47. Shavalda E.S., Golovanov Ya.M. Sintaksonomiya pridorozhnoy rastitel'nosti goroda Minska i Minskoy oblasti (Respublika Belarus') [Syntaxonomy of Roadside Vegetation of Minsk and Minsk Region (Republic of Belarus)] // Fitoraznoobraznye Vostochnoy Evropy. 2024. T. 18. № 4. S. 234–250 (in Rus.).
48. Shavalda E.S., Sudnik A.V., Yushin N.S., Zin'kovskaya I.I. Struktura pridorozhnykh travyanistykh soobshchestv v usloviyakh zagryaznenosti pochv tyazhelymi metallami [Structure of roadside grassy communities under conditions of soil pollution with heavy metals] // Prirodnyye resursy. 2024. № 2. S. 68–77 (in Rus.).
49. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie: Grundzüge der Vegetationskunde. Wien; N.Y.: Springer-Verlag, 1964. 865 p. (in German)
50. Mirkin B.M., Naumova L.G., Solomeshch A.I. Sovremennaya nauka o rastitel'nosti: uchebnik [Modern Science of Vegetation: a textbook]. M.: Logos, 2002. 264 s. (in Rus.).
51. Arep'yeva L.A., Kulikova Ye.Ya. Ekologo-geograficheskiye osobennosti sinantropnoy rastitel'nosti klassa Artemisietea vulgaris v gorodakh Minsk i Kursk [Ecological-geographical features of synanthropic vegetation of the class Artemisietea Vulgaris in the cities of Minsk and Kursk] // Nauchnye vedomosti Belgor. gos. un-ta. Ser.: Yestestv. nauki. 2016. № 25 (246) S. 31–44 (in Rus.).
52. Uzakov Z.Z. Tyazhelyye metally i ikh vliyaniye na rasteniya [Heavy metals and their impact on plants] // Simvol nauki. 2018. № 1–2. S. 52–53 (in Rus.).
53. Davydova C.L., Tagasov V.I. Tyazhelyye metally kak supertoksikanty XXI veka: ucheb. posobiye [Heavy Metals as Supertoxicants of the 21st Century: a textbook]. M.: Izd-vo RUDN, 2002. 140 s. (in Rus.).
54. Panasenko N.N., Kharin A.V., Ivenkova I.M., Kulikova E.Ya. Soobshchestva rasteniy transformerov: assotsiatsiya Urtico dioicae-Heracleetum sosnowskyi [Transformer plant communities: Urtico dioicae-Heracleetum sosnowskyi association] // Byulleten' Bryansk. otdeleniya Rus. botan. obschestva. 2014. T. 2. №5. S. 48–53 (in Rus.).
55. Kositsin A.V., Alekseyeva-Popova N.V., Igoshina T.I. Vnutripopulyatsionnaya izmenchivost' metalloustoychivosti v nekotorykh yuzhnoural'skikh populyatsiyakh Aster alpinus (Asteraceae) [Intrapopulation variability of metal tolerance in some South Ural populations of Aster alpinus (Asteraceae)] // Botan. zhurnal. 1985. T. 70. № 8. S. 1084–1091 (in Rus.).
56. Demich Yu.A. Soderzhaniye tyazhelykh metallov v ob"yektakh okruzhayushchey sredy i sostoyaniye rastitel'nykh populyatsiy [Content of heavy metals in environmental objects and the state of plant populations] // Vestnik SGU. 2006. № 7 (47). S. 45–53 (in Rus.).
57. Parakhonskiy A.P. Berkun A.V. Tkachenko A.V. Krylov V.P. Soderzhaniye toksicheskikh veshchestv v list'yakh derev'yev – ekologicheskaya kharakteristika urbosistemy [Content of toxic substances in tree leaves – ecological characteristics of the urban system] // Mezhdunar. zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya. 2011. № 3. S. 110–111 (in Rus.).
58. Sudnik A.V., Yakovlev A.P. O posledstviyakh primeneniya v kachestve protivogolodnogo reagenta khlorida natriya na sostoyaniye nasazhdeniy vdol' ulits i dorog v g. Minske [On the consequences of using sodium chloride as an anti-icing reagent on the condition of plantings along streets and roads in Minsk] // Aktual'nyye problemy izucheniya i sokhraneniya fito- i mikrobioty: mater. IV mezhdunar. nauch.-prakt. konf., priurochennoy k 100-letiyu kafedry botaniki, Minsk, 31 maya 2021 g., Biol. fak. BGU (pod red. V.N. Tikhomirova i dr.). Minsk, 2021. S. 205–209 (in Rus.).
59. Sudnik A., Voznyachuk I. O vozdeystvii stroitel'stva i soderzhaniya avtodorog na pridorozhnyuyu rastitel'nost' [On the impact of road construction and maintenance on roadside vegetation] // Nauka i innovatsii. 2021. № 11. S. 34–41. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2021-11-34-41> (in Rus.).
60. Ataka nasekomykh 2022 – trassa M6 “Minsk – Grodno” (Belarus') [Insect Attack 2022 – M6 “Minsk-Grodno” Highway (Belarus)] // Pikabu.ru [elektronnyi resurs]. URL: https://pikabu.ru/story/ataka_nasekomyikh_2022_trassa_m6_minskgrodno_belarus_9164010?ysclid=mm3cqjfh7a710635160. Data poslednego obrashcheniya: 02.03.2026. (in Rus.).
61. Trassy respublikanskogo znacheniya, na kotorykh proiskhodyat DTP s uchastiyem dikikh zhitovnykh [Highways of national significance where accidents involving wild animals occur] // Belgosohota.by [elektronnyi resurs]. URL: <https://belgosohota.by/news/trassy-respublikanskogo-znachenija-na-kotoryh-proishodjat-dtp-s-uchastiem-dikih-zhitovnyh>. Data poslednego obrashcheniya: 02.03.2026 (in Rus.).
62. Redkiye kadry: los' vybezhal pered avto i pereprygnul betonnyy zabor na trasse M6 [Rare footage: a moose runs out in front of a car and jumps over a concrete fence on the M6 highway] // Autogrodno.by [elektronnyi resurs]. URL: <https://autogrodno.by/news/29309-los-m6-pruzhok.html>. Data poslednego obrashcheniya: 02.03.2026 (in Rus.).

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ ЖУРНАЛА



Геотехническая лаборатория
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



ООО «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»



ООО «КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

АО «ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЙ»

СПОНСОРЫ ЖУРНАЛА



ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ООО НПП «ГЕОТЕК»



MALINISOFT



ПрогрессГео
ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ПРОГРЕССГЕО

EngGeo

Обработка и хранение результатов
инженерно-геологических
изысканий

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
«ENGGeo»



Казгеолаб
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ



ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ДЛЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ



АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ
ГРУНТОВ



РОССИЙСКОЕ ИНЖЕНЕРНОЕ ПО



ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ОСАДОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАСЫПЕЙ НА ОТТАИВАЮЩИХ ГРУНТАХ

Поступила 6.02.2026

Принята к публикации 25.04.2026

Опубликована 11.06.2026

ВАВРИНЮК Т.С.

Инженер-геотехник ООО «НИП-Информатика», г. Санкт-Петербург, Россия
sio@nipinfor.ru

ФЕДОРЕНКО Е.В.

Научный консультант ООО «НИП-Информатика», г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается решение по оптимизации проектирования земляного полотна транспортных сооружений на территориях распространения многолетнемерзлых грунтов. Автоматизация выполнения расчетов тепловых осадков под насыпями путем численного моделирования позволяет ускорить ввод данных за счет использования командной строки и выполнения расчетов для большого количества расчетных сечений. Тепловая осадка условно разделяется на осадку за счет изменения объема при таянии льда (осадка оттаивания) и осадку уплотнения под нагрузкой и определяется как сумма этих двух составляющих.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

многолетнемерзлые грунты; оттаивающие грунты; земляное полотно; тепловая осадка; численное моделирование; метод конечных элементов; оптимизация расчетов.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Вавринюк Т.С., Федоренко Е.В. Оптимизация расчетов осадков при проектировании насыпей на оттаивающих грунтах // Геоинфо. 2026. Т. 8. № 1. С. 40–47. DOI:10.58339/2949-0677-2026-8-1-40-47.

OPTIMIZATION OF SETTLEMENT CALCULATIONS IN THE DESIGN OF EMBANKMENTS ON THAWING SOILS

Received: 6.02.2026

Accepted for publication 25.04.2026

Published 11.06.2026

VAVRINYUK T.S.

Geotechnical engineer at NIP-Informatika LLC, Saint Petersburg, Russia
sio@nipinfor.ru

FEDORENKO E.V.

Scientific consultant at NIP-Informatika LLC, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

The article considers a solution for optimizing the design of transport infrastructure subgrades in permafrost areas. Automation of calculating thermal settlements under embankments using numerical modeling speeds up data entry through the use of a command-line interface and of calculations for a large number of cross-sections. Thermal settlement is conventionally divided into settlement due to volume change during ice thawing (thaw settlement) and compaction settlement under load, and is determined as the sum of these two components.

KEYWORDS:

permafrost soils; thawing soils; subgrade; thermal settlement; numerical modeling; finite element method; optimization of calculations.

FOR CITATION:

Vavrinyuk T.S., Fedorenko E.V. Optimizatsiya raschetov osadok pri proektirovanii nasypei na ottaivayushchikh gruntakh [Optimization of settlement calculations in the design of embankments on thawing soils] // Geoinfo. 2026. T. 8. № 1. S. 40–47. DOI:10.58339/2949-0677-2026-8-1-40-47 (in Rus.).

Введение

В условиях меняющегося климата особенно остро стоит вопрос обеспечения надежности земляного полотна на оттаивающем основании. Опыт проектирования участков Байкало-Амурской магистрали (БАМ) с 2020 года показывает, что во многих районах, где ранее была зафиксирована сплошная или островная мерзлота, теперь ее нет. Это обстоятельство требует практически повсеместного проектирования по второму принципу. Следовательно, возникает необходимость прогнозирования деформаций многолетнемерзлых грунтов при их оттаивании. Расчет тепловой осадки под насыпями стандартным методом, описанным в СП 25.13330.2020, может быть выполнен в программе численного моделирования SiO 2D как в одномерной, так и в двухмерной постановке. Инструментарий программы позволяет задействовать командную строку для автоматизации и сокращения времени на выполнение расчетов. Для проверки реализации данного типа расчетов результаты, полученные в программе, сравниваются с соответствующими значениями, вычисленными вручную по СП 25.13330.2020.

Проблема проектирования земляного полотна в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов

Обзор состояния земляного полотна БАМ по прошествии десятилетий после строительства, анализ ситуации и примеры решений приведены в статье [1]. Ее авторы отмечают, что проблемы деформаций земляного полотна все еще актуальны. Одной из причин является увеличение осевых нагрузок и обращение поездов увеличенной массы.

Аналогичное мнение высказывают авторы статьи [2] – о том, что в зоне залегания высокотемпературных грунтов под основанием земляного полотна образуются чаши протаивания глубиной более 2 м, несмотря на применение первого принципа при сооружении земляного полотна. Для выполнения прогноза и решения теплофизических задач разработана программа Freeze-Cold, с помощью которой в этом исследовании сделана попытка учесть влияние инфильтрации воды на изменение теплопроводности для подтверждения факта деградации кровли мерзлоты.

При проектировании земляного полотна требуется выполнить расчетное обоснование принятых решений, для чего проводят

теплотехнические и геотехнические расчеты. Основными проблемами являются получение исходных данных и совместные теплотехнические и деформационные расчеты. В статье [3] уделяется внимание исходным данным для программ, позволяющих производить расчеты осадок сооружений. В этой работе выделены два методических подхода к компрессионным испытаниям в зависимости от условий оттаивания:

1) плоскопараллельный – наиболее соответствующий естественному процессу оттаивания для условий одномерной задачи;

2) всесторонний – предполагающий допущение всестороннего оттаивания, но при этом более практичный.

По результатам экспериментальных исследований, осадка при всестороннем оттаивании на 5–20% больше, чем при плоскопараллельном. Наибольшая разница характерна для суглинки, а для песка условия оттаивания практически не влияют на значения осадок. Отличия обусловлены неравномерностью распределения напряжений в грунте в процессе оттаивания и влиянием мерзлого ядра, что было установлено экспериментально и подтверждено численным моделированием [3].

Как отмечает в своей статье [4] С.А. Кудрявцев, сложные задачи совместного теплофизического расчета и установления напряженно-деформированного состояния (НДС) в массиве не могут быть решены аналитически. В указанной работе подчеркивается, что аналитическая расчетная оценка НДС для случая «промерзание – оттаивание грунта» затруднена даже при одномерном действии процессов. Для двух- и трехмерных задач, особенно при совместном расчете системы «промерзающее (оттаивающее) основание – сооружение», необходимость применения численных методов является очевидной. Программа Termoground, разработанная С.А. Кудрявцевым, И.И. Сахаровым и В.Н. Пармоновым для выполнения совместных расчетов, не является коммерческим продуктом и недоступна для проектных организаций. Стоит отметить, что использование этой программы требует высокой квалификации пользователя – возможно, поэтому расчеты в ней производят только автор исследования [4] и его коллеги.

Решение, выполненное в работе [5], показало, что осадка оттаивающих грунтов с учетом динамического воздействия больше, чем при статическом нагружении. Авторы статьи [5], со ссылкой на ГОСТ 56353-2022, указывают, что модуль деформации, полученный в условиях динамического нагружения, на 35% больше, чем для условий статического испытания. А при расчете осадки используется динамический модуль деформации, полученный на основании методики И.В. Прокудина, который меньше, чем статический, что и приводит к увеличению значения осадки. Вероятно, на основе результатов испытаний следовало бы получать не динамический модуль деформации (E_d), а уменьшенное значение модуля деформации за счет

учета виброползучести (E_{red}). Но и в этом случае решение такой сложной задачи, как учет динамического воздействия поездов на оттаивающие грунты, не будет корректным. Во-первых, модуль деформации не является константой, а зависит от уровня напряжений, которые в основаниях насыпей изменяются по глубине. Во-вторых, по мере удаления от источника колебаний изменяется амплитуда и одно динамическое испытание не может обеспечить получение данных для всего грунтового основания.

В зарубежной практике используются сложные специальные модели грунтов. Например, в программном комплексе PLAXIS есть модель Frozen-and-unfrozen. Возможности модели позволяют решить смешанную термогидромеханическую задачу взаимодействия. Однако применение этой модели на практике является весьма непростым. Она требует большого набора данных для ее задания (25 параметров). При этом теоретические предпосылки, положенные в основу модели, существенно отличаются от принятых в отечественной практике. Например, эффективные напряжения вычисляются не по принципу К. Терцаги, а на основании теории неполностью водонасыщенного поведения грунтов по А. Бишопу. Для расчетов по этой теории необходимо задавать кривые водоудерживающей способности грунтов, получение которых не освещается в нормативных документах, да и в литературе на русском языке информации об этом практически нет. Теплофизические параметры грунта необходимо вводить для твердого компонента, а модель за счет использования данных о водонасыщении, заданных через кривую водоудерживающей способности, определит параметры для грунта в целом. Это означает, что ввод данных параметров грунта по СП 25.13330-2020 будет неправильным и приведет к ошибкам расчета [6, 7]. Таким образом, несмотря на теоретическую пригодность подобной модели для решения задач проектирования, ее практическое применение весьма затруднительно в связи с отсутствием теоретической базы на русском языке, отсутствием нормативных документов по определению исходных данных и сложностями работы пользовательской модели в программном комплексе (нет отладки, ошибки не задокументированы).

Доступным для практики проектирования решением остается отдельный расчет: сначала выполняется теплотехнический прогноз на заданное время, а затем осуществляется расчет НДС и тепловой осадки в соответствии с положениями нормативных документов.

Постановка задачи

Расчет тепловой осадки производится по СП 25.13330.2020 [8] путем послойного суммирования произведения мощности слоя и относительной деформации оттаивающего грунта.

При этом относительная деформация (δ_{th}) складывается из двух составляющих – коэффициента оттаивания (A_{th} , д. ед.), характеризующего относительную осадку грунта при оттаивании в условиях отсутствия внешней нагрузки, и деформации при уплотнении грунта после оттаивания, рассчитываемой с помощью коэффициента сжимаемости (m_{th} , кПа⁻¹). Соответственно, расчет тепловой осадки будет состоять из двух частей:

$$S_{th} = \sum_{i=1}^n (A_{th,i}) \cdot h_i + \sum_{i=1}^n (m_{th,i} \cdot \sigma_{zg,i}) \cdot h_i = \sum_{i=1}^n \delta_{th,i} \cdot h_i,$$

где n – число выделенных слоев грунта; h_i – толщина i -го слоя оттаивающего грунта, м; $A_{th,i}$ – коэффициент оттаивания, д. ед.; $m_{th,i}$ – коэффициент сжимаемости i -го слоя грунта, кПа⁻¹; $\sigma_{zg,i}$ – вертикальное напряжение от собственного веса грунта в середине i -го слоя грунта; $\delta_{th,i}$ – относительная деформация i -го слоя грунта, д. ед.

Указанные характеристики оттаивающих грунтов необходимо устанавливать по результатам полевых испытаний мерзлых грунтов горячим штампом или по данным лабораторных исследований по специально разработанной методике испытаний мерзлых грунтов при оттаивании в компрессионных условиях [9].

Для предварительных расчетов обычно используются обобщенные данные, накопленные за долгие годы для основных видов грунтов конкретного региона криолитозоны. Кроме того, многими исследователями были предложены корреляционные зависимости для расчетов тепловых осадок на основе физических свойств грунтов [10, 11, 12]. Однако все они являются приближенными и, как правило, ограничиваются определенным видом грунта. Это связано с тем, что осадки при оттаивании обусловлены многими факторами, не поддающимися количественному определению.

Вычисление тепловой осадки ручным способом занимает много времени, поскольку необходимо выполнять несколько расчетов – определение напряжений, вычисление первой части осадки из-за протаивания, вычисление второй части осадки из-за уплотнения (в том числе путем расчета консолидации) для каждого слоя. В реальных условиях проектирования такая задача весьма трудоемка. Наиболее перспективным и в то же время закрывающим текущую необходимость в получении результатов геотехнических расчетов является метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в российской программе SiO 2D [13].

Сегодня строительная отрасль ориентирована на цифровизацию, что достигается в первую очередь путем автоматизации процессов [14]. Применительно к рассматриваемой задаче автоматизация возможна. Для этого необходимо организовать получение исходных данных о геологическом строении по скважинам, положении кровли многолетнемерзлых

пород, мощности сезонно-талого слоя, высоте насыпи путем выгрузки из программ проектирования плана и профиля. Эти данные в виде цифр могут быть обработаны посредством электронных таблиц типа Excel и преобразованы в команды для создания расчетных схем в SiO 2D. Наиболее простым вариантом является расчет при постановке одномерной задачи в соответствии с теоретическими представлениями действующих нормативных документов из доцифровой эпохи. С помощью командной строки в программе будет построена расчетная схема по скважине, заданы уровень грунтовых вод (при его наличии) и высота насыпи. По имеющимся данным об изменении положения кровли многолетнемерзлых грунтов будет задана область протаивания.

С помощью команд создаются необходимые стадии вычислений и выполняется расчет, результатом которого являются величина тепловой осадки и, при необходимости, время консолидационного уплотнения талого слоя. Кроме того, последовательность команд может быть такой, что выполнение десятков и даже сотен расчетов для выбранных пикетов будет происходить автоматически, с записью полученных данных в память компьютера и сохранением каждого расчетного файла. После этого достаточно извлечь результаты и таким образом получить ведомость осадок по длине трассы.

Метод решения задачи

Для решения задачи требуется определить необходимые исходные данные и последовательность расчета. Сначала необходимо смоделировать исходное мерзлое состояние грунтов, после чего приложить нагрузку от веса насыпи (для варианта отсыпки в зимний период). Следующие стадии расчета позволят определить тепловую осадку. Величина относительной деформации от протаивания A_{th} задается в программе напрямую. Для этого используется специальная возможность задания относительной деформации каждому слою (рис. 1, б). Таким образом, каждый слой получит соответствующую осадку. Особенностью этого расчета является отсутствие зависимости от напряженного состояния.

На следующей стадии необходимо приложить собственный вес грунта с учетом взвешивающего воздействия воды. При необходимости задача может быть решена путем расчета консолидации, то есть с вычислением порового давления и времени его рассеивания, за которое будет реализована вторая часть осадки за счет уплотнения. Следует отметить, что решение такой задачи достаточно сложное. Оно описано в работе [15]. Эта стадия также имеет свою особенность: для корректного учета уже приложенных напряжений от веса насыпи необходимо задействовать специальную процедуру перераспределения напряжений в конечных элементах.

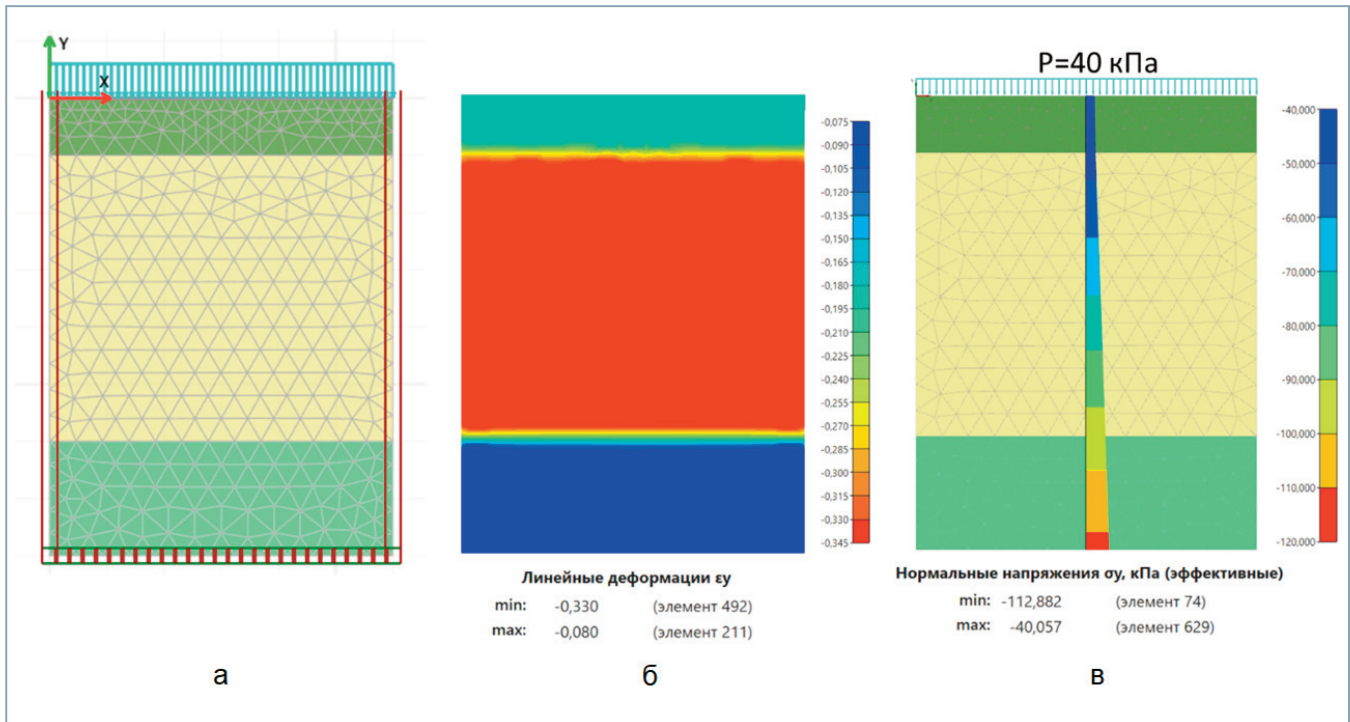


Рис. 1. Конечноэлементная модель в программе SiO 2D (а); заданный по слоям коэффициент оттаивания A_{th} (б); эпюра вертикальных напряжений от веса насыпи по глубине (в)

Таблица. Характеристики грунтов, слагающих рассматриваемый участок

Параметр	Торф	Суглинок	Песок
Удельный вес в естественном состоянии, кН/м ³	10	20	18
Естественная влажность (W_c), %	600	80	12
Коэффициент оттаивания (A_{th}), д. ед.	0,18	0,33	0,08
Относительная деформация при оттаивании (δ_{th}), д. ед.	0,40	0,38	0,085

Кроме того, решение задачи может быть выполнено в двухмерной постановке (для условий плоской деформации). При этом насыпь может быть задана как в виде трапециевидальной нагрузки (для строгого соответствия нормативным документам и возможности расчета несущей способности основания), так и в виде грунтового тела для расчета устойчивости, в том числе с учетом транспортной нагрузки.

Пример расчета тепловой осадки в одномерной постановке в программе SiO 2D

На восточном участке БАМ проектируется насыпь из гравийно-галечниковых грунтов высотой 2 м на высокотемпературных многолетнемерзлых грунтах по второму принципу. Грунтовый разрез основания представлен следующими грунтами: торф (мощностью 0,5 м); суглинок заторфованный (0,7 м); песок мелкий (1,5 м). Прогнозируемая на основе вы-

полненных теплотехнических расчетов глубина протаивания грунтов основания (h_{th}) составляет 4,0 м. Характеристики грунтов представлены в таблице.

Суммарная осадка грунтов основания в пределах прогнозируемой глубины протаивания при использовании данных таблицы и приведенной в настоящей статье формулы: $S_{th}=1,235$ м. Первая составляющая этой величины за счет осадки оттаивания: $S_{th}(A_{th})=0,995$ м. Вторая составляющая за счет осадки уплотнения: $S_{th}(m_{th})=0,240$ м.

На рисунке 1 показаны: расчетная схема, заданная величина относительной деформации от протаивания (A_{th}) и эпюра вертикальных напряжений в основании от веса насыпи.

При расчете осадки за счет уплотнения под весом грунта в качестве входного параметра в программе используется одометрический модуль деформации (E_{oed} , кПа), который рассчитывается в соответствии с величиной коэффициента сжимаемости m_{th} (как его обратная величина). Так, для суглинка $m_{th}=0,000714$ кПа⁻¹; $E_{oed}=1/0,000714=1400$ кПа.

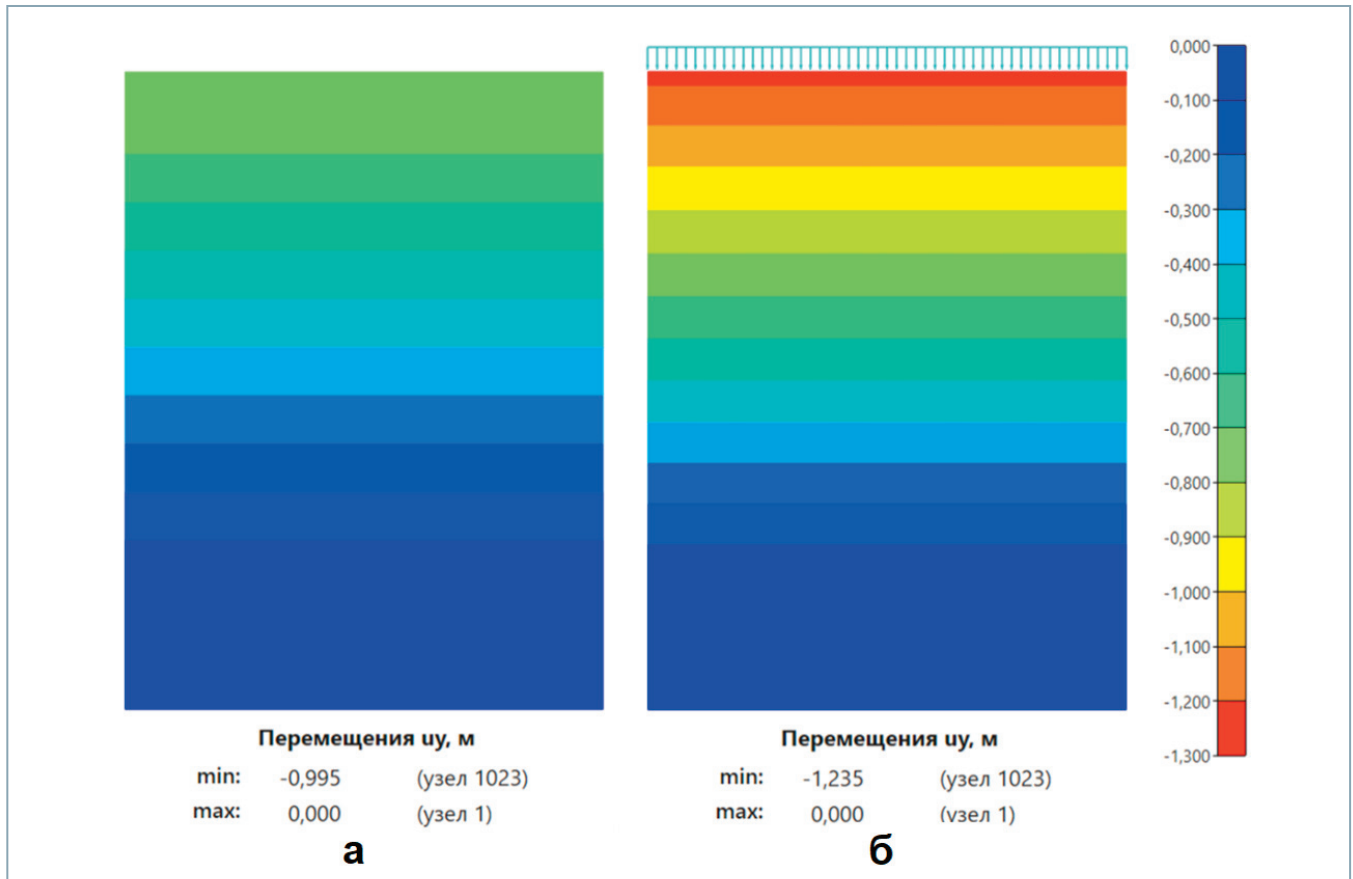


Рис. 2. Результаты расчетов осадки: а – за счет протаивания; б – за счет протаивания и уплотнения (общей тепловой осадки)

Значения коэффициента сжимаемости i -го слоя грунта ($m_{th,i}$) можно рассчитать с помощью приведенной в статье формулы по данным таблицы и соответствующим средним вертикальным напряжениям в грунтовых слоях.

По результатам численного моделирования рассматриваемого примера, осадка из-за протаивания составила 0,99 м, осадка за счет уплотнения получилась равной 0,24 м (рис. 2).

Сопоставление возможностей применения предлагаемого подхода в одномерной постановке и двухмерного численного моделирования

Результаты расчетов в программе и по аналитическим зависимостям [8] совпадают. Однако в представленном примере была использована простая линейно-деформируемая модель без критериев прочности. В действительности уплотнение грунта имеет нелинейный характер и требует использования других моделей, например модели компрессионного сжатия, для которой необходимо иметь результаты испытаний в одометре. В настоящее время ведется разработка специальной модели для расчета тепловой осадки, учитывающей обе составляющие деформации.

Преимущество предлагаемого подхода заключается в его универсальности: задача определения осадки насыпи при

оттаивании решается в одномерной постановке полностью в автоматизированном режиме, что существенно ускоряет работу проектных подразделений. Но при этом возможности численного моделирования позволяют решать эту задачу более реалистично, с учетом нестабилизированного состояния и консолидации, в том числе на основании трехслойной модели, изложенной в работе [15]. Кроме того, геотехническая модель является цифровым двойником объекта и позволяет:

- 1) назначать критерии мониторинга;
- 2) корректировать модель по результатам мониторинга и выполнять их анализ.


Выводы

Проектирование насыпей транспортных сооружений в районах распространения многолетнемерзлых грунтов в условиях изменений климата приводит к необходимости использования второго принципа с допущением оттаивания. Решение совместной температурной и механической задачи с учетом влияния отепляющего действия воды относится к разряду сложнейших и требует не только высокой квалификации исполнителя, но и наличия достаточных, полных и качественных исходных данных. Даже решение одной только теплофизической задачи требует калибровки расчетной схемы до начала

основного прогнозного расчета на основании термометрических наблюдений в годовом цикле, что на практике встречается не всегда.

Геотехнические расчеты позволяют оценивать правильность назначения принципа проектирования, прогнозировать деформации во времени и определять эффективность противодеформационных мероприятий. Любые грунтовые основания являются сложными системами, требующими особого внимания и подхода при проектировании сооружений. Многолетнемерзлые грунты требуют внимания вдвойне. Как показывает опыт, применение сложных моделей поведения грунта далеко не всегда бывает корректным, что связано с существенными различиями в подходах к расчетам в отечественной и зарубежной практике. Доступным решением пока остается

упрощенный подход, прописанный в нормативных документах, который позволяет использовать линейно-деформируемую модель грунта и одномерную постановку задачи, что дает возможность получать результаты, сопоставимые с данными расчетов ручным способом.

Численное моделирование в двухмерной постановке дает возможность исключить часть допущений ручных расчетов и решать задачу с большей достоверностью, в том числе использовать нелинейную зависимость между напряжениями и деформацией и учитывать упрочнение в процессе консолидации. Для выполнения большого количества расчетов рекомендуется использовать командную строку в программе SiO 2D, что позволяет автоматизировать процесс расчета тепловой осадки. 

Список литературы

1. Жданова С.М., Нератова О.А., Пиотрович А.А. Земляное полотно на подземных льдах и основаниях из льдистых грунтов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2020. № 4 (55). С. 65–73.
2. Исаков А.Л., Моисеева И.С., Гудкова И.Н. Обоснование конструктивных особенностей земляного полотна из дренирующих грунтов в криолитозоне с помощью теплотехнических расчетов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 1 (73). С. 95–103.
3. Котов П.И., Роман Л.Т., Царапов М.Н. Влияние условий оттаивания и уплотнения на деформационные характеристики оттаивающих грунтов // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2017. № 1. С. 58–63.
4. Кудрявцев С.А. Расчет процесса промерзания и оттаивания по программе Termoground // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2004. Т. 1. № 4. С. 83–84.
5. Святогорова А.В. Колос И.В., Кузнецова Д.Р., Вальцева Т.Ю. Расчет осадки оттаивающих многолетнемерзлых грунтов земляного полотна при действии динамической нагрузки // Бюллетень результатов научных исследований (БРНИ). 2025. № 3. С. 124–134.
6. Bui T., Casarella A., Di Donna A., Brinkgreve R.B.J. Advanced thermo-hydro-mechanical modelling features for practical applications in energy geotechnics // Proceedings of the 17th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Reykjavik, 2019. Vol. 10.
7. Bishop A.W., Blight G.E. Some aspects of effective stress in saturated and partly saturated soils // Geotechnique. 1963. Т. 13. № 3. С. 177–197.
8. СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М.: Минстрой России, 2020.
9. ГОСТ 12248.10-2020. Определение характеристик деформируемости мерзлых грунтов методом компрессионного сжатия (с поправками от 13.07.2023). М.: Стандартинформ, 2020.
10. Роман Л.Т. Механика мерзлых грунтов. М.: Наука/Интерпериодика, 2002. 425 с.
11. Киселев М.Ф. Теория сжимаемости оттаивающих грунтов под давлением. Л.: Стройиздат (Ленинградское отделение), 1978. 176 с.
12. Царапов М.Н., Котов П.И., Волохов С.С., Мотенко Р.Г., Пустовойт Г.П. Обобщение экспериментальных и теоретических исследований физико-механических свойств грунтов Центральной Якутии: монография / под общ. ред. С.А. Новицкой. М.: КДУ, 2020.
13. Руководство пользователя SiO 2D // sio2d.ru. URL: https://sio2d.ru/user_manual/; https://help.sio2d.ru/user_manual/2025_2/ru_ru/index.html (дата последнего обращения: 17.09.2025).
14. Половникова Н.А. Цифровизация в строительстве в России // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 12-2. С. 102–105.
15. Вавринюк Т.С. Оценка устойчивости и деформативности земляного полотна железных дорог в условиях распространения мерзлоты: автореф. дис. ... канд. тех. наук. М., 2013. 24 с.

References

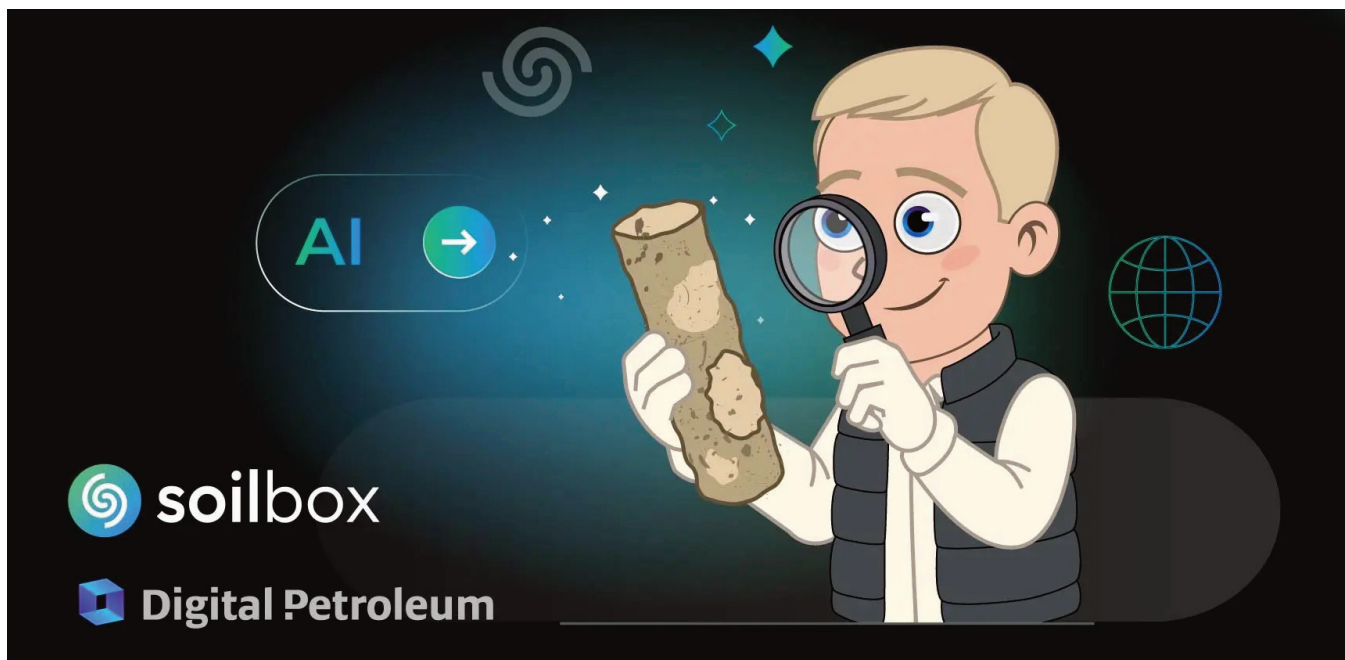
- Zhdanova S.M., Neratova O.A., Piotrovich A.A. Zemlyanoe polotno na podzemnykh l'dakh i osnovaniyakh iz l'distykh gruntov [Roadbed on underground ice and foundations composed of ice-rich soils] // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya. 2020. № 4 (55). S. 65–73 (in Rus.).
- Isakov A.L., Moiseeva I.S., Gudkova I.N. Obosnovanie konstruktivnykh osobennosti zemlyanogo polotna iz dreniruyushchikh gruntov v kriolitozone s pomoshch'yu teplotekhnicheskikh raschetov [Substantiation of structural features of roadbeds made of draining soils in the permafrost zone using thermal engineering calculations] // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya. 2025. № 1 (73). S. 95–103 (in Rus.).
- Kotov P.I., Roman L.T., Tsarapov M.N. Vliyanie uslovii ottaivaniya i uplotneniya na deformatsionnye kharakteristiki ottaivayushchikh gruntov [Influence of thawing and compaction conditions on the deformation characteristics of thawing soils] // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4. Geologiya. 2017. № 1. S. 58–63 (in Rus.).
- Kudryavtsev S.A. Raschet protsessa promerzaniya i ottaivaniya po programme Termoground [Calculation of freezing and thawing processes using the Termoground program] // Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo. 2004. T. 1. № 4. S. 83–84 (in Rus.).
- Svyatogorova A.V., Kolos I.V., Kuznetsova D.R., Val'tseva T.Yu. Raschet osadki ottaivayushchikh mnogoletnemerzlykh gruntov zemlyanogo polotna pri deistvii dinamicheskoi nagruzki [Calculation of settlements of thawing permafrost soils in roadbeds under dynamic loading] // Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy (BRNI). 2025. № 3. S. 124–134 (in Rus.).
- Bui T., Casarella A., Di Donna A., Brinkgreve R.B.J. Advanced thermo-hydro-mechanical modelling features for practical applications in energy geotechnics // Proceedings of the 17th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Reykjavik, 2019. Vol. 10.
- Bishop A.W., Blight G.E. Some aspects of effective stress in saturated and partly saturated soils // Geotechnique. 1963. Vol. 13. № 3. S. 177–197.
- SP 25.13330.2020. Osnovaniya i fundamente na vechnomerzlykh gruntakh [Foundations and Footings on Permafrost Soils]. M.: Minstroy Rossii, 2020 (in Rus.).
- GOST 12248.10-2020. Opredelenie kharakteristik deformiruемости merzlykh gruntov metodom kompressionnogo szhatiya (s popravkami ot 13.07.2023) [Determination of Deformability Characteristics of Frozen Soils by the Compression Test Method (with amendments dated July 13, 2023)]. M.: Standartinform, 2020 (in Rus.).
- Roman L.T. Mekhanika merzlykh gruntov [Mechanics of Frozen Soils]. M.: Nauka/Interperiodika, 2002. 425 s. (in Rus.).
- Kiselev M.F. Teoriya szhimaemosti ottaivayushchikh gruntov pod davleniem [Theory of Compressibility of Thawing Soils under Pressure]. L.: Stroizdat (Leningradskoe otdelenie), 1978. 176 s. (in Rus.).
- Tsarapov M.N., Kotov P.I., Volokhov S.S., Motenko R.G., Pustovoi G.P. Obobshchenie eksperimental'nykh i teoreticheskikh issledovaniy fiziko-mekhanicheskikh svoystv gruntov Tsentral'noi Yakutii: monografiya [Generalization of Experimental and Theoretical Studies of Physical and Mechanical Properties of Soils in Central Yakutia: Monograph] / pod obshch. red. S.A. Novitskoi. M.: KDU, 2020 (in Rus.).
- Rukovodstvo pol'zovatelya SiO 2D [SiO 2D User Manual] // sio2d.ru. URL: https://sio2d.ru/user_manual/ (data poslednego obrashcheniya: 17.09.2025) (in Rus.).
- Polovnikova N.A. Tsifrovizatsiya v stroitel'stve v Rossii [Digitalization in Construction in Russia] // Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. 2022. № 12-2. S. 102–105 (in Rus.).
- Vavrinyuk T.S. Otsenka ustoichivosti i deformativnosti zemlyanogo polotna zheleznykh dorog v usloviyakh rasprostraneniya merzloty: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Assessment of Stability and Deformability of Railway Roadbeds under Permafrost Conditions: Extended Abstract of the Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences]. M., 2013. 24 s. (in Rus.).

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

С 2022 года журнал «ГеоИнфо» выходит
 в формате *PDF. 4 выпуска в 2026 году.

WWW.GEOINFO.RU





ЦИФРОВОЙ ГЛАЗ ГЕОЛОГА: НЕЙРОСЕТЕВАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ КЕРНА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Поступила 23.12.2025

Принята к публикации 30.04.2026

Опубликована 11.06.2026

НИКИФОРОВ Н.В.

Генеральный директор и основатель компании Soilbox, резидента инновационного центра «Сколково» и Московского инновационного кластера

БАРАБОШКИН Е.Е.

Руководитель направления по развитию продукта DeepCore компании ООО «ДП», резидента инновационного центра «Сколково»

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается алгоритм автоматизации контроля подлинности изображений керна при инженерно-геологических изысканиях. Основной целью разработки является повышение точности и снижение риска ошибок, обусловленных человеческим фактором при ручной проверке фотоматериалов. Предложенный подход включает три последовательных этапа: автоматическое выделение керна на изображениях, формирование уникального цифрового отпечатка с использованием нейронных сетей и выявление дубликатов на основе сравнения визуальных признаков. Результаты производственной апробации демонстрируют высокую эффективность метода: точность обнаружения дубликатов достигает 97%, полнота – 95%. Применение технологии позволяет ускорить процесс проверки изображений более чем в тысячу раз, устранить субъективность оценки и существенно сократить трудозатраты. Метод реализован в виде промышленного программного решения, внедрённого в продукты компаний Soilbox и Digital Petroleum, и готов к масштабированию в крупных проектах с возможностью дополнительной калибровки на корпоративных наборах данных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

инженерно-геологические изыскания; инженерно-геологические скважины; керн; изображения керна; автоматизация контроля качества; контроль подлинности; компьютерное зрение; машинное обучение; нейронные сети; обнаружение дубликатов.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Никифоров Н.В., Барабошкин Е.Е. Цифровой глаз геолога: нейросетевая оценка качества и достоверности изображений керна инженерно-геологических скважин // Геоинфо. 2026. Т. 8. № 1. С. 48–60.
DOI:10.58339/2949-0677-2026-8-1-48-60.

THE GEOLOGIST'S DIGITAL EYE: ASSESSING THE QUALITY AND RELIABILITY OF IMAGES OF ENGINEERING-GEOLOGICAL BOREHOLE CORE USING NEURAL NETWORKS

Received: 23.12.2025

Accepted for publication 30.04.2026

Published 11.06.2026

NIKIFOROV N.V.

General director and founder of Soilbox, a resident company of the Skolkovo Innovation Center and the Moscow Innovation Cluster

BARABOSHKIN E.E.

Head of DeepCore product development at DP LLC, a resident company of the Skolkovo Innovation Center

ABSTRACT

This paper considers an algorithm for automating the authenticity control of core images obtained during engineering-geological investigations. The main objective of the development is to improve accuracy and reduce the risk of errors caused by the human factor during manual verification of photographic materials. The proposed approach includes three consecutive stages: automatic core segmentation in images, generation of a unique digital fingerprint using neural networks, and duplicate detection based on the comparison of visual features. The results of industrial validation demonstrate the high efficiency of the method: duplicate detection precision reaches 97%, while recall reaches 95%. The application of the technology makes it possible to accelerate the image verification process by more than three orders of magnitude, eliminate subjectivity in assessment, and significantly reduce labor costs. The method has been implemented as an industrial software solution integrated into the products of Soilbox and Digital Petroleum and is ready for scaling in large-scale projects with the possibility of additional calibration using corporate datasets.

KEYWORDS:

engineering-geological investigations; engineering-geological boreholes; core; core images; quality control automation; authenticity control; computer vision; machine learning; neural networks; duplicate detection.

FOR CITATION:

Nikiforov N.V., Baraboshkin E.E. Tsifrovoy glaz geologa: neurosetevaya otsenka kachestva i dostovernosti izobrazhenii kerna inzhenerno-geologicheskikh skvazhin [The geologist's digital eye: assessing the quality and reliability of images of engineering-geological borehole core using neural networks] // *GeoInfo*. 2026. T. 8. № 1. S. 48–60. DOI:10.58339/2949-0677-2026-8-1-48-60 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ

При проведении инженерно-геологических изысканий контроль качества данных по скважинам традиционно основывается на ручных процедурах: проверке полевых описаний, фото- и видеоматериалов, сверке геотегов и времени съёмки, сопоставлении изображений с ожидаемым объёмом отобранного керна, а также контроле временных интервалов бурения и полученного материала.

В Soilbox большая часть таких проверок полностью автоматизирована. Для этого валидируются два класса данных.

1. Полевые метаданные, полученные непосредственно с мобильных устройств в момент создания любого объекта в приложении (слои, рейсы, пробы, фото, видео и т. д.), – геотеги, дата/время, устройство.

2. EXIF-метаданные всех фото- и видеоматериалов.

Обе группы данных перекрёстно сверяются алгоритмами с плановым и фактическим положением скважин, а также с временными рядами создания/редактирования всех вложенных объектов внутри скважины. В случае наличия проблем в выработке руководитель работ получает всю информацию о нестыковках, что обеспечивает непрерывный контроль качества данных в режиме онлайн.

Однако остается важная «серая зона» – выявление дублирования и компоновочных фальсификаций фотоматериалов по керну.

Типовая ситуация: последние 5 м в скважине с проектной глубиной 20 м «собраны» из фрагментов ранее снятых 15 м.

Сегодня подобные случаи на крупных объектах выявляются вручную специалистами службы контроля качества. Это не

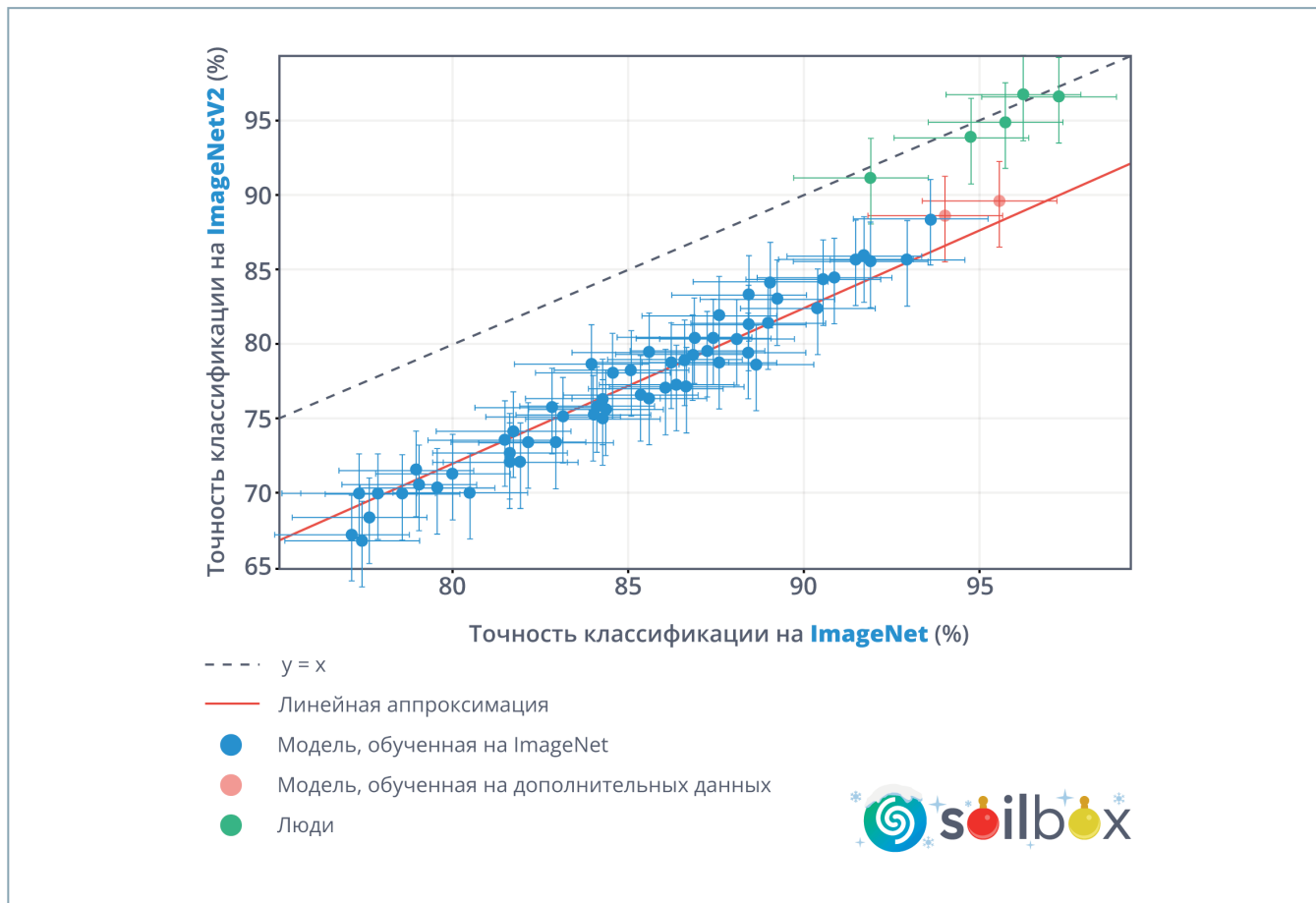


Рис. 1. Сравнение точности распознавания изображений на наборах данных ImageNet и ImageNetV2 между алгоритмами машинного обучения и человеком (по [7] с изменениями). Указана многоклассовая точность как для свёрточных нейронных сетей (CNN), так и для живых участников на проверочном наборе данных ImageNet в сравнении с их точностью на тестовом наборе ImageNetV2. Показаны 95% доверительные интервалы Клоппера – Пирсона

менее двух сотрудников на один объект! Такой подход отнимает значительное время, является весьма дорогостоящим и субъективным.

Технологии *CV* (*Computer Vision*) и *DL* (*Deep Learning*) позволяют устранить значительную долю субъективности в работе и обеспечить воспроизводимую, измеримую оценку данных. В смежных задачах по анализу изображений ядра и литотипов современные *CNN-модели* (*Convolutional Neural Network models*) стабильно показывают высокую точность: примерно от 70% на сложных наборах литофаций до 99,6% на специализированных наборах данных ядра [1–4].

Современные методы обнаружения манипуляций и повторного использования фрагментов изображений демонстрируют высокую эффективность. В исследованиях последних лет сообщается о точности свыше 90% на контролируемых тестовых наборах. Такой уровень достигается благодаря сочетанию двух ключевых технологий.

1. Трансформеры – класс нейросетевых моделей, изначально разработанных для обработки текста, но впоследствии успешно адаптированных к задаче анализа изображений. Они хорошо улавливают сложные взаимосвязи в

данных и позволяют точнее выявлять изменения и подмены фрагментов.

2. Перцептуальные хэши – быстрые алгоритмы, формирующие компактный «отпечаток» изображения. Этот отпечаток позволяет определять схожесть изображений даже при их частичном изменении: сжатии, повороте, кадрировании и других типах искажений.

Совмещение трансформеров и перцептуальных хэшей обеспечивает как высокую скорость обработки данных, так и устойчивость к вариативности внутри фотографий (структур, текстур и пр.) [5, 6].

В задачах массовой антидубликатной проверки на практике хорошо зарекомендовал себя двухэтапный каскад:

1) выполнение в первую очередь быстрой первичной фильтрации изображений с помощью перцептуального хэша, чтобы отсеять явно несхожие снимки;

2) последующее сравнение оставшихся фотографий с использованием глубокой модели вроде CLIP (*Contrastive Language–Image Pre-training*), которая извлекает из них информативные эмбединги – числовые представления, отражающие смысловое содержание каждого элемента (эти ком-

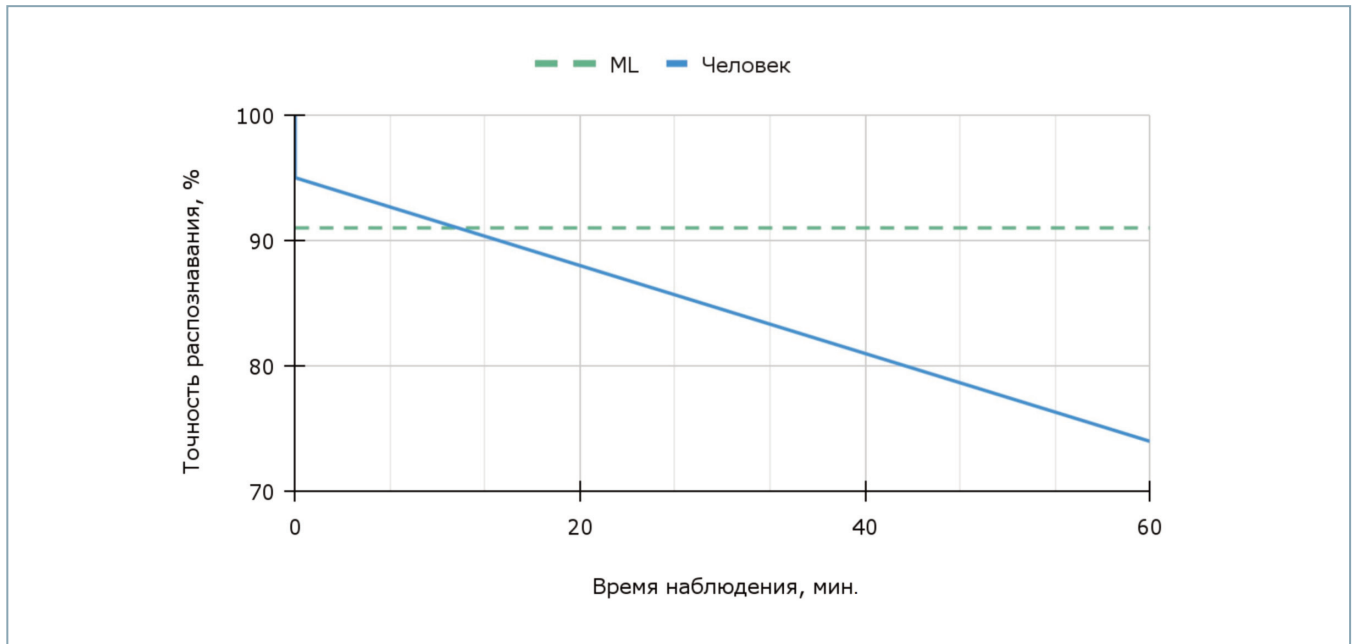


Рис. 2. Падение точности распознавания объектов у человека примерно с 95 до 75% примерно за 60 минут, где ML – алгоритмы машинного обучения

пактные векторные описания позволяют точнее сопоставлять элементы между собой).

Такой подход позволяет обеспечивать высокую скорость и точность: быстро отсеивать нерелевантные варианты и детально анализировать сложные случаи без необходимости переобучать тяжёлые нейросетевые модели (Наз, 2025).

Необходимо отметить, что за последнее десятилетие область компьютерного зрения совершила качественный скачок: точность лучших моделей в эталонных задачах распознавания давно достигла уровня, сравнимого с человеческим, даже при классификации изображений на 1000 классов [7] (рис. 1). Ряд исследований показывает, что при длительной непрерывной работе над монотонными задачами, включая визуальное распознавание фотоматериалов, уровень внимания человека к деталям через час снижается в среднем примерно на 20%. [8–11]. На основе усреднённых данных о точности визуального распознавания изображений человеком и снижении качества распознавания во времени можно построить график в виде линейной аппроксимации (рис. 2).

Это дополнительно подтверждает целесообразность внедрения современных методов обработки изображений в геологические регламенты и системы контроля качества.

В этой работе **Soilbox** и **Digital Petroleum** представляют подход к автоматизированному выявлению дублирования и компоновочных фальсификаций по фотографиям керна. Методика включает три взаимодополняющих шага.

1. Быстрый поиск подозрительных совпадений с помощью устойчивых перцептуальных признаков, позволяющих мгновенно находить изображения, визуально похожие друг на друга.

2. Уточняющее сравнение за счёт глубоких эмбедингов, которые детальней описывают содержимое изображений и помогают правильно ранжировать найденные «похожие» пары.

3. Точная проверка на уровне локальных соответствий с учётом специфики реальных условий съёмки керна: ориентации кернов в ящике, повторяющихся природных текстур, особенностей освещения, а также типичных артефактов полевой фотографии. Все эти факторы образуют **домен задачи** – особенности данных, которые характерны именно для инженерно-геологических работ и требуют отдельного внимания.

Такой комбинированный подход позволяет автоматически просканировать весь массив изображений по скважине, выделить участки с вероятными повторами или перекладками, сформировать отчёт для служб контроля и существенно снизить трудозатраты, повысить производительность и эффективность по сравнению с ручной проверкой.

ИЗУЧЕННОСТЬ

Автоматизация описания и классификации керна представляет собой один из наиболее динамично развивающихся трендов в современной геологоразведке и нефтегазовой индустрии. При этом авторами не было найдено опубликованных работ для задач, решаемых при инженерно-геологических изысканиях.

За последнее десятилетие в геологоразведке произошел заметный переход от традиционного ручного описания керна, требующего многочасовой работы опытных геологов, к автоматизированным рабочим процессам, основанным на методах

компьютерного зрения и машинного обучения [3, 12, 13]. Этот переход обусловлен не только потребностью в ускорении процессов геологического описания, но и необходимостью обеспечения воспроизводимости и объективности интерпретации, особенно при работе с большими объёмами архивных данных и многочисленными скважинами.

Современные исследования охватывают широкий спектр задач: от фациальной классификации и сегментации геологических структур до автоматического расчёта индексов качества керн (RQD) и оценки состояния архивных коллекций [14, 15]. Особое внимание уделяется интеграции визуальных данных с петрофизическими измерениями, геохимическими анализами и результатами лабораторных испытаний, что позволяет создавать комплексные модели предсказания свойств горных пород непосредственно по изображениям керн [16, 17]. Они решаются как традиционными подходами глубокого зрения, так и более современными на основе механизма внимания (attention mechanism), когда внутри находится специальный блок, подсвечивающий важные характеристики [18].

При проектировании систем автоматизированной обработки изображений керн критически важно учитывать условия съёмки, однородность разметки и методы валидации на независимых скважинах, поскольку большинство современных моделей демонстрирует чувствительность к вариациям в освещении, качеству фотографий и наличию маркеров на образцах [19].

Несмотря на впечатляющий прогресс в автоматизации анализа снимков керн, проблема обнаружения дубликатов изображений и фальсификации данных остаётся практически неисследованной. Проведённый систематический обзор более 150 публикаций из ведущих научных баз данных (SciSpace, Google Scholar, PubMed, Web of Science, Scopus, ArXiv) за 2018–2025 годы не выявил ни одного исследования, предлагающего валидированную методологию автоматической детекции преднамеренных дубликатов или подмены ранее задокументированного керн.

Полученные результаты во многом объясняются особенностями отечественной практики инженерно-геологических изысканий. В России проблема контроля подлинности и полноты кернового материала стоит значительно острее, чем за рубежом. В «большой» геологии весь керн, как правило, отбирается полностью и передаётся в специализированные центры хранения и документирования, что минимизирует риск искажений. В инженерных изысканиях ситуация иная. Здесь официальным документом является полевой журнал, заполняемый геологом, тогда как фотография выступает лишь подтверждающим материалом, а не первичным источником данных. Такой подход создаёт больше возможностей для непреднамеренных ошибок и умышленных манипуляций,

что делает задачу автоматизации контроля особенно актуальной именно в области инженерно-геологических изысканий.

Хотя специализированных исследований по детекции дубликатов керн не существует, ряд работ содержит технические компоненты, которые потенциально применимы для решения этой задачи. Автор работы [17] отмечал, что присутствие повторных снимков одного и того же интервала керн с различными маркерами или в разных условиях освещения может существенно исказить обучение моделей и приводить к завышенным оценкам точности. Автоматическое выявление и удаление таких дубликатов из обучающей выборки улучшило метрики классификации и уменьшило риск переобучения модели.

Системы контроля качества, такие как разработанная авторами работы [19], способны автоматически выявлять изображения с нестандартными характеристиками (необычное освещение, посторонние объекты, искажения цвета), что косвенно может указывать на манипуляции с данными. Однако эти системы не предназначены специально для детекции преднамеренной фальсификации и не могут обнаруживать случаи, когда одно и то же изображение выдаётся за изображения образцов керн из различных скважин или интервалов глубин.

Перспективным направлением представляется применение перцептуальных хэш-функций (perceptual hashing) и методов поиска визуально схожих изображений для выявления потенциальных дубликатов в больших базах данных керн. Комбинация визуального анализа с проверкой метаданных (глубина отбора, дата съёмки, идентификатор скважины) может обеспечить надёжное определение как случайных дублирований, так и преднамеренных фальсификаций.

ТЕХНОЛОГИЯ

Исходные данные и условия эксперимента

Все исходные данные были получены от нескольких инженерно-геологических компаний и отражают реальные условия на различных объектах. В выборку вошли образцы грунтов разных типов – преимущественно дисперсных, а также полускальных.

Для создания основной части выборки образцов керн с дубликатами был воспроизведён процесс перекладки керн, характерный для полевых инженерно-геологических изысканий. Перекладку выполняли геологи, участвовавшие в исходной съёмке и хорошо знавшие реальное расположение образцов. При этом учитывались возможные повороты и вращения керн. Такой подход позволил контролировать истинное положение керн в разрезе и использовать эти данные при

Таблица 1. Объём данных, использованных в работе

Типы фото		Количество пар	Количество в выборке	
С дублированием керна	реальные	10	20	60
	имитированные	20	40	
Без дублирования керна		30	60	60



Рис. 3. Пример первоначальных данных. Фото с дублированием керна

оценке точности алгоритма, обеспечивая при этом объективность результатов. Также использовались реально выявленные случаи перекладки керна из инженерно-геологической практики.

Всего для тестирования алгоритма использовали 120 фотографий керна, из которых 60 изображений соответствовали случаям дублирования керна, а 60 – отсутствию дублей; 40

изображений были получены в результате умышленной перекладки керна для целей тестирования; 20 – отобраны из реальных примеров фальсификации данных (таблица 1). Таким образом, тестовая выборка была полностью сбалансирована, что исключало систематическое смещение при оценке качества работы алгоритма.



Рис. 4. Пример первоначальных данных. Обычные фото без дублирования керна

Съёмка проводилась в полевых условиях. Разрешение изображений в основном намеренно ограничивалось форматом HD, чтобы оценить устойчивость работы алгоритма с материалами, полученными с низкомегапиксельных камер. На фотографиях, представленных на рисунках 3 и 4, показаны типовые различия в качестве, цветовых характеристиках, освещении и углах съёмки, формате керновых ящиков.

Краткая статистика по изображениям:

- всего изображений: 120;
- форматы: JPEG 100%;
- цветовые режимы: RGB 100%;
- ширина: 607–4284 px (мед. 810);
- высота: 642–5712 px (мед. 1080);
- мегапиксели: 0.57–24.47 MP (мед. 0.88 MP);

- dpi в метаданных: 77%, медиана 96×96 dpi;
- jpeg: прогрессивные 40%, качество мед. 41 (диап. 20–91).

В связи с тем что фотофиксация до сих пор слабо поддается стандартизации даже внутри одной организации, набор данных был сформирован с учётом **различных условий освещения, устройств съёмки, экспозиции, углов наклона и типов керновых ящиков**. Это позволило оценить универсальность модели и адаптировать её к разнообразию условий получения данных по фотоматериалам инженерно-геологических изысканий.

Методы и технологии

Разработанная система состоит из трёх основных компонентов, которые работают последовательно.



Рис. 5. Результат работы алгоритма сегментации и увязки керн по глубине. Зелёная область обозначает пиксели, где вероятнее всего лежит керн. На основе анализа производится автоматическая увязка согласно заданным параметрам без участия человека

Автоматическое выделение керн на фотографиях

Задача. Найти на фотографии керновых ящиков только сам керн, исключив всё лишнее – фон, маркеры глубины, этикетки, тени, блики.

Решение. Используем алгоритм автоматической сегментации из научной работы [20] (рис. 5). Дополнительно происходит автоматическая увязка керн по глубине.

Что делает алгоритм. Автоматически находит и вырезает области с керном (ROI – regions of interest), убирает пустые ячейки, упаковочные материалы, технические элементы, исключает маркеры, этикетки, метрические шкалы, определяет границы между отдельными фрагментами керна.

Результат. Для каждого фото керн создаётся набор изображений отдельных фрагментов с метаданными (скважина, глубина, изображение).

Извлечение «цифрового отпечатка» каждого образца

Задача. Создать для каждого фрагмента керн уникальное числовое описание – вектор признаков, который кодирует его визуальные характеристики (текстуру, цвет, структуру, паттерны).

Решение. Используем ансамбль предобученных нейронных сетей (CNN), которые уже умеют распознавать типы пород, текстуры и структуры керн.

Ключевое преимущество. Система **не требует дополнительного обучения** на датасете размеченных дубликатов, поскольку работает на предобученных алгоритмах. Это критически важно, поскольку таких датасетов просто не существует. Создание размеченной базы дубликатов керн потребовало бы огромных затрат времени и экспертизы.

Как это работает. Используется несколько предобученных моделей (ResNet, EfficientNet и специализированные модели для геологических данных). Каждая модель обрабатывает изображение керн и извлекает признаки из своих внутренних слоёв. Признаки от всех моделей объединяются в общий вектор. Вектор нормализуется. Это делает сравнение более точным и быстрым.

Технические детали. Решение реализовано с использованием библиотеки PyTorch, работает эффективно на процессоре для быстрой обработки больших объёмов данных. Итоговый вектор признаков имеет размерность до 2048 чисел. Каждое число кодирует определённую визуальную характеристику образца.

Аналогично отпечаткам пальцев каждый образец керн получает свой уникальный «цифровой отпечаток», который потом можно быстро сравнивать с другими.

Поиск похожих образцов и выявление дубликатов

Задача. Найти в базе данных все пары изображений керн, которые выглядят подозрительно похожими.

Решение. Используем метрику косинусного сходства – математический способ измерения, сходимости «цифровых отпечатков».

Формула косинусного сходства:

$$\text{similarity}(v1, v2) = (v1 \cdot v2) / (\|v1\| \times \|v2\|),$$

где $v1$ и $v2$ – векторы признаков двух изображений керн

Что означают индексы:

- **1.0** – изображения идентичны;

- **0.9–0.99** – очень высокое сходство (подозрение на дубликат);
- **0.7–0.89** – заметное сходство (возможно, керн из одного интервала);
- **< 0.7** – разные образцы.

Почему применяется косинусное сходство. Оно не зависит от абсолютной величины векторов – важен только «угол» между ними. Очень быстро вычисляется (важно для больших баз данных). Легко интерпретировать – значения от минус 1 до 1.

Алгоритм определения:

- 1) загрузка изображений керна;
- 2) извлечение «цифрового отпечатка» (вектор признаков);
- 3) сравнение со всеми изображениями в базе данных;
- 4) сортировка результатов по степени сходства;
- 5) отбор пар с высоким сходством (> 0.9);
- 6) проверка метаданных: высокое визуальное сходство при несовместимых метаданных – подозрительный случай;
- 7) создание отчёта с парами подозрительных изображений для экспертной проверки.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработанный подход отличается простотой внедрения, поскольку не требует дополнительного обучения моделей. Вместо этого используются готовые предобученные алгоритмы, обеспечивающие извлечение ключевых признаков изображений керна. Такой подход позволяет использовать весь доступный объём данных в качестве тестового набора без необходимости разделения на обучающую и валидационную выборки.

Основные показатели эффективности

Точность (precision) – доля верно обнаруженных случаев среди всех отмеченных системой как положительные. Этот показатель составил 97%, что, согласно ранее приведённым данным (рис. 2), сопоставимо, а при больших объёмах превосходит человеческие возможности. Пока нет возможности сравнить данный показатель с результатами применения других автоматизированных подходов, поскольку он является уникальным. В дальнейшем при появлении возможности и желания заказчиков можно будет провести аналогичный [7] эксперимент для сравнения точности, полученной разными экспертами и при использовании разных подходов.

Полнота (recall) — процент реально присутствующих нарушений, которые были обнаружены системой. Значение этого показателя получилось близким к максимуму, составив 95%, что демонстрирует хорошую чувствительность алгоритма.

Оптимизация порога схожести позволила добиться баланса между этими двумя показателями, сведя к минимуму влияние

человеческого участия и снизив риск возникновения ошибок. Варьируя величину порога и отслеживая изменения точности и полноты, можно подобрать оптимальный порог. Было найдено такое значение, которое обеспечило максимальную эффективность обнаружения дубликатов при минимальном количестве ошибок. В итоге был найден порог, позволяющий:

- обнаружить подавляющее большинство реальных дубликатов (полнота близка к максимальной);
- практически исключить вмешательство человека в процесс анализа (за счёт автоматизации принятия решений);
- минимизировать риски ложных срабатываний и пропустить минимальное количество подлинных дубликатов;
- выявить 29 из 30 фальсификаций.

В зависимости от потребностей конечного пользователя и типа данных, порог может быть дополнительно настроен. Но в общем случае его можно применять «как есть».

Практический результат

На экспериментальной выборке из 60 пар изображений система смогла обнаружить 29 фальсификаций из имеющихся 30, зафиксировав при этом единственное ложноположительное срабатывание (рис. 6).

Общая точность классификации (accusacy) составила 95% при значениях точности (precision), полноты (recall) и F1-меры (F1-score), близких к 0,95 для обоих классов, что свидетельствует о стабильности и надёжности методики (таблица 2).

Дополнительные преимущества:

- высокая устойчивость алгоритма к изменению условий съёмки (освещения, углов обзора);
- низкий уровень ложных срабатываний – менее 5%;
- быстрая обработка данных: серия фотографий по одной скважине обрабатывается приблизительно за одну минуту.
- Эти особенности свидетельствуют о высокой эффективности и практичности предлагаемого подхода, делая его отличным инструментом для автоматического выявления фальсификаций и дубликатов изображений керна.

В результате работы алгоритма при анализе пар изображений выявляются фрагменты керна с потенциальными дубликатами (рис. 7). Поскольку для одной и той же области по ряду причин может быть найдено несколько соответствий (например, из-за сходства текстур и других визуальных характеристик в пределах одного разреза или в случаях разрушенного керна), на изображениях слева отмечаются участки в виде прямоугольных полигонов с уникальными идентификаторами (id), для которых допускается наличие дубликатов, а на изображениях справа – их наиболее вероятные соответствия с ука-



Рис. 6. Матрица ошибок (confusion matrix) бинарной классификации изображений керна. Классы включают «фото с дублированием керна» и «фото без дублирования керна». По диагонали зеленым цветом показано количество корректных классификаций. По диагонали синим цветом показано количество ошибок классификации

Таблица 2. Метрики качества классификации

Класс	Точность (precision)	Полнота (recall)	F1-мера (F1-score)	Число объектов (support)
Фото с дублированием керна	0,97	0,93	0,95	30
Фото без дублирования керна	0,94	0,97	0,95	30
Среднее (macro avg)	0,95	0,95	0,95	60

занием одноимённого идентификатора (id) с первого изображения и дополнительным номером.

ВЫВОДЫ

Разработанный алгоритм обеспечивает **полное автоматическое сканирование керна по всей длине скважины**, позволяя выявлять повторяющиеся участки даже при их размещении в разных интервалах.

Система распознаёт **факты перекладки керна**, включая случаи, когда отдельные образцы были перевёрнуты, перемещены или частично заменены.

Анализ проводится на основе сравнения **текстурных и структурных характеристик** каждого интервала, что бес-

печивает высокую точность определения дубликатов и несоответствий.

Такой подход ускоряет процесс проверки фотоматериалов **более чем в 1000 раз** по сравнению с ручной проверкой и позволяет полностью исключить **человеческий фактор** (система не подвержена снижению концентрации внимания, усталости и субъективным оценкам).

Экономический эффект применения системы выражается в снижении трудозатрат службы контроля качества за счёт автоматизации ручной сверки фотографий керновых ящиков, что позволяет высвободить рабочее время не менее двух специалистов на одном объекте. Это создаёт возможность перераспределения ресурсов на другие задачи или одновременное ведение нескольких крупных объектов. Дополнительно

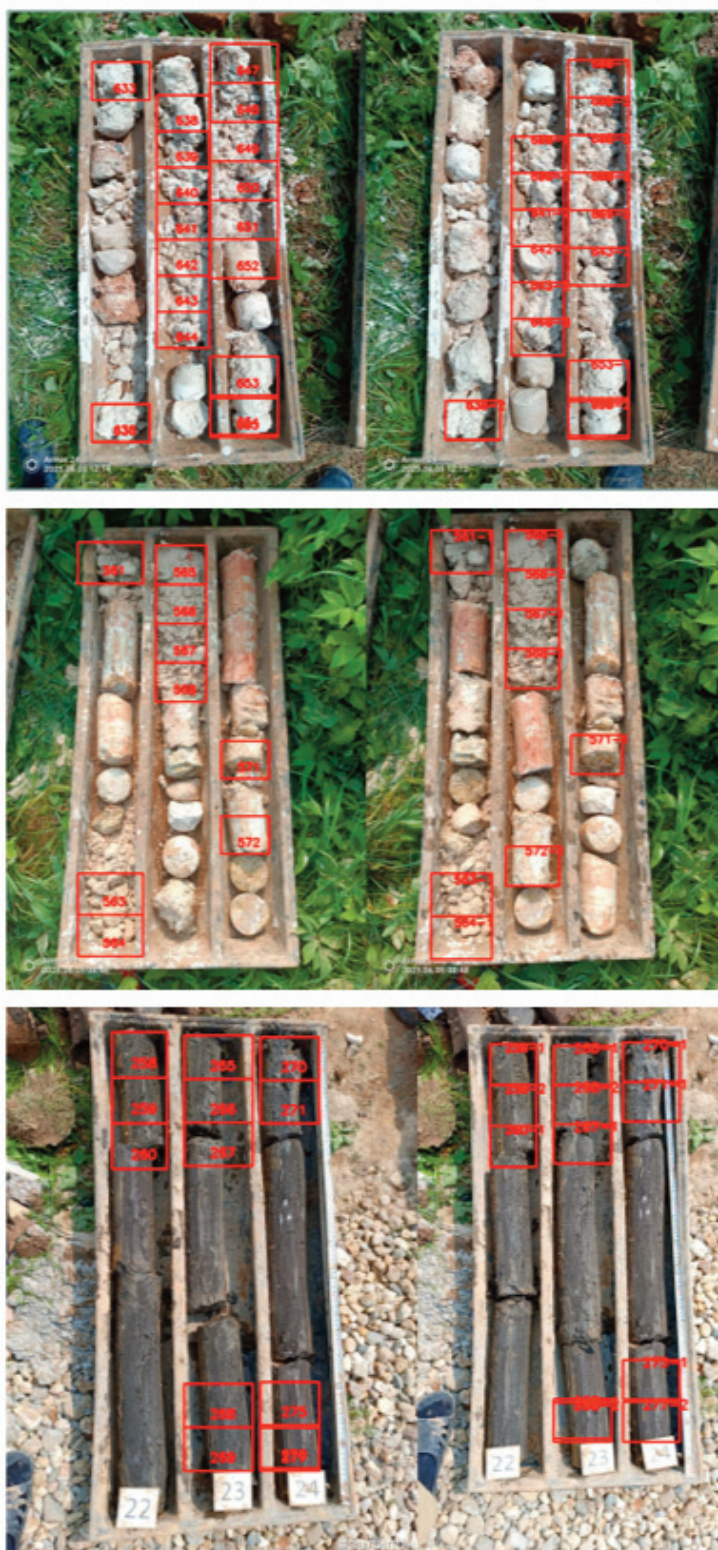


Рис. 7. Результаты обнаружения дубликатов керна на паре изображений

система позволяет выявлять скрытые случаи фальсификаций, трудно определяемые при визуальной оценке человеком.

Несмотря на то что система не требует дообучения, возможна её калибровка на корпоративных наборах данных заказчика для достижения точности, близкой к 100%, в сложных и уникальных сценариях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлена успешно апробированная методика нейросетевой экспертизы подлинности изображений керна для инженерно-геологических изысканий, основанная на применении алгоритмов компьютерного зрения и машинного

обучения. Предложенный подход позволяет рассматривать геологический материал не только как набор фотографий, но и как цифровое представление керна, пригодное для автоматизированного анализа.


Методика реализована в виде программного модуля и успешно внедрена в программную платформу Soilbox при участии компании Digital Petroleum. Результаты апробации на реальных производственных данных подтверждают её применимость и готовность к промышленному тиражированию на крупных объектах при проведении инженерно-геологических изысканий.

Использование подобных решений способствует повышению качества, воспроизводимости и достоверности первичных инженерно-геологических данных, формируя основу для перехода отрасли к цифровым стандартам нового поколения и подходам, основанным на данных (data-driven approaches) в геологии.

ПРИМЕЧАНИЯ

Soilbox – аккредитованная ИТ компания, резидент инновационного центра «Сколково» и Московского инновационного кластера. Разрабатывает цифровые инструменты для автоматизации процессов сбора, хранения и обработки данных в проектно-изыскательской отрасли. Технологии компании

обеспечивают комплексное управление и контроль полевых изыскательских работ, позволяя отслеживать данные на всех этапах – от бурения скважин до формирования итоговой отчётности и передачи данных заказчику в цифровом виде, включая возможность работы в режиме реального времени.

Digital Petroleum – ИТ-компания. С 2016 года разрабатывала решения в области анализа данных в геологии (включая томографические и временные) в качестве лаборатории при Сколковском институте науки и технологий. С 2018 года начала работать с изображениями керна, развивая различные методы анализа фотографий, в том числе отдельные методы компьютерного зрения и глубокого обучения. В 2019 году оформилась как самостоятельная компания и выпустила ряд продуктов на основе своих разработок, включая программный продукт **DeepCore** для автоматического анализа изображений керна. 

Благодарим А.М. Яцкую за создание красочных иллюстраций, а также наших друзей и коллег за участие в обсуждении, критические замечания и предложенные дополнения, без которых наше исследование не было бы полным: А.К. Гладышева (АО «Концерн ВКО “Алмаз-Антей”»), Е.А. Сафарову (ФГБУН ИПИГ РАН), Д.С. Савченко (ФГБУН ИГЭ РАН), М.А. Булатникова (МГУ имени М.В. Ломоносова), весь состав команды Digital Petroleum и Soilbox.

Список литературы (References)

1. Alzubaidi F. и др. Automated lithology classification from drill core images using convolutional neural networks // J. Pet. Sci. Eng. 2021. Vol. 197. Article 107933.
2. Fu D. et al. Deep learning based lithology classification of drill core images // PLOS ONE. 2022. Vol. 17. № 7. Article e0270826.
3. Baraboshkin E.E. et al. Deep convolutions for in-depth automated rock typing // Comput. Geosci. 2020. Vol. 135. Article 104330.
4. de Lima R.P. et al. Convolutional neural networks as aid in core lithofacies classification // Interpretation. 2019. Vol. 7. № 3. P. SF27–SF40.
5. Amiri E., Mosallanejad A., Sheikahmadi A. CFDMI-SEC: an optimal model for copy-move forgery detection of medical image using SIFT, EOM and CHM // PLOS ONE. 2024. Vol. 19. № 7. Article e0303332.
6. Liang E. et al. TransCMFD: an adaptive transformer for copy-move forgery detection // Neurocomputing. 2025. Vol. 638. Article 130110.
7. Shankar V. et al. Evaluating machine accuracy on ImageNet // Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning. PMLR, 2020. P. 8634–8644.
8. Krupinski E.A. Current perspectives in medical image perception // Atten. Percept. Psychophys. 2010. Vol. 72. № 5. P. 1205–1217.
9. Langner R., Eickhoff S.B. Sustaining attention to simple tasks: a meta-analytic review of the neural mechanisms of vigilant attention // Psychol. Bull. 2013. Vol. 139. № 4. P. 870–900.
10. Parasuraman R., Riley V. Humans and automation: use, misuse, disuse, abuse // Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc. 1997. Vol. 39. № 2. P. 230–253.
11. Warm J., Parasuraman R., Matthews G. Vigilance requires hard mental work and is stressful // Hum. Factors. 2008. Vol. 50. P. 433–441.
12. Mezghani M., Masrahy M. Digital sedimentological core description through machine learning // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 2020. Article SPE-203341-MS.

13. Solum J.G., Narr W., Benson R. Accelerating core characterization and interpretation through deep learning with an application to legacy data sets // Interpretation. 2022. Vol. 10. № 3. P. SE71–SE85.
14. Felgett M. et al. CoreScore: an ML approach to assess legacy core condition // Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 2022. Vol. 527. P. 137–151.
15. Xu S. et al. Intelligent recognition of drill cores and automatic RQD analytics based on deep learning // Acta Geotech. 2023. Vol. 19. P. 2313–2329.
16. Boiger R. et al. Direct mineral content prediction from drill core images via transfer learning // Swiss J. Geosci. 2024. Vol. 117. № 1. Article 8.
17. Starbuck C. Rock type classification based on petrophysical, geochemical, and core imaging data using machine and deep learning techniques // Appl. Comput. Geosci. 2022. Vol. 16. Article 100104.
18. Koeshidayatullah A. et al. FaciesViT: vision transformer for an improved core lithofacies prediction // Front. Earth Sci. 2022. Vol. 10. Article 992442.
19. Shvalyuk E. et al. Advanced quality control workflow for full-size core images: Enhancing machine learning training for geological applications // SPE Russian Petroleum Technology Conference. Society of Petroleum Engineers, 2025. Article SPE-226996-MS.
20. Baraboshkin E.E. et al. Core box image recognition and its improvement with a new augmentation technique // Comput. Geosci. 2022. Vol. 162. Article 105099.

Независимый электронный журнал **ГеоИнфо**

С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
выходит в формате *PDF.
4 выпуска в 2026 году.



WWW.GEOINFO.RU

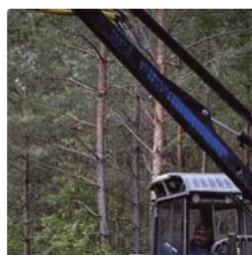
Выпуск №4/2025
Подписан на печать 30.12.2025
GeoInfo №4/2025
Signed for printing 30.12.2025



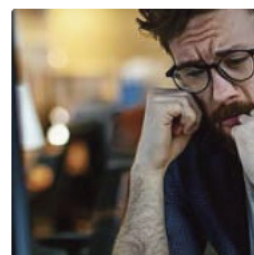
Выпуск №3/2025
Подписан на печать 30.09.2025
GeoInfo №3/2025
Signed for printing 30.09.2025



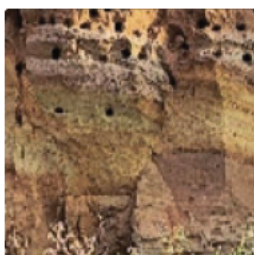
Выпуск №12/2024
Подписан на печать 27.12.2024
GeoInfo №12/2024
Signed for printing 27.12.2024



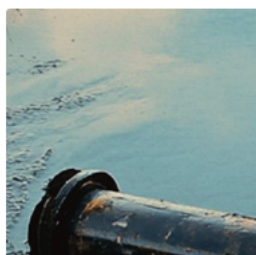
Выпуск №11/2024
Подписан на печать 20.12.2024
GeoInfo №11/2024
Signed for printing 20.12.2024



Выпуск №2/2025
Подписан на печать 18.08.2025
GeoInfo №2/2025
Signed for printing 18.08.2025



Выпуск №01/2025
Подписан на печать 16.06.2025
GeoInfo №01 (2025)
Signed for printing 16.06.2025



Выпуск №10/2024
Подписан на печать 16.12.2024
GeoInfo №10/2024
Signed for printing 16.12.2024



Выпуск №9/2024
Подписан на печать 30.09.2024
GeoInfo №9/2024
Signed for printing 30.09.2024



С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
выходит в формате *PDF.
4 выпуска в 2026 году.

Контакты

Адрес: 119146, Москва, ул. 3-я Фрунзенская, д.10, оф. 12

E-mail: info@geoinfo.ru

Тел.: +7 (499) 340-340-9, (916) 240-03-22

Издатель: Виктор Ананко





ДЗЗ ОБЕСПЕЧИВАЕТ БЕЗОПАСНОСТЬ: КАК ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕНЯЮТ УПРАВЛЕНИЕ ШЕЛЬФОВЫМИ ПРОЕКТАМИ В АРКТИКЕ

Поступила 16.03.2026

Принята к публикации 6.04.2026

Опубликована 11.06.2026

АНАНКО В.Н.
Издатель

АННОТАЦИЯ

Арктика стремительно превращается в территорию, где реализуется все больше сложных, высокотехнологичных проектов, успех которых зависит не только от инженерных компетенций, но и от качества данных о природной среде. Изменение климата, рост промышленной активности, в том числе освоение континентального шельфа, ужесточение экологических требований формируют растущую потребность в мониторинге ледовой обстановки, гидрометеорологических процессов и состояния морской среды.

На отраслевом круглом столе «Дистанционные методы и информационные сервисы для реализации шельфовых проектов», организованном Институтом экологического проектирования и изысканий (АО «ИЭПИ»), представители науки и бизнеса обсудили ключевые вызовы и практические инструменты управления рисками на шельфе. Особое внимание было уделено цифровым геоинформационным сервисам, которые позволяют оперативно обеспечивать сбор, обработку и хранение данных, наглядную визуализацию сведений об объектах мониторинга и доступ к данным для широкого круга специалистов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

дистанционное зондирование Земли; развитие Арктики; шельфовые проекты; информационное обеспечение; цифровая система мониторинга геоинформационные платформы; управление природными рисками.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ананко В.Н. ДЗЗ обеспечивает безопасность: как цифровые технологии меняют управление шельфовыми проектами в Арктике // Геоинфо. 2026. Т. 8. № 1. С. 62–70. DOI:10.58339/2949-0677-2026-8-1-62-70.

REMOTE SENSING ENSURES SAFETY: HOW DIGITAL TECHNOLOGIES ARE TRANSFORMING THE MANAGEMENT OF OFFSHORE PROJECTS IN THE ARCTIC

Received: 16.03.2026

Accepted for publication 6.04.2026

Published 11.06.2026

ANANKO V.N.

Publisher

ABSTRACT

The Arctic is rapidly turning into a region where an increasing number of complex and high-technology projects are being implemented. The success of these projects depends not only on engineering competencies but also on the quality of environmental data. Climate change, increasing industrial activity (including continental shelf development), and increasingly stringent environmental requirements are driving a growing demand for monitoring of ice conditions, hydrometeorological processes, and state of the marine environment.

At the industry round table "Remote methods and information services for the implementation of offshore projects", which was organized by the Institute of Environmental Design and Engineering Surveys (IEPI JSC), representatives of science and business discussed key challenges and practical tools for risk management on the offshore shelf. Special attention was given to digital geoinformation services that enable the rapid collection, processing, and storage of data, the visual representation of monitoring objects, as well as access to information for a wide range of specialists.

KEYWORDS:

remote sensing; Arctic development; offshore projects; information support; digital monitoring system; geoinformation systems; natural risk management.

FOR CITATION:

Ananko V.N. DZZ obespechivaet bezopasnost': kak tsifrovye tekhnologii menyayut upravlenie shel'fovymi proektami v Arktike [Remote sensing ensures safety: how digital technologies are transforming the management of offshore projects in the Arctic] // *Geoinfo*. 2026. T. 8. № 1. S. 62–70. DOI:10.58339/2949-0677-2026-8-1-62-70 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ

26 февраля 2026 года Институт экологического проектирования и изысканий (АО «ИЭПИ») провел в Москве традиционный круглый стол для организаций, ведущих хозяйственную деятельность на арктическом шельфе, по теме «Дистанционные методы и информационные сервисы для реализации шельфовых проектов». Модерировал дискуссию директор по развитию института Иван Королёв. Участие во встрече приняли представители компаний «Газпром», «Новатэк», «Газпром Недр», «Газпром Нефть», «Газпром нефть шельф», «ПРАЙМ ГРУП», «Газпром ВНИИГАЗ», «Арктический научный центр» («Роснефть»), а также представители Института физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН, Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, ФГБУ «Морская спасательная служба» и др.

Главный тезис, который в тех или иных вариациях звучал на протяжении всей дискуссии, заключался в том, что Арктика сегодня – это зона интенсивной промышленной деятельности,

где одновременно пересекаются интересы бизнеса и государства в сферах энергетики, логистики и развития инфраструктуры. И без серьезного взаимодействия научно-исследовательских и производственных организаций эта деятельность может оказаться не только опасной с точки зрения техногенных рисков, но и нерентабельной.

Из-за уязвимости северных морских экосистем регион характеризуется крайне высокими экологическими рисками. Например, многомиллиардные штрафы Росприроднадзора за нарушение этой хрупкой среды могут привести к банкротству даже крупные организации. Достаточно вспомнить, как «Норникель» был вынужден выплатить штраф в размере 146 млрд рублей после разлива мазута в 2020 году под Норильском. А сумма исковых требований к двум компаниям, которые несли ответственность за разливы мазута в Керченском проливе после аварий танкеров «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239» в декабре 2024 года, составила около 120 млрд рублей (в том числе 84 млрд руб. от Росприроднадзора, 32 млрд руб. от Краснодарского края), при этом еще 2 млрд руб. составили

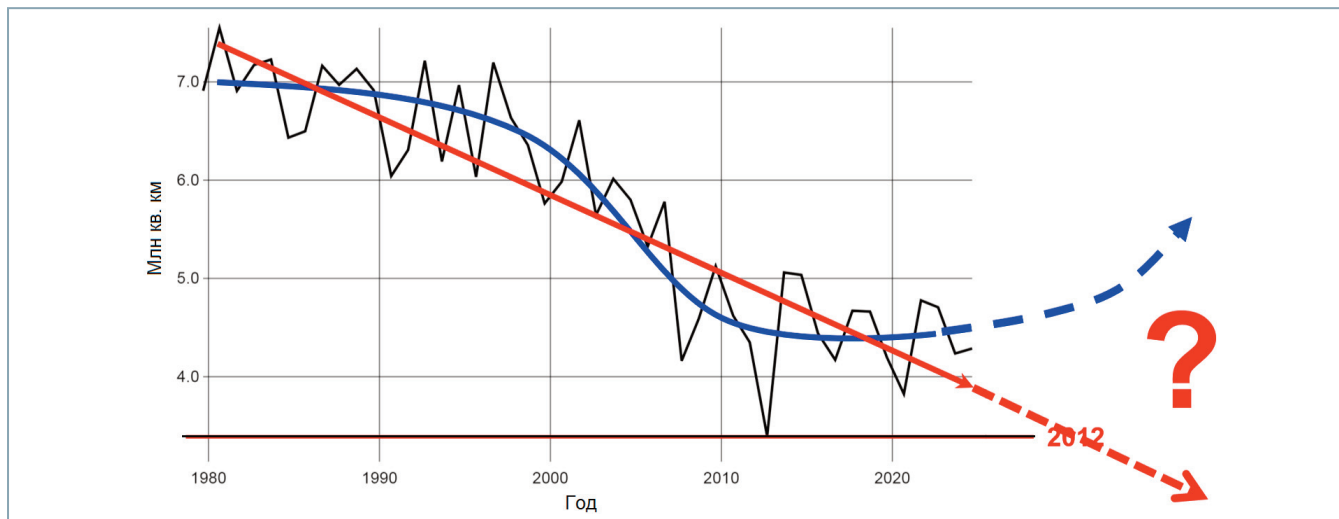


Рис. 1. Площадь распространения арктических морских льдов в сентябре (из презентации В. Семёнова). Черным цветом показаны результаты наблюдений, синим и красным – тренды и прогнозы

прямые затраты на ликвидацию последствий разливов. Что уж тут говорить о необходимости обеспечения максимальной безопасности при реализации проектов по поисково-разведочному и добычному бурению на российском континентальном шельфе, особенно в условиях жестких западных санкций.

Арктика как зона неопределенности

Начал работу круглого стола академик Владимира Семёнов, директор Института физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН (ИФА РАН). В своем докладе он рассказал о научных и прикладных исследованиях института в Арктике и подчеркнул, что, несмотря на устойчивый тренд к сокращению площади морского льда, система остается крайне вариативной и зависящей от множества факторов. «Мы все знаем, что арктический морской лед тает – и особенно это заметно летом. По данным за сентябрь (когда достигается сезонный минимум), площадь льда сократилась примерно с 6 до 3,5 миллионов квадратных километров. Зимой относительные (процентные) изменения меньше, потому что льда в этот сезон в принципе больше – порядка 14 миллионов квадратных километров. Но если смотреть на абсолютные величины, то сокращение зимой и летом сопоставимо: зимой площадь уменьшается примерно на 1,5 миллиона квадратных километров, а летом – примерно на 2,5 миллиона. Важно понимать: когда говорят, что летом “лед тает в три раза быстрее, чем зимой”, речь идет о процентах, а не об абсолютных значениях – в квадратных километрах соотношение другое. Главные актуальные вопросы сейчас – это текущее состояние площади морских льдов, возможные изменения в будущем, возможность сезонного и межгодового прогноза. Если посмотреть на данные за сентябрь 2025 года, видно, что минимум 2012 года снова не достигнут.

Иными словами, уже 13 лет подряд площадь арктического морского льда в сезонном минимуме не опускается ниже уровня 2012 года», – отметил академик, подчеркнув при этом, что многие модели все-таки позволяют с большой долей уверенности прогнозировать дальнейшее таяние льдов. Если первые поколения климатических моделей прогнозировали, что рубеж превращения Арктики в сезонно безледную придется на 2060-е годы, то два наиболее современных поколения моделей сошлись на том, что это, по всей вероятности, произойдет уже в 2040-х. Иными словами, горизонт планирования меняется: речь идет о событиях, которые могут стать реальностью в рамках ближайших 15–20 лет.

При этом академик обратил внимание на следующее. В моделях, не учитывающих антропогенное воздействие, тренды и флуктуации в зимний и летний сезоны схожи, а при введении антропогенного фактора летом таяние ускоряется сильнее, чем зимой, – и именно это фиксируется при реальных наблюдениях, что дополнительно указывает на тесную связь современных изменений ледового режима с влиянием человеческой деятельности и на то, что тенденция к сокращению площади льда будет продолжаться.

В конце своего доклада Владимир Семёнов сделал важные прикладные выводы. Особое внимание он уделил Северному морскому пути, проблемами которого в ИФА РАН занимаются с 2010-х годов. Моделирование показывает рост продолжительности безледной навигации при разных сценариях: в перспективе она может увеличиться до шести месяцев. Аналогичные расчеты делаются для западной части Карского моря, где сосредоточены крупные проекты по добыче углеводородов. При этом сокращение площади льда имеет как положительные, так и отрицательные стороны. С одной стороны, это делает арктические условия «удобнее» для России: дольше навигация,

проще логистика, меньше ледовых ограничений. Однако наступит момент, когда зона открытой воды сместится за пределы исключительной экономической зоны Российской Федерации (ИЭЗ РФ). Тогда маршруты через Берингов пролив, район Северного полюса, к Гренландии и далее в Европу смогут активнее использоваться без необходимости «спрашивать разрешения» у России. По словам академика, уже к 2050 году продолжительность периода открытой воды за пределами ИЭЗ РФ может достигать примерно двух месяцев в году. И этот сдвиг поменяет не только экономику арктической деятельности, но и затронет вопросы безопасности страны.

Данные как новая инфраструктура

Логичным продолжением разговора стала тема данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). С докладом о спутниковых группировках для ДЗЗ, технических возможностях российских и зарубежных спутников, а также перспективах отечественных систем ДЗЗ выступил начальник управления данных дистанционного зондирования компании «ПРАЙМ ГРУП» Станислав Канюков. Он сделал краткий обзор данных, которые доступны на сегодняшний день для заказа и использования с учетом политических, технологических и экономических факторов.

Станислав подчеркнул, что рынок ДЗЗ в нашей стране переживает сложный и парадоксальный этап: спутников становится больше, разрешение снимков растёт, но доступность данных для российских проектов уменьшается.

Сегодня количество спутников на орбите увеличивается взрывными темпами, однако в этом есть важный нюанс: подавляющее большинство новых аппаратов – это спутники для мониторинга, предназначенные прежде всего для оперативного получения информации о поверхности Земли. Как только речь заходит об измерительных задачах и аналитике, например о формировании тематических карт ледовой обстановки, круг пригодных к использованию аппаратов резко сужается.

Оценивая возможности различных спутниковых группировок, докладчик предложил рассматривать четыре их аспекта:

1) *ресурсный*: количество спутников, реально готовых к работе и способных обеспечить большой объём данных ДЗЗ с максимально возможной частотой съёмки, а также наличие среди них аппаратов, обладающих достаточными техническими возможностями для того, чтобы информационно обеспечивать контроль состояния природных и техногенных систем как на суше, так и на море;

2) *экономический*: необходимость наиболее рационально использовать доступные для заказа материалы в условиях финансовых ограничений, потому что «все считают деньги»;

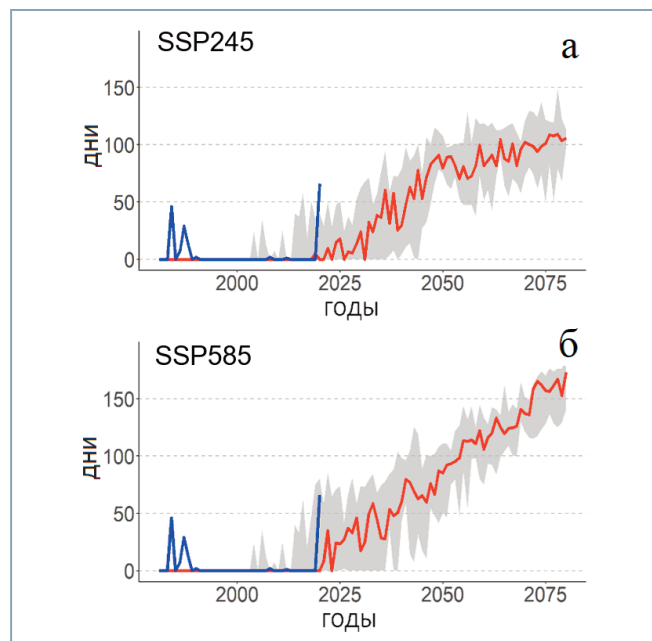


Рис. 2. Продолжительность периода открытой воды (дни) в исключительной экономической зоне РФ в Арктике в 1981–2000 гг. по спутниковым данным (кривые синего цвета) и в 1981–2080 гг. по данным ансамбля климатических моделей CMIP6 (кривые красного цвета, медианные значения) согласно сценариям SSP245 (а) и SSP585 (б). Серым цветом показаны интервалы между 25-м и 75-м перцентилями модельного разброса (из презентации В. Семёнова)

3) *оперативный*: удобство и скорость взаимодействия с оператором конкретной группировки спутников;

4) *санкционный*: отсутствие возможности заказа съёмки у некоторых операторов в нынешних условиях.

На этом фоне С. Канюков выделил главный риск: отечественные потребители данных сейчас максимально зависят от иностранных группировок, прежде всего от китайских. И если, например, китайская сторона неожиданно примет решение прекратить сотрудничество, то российские пользователи могут остаться без данных. Поэтому возникает закономерный вопрос о перспективах отечественных решений – и здесь докладчик оказался настроен достаточно сдержанно. Анализ ключевых параметров национального проекта «Космос» показывает, что основные усилия в его разделе «Связь и наблюдение за Землей» будут сосредоточены на группировке «Рассвет» из 300 космических аппаратов на низкой околоземной орбите – аналоге системы спутников Starlink. Соответственно, финансирование разработки и создания новых высокотехнологичных оптических и радиолокационных спутников для ДЗЗ, вероятно, не будет приоритетным – и этот сектор не будет быстро развиваться в ближайшие годы.

Кроме того, ссылаясь на высказывания главы «Роскосмоса» Дмитрия Баканова, Канюков отметил, что от малых аппаратов в этой госкорпорации, по-видимому, полностью отказались,

Космический аппарат	Пространственное разрешение	Ширина кадра	Страна
Радиолокационные космические аппараты			
Кондор-ФКА	1 м - 12 м	от 10 до 500 км	Россия
Метеор 3М	50 м - 500 м	от 400 до 700 км	Россия
TerraSAR-X, TanDEM-X, Paz	0,25 м - 40 м	от 4 до 270 км	Германия
RadarSat-2, Constellation 1, 2, 3	1 м - 100 м	от 187 до 500 км	Канада
Capella Space	0,25 м – 1,2 м	от 5 до 50 км	США
COSMO-SkyMed	1 м - 100 м	от 10 до 200 км	Италия
ALOS-2	1 м - 100 м	от 10 до 200 км	Япония
KOMPSAT-5	0,85 м - 20 м	от 5 до 100 км	Корея
ICEYE	1 м – 15 м	от 5 до 100 км	Финляндия
Chaohu-1, Shenqi-2	1 м - 20 м	от 5 до 170 км	Китай
GaoFen-3	1 м - 500 м	от 10 до 650 км	Китай
Ludi Tance 1-01A,1-01B	1 м – 100 м	от 5 до 100 км	Китай

Рис. 3. Основные космические системы ДЗЗ (из презентации С. Канюкова)

а развивать данное направление планируется за счет частных компаний.

В качестве альтернативы, напомнил докладчик, планировалась и фактически была запущена программа государственно-частного партнерства: государство выделяет финансирование и помогает с выводом спутников на орбиту, а частные компании развивают производство и создают спутниковые группировки. Однако опыт зарубежных стран показывает, что для старта таких проектов важны многие составляющие, не все из которых сегодня есть в России. Поэтому и перспективы этого пути автор доклада считает «достаточно туманными».

В ходе дискуссии участники круглого стола коснулись насущной темы, связанной с возможностью получения и использования бесплатных спутниковых данных. Они действительно существуют и используются как государственными, так и частными компаниями. Наиболее доступным источником таких данных, по словам С. Канюкова, является программа Landsat Геологической службы США (USGS). Этот архив ценен тем, что его материалы предоставляются открыто, без дополнительных ограничений и их можно легально использовать в практической деятельности.

Вторым источником таких бесплатных данных являются материалы Европейского космического агентства (ESA), прежде всего миссии программы Copernicus (спутников серии Sentinel). Однако, как подчеркнул докладчик, доступ российским пользователям к ним официально заблокирован, а обходные способы их получения связаны с определенными рисками.

Кроме того, отметил автор доклада, после 2022 года был сформирован перечень «недружественных стран» и в ряде

ведомств и организаций были введены ограничения или даже запреты на использование данных, полученных с космических аппаратов таких государств. Например, некоторые российские государственные компании наложили запрет на применение материалов миссии Landsat для реализации своих проектов. В результате ограничения действуют сразу с двух сторон: оператор может не предоставлять данные, а российская организация или компания – запрещать их использование.

Ключевой практический риск, который выделил С. Канюков, связан с планированием производственных процессов. Если компания выстроит технологическую цепочку получения аналитической информации, базирующуюся, например, на материалах со спутников семейства Sentinel (или из других «внешних» бесплатных источников), останется вероятность того, что доступ к данным в какой-то момент полностью «отключат». Поэтому, как отметил автор, с точки зрения организации и устойчивости производства критические сервисы необходимо строить на основе данных, доступность которых максимально предсказуема.

От снимков к решениям: цифровая интеграция мониторинга

Наиболее прикладной доклад представил Даниил Корнилов, заместитель руководителя Центра геоинформационных технологий и дистанционного зондирования Земли Института экологического проектирования и изысканий. Его выступление стало центральным элементом круглого стола, поскольку перенесло разговор из плоскости источников данных в плоскость их практического использования.

ОБЩИЙ ВИД ВЕБ ГИС

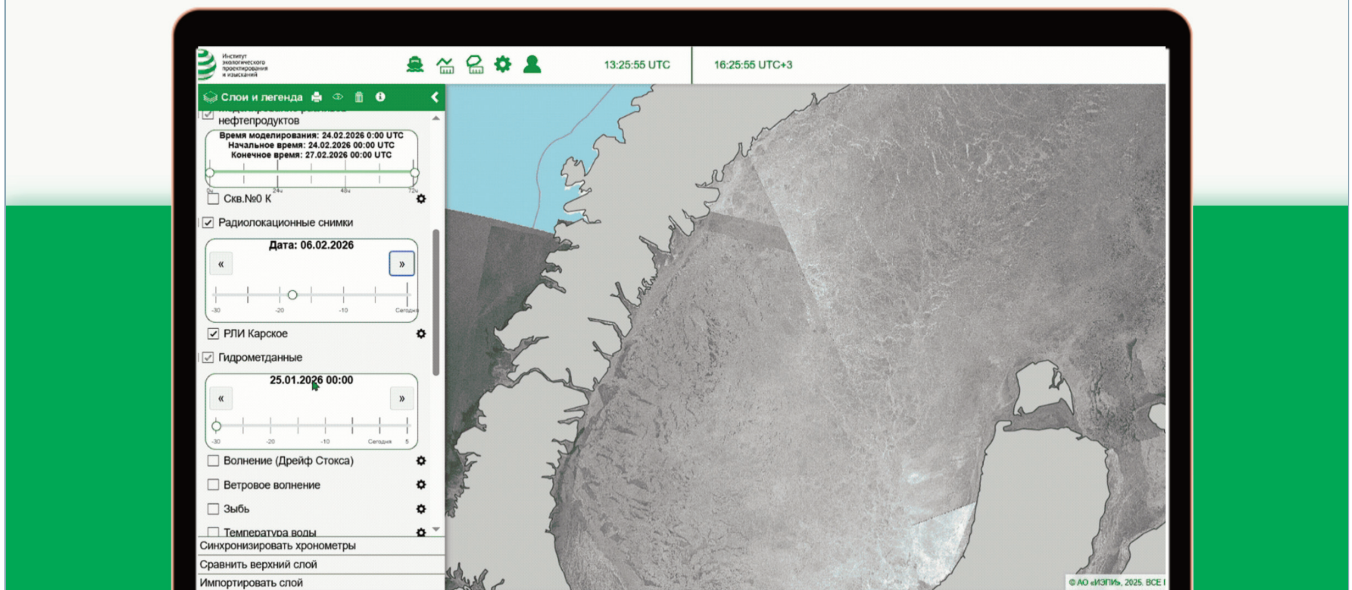


Рис. 4. Интерфейс веб-ГИС, в которой реализована автоматическая передача пространственных данных мониторинга морской ледовой и экологической обстановки на сервер, их обработка и визуализация (из презентации Д. Корнилова)

По словам Даниила, для оперативного мониторинга ледовой и экологической обстановки в морях сотрудники Берегового операционного центра Морской спасательной службы, с которой активно сотрудничает АО «ИЭПИ», ежедневно обрабатывают огромные массивы данных. Понимая критическую важность скорости обработки, специалисты ИЭПИ разработали веб-картографическую платформу, в которой реализована автоматическая передача пространственных данных на сервер, их обработка и визуализация. Благодаря этому время от момента поступления данных до выдачи результата заказчику уменьшается в разы, что позволяет ему оценивать ситуацию в зоне мониторинга практически в реальном времени.

Докладчик рассказал, что за последние годы институт сформировал систему ледового и экологического мониторинга, включающую комплексную работу с радиолокационными и мультиспектральными снимками, гидрометеорологическими данными, океанографическими моделями. Он подчеркнул принципиальный технологический сдвиг: «Важно не просто получить снимок, а сократить время от получения данных до принятия решения».

Веб-картографическая платформа как инструмент управления рисками

Представленная Даниилом Корниловым цифровая платформа выполняет сразу несколько функций, таких как:

- 1) централизованный сбор данных;
- 2) автоматическая обработка спутниковых материалов;

- 3) моделирование процессов;
- 4) интерактивная визуализация;
- 5) формирование отчетности.

Особый интерес аудитории вызвала демонстрация результатов дешифрирования радиолокационных снимков с помощью нейросетевых алгоритмов, которые позволяют выполнять классификацию «лед – вода», выделяя свободные ото льда акватории, а также классифицировать лед по его возрасту и сплоченности.

Отдельное внимание в докладе было уделено экологическому мониторингу. Как отметил его автор, применение радиолокационных данных позволяет обнаруживать нефтяные пленки даже при сложных погодных условиях: «Используя сочетание методов радиолокации, мультиспектральной съёмки и автоматических классификаторов, система обеспечивает обнаружение нефтяной пленки как в открытом море, так и в прибрежных акваториях, в том числе при высоких скоростях ветра. Специальный модуль нашей системы выполняет прогноз дрейфа нефтяных пятен, выявленных по спутниковым данным. Алгоритм настроен так, что мы можем не только спрогнозировать направление дрейфа объекта, но и определить его первоисточник, примерное время появления».

Докладчик особо подчеркнул, что разработанная цифровая платформа отличается интуитивным интерфейсом и гибкой архитектурой. Это позволяет оперативно адаптировать ее под специфику любого объекта и обеспечивает широкому кругу специалистов доступ к пространственным данным для решения прикладных задач.

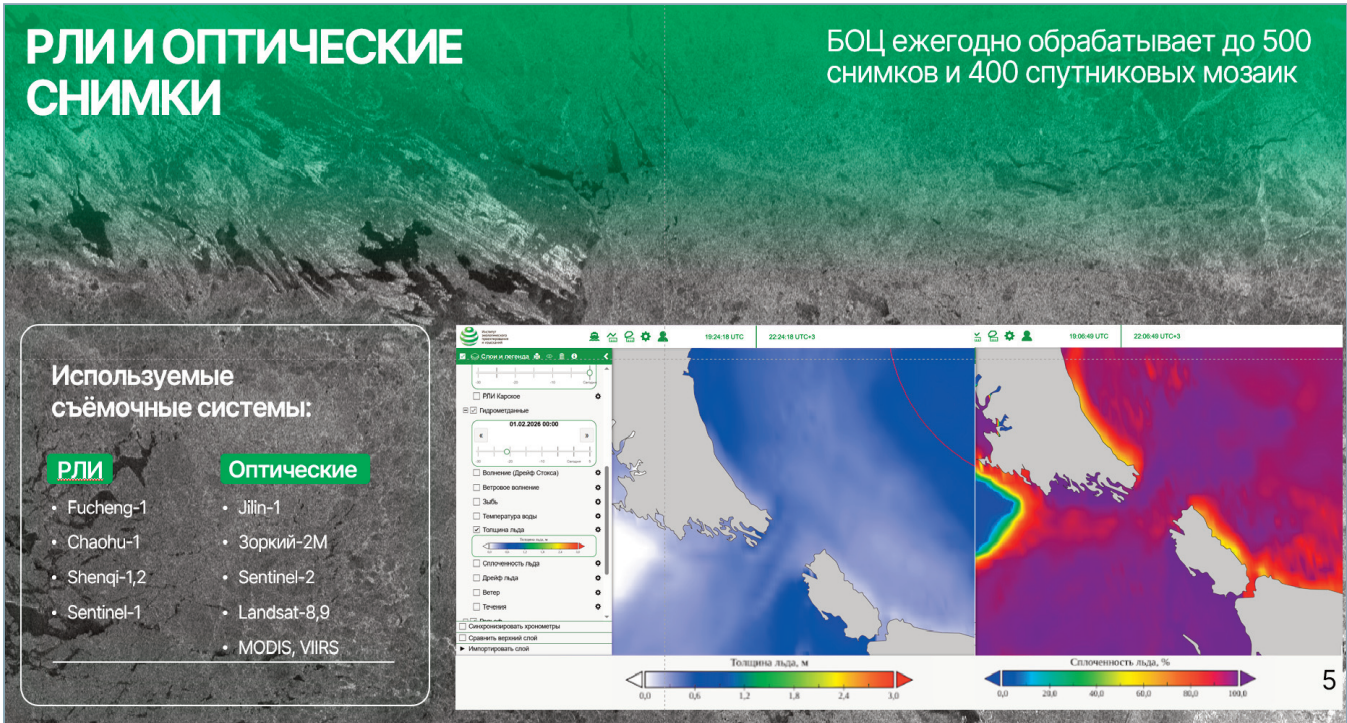


Рис. 5. Съёмочные системы, данные которых используются при проведении ледового и экологического мониторинга, и примеры результатов их применения (из презентации Д. Корнилова)

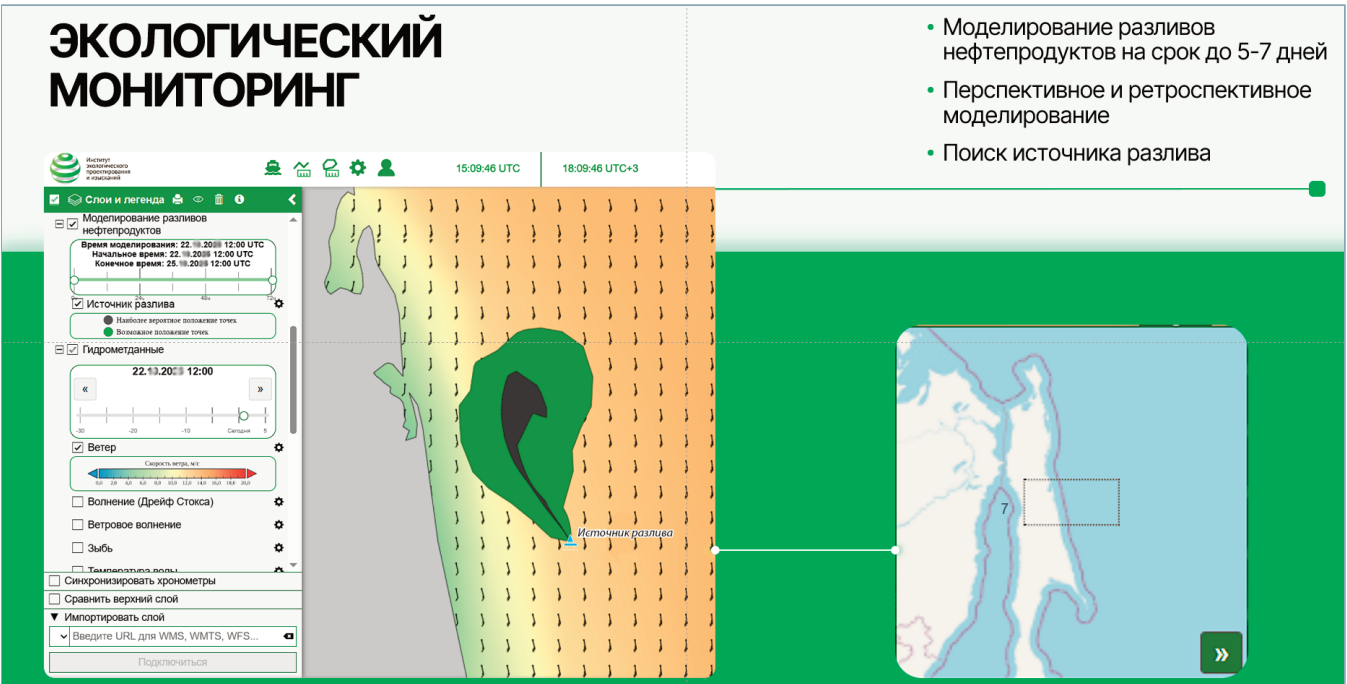


Рис. 6. Возможности разработанной в ИЭПИ цифровой платформы для экологического мониторинга и пример их реализации (из презентации Д. Корнилова)

Ветровое волнение как недооцененный фактор риска

Отдельный научно-прикладной блок круглого стола был посвящен моделированию ветрового волнения – теме, которая нередко остается за кадром технических дискуссий, но напрямую влияет на безопасность морских операций.

Соответствующий доклад представил Станислав Мысленков – специалист отдела морских исследований ИЭПИ, старший научный сотрудник географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, кандидат физико-математических наук. Акценты в его выступлении были сделаны на особенностях моделирования ветрового волнения в морях России и точности полученных моделей, на под-

РАСЧЕТЫ ВЫСОТЫ ВОЛН ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

При помощи спектральных волновых моделей рассчитываются режимные и экстремальные характеристики ветровых волн.

Ветер

реанализы
NCEP/CFRSR/CFsv2, ERA5

Лед

реанализ NCEP/CFRSR, OSI SAF,
ESA SST CCI and C3S
(спутниковые реанализы).

Батиметрия

Etopo1, навигационные карты
Вычислительные неструктурные сетки
с детализацией в прибрежной зоне.

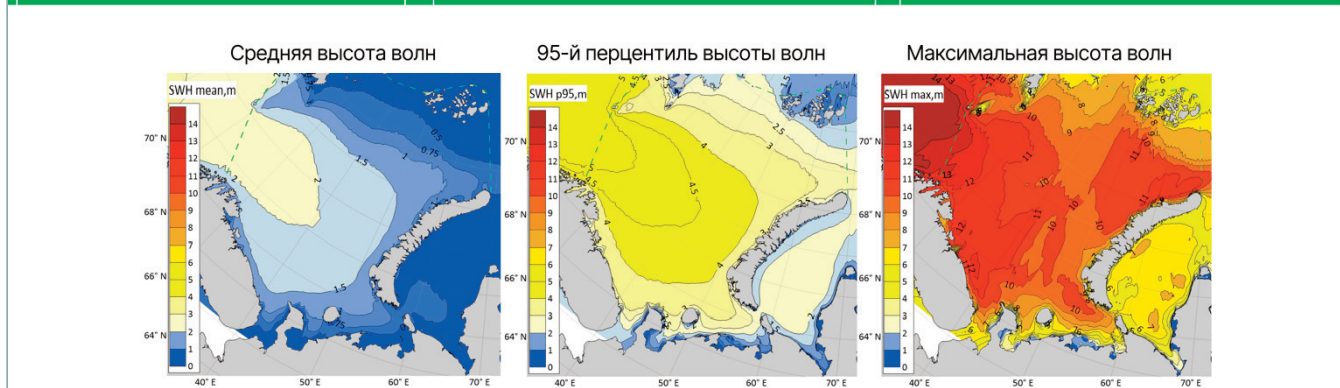


Рис. 7. Примеры результатов расчетов высоты волн для инженерных изысканий (из презентации С. Мысленкова)

спутниковых наблюдениях, а также на проблемах в исходных данных.

Как отметил докладчик, при расчетах используется несколько ключевых источников:

- результаты реанализов ветра;
- данные о ледовой обстановке;
- данные о рельефе дна;
- спутниковые данные;
- результаты подспутниковых наблюдений.

Именно последний компонент вызвал наиболее оживленную дискуссию. Станислав Мысленков рассказал о специализированном оборудовании для подспутниковых наблюдений – морских буях и заякоренных станциях, которые позволяют выполнять прямые измерения высоты волн и скорости ветра. А также о собственной разработке – приповерхностных дрейфтерах, которые позволяют отслеживать скорость и направление течений, а также дрейф нефтяных разливов в прибрежных акваториях.

Сегодня спутниковые данные широко применяются для оценки качества моделей ветрового волнения, так как без верификации даже самые современные модели могут давать заметные расхождения с реальностью. Однако точность спутниковых алгоритмов существенно зависит от наличия подспутниковых наблюдений, объем которых в российских морских акваториях пока явно недостаточен.

Фактически речь идет о системной проблеме всей сферы: спутниковых данных становится больше, но при этом полевых наблюдений – меньше. Один из участников дискуссии сфор-

мулировал это предельно прямо: «Мы всё лучше видим поверхность моря из космоса, но все хуже понимаем, что происходит на уровне измерений». Особенно актуальна эта проблема для арктических акваторий, включая Карское море, где сезонные ограничения резко сокращают возможности инструментальных наблюдений.

В ходе обсуждения прозвучал важный тезис: моделирование волнения необходимо рассматривать не отдельно, а как часть комплексной системы морского мониторинга – вместе с ледовой обстановкой, течениями и метеопараметрами.

Именно такая связка позволяет корректно оценивать:

- нагрузки на морские платформы;
- условия проведения буровых работ;
- условия для морских операций различной сложности;
- риски возникновения аварийных ситуаций.

Таким образом, тема исследования ветрового волнения органично дополнила общий тренд встречи – переход от отдельных наблюдений к комплексным цифровым моделям морской среды.

Цифровая безопасность: как меняется работа морских спасателей

Завершающим докладом стала презентация современных сервисов для обеспечения безопасности на море, представленных специалистами ФГБУ «Морская спасательная служба». Заместитель руководителя этой службы Александр Науменко подчеркнул, что в последние годы условия работы спасателей



Рис. 8. Перспективы применения комплексной системы мониторинга безопасности морских и прибрежных объектов «Оберег», беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и безэкипажных катеров (БЭК) (из презентации А. Науменко)

существенно усложнились из-за роста интенсивности морской деятельности, увеличения количества инфраструктурных объектов, а также расширения географии работ. При этом ресурсы организации остаются ограниченными, что требует внедрения новых технологических решений.

Одним из таких решений является комплексная система мониторинга безопасности «Оберег», внедряемая на морских буровых объектах при участии компаний нефтегазового сектора, включая ПАО «Газпром». Эта система обеспечивает:

- позиционирование персонала;
- автоматическую фиксацию происшествий;
- передачу сигналов тревоги;
- интеграцию с геоинформационными платформами.

Особый интерес аудитории вызвала демонстрация сценария «Человек за бортом». Как отметил докладчик, благодаря персональным меткам позиционирования координаты пострадавшего автоматически передаются диспетчеру буровой установки, аварийно-спасательному судну и в цифровую систему мониторинга. Это позволяет сократить время реагирования до нескольких минут.

Главный вывод: неопределенность остается

Несмотря на технологический прогресс, участники круглого

стола неоднократно возвращались к ключевой проблеме – неопределенности. Даже при наличии спутниковых группировок, математических моделей и цифровых платформ точный прогноз ледовой обстановки остается достаточно сложной задачей, что связано с высокой динамичностью природных процессов.

В ходе обсуждения прозвучала показательная реплика: «Цифровизация не отменяет природы, но позволяет быстрее реагировать на ее изменения». Именно эта мысль стала одним из главных итогов встречи.

Проведенный круглый стол показал, что информационное обеспечение развития Арктики находится на переломном этапе. С одной стороны, сохраняют свою значимость традиционные научные и технологические задачи. С другой – формируется новая цифровая экосистема. Например, доклад Даниила Корнилова продемонстрировал, что будущее управления шельфовыми проектами связано не столько с увеличением объемов данных, сколько с их оперативной и системной обработкой.

Сегодня можно говорить о формировании новой парадигмы: «От наблюдений – к цифровому управлению природными рисками». И именно в Арктике эта трансформация происходит быстрее всего. **и**

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ ЖУРНАЛА



Геотехническая лаборатория
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



ООО «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»



ООО «КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

АО «ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЙ»

СПОНСОРЫ ЖУРНАЛА



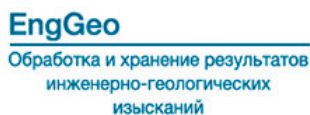
ООО НПП «ГЕОТЕК»



MALININSOFT



ПРОГРЕССГЕО



ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
«ENGGeo»



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ



ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ДЛЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ



АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ
ГРУНТОВ



РОССИЙСКОЕ ИНЖЕНЕРНОЕ ПО



ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ: АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ

Поступила 10.03.2026

Принята к публикации 30.03.2026

Опубликована 11.06.2026

ГУРЕВИЧ Е.В.

Старший научный сотрудник Государственного гидрологического института, г. Санкт-Петербург, Россия
gewita@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена комплексному анализу понятия «гидравлическая связь между водными объектами» – ключевого критерия для определения правового статуса и режима использования водных ресурсов. Цель работы – проанализировать соответствующую нормативную базу и выработать рекомендации по установлению такой связи. Актуальность темы обусловлена правовыми последствиями, пробелами в нормативных документах, сложностью экспертизы в ряде случаев, увеличением количества споров между собственниками земельных участков и надзорными органами.

В публикации рассмотрены трактовки рассматриваемого понятия в контексте нормативных определений типов подземного питания поверхностных водных объектов. Несмотря на отсутствие в нормативных документах прямого определения данного понятия, внимательное прочтение и совместный анализ приведённых в статье положений из этих документов позволяет выявить его ключевые признаки.

На основе анализа нормативных документов и экспертной практики в работе предложены методические рекомендации по проведению экспертиз по установлению наличия или отсутствия гидравлической связи между водными объектами.

Статья адресована гидрологам, экологам, юристам, специалистам в области водного хозяйства и природоохранного надзора.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

гидравлическая связь; водные объекты; Водный кодекс РФ; ГОСТ 19179-73; поверхностные воды; подземные воды; взаимосвязь между поверхностными и подземными водами.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Гуревич Е.В. Гидравлическая связь между водными объектами: анализ нормативной базы // Геоинфо. 2026. Т. 8. № 1. С. 72–76. DOI:10.58339/2949-0677-2026-8-1-72-76.

HYDRAULIC CONNECTION BETWEEN WATER BODIES: ANALYSIS OF THE REGULATORY FRAMEWORK

Received: 10.03.2026

Accepted for publication 30.03.2026

Published 11.06.2026

GUREVICH E.V.

Senior researcher at the State Hydrological Institute, Saint Petersburg, Russia
gewita@yandex.ru

ABSTRACT

The article is devoted to a comprehensive analysis of the concept "hydraulic connection between water bodies", which is a key criterion for determining the legal status and use regime of water resources. The aim of the study is to analyze the regulatory framework and propose recommendations for establishing hydraulic connection between water bodies. The relevance of the topic stems from the legal implications, gaps in regulatory documents, the complexity of expert assessment in certain cases, and the growing number of disputes between landowners and regulatory authorities.

The paper examines interpretations of the concept under consideration in the context of regulatory definitions of groundwater supply types for surface water bodies. Despite the absence of a direct definition of this concept in regulatory documents, the careful reading and combined analysis of the regulatory provisions, which were presented in the article, reveal key indicators of the concept.

The author proposes methodological recommendations for conducting expert assessments to determine the presence or absence of a hydraulic connection between water bodies on the basis of the analysis of regulatory documents and expert practice.

The article is intended for hydrologists, ecologists, lawyers, and specialists in water management and environmental supervision.

KEYWORDS:

hydraulic connection; water bodies; Water Code of the Russian Federation; GOST 19179 73; surface water; groundwater; interaction between surface water and groundwater.

FOR CITATION:

Gurevich E.V. *Gidravlicheskaya svyaz' mezhdru vodnymi ob'ektami: analiz normativnoi bazy [Hydraulic connection between water bodies: analysis of the regulatory framework]* // *Geoinfo*. 2026. T. 8. № 1. S. 72–76.
DOI:10.58339/2949-0677-2026-8-1-72-76.

Введение

В современной правоприменительной и хозяйственной практике регулярно возникают споры, связанные с определением правового статуса водных объектов и режима их использования. Один из ключевых критериев для решения таких вопросов – наличие или отсутствие гидравлической связи между водными объектами. Несмотря на принципиальную важность этого понятия, в российском законодательстве отсутствует его нормативное определение.

От установления гидравлической связи зависит определение права собственности на водный объект: например, пруды без гидравлической связи с иными водными объектами могут находиться в собственности субъектов РФ, муниципалитетов или даже в частной собственности, а при наличии такой связи они относятся к федеральной собственности [1]. При этом понятие

«гидравлическая связь между водными объектами» активно используется в гидрологической науке и судебной практике.

Совместный анализ положений Водного кодекса РФ и ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения»

Нормативного определения понятия «гидравлическая связь водных объектов» нет, но при описании типов подземного питания поверхностных водных объектов в ГОСТ 19179-73 [2] указывается следующее:

- пункт 82: «подпорный тип подземного питания – тип подземного питания, определяемый режимом подземного стока при постоянной гидравлической связи подземных вод с поверхностными и при образовании подпора подземных вод во время половодья и паводков»;

- пункт 83: «нисходящий тип подземного питания – тип подземного питания, определяемый режимом подземного стока при отсутствии гидравлической связи подземных вод с поверхностными в условиях свободного стока подземных вод»;
- пункт 120: «почвенные воды – временные скопления капельно-жидких вод в почвенной толще на слабопроницаемых слоях, гидравлически не связанные с нижележащими водоносными пластами».

В приведенных определениях говорится о гидравлической связи поверхностных и подземных вод, содержащихся в соответствующих объектах. Это соотносится с делением водных объектов, установленным пунктом 1 статьи 5 Водного кодекса РФ [1]: «Водные объекты в зависимости от особенностей их режима, физико-географических, морфометрических и других особенностей подразделяются на:

- 1) поверхностные водные объекты;
- 2) подземные водные объекты».

В пункте 7 ГОСТ 19179-73 [2] говорится следующее: «поверхностные воды – воды, находящиеся на поверхности суши в виде различных водных объектов». В этом же стандарте приведены определения некоторых видов подземных вод, таких как верховодка (п. 121), почвенно-грунтовые воды (п. 122), подрусловые воды (п. 123).

Гидравлическая связь предполагает наличие физического механизма переноса (движения) воды – будь то поверхностный водоток или подземный водоносный горизонт [3, 4]. Это подтверждается определением водотока в пункте 15 ГОСТ 19179-73: «водоток – водный объект, характеризующийся движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности».

Понятие «гидравлическая связь» используется в том числе в судебной практике, например в решениях Верховного Суда РФ. Так, в пункте 23 «Обзора судебной практики Верховного Суда Российской Федерации № 2 (2019)» [5] указывается: «В собственности субъектов РФ, муниципальных образований, физических и юридических лиц могут находиться только пруды (состоящие из поверхностных вод и покрытых ими земель в пределах береговой линии), обладающие признаками изолированности и обособленности от других поверхностных водных объектов, то есть не имеющие гидравлической связи с иными водными объектами. Если пруд не обособлен и не изолирован от других поверхностных водных объектов и имеет с ними гидравлическую связь, он относится к собственности РФ, в том числе когда он образован на водотоке (реке, ручье, канале) с помощью водоподпорного сооружения».

Таким образом, в экспертно-гидрологической и правоприменительной практике гидравлическая связь рассматривается как наличие взаимодействия, или связи, между водными объектами посредством поверхностных или подземных вод. Для доказательства наличия связи между водными

объектами достаточно подтвердить наличие этой связи или через поверхностные, или через подземные воды [1, 5, 6].

Нормативное определение взаимосвязи поверхностных и подземных вод отсутствует, но это понятие используется в гидрологии и закреплено в определении типа подземного питания в пункте 81 ГОСТ 19179-73 [2]: «тип подземного питания – характерное соотношение взаимосвязи речных и подземных вод, определяющее динамику подземного питания». В гидрологии взаимосвязь поверхностных и подземных вод рассматривается не только в отношении рек [7].

На основе толкования определения типа подземного питания в пункте 81 ГОСТ 19179-73 [2] можно дать следующую формулировку: взаимосвязь поверхностных и подземных вод – это процесс взаимодействия, определяющий динамику подземного питания поверхностных водных объектов в зависимости от соотношения гидравлических уровней и объемов поверхностных и подземных вод.

В пункте 4 статьи 1 Водного кодекса РФ [1] указывается: «водный объект – природный или искусственный водоём, водоток либо иной объект, постоянное или временное сосредоточение вод в котором имеет характерные формы и признаки водного режима» (то есть определяет изменчивость их водного режима во времени). В пункте 17 ГОСТ 19179-73 временный водоток определяется как водоток, движение воды в котором происходит в течение меньшей части года. Соответственно, связь между водными объектами может быть временной или постоянной [2, 7].

Следует отметить, что в Водном кодексе РФ [1] и ГОСТ 19179-73 [2] отсутствуют:

- количественные критерии сосредоточения вод в водном объекте (не установлено, какое количество воды должно находиться в объекте, чтобы признать его водным или исключить из этой категории);
- временные критерии сосредоточения вод в водном объекте (не определено, какое время (дни, недели, месяцы, годы) вода может отсутствовать в отрицательной форме рельефа, чтобы считать объект неводным).

Из-за многообразия условий формирования водного режима водных объектов в различных физико-географических и климатических зонах обширной территории России разработка унифицированных критериев не представляется возможной [8, 9]. Поэтому каждый водный объект необходимо исследовать индивидуально.

Рекомендации по проведению экспертиз

На практике установление гидравлической связи между водными объектами может быть сопряжено с существенными сложностями из-за сезонной и даже многолетней изменчивости,

гидрогеологических особенностей, антропогенных и других факторов, особенно в отношении периодически пересыхающих объектов. Поэтому выполнение однократного полевого обследования в маловодный период может не дать достоверных результатов из-за временного, в том числе длительного пересыхания. Этот аспект имеет прямое отношение к выявлению наличия или отсутствия гидравлической связи между водными объектами [10, 11].

В отсутствие утверждённых методических рекомендаций по установлению наличия или отсутствия такой связи предлагается подход к обследованию и подготовке отчётной документации на основе опыта проведения подобных экспертиз. Этот подход базируется на общих рекомендациях, не является исчерпывающим и может быть дополнен с учётом особенностей конкретного водного объекта.

Основная задача таких исследований – собрать в их процессе доказательные признаки, необходимые для соотнесения изучаемого объекта с нормативными определениями, закреплёнными в действующем законодательстве.

На *предполевом (предварительном камеральном) этапе исследований* требуется анализ топографических карт и спутниковой информации для установления наличия или отсутствия гидравлической связи между водными объектами, выявления участков такой потенциальной связи, идентификации связанных между собой водных объектов, а также для планирования маршрута будущего полевого обследования. Иногда достаточно анализа актуальных космических снимков, сделанных в многоводный период года, но для подтверждения современного состояния водного объекта необходимо его дальнейшее полевое обследование [10, 11].

На *полевом этапе* проводится детальное обследование водных объектов на участках предполагаемой или выявленной на подготовительном этапе гидравлической связи. Если эта предварительная информация отсутствует, поиск таких участков выполняется при маршрутном обследовании. Устанавливают отрицательные формы рельефа, по которым может происходить переток воды между водными объектами. Если водный объект пересыхает, выполняют поиск и фотофиксацию меток высоких вод, а также выявляют существующие водопропускные сооружения. Наличие водопропускного сооружения даже на пересохшем водном объекте подтверждает возможность протекания через него воды в многоводный период и указывает на наличие временной гидравлической связи [12]. Признаками изменений уровней воды служат метки высоких вод, которые отражают водный режим объекта.

Напомним, что в пункте 5 статьи 1 Водного кодекса [1] приведено следующее определение: «водный режим – изменение во времени уровней, расхода и объема воды в водном объекте». В пункте 76 ГОСТ 19179-73 указывается: «метка

высоких вод – след, оставляемый на местности высоким уровнем воды».

Итак, важно учитывать, что временное отсутствие скопления воды в водном объекте не свидетельствует об отсутствии гидравлической связи между ним и другими водными объектами, а лишь указывает на её временный характер. Поэтому полевые работы для определения наличия или отсутствия гидравлической связи целесообразно выполнять в многоводный период года (во время весеннего половодья, дождевых паводков) с обязательной фотофиксацией обследуемых объектов.


В рамках *мониторинга* объектов с временным отсутствием воды проводятся обследования в разные периоды водности с интервалами, достаточными для достоверного подтверждения наличия или отсутствия гидравлической связи с другими водными объектами.

На заключительном этапе составляется *отчёт* с описанием выполненных работ и их результатов. Выводы, сделанные на этой основе, должны быть подтверждены картографическими материалами и/или спутниковыми изображениями, фото-снимками или видеозаписями, данными измерений (при необходимости) или другой информацией, представленной в разделах по предполевым и полевым работам. Кроме того, необходимо, чтобы эти выводы были соотнесены с нормативными определениями.

Следует отметить, что для увеличения объёма работ в коммерческих целях исполнители нередко включают в свои отчёты подробную климатическую характеристику района работ с информацией об абсолютных температурных минимумах и максимумах, направлении и скорости ветра, опасных природных явлениях, типах воздушных масс, влажности воздуха, температуре почвы, жёсткости воды, флористическом составе и пр. [10]. Однако подобные сведения бесполезны для установления наличия или отсутствия гидравлической связи между водными объектами.

Заключение

Несмотря на отсутствие прямого определения понятия «гидравлическая связь между водными объектами» в нормативных документах, внимательный совместный анализ нормативных положений, представленный в статье, позволяет выявить ключевые признаки данного понятия.

Анализ Водного кодекса РФ [1], ГОСТ 19179 73 [2], а также других документов показал, что даже без формального закрепления рассмотренного термина в нормативной базе действующие нормативные положения описывают комплекс признаков смежных понятий, на основе совместного анализа которых эксперт может вывести критерии (ключевые признаки), достаточные для достоверного установления наличия или отсутствия гидравлической связи между водными объектами. 

Список литературы

1. Водный кодекс РФ от 03.06.2006 № 4-ФЗ (ред. от 29.12.2025) // СПС КонсультантПлюс. 2026.
2. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения (переиздание 1988 г.). М.: Издательство стандартов, 1988.
3. Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии (2-е изд., перераб. и доп.). М.: Изд-во МГУ, 2007. 448 с.
4. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. М.: Изд-во МГУ, 1979. 368 с.
5. Обзор судебной практики Верховного Суда Российской Федерации № 2 (2019) (утв. Президиумом Верховного Суда РФ 17.07.2019) // СПС КонсультантПлюс. 2019.
6. Исследования взаимодействия поверхностных и подземных вод: методическое руководство / под ред. В.В. Куприянова. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 288 с.
7. Михайлов В.Н., Добролюбов А.Д. Гидрология (3-е изд., испр. и доп.). М.: Высшая школа, 2007. 463 с.
8. Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Рец Е.П. и др. Гидрология / под ред. Н.Л. Фроловой. М.: Издательство Московского университета, 2018. 891 с.
9. ГОСТ Р 59054-2020. Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Классификация водных объектов. М.: Стандартинформ, 2020.
10. СП 482.1325800.2020. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. М.: Минстрой России, 2020.
11. РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону: ФГБУ «ГХИ», 2016.
12. СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Минстрой России, 2023.

References

1. Vodnyi kodeks RF ot 03.06.2006 № 4-FZ (red. ot 29.12.2025) [Water Code of the Russian Federation № 74-FZ dated June 3, 2006 (as amended on December 29, 2025)] // SPS Konsul'tantPlyus. 2026 (in Rus.).
2. GOST 19179-73. Gidrologiya sushi. Terminy i opredeleniya (pereizdanie 1988 g.) [Land Hydrology. Terms and Definitions (reprinted edition of 1988)]. M.: Izdatel'stvo standartov, 1988 (in Rus.).
3. Vsevolzhskii V.A. Osnovy gidrogeologii (2-e izd., pererab. i dop.) [Fundamentals of Hydrogeology (2nd ed., revised and expanded)]. M.: Izd-vo MGU, 2007. 448 s. (in Rus.).
4. Shestakov V.M. Dinamika podzemnykh vod [Groundwater Dynamics]. M.: Izd-vo MGU, 1979. 368 s. (in Rus.).
5. Obzor sudebnoi praktiki Verkhovnogo Suda Rossiiskoi Federatsii № 2 (2019) (utv. Prezidiumom Verkhovnogo Suda RF 17.07.2019) [Review of Judicial Practice of the Supreme Court of the Russian Federation № 2 (2019) (approved by the Presidium of the Supreme Court of the Russian Federation on July 17, 2019)] // SPS Konsul'tantPlyus. 2019 (in Rus.).
6. Issledovaniya vzaimodeistviya poverkhnostnykh i podzemnykh vod : metodicheskoe rukovodstvo [Studies of Surface Water and Groundwater Interaction: Methodological Guide] / pod red. V.V. Kupriyanova. L.: Gidrometeizdat, 1982. 288 s. (in Rus.).
7. Mikhailov V.N., Dobrolyubov A.D. Gidrologiya (3-e izd., ispr. i dop.) [Hydrology (3rd ed., revised and expanded)]. M.: Vysshaya shkola, 2007. 463 s. (in Rus.).
8. Frolova N.L., Kireeva M.B., Retz E.P. i dr. Gidrologiya [Hydrology] / pod red. N.L. Frolovoi. M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2018. 891 s. (in Rus.).
9. GOST R 59054-2020. Okhrana okruzhayushchei sredy. Poverkhnostnye i podzemnye vody. Klassifikatsiya vodnykh ob'ektov [Environmental Protection. Surface Water and Groundwater. Classification of Water Bodies]. M.: Standartinform, 2020 (in Rus.).
10. SP 482.1325800.2020. Inzhenerno-gidrometeorologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva. Obshchie pravila proizvodstva rabot [Engineering Hydrometeorological Surveys for Construction. General Rules for Performing Works]. M.: Ministroi Rossii, 2020 (in Rus.).
11. RD 52.24.309-2016. Organizatsiya i provedenie rezhimnykh nablyudenii za sostoyaniem i zagryazneniem poverkhnostnykh vod sushi [Organization and Conduct of Routine Observations of the State and Pollution of Surface Inland Waters]. Rostov-na-Donu: FGBU «GKHI», 2016 (in Rus.).
12. SP 529.1325800.2023. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Determination of Main Design Hydrological Characteristics]. M.: Ministroi Rossii, 2023 (in Rus.).

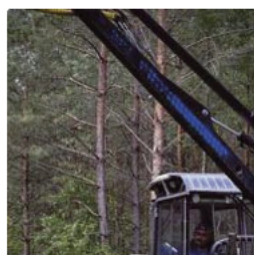
Выпуск №4/2025
Подписан на печать 30.12.2025
GeoInfo №4/2025
Signed for printing 30.12.2025



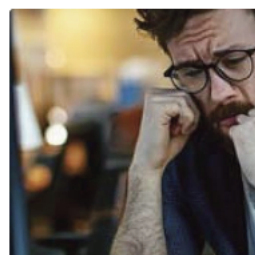
Выпуск №3/2025
Подписан на печать 30.09.2025
GeoInfo №3/2025
Signed for printing 30.09.2025



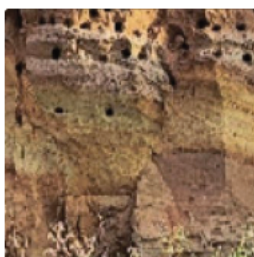
Выпуск №12/2024
Подписан на печать 27.12.2024
GeoInfo №12/2024
Signed for printing 27.12.2024



Выпуск №11/2024
Подписан на печать 20.12.2024
GeoInfo №11/2024
Signed for printing 20.12.2024



Выпуск №2/2025
Подписан на печать 18.08.2025
GeoInfo №2/2025
Signed for printing 18.08.2025



Выпуск №01/2025
Подписан на печать 16.06.2025
GeoInfo №01 (2025)
Signed for printing 16.06.2025



Выпуск №10/2024
Подписан на печать 16.12.2024
GeoInfo №10/2024
Signed for printing 16.12.2024



Выпуск №9/2024
Подписан на печать 30.09.2024
GeoInfo №9/2024
Signed for printing 30.09.2024



С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
выходит в формате *PDF.
4 выпуска в 2026 году.

Контакты

Адрес: 119146, Москва, ул. 3-я Фрунзенская, д.10, оф. 12

E-mail: info@geoinfo.ru

Тел.: +7 (499) 340-340-9, (916) 240-03-22

Издатель: Виктор Ананко



КУН Х.-Ц.

Ключевая лаборатория интеллектуальных производственных технологий Министерства образования КНР, кафедра гражданского и экологического строительства Инженерного колледжа Университета Шанью, г. Шанью, Китай

ЧЖАО Л.-Ш.

Ключевая лаборатория интеллектуальных производственных технологий Министерства образования КНР, кафедра гражданского и экологического строительства Инженерного колледжа Университета Шанью, г. Шанью, Китай
lshzhao@stu.edu.cn

ЧЖАН Н.

Ключевая лаборатория интеллектуальных производственных технологий Министерства образования КНР, кафедра гражданского и экологического строительства Инженерного колледжа Университета Шанью, г. Шанью, Китай
zhangning@stu.edu.cn



ПРОРЫВ ВОДЫ В ТОННель «ШИЦЗИНШАНЬ» ВО ВРЕМЯ СТРОИТЕЛЬСТВА (г. ЧЖУХАЙ, ПРОВИНЦИЯ ГУАНДУН, КИТАЙ)

Поступила 26.01.2026

Принята к публикации 26.01.2026

Опубликована 11.06.2026

АННОТАЦИЯ

Представляем немного сокращенный адаптированный перевод статьи китайских специалистов «Прорыв воды в тоннель «Шицзиншань» во время строительства (г. Чжухай, провинция Гуандун, Китай)» (Kong et al., 2022), опубликованной в журнале Safety («Безопасность») издательством MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute – «Институт мультидисциплинарных электронных публикаций»). Данная работа находится в открытом доступе на сайте MDPI в соответствии с лицензией CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая позволяет распространять, переводить, адаптировать и дополнять ее при условии указания типов изменений и ссылки на первоисточник. В нашем случае полная ссылка на источник для представленного перевода (Kong et al., 2022) приведена в конце.

В публикации рассматривается прорыв воды в тоннель «Шицзиншань» в городе Чжухай (провинция Гуандун, Китай) во время его строительства (в 1,16 км от портала). В результате погибли 14 человек. Цели работы – исследование, анализ и обсуждение причин и механизма резкого водопритока в данном нетипичном случае.

Основными причинами этой катастрофы были: особые геологические условия на аварийном участке строительства; высокая водопроницаемость грунтов в зоне, соединяющей систему подземных вод с вышележащим водоемом (водохранилищем «Цзида»); воздействие интенсивных дождевых осадков.

Авторы дали важные рекомендации по предотвращению подобных аварий. Необходимо: оценить уровни риска на участках, где возможен прорыв подземных вод; выполнить комплексное геологическое прогнозирование на основе данных бурения и методов искусственного интеллекта; создать систему мониторинга в процессе проходки тоннеля; повысить навыки самозащиты у строителей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

прорыв воды в тоннель; инженерно-геологические изыскания; спасательные работы; противоаварийные меры.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Кун Х.-Ц., Чжао Л.-Ш., Чжан Н. Прорыв воды в тоннель «Шицзиншань» во время строительства (г. Чжухай, провинция Гуандун, Китай) (пер. с англ.) // Геоинфо. 2026. Т. 8. № 1. С. 78–89. DOI:10.58339/2949-0677-2026-8-1-78-89.

WATER INRUSH HAZARD IN SHIJINGSHAN TUNNEL DURING CONSTRUCTION, ZHUHAI, GUANGDONG, CHINA

Received: 26.01.2026

Accepted for publication 26.01.2026

Published 11.06.2026

KONG H.-Q.

MOE Key Laboratory of Intelligence Manufacturing Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, College of Engineering, Shantou University, Shantou, China

ZHAO L.-S.

MOE Key Laboratory of Intelligence Manufacturing Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, College of Engineering, Shantou University, Shantou, China
lshzhao@stu.edu.cn

ZHANG N.

MOE Key Laboratory of Intelligence Manufacturing Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, College of Engineering, Shantou University, Shantou, China
zhangning@stu.edu.cn

ABSTRACT

We present a slightly abridged and adapted translation of the paper “Water inrush hazard in Shijingshan Tunnel during construction, Zhuhai, Guangdong, China” written by Chinese specialists (Kong et al., 2022). It was published in 2022 in the journal “Safety” by the MDPI publisher (Multidisciplinary Digital Publishing Institute). It is an open access paper under the CC BY 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) that allows it to be distributed, translated, adapted, and supplemented, provided that the types of changes are noted and the original source is referred to. In our case, the full reference to the original paper (Kong et al., 2022), which was used for the presented translation, is given at the end.

This short communication reports on a water inrush hazard during the construction of the Shijingshan Tunnel in Zhuhai, Guangdong, China. On 15 July 2021, a water inrush accident occurred at the construction site 1.16 km away from the tunnel entrance, resulting in 14 casualties. The purpose of this study is to investigate and discuss the water inrush process in this atypical case. The principal causes of this tunneling accident include the special geological conditions at the construction site, high hydraulic conductivity in the area that connects the underground water system and the overlying water body (the Jida Reservoir), and the impact of heavy rainfall. Moreover, four significant suggestions are proposed to prevent water inrush disasters: assessing the risk level in areas prone to water inrush; getting a comprehensive geological prediction based on borehole data and artificial intelligent methods; establishing a monitoring system during the tunneling process; strengthening the self-protection skills of construction workers.

KEYWORDS:

tunnel water inrush; site investigation; rescue; countermeasures.

FOR CITATION:

Kong H.-Q., Zhao L.-S., Zhang N. Proryv vody v tonnel' "Shitszinshan" vo vremya stroitel'stva (g. Chzhukhai, provintsia Guandun, Kitai) (per. s angl.) [Water inrush hazard in Shijingshan Tunnel during construction, Zhuhai, Guangdong, China (translation from English into Russian)] // Geoinfo. 2026. T. 8. № 1. S. 78–89. DOI:10.58339/2949-0677-2026-8-1-78-89 (in Rus.).

Введение

В последние десятилетия в Китае происходит бурное строительство инфраструктуры, в том числе таких объектов, как тоннели [1], котлованы [2], системы метрополитена [3] и др. Но при строительстве таких объектов часто случались аварии или катастрофы и возникали экологические проблемы. Например, обрушение бортов котлованов [4–6], прорывы

подземных вод в тоннели [7, 8], разрушение мостов или зданий [9], загрязнение вод [10]. Все это существенно влияет на безопасность людей. Например, 10 июня 2018 года в результате резкого водопритока в тоннель Чаоян было множество пострадавших и трое погибших [11].

Помимо факторов, связанных с человеческой деятельностью [12, 13], на безопасность зданий и сооружений в ходе урба-

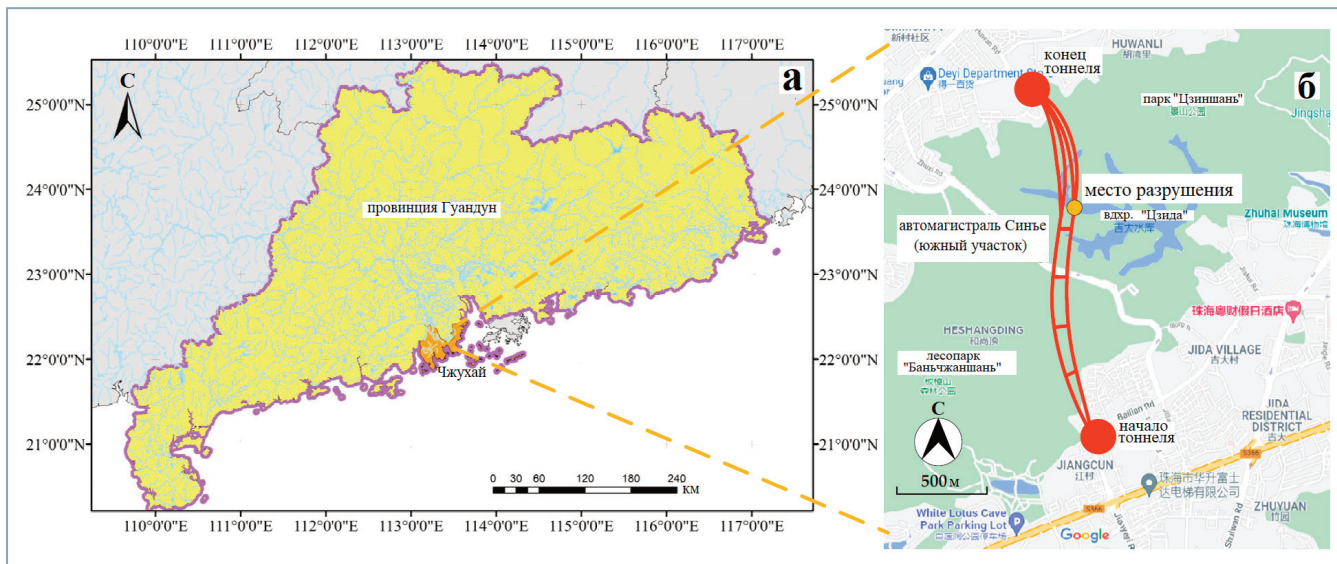


Рис. 1. Расположение обрушившегося тоннеля «Шицзиншань» в городе Чжухай (провинция Гуандун, Китай): а – гидрологическая система провинции Гуандун; б – расположение тоннеля и места его разрушения, произошедшего 15 июля 2021 года (источник картографической основы: Google Maps)

низации сильно влияют природные процессы и явления, в том числе землетрясения [14], обильные дождевые осадки и смерчи [15].

В целях предотвращения опасных ситуаций на объектах инфраструктуры многие исследователи изучали механизмы возникновения и реализации опасностей и разрабатывали различные методы оценки рисков [16, 17] и прогнозирования чрезвычайных ситуаций [18]. К числу соответствующих методов относятся: метод анализа иерархий [19]; метод выбора альтернатив на основе близости к идеальному решению (TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) [20, 21]; численные методы [22]; методы искусственного интеллекта [23].

Кроме того, предпринимаются усилия по оптимизации методов строительства [24–27]. Оценка соответствующих рисков представляет собой комплексную оценку безопасности целевых инженерных объектов и связанных с ними условий окружающей среды [28]. Она очень важна для функционирования систем оповещения (или раннего предупреждения) и проведения спасательных работ при возникновении опасных ситуаций.

При реализации вышеупомянутых опасностей к наиболее серьезным негативным последствиям, как правило, приводят резкие водопритоки в тоннели, поскольку такие явления нелегко выявить заранее. Поэтому необходимы соответствующие исследования. Они должны основываться на данных инженерно-геологических изысканий, на результатах анализа условий окружающей среды и на учете внутригодовой динамики метеоусловий.

В данной краткой публикации рассматривается прорыв воды в строящийся тоннель «Шицзиншань» в городе Чжухай (про-

винция Гуандун, Китай) [29, 30]. Сначала представим основную информацию о проекте строительства этого тоннеля. Затем опишем ситуацию, связанную с резким водопритоком в него и последующими спасательными работами, а также проанализируем факторы, влияющие на возникновение и реализацию данной опасности. И в заключение подчеркнем, что для участков с повышенной вероятностью водопритока необходимы эффективная система мониторинга и комплексная оценка риска.

Исходные сведения о проекте

На рисунке 1 представлена карта, на которой отмечено место, где обрушился тоннель. В данной публикации рассматривается участок южной части скоростной автомагистрали Синье (Xinye Expressway), который находится под северной частью горы Баньчжаншань в городе Чжухай в китайской провинции Гуандун (рис. 1, а). Этот участок включает два тоннеля (восточный и западный), которые начинаются на пересечении проспекта Цзючжоу (Jiuzhou Avenue) и 1-й дороги Цзянье (Jianye 1st Road) с южной стороны указанной горы и заканчиваются в рабочем стволе на ее северной стороне при общей протяженности около 2,5 км (рис. 1, б). Длина западного и восточного тоннелей составляет 2445,9 и 2434,4 м соответственно. Их проектная высота – 11 м, ширина – 15 м. Для их проходки применялся новый австрийский метод тоннелестроения (NATM – New Austrian Tunnelling Method) с использованием такого подхода, как ступенчатая разработка забоя. Система крепления включала: опережающую крепь из труб $\Phi 42 \times 4$ (с наружным диаметром 42 мм и толщиной стенки 4 мм) с инъектированием; анкерные крепления; стальные арки; инъекционный бетон.

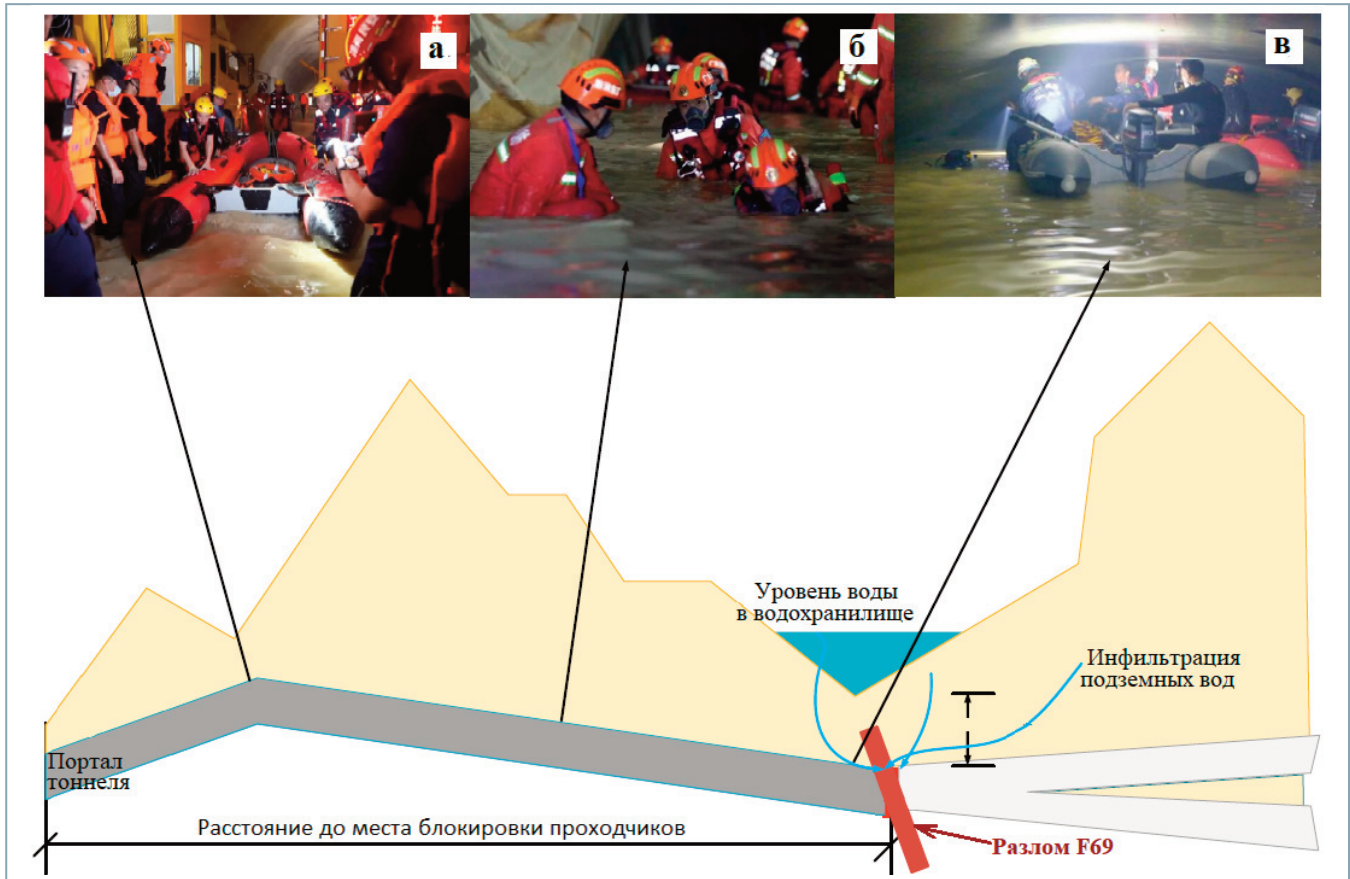


Рис. 2. Уровни воды в тоннеле после аварийного водопритока: а – минимальный уровень воды в месте старта спасательного катамарана (источник фото: https://www.guancha.cn/politics/2021_07_17_598831_s.shtml); б – вода в средней части тоннеля, которая была спасателям по пояс (источник фото: https://www.xianjichina.com/news/details_275025.html); в – место с максимальным уровнем воды в тоннеле при проведении спасательных работ, в котором наблюдался недостаток кислорода (источник фото: https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_13726501)

Прорыв воды

Катастрофический прорыв воды произошел 15 июля 2021 года в 3:30 в результате обрушения свода восточного тоннеля. До этого, 14 июля в 18:55, при проходке данного тоннеля были завершены буровзрывные работы. Последующая очистка забоя от взорванной породы продолжалась около 9 часов и была окончена 15 июля в 2:35. Однако помимо опережающей трубной крепи без инъектирования какие-либо другие элементы крепления не были установлены. И в 3:28 произошло обрушение значительного количества песка и камня со свода восточного тоннеля. А спустя две минуты участок свода, не имевший крепления, обрушился полностью, после чего в тоннель хлынула вода. Затем вода устремилась в западный тоннель через соединительный ход. На рисунке 2 показан уровень воды в тоннеле после прорыва. В западном тоннеле на расстоянии 1160 м от портала оказались заблокированными 14 человек (см. рис. 2).

Исследования выявили основные причины катастрофы. Участок тоннеля под водохранилищем «Цзида» (Jida Reservoir) прошел через глубокую зону выветривания с обильным обвод-

нением. Свод восточного тоннеля обрушился, приведя к затоплению, из-за неправильного метода строительства и задержки с установкой системы крепления. При этом вода поступила в западный тоннель, что привело к гибели проходчиков.

Сложность гидрогеологических условий и особенности тоннелей в аварийной зоне вызвали следующие трудности при проведении спасательных работ.

1. Участок со сложными гидрогеологическими условиями, на котором произошло обрушение тоннеля с затоплением, характеризуется холмистым рельефом дневной поверхности. Основными залегающими там породами являются граниты и выветрелые грунты. В отдельных зонах гранитов развита трещиноватость. В прилегающем районе выявлены разломы Хувань и Цзида, приразломные зоны которых взаимодействовали с участком тоннельного строительства. Под влиянием окружающих основных и вторичных разломов трещиноватость грунтового массива в аварийной зоне достигла высокой степени, со значительной раздробленностью пород.

2. Между аварийным тоннелем и водохранилищем «Цзида» присутствует сильная гидравлическая связь. В течение полутора часов после обрушения свода сооружения уровень

воды в водоеме снизился на 1,9 м. По оценкам, из водохранилища в тоннели поступило около $2,2 \times 10^5$ м³ воды. Поэтому на начальном этапе катастрофы интенсивный водоприток существенно осложнил работы по осушению тоннелей. Кроме того, под воздействием проходки и аварийного затопления гидравлическая связь между водохранилищем и тоннелем еще больше усилилась, что привело к дополнительному увеличению притока воды и к дальнейшему усложнению водоотливных работ.

3. Строители оказались заблокированными на нисходящем участке тоннеля. Уклон тоннеля, равный 3%, привел к накоплению грязевых отложений и других наносов на этом участке, что осложнило доступ к нему для водолазов и подводных роботов. Чем больше накапливалось грязи в воде, тем проблематичнее становилось проведение спасательных работ.

Аварийно-спасательные работы

1. В верхнем бьефе водохранилища была возведена водонепроницаемая перемычка, разделившая водоем на две части и прервавшая связь между его котловиной и источником его питания. Благодаря этому внешний приток воды шел уже не из всего водохранилища, а только из небольшого пруда. Далее вода, скопившаяся над местом обрушения тоннеля, была дренирована.

Эти меры позволили предотвратить поступление поверхностных вод из водохранилища «Цзида» в подземное сооружение. Объем дренажного оборудования непрерывно увеличивался. Использовали: 10 грязевых насосов, генераторы мощностью 7500 кВт, диагональный насос (смешанного потока) мощностью 175 кВт, водоотливные насосы (275 кВт), погружные насосы (330 кВт), канализационные насосы (390 кВт), 10 автоцистерн. Помимо наружного дренажа откачка проводилась также внутри тоннеля (рис. 3). Чтобы решить проблему чрезмерной концентрации угарного газа внутри сооружения и улучшить условия проведения спасательных работ, в дополнение к восьми уже функционирующим осевым вентиляторам были введены в действие восемь струйных вентиляторов.

2. Целостность скальных пород уже была сильно нарушена, поэтому в ходе спасательной операции потребовалось провести усиленную инъекционную цементацию грунтового массива для обеспечения безопасности людей в зоне ведения работ. Нижняя часть котловины водохранилища, из которой происходила инфильтрация воды в тоннель, после откачки из нее жидкости была засыпана грунтом. Затем путем планировки и уплотнения этого грунта была подготовлена рабочая площадка для размещения механизированного оборудования



Рис. 3. Спасатели раскладывают дренажное оборудование (источник фото: https://www.guancha.cn/politics/2021_07_17_598831_s.shtml)



Рис. 4. Участок проведения спасательных работ (источник фото: https://www.guancha.cn/politics/2021_07_17_598831_s.shtml)

(на рисунке 4 показан участок водохранилища над тоннелем в процессе аварийно-спасательных работ).

Затем с помощью универсальных бурильно-инъекционных установок пробурили скважины и применили технологию нагнетания двухкомпонентного раствора для инъекционного армирования насыпного грунта и забоя тоннеля. Такой раствор затвердевает в течение 30–50 секунд, что позволяет быстро превратить исходно рыхлый грунт в плотную монолитную структуру, эффективно блокирующую приток воды в тоннель из водохранилища и подземных трещин.

В этих работах принимали участие более 110 человек и было задействовано 20 комплектов оборудования. Засыпка отгороженного водонепроницаемой перемычкой участка котловины водохранилища, расположенного над сводом аварийного тоннеля, была завершена 16 июля к 15:00. По со-

стоянию на 9 часов утра 17 июля на площадку было доставлено 90 т цемента и 20 т силиката натрия, введено в работу 12 комплексных бурильно-инъекционных установок.

3. Главной целью Гуанчжоуского аварийно-спасательного управления Министерства транспорта КНР было спасение людей с привлечением всех возможных сил. Для участия в этой операции на место катастрофы срочно прибыли 8 водолазов от Аварийно-спасательного управления Южно-Китайского моря (Наньхайского аварийно-спасательного управления Министерства транспорта КНР), 6 водолазов от Гуанчжоуского аварийно-спасательного управления и 3 эксперта по аварийно-спасательным работам. По состоянию на 9 часов утра 19 июля 4 смены водолазов провели поисково-спасательные работы общей продолжительностью 16 часов, обследовав более 900 м затопленного тоннеля. На рисунке 5 показано начало выполнения этих работ.

4. Проводился мониторинг безопасности конструкций тоннеля и присутствия в нем токсичных газов. Для предотвращения возникновения вторичных катастроф постоянно усиливалось отслеживание гидрологических условий на дневной поверхности в режиме реального времени, особенно для горы, водохранилища, других водных объектов и насыпного грунта (рис. 6). Велся мониторинг возникновения протечек в тоннеле, наличия в нем опасных газов, осадок поверхности грунта с регулярным оповещением через каждые 30 минут о ситуации внутри и снаружи для обеспечения безопасности спасателей.

К сожалению, 22 июля 2021 года, после нескольких дней непрерывных поисково-спасательных работ, было подтверждено, что все 14 человек, оказавшихся в ловушке, погибли.

Геологические условия территории вдоль трассы тоннеля

Тоннель «Шицзиншань» начинается вблизи деревни Байлянь и пересекает под землей весь лесопарк горы Баньчжаншань с юга на север. Он был построен с использованием нового австрийского метода тоннелестроения (NATM), который применяется там, где преобладают очень твердые породы с прочностью более 100 МПа. Проходка через твердые грунты обычно сопровождается подрывными работами с разрушением пород непосредственно перед выемкой.

На рисунке 7 схематично показан геологический разрез рассматриваемой территории.

Проходка тоннеля «Шицзиншань» сквозь гору Баньчжаншань велась преимущественно в сильно выветрелых гранитах (см. рис. 7), причем расстояние между его сводом и дном водохранилища составляло примерно 19 м. Это представляло основной риск для подземного сооружения. Однако из-за от-



Рис. 5. Спасатели спускают подводного робота с катамарана (источник фото: https://www.xianjichina.com/news/details_275025.html)



Рис. 6. Система мониторинга и управления аварийно-спасательными работами (справа) (источник фото: https://www.guancha.cn/politics/2021_07_17_598831_s.shtml)

сутствия инженерно-геологических скважин до катастрофы упомянутый грунт был грубо оценен как гранит средней степени выветрелости, обладающий достаточной прочностью для выдерживания нагрузки на тоннель от залегающих выше пород при использовании метода ступенчатой разработки забоя.

При детальном же инженерно-геологическом изыскании после катастрофы было установлено, что в действительности вокруг места прорыва воды залегал сильно выветрелый гранит с развитой трещиноватостью. И его прочность была значительно снижена под воздействием подземных вод.

Таким образом, неточная оценка геологических условий была одной из основных причин аварии. К тому же в описанных условиях применение нового австрийского метода тоннелестроения (NATM) несло дополнительный риск обрушения.

При проходке тоннеля в твердых породах буровзрывные работы могут вызывать неустойчивость его забоя и даже приводить к прорывам воды, которые чаще всего происходят в зонах, где

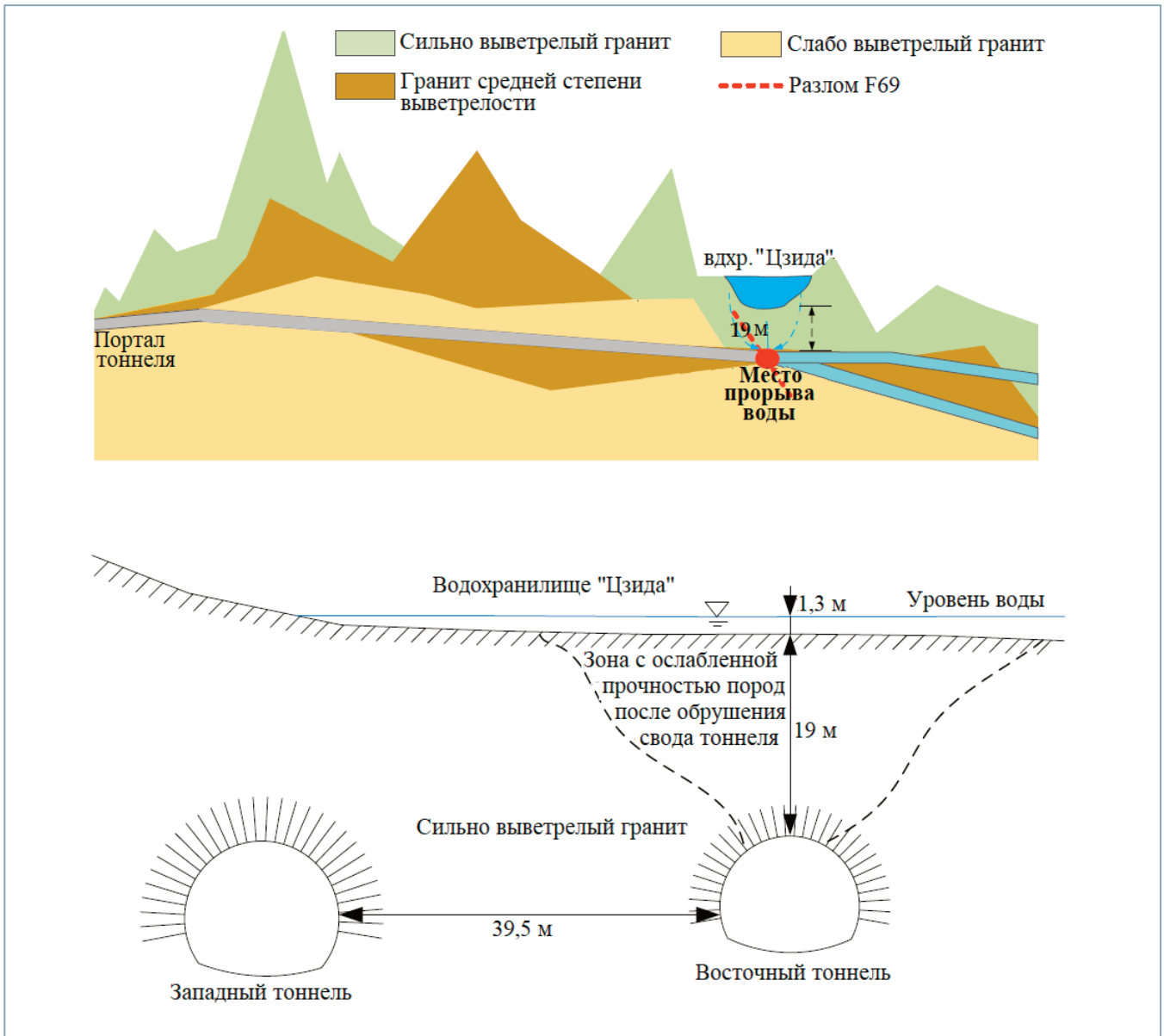


Рис. 7. Схематичный геологический разрез рассматриваемой территории

грунты характеризуются трещиноватостью или наличием разломов. На рисунке 8 показано пересечение трассой тоннеля «Шицзиншань» разлома F69 вблизи водохранилища «Цзида».

Наличие разлома под названием F69 (согласно геологической карте города Чжухай), пересекающего горы Баньчжан, было выявлено при инженерно-геологических изысканиях, выполненных для строительства другого тоннеля под горой Баньчжаншань, носящего то же название, что и гора (см. рис. 8). Этот разлом простирается в направлении с юго-запада на северо-восток. Вероятность пересечения проектируемой трассой тоннеля «Шицзиншань» с разломом F69 в месте, расположенном под водохранилищем «Цзида», была высока. В случае подтверждения этой оценки данное место было бы наиболее опасным участком тоннеля.

Кроме того, снижение прочности пород в зоне разлома могло значительно увеличить неустойчивость забоя тоннеля.

Поэтому при буровзрывной разработке забоя без надлежащего предварительного крепления тоннель мог обрушиться в любой момент.

Инженерно-геологический разрез в указанном месте сложен насыпным грунтом (занимающим верхнюю часть и имеющим мощность около 2–6 м), гравийно-песчаным грунтом, полностью выветрелым гранитом, сильно выветрелым гранитом, гранитом средней степени выветрелости и слабо выветрелым гранитом. Оцененные значения геотехнических параметров для этих слоев приведены в таблице.

Механизм прорыва воды

В рассматриваемом случае основным источником риска являлось водохранилище «Цзида». К возникновению прорыва воды в тоннель могла привести высокая водопроницаемость

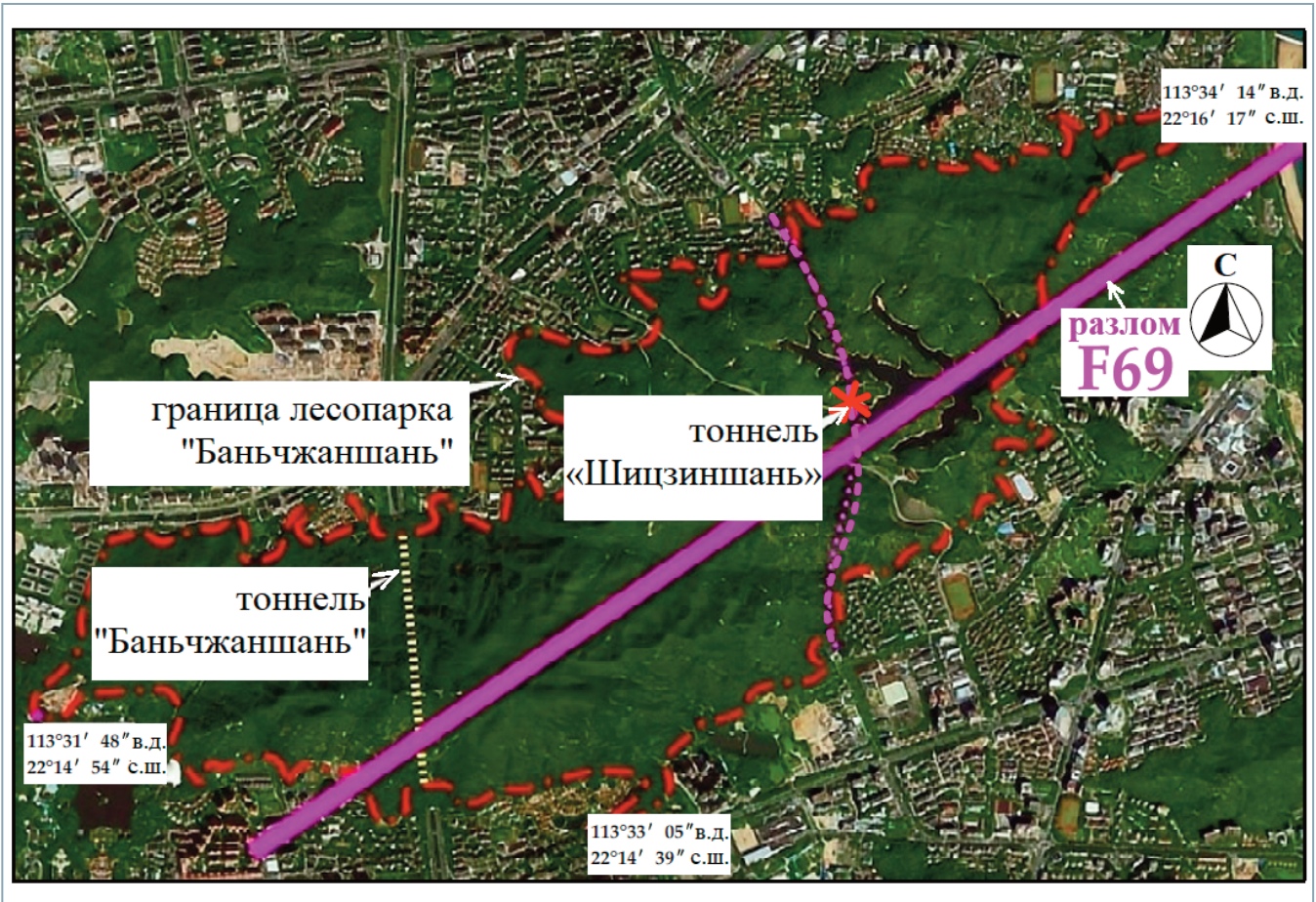


Рис. 8. Место пересечения тоннеля «Шицзиншань» с разломом F69 вблизи водохранилища «Цзида» (источник изображения: <https://zhuanlan.zhihu.com/p/390890982>)

Таблица. Оцененные значения геотехнических параметров слоев грунта, принятые при проектировании и строительстве (источник: <https://www.doc88.com/p-19259446047410.html?r=1>, accessed on 18 May 2020)

Тип грунта	Несущая способность f_{a0} , кПа	Природный удельный вес γ , кН/м ³	Влажность w , %	Удельное сцепление C , кПа	Угол внутреннего трения φ , °	Компрессионный (одометрический) модуль деформации (в интервале давления 0,1–0,2 МПа) E_{s1-2} , МПа	Начальный модуль деформации E_0 , МПа
Насыпной грунт	90	18,3	25,0	22,0	15,1	4,15	-
Гравийно-песчаный грунт	170	18,1	12,6	-	41,7	-	-
Полностью выветрелый гранит	300	19,0	22,5	21,2	25,4	5,02	118,5
Сильно выветрелый гранит	600	-	-	-	-	-	234,6
Гранит средней степени выветрелости	1500	Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии $f_{тк} = 24,85$ МПа					
Слабо выветрелый гранит	2800	Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии $f_{тк} = 49,12$ МПа					

зоны разлома. После обрушения вмещающих грунтов вода из водохранилища могла быстро проникнуть в тоннель через зону повышенной трещиноватости, связанную с разломом, и в итоге вызвать резкий водоприток (согласно данным изысканий, выполненных после катастрофы, максимальный исходный уровень воды в водохранилище мог достигать 20 м). Обрушение забоя восточного тоннеля могло привести к образованию воронкообразной зоны ослабления прочности пород между сводом подземного сооружения и дном водохранилища, что скорее всего и обусловило интенсивный приток туда воды из водоема (см. рис. 7). Вода могла сначала прорваться в правый тоннель и затем через поперечный соединительный ход попасть в левый тоннель. Кроме того, продолжался приток внутрь сооружения за счет фильтрации подземных вод.

Поскольку вода очень быстро поступала в тоннель в основном из водохранилища, для оценки фактического коэффициента фильтрации грунта целесообразно использовать закон Дарси, который выражается следующим образом:

$$Q = KA \frac{\Delta h}{L},$$

где Q – интенсивность (расход, дебит) водопритока, м³/с; K – коэффициент фильтрации грунта, м/с; A – площадь поперечного сечения зоны прорыва, м²; Δh – потеря напора (разность напоров), м, на участке фильтрации длиной L , м.

В данном случае длина пути фильтрации L оценивается как минимальное расстояние между дном водохранилища и сводом тоннеля, равное 19 м. Принимается максимальное значение перепада напоров Δh , равное 22,2 м. Тогда максимальный градиент напора $J = \Delta h / L$ (гидравлический градиент, перепада напора на единицу длины) составляет: $22,2 / 19 = 1,17$.

Во время интенсивного водопритока в тоннель уровень воды в водохранилище будет снижаться, а уровень воды в тоннеле – повышаться. Разность напоров сохранится, но постепенно снизится. Поскольку ширина незакрепленного свода сооружения составляет 1,8 м, а оцененная длина окружности поперечного сечения тоннеля – около 15 м, площадь поперечного сечения зоны прорыва A составит около 27 м².

Согласно данным полевых измерений, в течение полутора часов из водохранилища ушло $2,2 \times 10^5$ м³ воды, что соответствует среднему расходу водопритока $Q \approx 40,7$ м³/с. Соответственно, коэффициент фильтрации грунта K , оцененный путем приведенного расчета, составляет 1,29 м/с, что существенно превышает эмпирические значения для выветрелого гранита (от $3,3 \times 10^{-6}$ до $5,2 \times 10^{-5}$ м/с) или гравия (от 3×10^{-4} до 3×10^{-2} м/с). Таким образом, чрезмерно высокая величина K подтвердила наличие непосредственной гидравлической связи между водохранилищем и тоннелем, что и было одной из основных причин катастрофы.

Интенсивные дождевые осадки

Город Чжухай расположен к югу от тропика Рака и находится в зоне субтропического морского муссонного климата, для которого характерно обилие солнечного света и осадков. Этот район часто оказывается под влиянием южных субтропических муссонов и гроз. Максимальное годовое количество осадков там составило 2873,9 мм (1973 г.), минимальное – 1200,9 мм (1963 г.), среднемноголетнее – 1950,7 мм. Максимальное суточное количество осадков составило 393,7 мм (12 июня 1966 г.). Самый продолжительный период непрерывных дождей длился 18 суток (в июле 1968 г.) при общем количестве осадков 378,3 мм. Распределение в течение года было неравномерным: на летний период (с апреля по сентябрь) приходилось 80% годового объема осадков [31].

Дожди рассматривались как еще один значимый фактор, способствовавший прорыву воды в тоннель. В июле 2021 года среднемесячное количество осадков в Чжухае достигло своего пика. Более того, 7 июля 2021 года в городе непрерывно шел дождь, а 14 июля 2021 года там был грозовой ливень. Продолжительные осадки были одним из ключевых факторов, спровоцировавших водоприток, поскольку они привели к повышению уровней поверхностных вод и водохранилища «Цзида» – важных источников подпитки подземных вод.

Таким образом, неблагоприятная ситуация была усугублена сочетанием таких факторов, как затяжные дожди и продолжающиеся работы по проходке тоннеля.

На рисунке 9 схематично представлены причинно-следственные связи, которые привели к прорыву воды в тоннель.

Обсуждение и рекомендации

Создание тоннелей – оптимальный выбор при проектировании железных дорог или автомагистралей в горных районах, позволяющий сокращать расстояния и избегать больших уклонов. Однако из-за недостаточных знаний о геологических условиях во время строительства различных тоннелей реализовывались многочисленные геологические опасности и происходили аварии и катастрофы, в том числе с гибелью людей. Например, на рассмотренном в данной статье участке тоннеля с неблагоприятными геологическими условиями в 2021 году произошла трагедия.

Подобные события в последние десятилетия приводили к гибели людей и к серьезному материальному ущербу. Опасность прорыва воды в тоннель может привести к катастрофе, и с этим очень трудно иметь дело. Чтобы уменьшить риск реализации такой опасности, надо должным образом исследовать геологические условия и источники воды при изысканиях для проектирования и строительства.



Рис. 9. Факторы, спровоцировавшие прорыв воды в тоннель

Развитие интенсивного водопритока при строительстве тоннелей является сложным процессом – и полное понимание механизмов прорыва воды получить трудно. Существуют способствующие его возникновению факторы, такие как изменение напряженно-деформированного состояния грунтов во время проходки, развитие трещиноватости пород, изменения окружающей среды и др. Из-за комбинированного воздействия указанных факторов традиционные эмпирические методы прогнозирования резкого водопритока теперь не подходят. В решении задач, в которых рассматривается совокупное влияние множества факторов, могут помочь методы искусственного интеллекта (ИИ). Существенно облегчить выявление механизмов возникновения прорывов воды при строительстве тоннелей может совокупное использование геоинформационных систем (ГИС) и ИИ.

Необходимо тщательно изучить инженерно-геологические условия района трассы будущего тоннеля. На практике обычно применяют бурение скважин. Однако строителям приходится находить баланс между стоимостью бурения и точностью инженерно-геологических данных. И в таких случаях очень не просто прогнозировать изменения геологических условий на основе ограниченности данных по скважинам. Хорошим решением является сочетание новейших методов, таких как метод переходных (электромагнитных) процессов и метод

георадиолокации (георадарный), с традиционным бурением скважин, что позволяет очень точно и достоверно оценить геологические условия.

Для предотвращения или снижения ущерба, вызванного прорывами воды в тоннели, необходимо создавать системы мониторинга. Надежные методы мониторинга должны быть экономичными, удобными в использовании и подходящими для применения в сложных геологических условиях, например в карстующихся грунтовых массивах. В настоящее время в геотехническом строительстве получили широкое распространение инновационные волоконно-оптические датчики, которые позволяют эффективно измерять изменения напряжений, смещения, давление воды и другие параметры. Этот тип технологий мониторинга особенно хорошо подходит для проектов строительства тоннелей в условиях воздействия множества факторов. На основе собранных данных и алгоритмов ИИ центр мониторинга может предупреждать или оповещать о возникновении аномальных ситуаций и выдавать инструкции.

Может быть рассмотрено частичное применение щитовой проходки тоннеля. Проходческий щит, являясь мощной временной крепью, способен противостоять внешнему давлению подземных вод и давлению со стороны забоя или подошвы. Такой тип проходки протяженных тоннелей глубокого зало-

жения в слабых водоносных слоях часто имеет преимущества с технической и экономической точек зрения и соответствует условиям реализации рассмотренного в статье проекта на опасном участке.

Заключение

15 июля 2021 года в городе Чжухай (провинция Гуандун, Китай) произошел катастрофический прорыв воды в тоннель при его проходке. Это случилось под водохранилищем «Цзида», что значительно осложнило спасательные работы и привело к гибели 14 человек.

Данная катастрофа была спровоцирована совокупным воздействием следующих факторов: высоким коэффициентом фильтрации (гидравлической проводимостью, водопроницаемостью) грунтов на аварийном участке; наличием разломов в этом районе (прежде всего разлома F69); сильными дождями перед рассматриваемым событием; инфильтрацией воды из расположенного над тоннелем водохранилища.

Необходимо проводить оценку рисков в районах, где возможны прорывы воды в тоннели во время их строительства.

Для прогнозирования возможных техногенных аварий и катастроф следует применять эффективные методы мониторинга *in situ*. Кроме того, важно исследовать геологические условия вдоль трассы тоннеля с использованием методов искусственного интеллекта на основе ограниченных данных бурения. Повысить эффективность отслеживания возникновения подобных аварий и успешность поисково-спасательных работ могут методы ИИ. Они, например, помогают выполнять мониторинг очагов фильтрации воды и деформаций забоя и обнаженной поверхности выработки на начальном этапе проходки (до создания окончательной отделки тоннеля), что позволяет своевременно оповещать руководство о необходимости принятия противоаварийных мер. Кроме того, технологии ИИ позволяют обнаруживать и идентифицировать людей в ходе поисково-спасательных работ, что способствует сохранению жизней. **И**

Данное исследование было выполнено при финансовой поддержке Национального фонда естественных наук Китая (грант № 4210020169) и Фонда поддержки исследований для новых сотрудников Университета Шаньтоу (грант № NTF21008-2021).

Источник для перевода (Source for the translation)

Kong H.-Q., Zhao L.-S., Zhang N. Water inrush hazard in Shijingshan Tunnel during construction, Zhuhai, Guangdong, China // Safety. 2022. Vol. 8. № 1. Article 7. <https://doi.org/10.3390/safety8010007>. URL: <https://www.mdpi.com/2313-576X/8/1/7>.

Список литературы, использованной авторами переведенной статьи (References used by the authors of the translated article)

1. Lyu H.M., Shen S.L., Zhou A., Chen K.L. Calculation of pressure on the shallow-buried twin-tunnel in layered strata // Tunn. Undergr. Space Technol. 2020. Vol. 103. Article 103465.
2. Lin S.S., Shen S.L., Zhou A., Xu Y.S. Risk assessment and management of excavation system based on fuzzy set theory and machine learning methods // Autom. Constr. 2021. Vol. 122. Article 103490.
3. Lyu H.M., Zhou W.H., Shen S.L., Zhou A. Inundation risk assessment of metro system using AHP and TFN-AHP in Shenzhen // Sustain. Cities Soc. 2020. Vol. 56. Article 102103.
4. Lin S.S., Shen S.L., Zhou A., Xu Y.S. Novel model for risk identification during karst excavation // Reliab. Eng. Sys. Saf. 2021. Vol. 209. Article 107435.
5. Atangana Njock P.G., Shen S.L., Zhou A., Modoni G. Artificial neural network optimized by differential evolution for predicting diameters of jet grouted columns // J. Rock Mech. Geotech. Eng. 2021. Vol. 13. P. 1500–1512.
6. Chin Y.T., Chen J. Foundation pit collapse on 8 June 2019 in Nanning, China: a brief report. Safety. 2019. Vol. 5. № 4. Article 68.
7. Yu C., Zhou A., Chen J., Arulrajah A., Horpibulsuk S. Analysis of a tunnel failure caused by leakage of the shield tail seal system // Undergr. Space. 2020. Vol. 5. P. 105–114.
8. Shen S.L., Wu H.N., Cui Y.J., Yin Z.Y. Long-term settlement behavior of metro tunnels in the soft deposits of Shanghai // Tunn. Undergr. Space Technol. 2014. Vol. 40. P. 309–323.
9. Chai J.C., Shen S.L., Ding W.Q., Zhu H.H., Cater J.P. Numerical investigation of the failure of a building in Shanghai, China // Comput. Geotech. 2014. Vol. 55. P. 482–493.

10. Kardani N., Zhou A., Nazem M., Shen S.L. Improved prediction of slope stability using a hybrid stacking ensemble method based on finite element analysis and field data // *J. Rock Mech. Geotech. Eng.* 2021. Vol. 13. P. 188–201.
11. Zhang N., Zheng Q., Elbaz K., Xu Y.S. Water Inrush Hazards in the Chaoyang Tunnel, Guizhou, China: a Preliminary Investigation // *Water*. 2020. Vol. 12. Article 1083.
12. Shen S.L., Lyu H.M., Zhou A., Lu L.H., Li G., Hu B.B. Automatic control of groundwater balance to combat dewatering during construction of a metro system // *Autom. Constr.* 2021. Vol. 123. Article 103536.
13. Xie Z.F., Shen S.L., Arulrajah A., Horpibulsuk S. Environmentally sustainable groundwater control during dewatering with barriers: A case study in Shanghai // *Undergr. Space* 2020. Vol. 6. P. 12–23.
14. Lyu H.M., Shen S.L., Yang J., Zhou A. Risk assessment of earthquake-triggered geohazards surrounding Wenchuan, China // *Nat. Hazards Rev.* 2020. Vol. 21. Article 05020007.
15. Zheng H., Wang L.W. Analysis on the climatic characteristics and impact of Rainstorm in Zhuhai // *Guangdong Meteorol.* 2020. Vol. 36. P. 19–23.
16. Zheng Q., Lyu H.M., Zhou A., Shen S.L. Risk assessment of geohazards along Cheng-Kun railway using fuzzy AHP incorporated into GIS // *Geomat. Nat. Hazards Risk*. 2021. Vol. 12. P. 1508–1531.
17. Lyu H.M., Shen S.L., Zhou A., Yang J. Risk assessment of mega-city infrastructures related to land subsidence using improved trapezoidal FAHP // *Sci. Total Environ.* 2020. Vol. 717. Article 135310.
18. Wu H.N., Shen S.L., Chen R.P., Zhou A. Three-dimensional numerical modelling on localized leakage in segmental lining of shield tunnels // *Comput. Geotech.* 2020. Vol. 122. Article 103549.
19. Lyu H.M., Sun W.J., Shen S.L., Zhou A. Risk assessment using a new consulting process in fuzzy AHP // *J. Constr. Eng. Manag.* 2020. Vol. 146. Article 04019112.
20. Elbaz K., Shen S.L., Zhou A., Yin Z.Y., Lyu H.M. Prediction of disc cutter life during shield tunneling with AI via the incorporation of a genetic algorithm into a GMDH-type neural network // *Engineering*. 2021. Vol. 7. P. 238–251.
21. Lin S.S., Shen S.L., Zhou A., Xu Y.S. Approach based on TOPSIS and Monte Carlo simulation methods to evaluate lake eutrophication levels // *Water Res.* 2020. Vol. 187. Article 116437.
22. Yin Z.Y., Jin Y.F., Shen J.S., Hicher P.Y. Optimization techniques for identifying soil parameters in geotechnical engineering: comparative study and enhancement // *Numer. Anal. Methods Geomech.* 2018. Vol. 42. P. 70–94.
23. Lyu H.M., Shen S.L., Zhou A.N., Yang J. Perspectives for flood risk assessment and management for mega-city metro system // *Tunn. Undergr. Space Technol.* 2019. Vol. 84. P. 31–44.
24. Wang Z.F., Shen S.L., Modoni G., Zhou A. Excess pore water pressure caused by the installation of jet grouting columns in clay // *Comput. Geotech.* 2020. 125. Article 103667.
25. Shen S.L., Wang Z.F., Cheng W.C. Estimation of lateral displacement induced by jet grouting in clayey soils // *Geotech. ICE*. 2017. Vol. 67. № 7. P. 621–630.
26. Wang Z.F., Shen S.L., Modoni G. Enhancing discharge of spoil to mitigate disturbance induced by horizontal jet grouting in clayey soil: theoretical model and application // *Comput. Geotech.* 2019. Vol. 111. P. 222–228.
27. Yan T., Shen S.L., Zhou A., Lyu H.M. Construction efficiency during shield tunnelling in soft deposit of Tianjin // *Tunn. Undergr. Space Technol.* 2021. Vol. 112. Article 103917.
28. Shen S.L., Atangana Njock P.G., Zhou A., Lyu H.M. Dynamic prediction of jet grouted column diameter in soft soil using Bi-LSTM deep learning // *Acta Geotech.* 2021. Vol. 16. P. 303–315.
29. Chen J.H. Progress of Zhuhai Tunnel Flooding Accident: 14 People Trapped 1160 Meters Away from the Entrance. URL: https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_13594591. The last accessed date: 15 July 2021.
30. Chai M.Y. Cofferdam Has Been Used to Block the Permeable Point of the Tunnel Seepage Accident, and the Rescue Is in Progress. URL: https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_13594373. The last accessed date: 15 July 2021.
31. Li X.H., Wang D. Characteristics of precipitation of Zhuhai since 1962 to 2010 // *Guangdong Meteorol.* 2012. Vol. 34. P. 35–37.

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

С 2022 года журнал «ГеоИнфо» выходит
 в формате *PDF. 4 выпуска в 2026 году.

WWW.GEOINFO.RU





ГЛАВГОСЭКСПЕРТИЗА СОЗДАЕТ ПОЛНОЦЕННУЮ ИНЖЕНЕРНУЮ ПЛАТФОРМУ: КАК В ЭТОМ ПОМОГАЮТ ИЗМЕНЕНИЯ В ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВЕ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ?

АНАНКО В.Н.
Издатель

АННОТАЦИЯ

В российской системе государственной экспертизы продолжается этап глубокой трансформации. Усиление персональной ответственности главных инженеров проектов, пересмотр логики нормативного регулирования и масштабное внедрение искусственного интеллекта уже меняют архитектуру инвестиционно-строительного цикла. О том, как цифровые инструменты начинают обеспечивать профилактику ошибок, а экспертиза постепенно смещается в сторону инжиниринга жизненного цикла проектов, рассказали на встрече с журналистами руководитель Главгосэкспертизы России Игорь Манылов и его первый заместитель Вадим Андропов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Главгосэкспертиза; цифровизация; искусственный интеллект; инжиниринговые услуги; интеллектуальный ассистент; экспертное сопровождение; качество проектной документации; профилактика ошибок; минимизация рисков; изменения в градостроительном законодательстве; обучение экспертов; обучение заказчиков.

THE MAIN DIRECTORATE OF STATE EXPERTISE IS CREATING A COMPREHENSIVE ENGINEERING PLATFORM: HOW ARE LEGISLATIVE CHANGES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE CONTRIBUTING TO THIS PROCESS?

ANANKO V.N.
Publisher

ABSTRACT

The Russian state expert review system is continuing its profound transformation. Increased personal responsibility of chief project engineers, a revised logic of regulatory oversight, and the large-scale implementation of artificial intelligence are already reshaping the architecture of the investment and construction cycle. During a press briefing, Igor Manylov, the Head of the Main Directorate of State Expertise, and his First Deputy Vadim Andropov explained how digital tools are beginning to enable the proactive prevention of errors, while the expert review system is gradually shifting toward project life-cycle engineering.

KEYWORDS:

Main Directorate of State Expertise; digitalization; artificial intelligence; engineering services; intelligent assistant; expert support; quality of project documentation; proactive error prevention; risk minimization; changes in urban planning legislation; training of experts; training of clients.

Проблемы методического характера

Российская система государственной экспертизы переживает один из самых масштабных этапов трансформации за последние десятилетия. Речь идёт не просто о цифровизации отдельных процедур или внедрении новых IT-сервисов, а о пересборке всей архитектуры взаимодействия между проектировщиками, заказчиками, экспертами и регулятором. Именно в этом контексте на встрече с журналистами в конце января 2026 года руководство Главгосэкспертизы России подробно рассказало о двух ключевых направлениях изменений – об усилении ответственности проектировщиков благодаря переменам в законодательстве и о внедрении в экспертную деятельность новых подходов, а также машинного обучения.

Как следует из позиции руководителя Главгосэкспертизы Игоря Маньлова, эти два направления неразрывно связаны между собой. Усиление ответственности без технологической поддержки неминуемо ведёт к затягиванию или срыву сроков строительства и финансовым потерям, тогда как цифровые инструменты без изменения нормативной базы не способны обеспечить устойчивое повышение качества проектирования.

Использование искусственного интеллекта невозможно без полноценной цифровой среды данных

Говоря об искусственном интеллекте (ИИ), руководство Главгосэкспертизы сознательно уходит от его упрощённого восприятия как «волшебной кнопки». Как отметил в беседе с журналистами Игорь Маньлов, работа с нейросетями возможна только там, где уже выстроена полноценная цифровая среда данных – оцифрованы процессы, структурированы документы и обеспечена машиночитаемость информации. Именно поэтому для экспертизы искусственный интеллект стал не отправной точкой, а логическим продолжением многолетней работы. Переход от бумажных проектов к электронному документообороту, а затем к XML-форматам фактически подготовил почву для внедрения интеллектуальных инструментов сбора, обработки и анализа данных.

Первый заместитель руководителя Главгосэкспертизы России Вадим Андропов, курирующий вопросы цифровизации, подчеркнул, что применение ИИ в экспертизе – это прежде всего технология работы с большими массивами неоднородных данных, а не попытка заменить профессиональные суждения экс-

перта. По его словам, нейросети эффективны там, где требуется быстро ориентироваться в тысячах страниц проектной документации, выявлять смысловые связи и типовые ошибки, но окончательное решение все равно всегда остаётся за человеком.

При этом принципиальной особенностью цифровой стратегии Главгосэкспертизы стало развитие собственных ИИ-компетенций. Как отметил Вадим Андропов, на старте в ведомстве сознательно отказались от привлечения внешних подрядчиков и готовых решений «под ключ». Такой подход, по его словам, позволил глубже понять ограничения технологии и избежать коллизий, связанных с маркетинговыми обещаниями поставщиков.

В процессе работы специалисты протестировали несколько типов больших языковых моделей (Large Language Models, LLM), однако пришли к выводу, что универсальные LLM с миллиардами параметров плохо подходят для задач экспертизы. Их избыточная «эрудиция» приводит к росту «галлюцинаций» и снижению точности. В результате ставка была сделана на узкоспециализированную языковую модель, обученную исключительно на материалах строительной отрасли и данных экспертизы.

Этот выбор, как, в свою очередь, подчеркнул Игорь Маньлов, оказался принципиально важным. Экспертиза обладает уникальным массивом знаний – миллионами абзацев замечаний, решений и примеров из практики развития проектов, в которых требования нормативных документов уже «примерены» к реальным объектам. Именно такие данные и стали основой для обучения внутренней модели.

От «умного поиска» – к ассистенту эксперта

Применение машинного обучения в работе экспертов развивается поэтапно. На первом этапе речь шла лишь об «умном» (смысловом, семантическом) поиске, который позволял экспертам находить релевантные фрагменты документации не по ключевым словам, а по смыслу. Такой функционал, как отметил Вадим Андропов, существенно снизил рутинную нагрузку и минимизировал риск неучета важных аспектов проекта.

Следующим шагом стало формирование базы типовых замечаний. Сегодня в ней уже порядка 4–5 тысяч позиций, которые постепенно переводятся в формат инструкций (чек-листов) и целевых запросов (промтгов) для языковой модели. Эксперты сами участвуют в разработке этих сценариев, фактически становясь соавторами ИИ-инструментов. В результате формируется новый цифровой формат работы: эксперт не просто проверяет проект, но и настраивает интеллектуального ассистента под своё направление, обеспечивая более глубокий и системный анализ всего пакета документации.

Отдельного внимания заслуживает подход Главгосэкспертизы к контролю качества. Как подтвердил Игорь Маньлов, цель внедрения ИИ – не в том, чтобы найти больше ошибок и ускорить выдачу отрицательных заключений, а в том, чтобы предотвратить выпуск заведомо некачественных и потенциально опасных проектов. Эта логика реализуется через новые сервисы и технологические процедуры: автоматическую проверку полномочий подписантов, сопоставление данных с реестрами, анализ комплектности и критических рисков ещё до начала основной экспертизы. Машина, по сути, не позволяет совершить действие, которое противоречит требованиям, установленным нормативными документами.

Такой подход гораздо эффективнее любых репрессивных мер, и он более благотворно влияет на рынок проектирования, который сегодня испытывает дефицит компетенций. Подробнее об этом будет рассказано немного позже.

Экономика цифровизации: рост без экстенсивного расширения

Практический эффект цифровых решений уже измерим. Как отметил Вадим Андропов, при текущих объёмах работы без внедрения XML-форматов, развития автоматизированных систем и новых алгоритмов интеллектуального поиска Главгосэкспертизе потребовалось бы дополнительно около 500 экспертов. Фактически технологии позволиликратно увеличить производительность труда без наращивания штата. При этом руководство ведомства подчёркивает: хотя цифровизация не является дешёвым процессом (поскольку требует инвестиций в инфраструктуру, вычислительных мощностей, кибербезопасности и обучения персонала), речь все же идет не о сотнях миллионов и тем более не о миллиардах рублей, как предполагают некоторые, а о гораздо меньших суммах. При этом в долгосрочной перспективе такие вложения должны обеспечить устойчивость системы экспертизы и предсказуемость сроков реализации проектов.

Новая ответственность ГИПов: от формальности к сути

Вторая ключевая тема встречи – изменения в градостроительном законодательстве, которые вступают в силу с 1 марта этого года. Как отметил Игорь Маньлов, ранее закон не предусматривал полноценной персональной ответственности главных инженеров проектов (ГИПов), что создавало системные «дыры» в регулировании. Случались ситуации, когда ГИП, подписавший проект, и вовсе не состоял в национальном реестре специалистов. Теперь такое невозможно. Усиливается роль ГИПа как ключевой фигуры, отвечающей не только за

проектную, но и за рабочую документацию, а также за основание соответствия нестандартных решений всем требованиям. При этом не последнюю роль в устранении пробелов в регулировании сферы проектирования сыграла именно Главгосэкспертиза.

По словам Игоря Маньлова, учреждение с 2023 года регулярно направляет в Минстрой России и в Национальное объединение изыскателей и проектировщиков (НОПРИЗ) сведения о проектных организациях, подготовивших проектную документацию с существенными нарушениями нормативных требований. Однако указанные сведения не являются заявками на исключение проектировщиков из национального реестра специалистов (НРС). Они предоставляются для принятия мер в рамках компетенций НОПРИЗ и механизмов саморегулирования.

Важно понимать, что Главгосэкспертиза не является инициатором исключения проектировщиков из НРС. Ее функция – показать нарушения и ошибки в проектной документации и устранить риски аварийно-опасных решений.

Вместе с тем система обеспечения качества проектирования в Российской Федерации представляет собой многоуровневую структуру, регулируемую законодательством и внутренними стандартами профессионального сообщества. Хотя ГИП действительно является ключевой фигурой, подписывающей документы и несущей значительную персональную ответственность, вся система контроля качества проектирования построена на взаимодействии и взаимном контроле. Вина за нарушения не ложится исключительно на ГИПа.

Основными участниками процесса, которые также несут свою долю ответственности за качество проектной документации, являются:

1) *заказчик/застройщик*: несет ответственность за предоставление полных, достоверных и качественных исходных данных и задания на проектирование (ошибки на этом этапе могут повлечь за собой проблемы на всех последующих стадиях);

2) *проектная организация (юридическое лицо)*: как исполнитель по договору и одновременно работодатель она отвечает за обеспечение достаточных ресурсов, квалификацию персонала, внутренний контроль качества и соблюдение сроков;

3) *саморегулируемая организация (СРО)*: осуществляет внешний надзор за своими членами (проектными организациями), контролирует соблюдение стандартов и правил, а также несет субсидиарную финансовую ответственность через компенсационные фонды.

НОПРИЗ рассматривает вину ГИПа в контексте неисполнения его индивидуальных должностных обязанностей, но это не отменяет и не снимает ответственности с вышеупомя-

нутых участников процесса. Если заказчик или проектная организация подталкивают к нарушениям, главный инженер проекта **обязан** отказаться подписывать документ. В этой связи изменения в Градостроительном кодексе и смежных актах, действующие с 1 марта 2026 года, с одной стороны, усиливают правовую защиту ГИПов в этом вопросе, но и повышают их личную ответственность.

За 2023–2025 годы советом НОПРИЗ приняты решения об исключении из НРС сведений только о 21 специалисте, которые допустили нарушения. При этом самих нарушений, в том числе критических ошибок, в проектной документации было выявлено значительно больше.

Небольшой процент исключений ГИПов из НРС свидетельствует о том, что текущий механизм саморегулирования не вполне эффективен. Поэтому для обеспечения реальной эффективности системы контроля качества в проектировании важно задействовать и другие уровни ответственности (заказчика, проектную организацию, СРО), а не полагаться исключительно на «крайнюю меру» в виде исключения ГИПа из реестра специалистов.

Вместе с тем с 1 марта 2026 года в России действуют изменения в Градостроительном кодексе и смежных актах (в частности, связанные с федеральными законами № 309-ФЗ и 507-ФЗ), которые существенно ужесточают требования к ГИПам.

Рассмотрим основные изменения с 2026 года.

1. *Персональная ответственность за документацию*. ГИПы будут нести личную ответственность за соответствие не только проектной, но и рабочей документации требованиям технических регламентов и стандартов. Ранее ответственность часто распределялась между организацией и специалистом более «размыто», теперь же она становится индивидуализированной и формализованной.

2. *Обязательная опора на государственный Реестр требований в области инженерных изысканий, проектирования, строительства и сноса*. При проектировании специалисты больше не смогут ссылаться в целом на «действующие нормы». С 2026 года основанием для проектных решений должно быть только актуальное наполнение реестра требований. До 1 марта 2026 года действует переходный период для адаптации к этой системе.

3. *Обоснование нестандартных решений*. ГИП, включённый в НРС, получает полномочия на утверждение результатов расчётных способов обоснования безопасности (если они не опираются на стандартные ГОСТы и своды правил). При этом он несёт персональную ответственность за достоверность этих расчётов и безопасность принимаемых решений.

4. *Усиление контроля через СРО*. Вводятся новые требования к реестрам СРО. С 1 марта 2026 года усиливаются

«привязка» специалистов, включенных в НРС, к конкретным организациям и контроль исполнения ими своих должностных обязанностей в статусе *итатных* сотрудников.

Борьба за качество вместо «охоты на ведьм»

Руководство Главгосэкспертизы при этом подчёркивает: цель изменений – не массовая дисквалификация участников рынка, а повышение качества проектирования. Проектная среда сегодня институционально ослаблена, а жёсткие карательные меры могут лишь усугубить ситуацию. Поэтому ставка делается на стандарты, технологические фильтры и развитие саморегулирования. СРО, по мнению ведомства, должны переходить от реактивной модели («разбираем жалобы») к проактивной – формированию и контролю стандартов качества внутри профессионального сообщества.

В более долгосрочной перспективе Главгосэкспертиза видит свою роль шире, чем классическая проверка документации. Как отметил Игорь Манылов, экспертиза постепенно смещается в сторону инжиниринга – сопровождения заказчика в течение всего жизненного цикла проекта. Искусственный интеллект в этой модели становится инструментом моделирования, анализа вариантов и управления параметрами, а не просто средством ускорения процедур. Такой подход, по мнению руководства ведомства, может привести к трансформации самого проектирования – от ручной сборки решений к параметрическому и генеративному моделированию.

Заказчик – ключевая фигура, от которой зависит все

За последние годы в Главгосэкспертизе системно усилили работу с заказчиками и проектными командами на самом важном отрезке жизненного цикла объекта – на этапе подготовки исходных данных и проектной документации. В учебном центре ведомства выстроена линейка программ повышения квалификации и семинаров по ключевым темам проведения государственной экспертизы, инженерных изысканий, а также ценообразования и сметного нормирования. Это обучение изначально нацелено не на теорию, а на практический результат – на повышение качества проектной документации и сокращение временных издержек заказчиков при прохождении экспертизы, а также на минимизацию рисков, связанных с недостаточной квалификацией участников проекта.

«Если говорить о качестве поступающей документации в целом, мы видим, что рынок постепенно становится более зрелым: заказчики лучше понимают требования к комплектности и логике подготовки материалов, а проектировщики – типовые

причины замечаний. Удалось снизить долю “брака” на входе – в первую очередь формальных несоответствий, которые приводят к отказам в приеме или к повторяющимся замечаниям. Важно подчеркнуть: это не “разовая кампания”, а результат использования набора инструментов, которые в совокупности дают пользователю синергетический эффект. В первую очередь наше обучение привязано к типичным ошибкам с учетом индивидуальных особенностей заказчика и отраслевой специфики его объектов. То есть разбираются именно те проблемные зоны, которые потом чаще всего вызывают вопросы на этапе экспертизы», – отметил Игорь Манылов.

В учреждении также пытаются научить заказчиков выполнять профилактику ошибок через самопроверку. Для этого уже накоплена большая база чек-листов и других методических материалов и тренажёров, например чек-листов для самопроверки и предварительного выявления факторов риска получения отказа в приеме документов на государственную экспертизу. Это позволяет заказчику самому проверить, примут ли эксперты его документацию.

Руководство Главгосэкспертизы отдельно акцентировало внимание на программе обучения, которую разработали специально для представителей строительных комплексов субъектов Российской Федерации, ведущих крупные проекты. В ее основе – целевая эталонная модель управления проектом на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства, лучшие практики эффективного распределения ролей и ответственности всех заинтересованных сторон. В то же время программа учитывает основные вызовы и «боли», с которыми сталкиваются региональные команды, и адаптируется под каждый конкретный регион.

Для снижения рисков получения отрицательных заключений в службе взаимодействия по экспертным услугам Главгосэкспертизы на стадии приемки проводится экспресс-оценка проектной документации и результатов инженерных изысканий. В 2025 году экспертами учреждения в рамках предварительной оценки проектной документации, представленной на государственную экспертизу, было рассмотрено в общей сложности 5700 заявлений, по 2123 из которых были сделаны критичные замечания. Это свидетельствует о недостаточном уровне подготовки заказчиков и документации, поступающей на экспертизу.

С учётом отмены возможности неоднократного продления сроков экспертизы, количество отрицательных заключений в 2025 году возросло. Их доля составила 13,2% по отношению к 2024 году, то есть прирост составил 8,2%.

В связи с этим Главгосэкспертиза на сегодняшний день предлагает заказчику активное внедрение дополнительных инструментов, таких как сервис комплексной проверки сметных расчетов, сервис по формированию первого раздела проектной документации «Пояснительная записка» в маши-

ночитаемом формате, сервис «Личный кабинет заказчика». Все это направлено на повышение качества проектной документации.

В дальнейшем предполагается максимальное **внедрение цифровых решений** – прежде всего переход на XML-формат документов, позволяющий автоматизировать все процессы, связанные с обработкой и контролем данных, а также повысить качество и прозрачность проектирования.

Предполагается также активное использование **инжиниринговых услуг** – технологического и ценового аудита инвестиционных проектов, экспертного консалтинга, консультационных и иных услуг. Внедрение инжиниринговых услуг позволяет на ранних стадиях выполнить междисциплинарную оценку технических решений и подходов к реализации проекта, выбрать оптимальный вариант, идентифицировать риски и значительно повысить точность стоимостных показателей.

Набирает популярность, но еще не так активно используется заказчиками услуга по экспертному сопровождению, оказываемая до направления проектной документации на государственную экспертизу.


Готовые эффективные проектные решения, которые могут быть использованы для строительства объектов со схожими характеристиками без необходимости разработки с нуля, со-

держит публичный цифровой сервис «Витрина проектов» на базе Единого государственного реестра заключений (ЕГРЗ).

Цель Главгосэкспертизы на 2026 год – максимальное внедрение в повседневную практику разработанных методов проектного управления, их дальнейшее развитие, повышение вовлеченности и заинтересованности заказчиков в росте профессиональных компетенций, повышение качества проектной документации с использованием максимального количества предложенных учреждением возможностей и инструментов.

Главный вывод: технология работает только там, где есть зрелые процессы

Подводя итог обсуждению, можно сделать однозначный вывод: в Главгосэкспертизе искусственный интеллект рассматривается не как цель, а как средство для решения огромного и многовекторного комплекса производственных задач. Как подчеркнул Игорь Маньлов, без оцифрованных процессов, компетентных специалистов и культуры ответственности любые ИИ-решения останутся декоративными.

Именно поэтому ключевые акценты сегодня делаются на обучении экспертов и заказчиков, на формировании внутренних команд и на выстраивании сквозной логики качества – от заказчика и проектировщика до экспертизы. 

Независимый электронный журнал **ГеоИнфо**

С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
выходит в формате *PDF.
4 выпуска в 2026 году.



WWW.GEOINFO.RU



Специальности

**«Гидрогеология
и инженерная
геология»**

**25
лет** 

Четверть века строим
фундамент будущего

ЕСТЬ ТАКАЯ ПРОФЕССИЯ - СООРУЖЕНИЯ ЗАЩИТАТЬ: В КФУ ОТМЕТИЛИ ЮБИЛЕЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ»

ВАСИН М.В.
Обозреватель

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена 25-летию специальности «гидрогеология и инженерная геология» на кафедре общей геологии и гидрогеологии в Казанском федеральном университете. Юбилей отметили в конце 2025 года проведением большой научно-практической конференции. Через историю становления кафедры, её научные направления можно увидеть, как инженерная геология и гидрогеология становятся ключевыми дисциплинами для устойчивого развития городов, управления водными ресурсами и оценки геотехнических рисков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Казанский федеральный университет; кафедра общей геологии и гидрогеологии; специальность «гидрогеология и инженерная геология»; учебный процесс; лабораторная база; научная школа; практика; Казань; инженерная геология; гидрогеоэкология.

THERE IS SUCH A PROFESSION – PROTECTING STRUCTURES: KAZAN FEDERAL UNIVERSITY CELEBRATES THE ANNIVERSARY OF THE HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY SPECIALIZATION

VASIN M.V.
Reviewer

ABSTRACT

The article is dedicated to the 25th anniversary of the Hydrogeology and Engineering Geology specialization at the Department of General Geology and Hydrogeology of Kazan Federal University. At the end of 2025, the anniversary was marked by a large scientific and practical conference. Through the development history of the department and its research areas, the article demonstrates how engineering geology and hydrogeology are becoming key disciplines for sustainable urban development, water resource management, and geotechnical risk assessment.

KEYWORDS:

Kazan Federal University; Department of General Geology and Hydrogeology; Hydrogeology and Engineering Geology specialization; educational process; laboratory facilities; scientific school; practice; Kazan; engineering geology; hydrogeoecology.

Введение

Юбилей в университетской среде нередко превращаются в парад регалий и аккуратный пересказ пройденного пути. Но 25-летие специальности «гидрогеология и инженерная геология» на кафедре общей геологии и гидрогеологии в Казанском федеральном университете оказалось событием иного рода – поводом для разговора о профессии, которая долгие годы оставалась практически незаметной, но сегодня напрямую определяет безопасность городов, устойчивость инфраструктуры и качество жизни. Первая научно-практическая конференция, приуроченная к юбилею, неожиданно продемонстрировала этот сдвиг: кафедра давно вышла за рамки учебного подразделения и стала точкой объединения науки и практики.

Сегодня инженер-геолог, гидрогеолог, геотехник – это не сопровождающий специалист «на подхвате» у проектировщиков и строителей. Это эксперт, чьи выводы определяют, где и как можно строить, чтобы не выйти за рамки бюджета и сроков, откуда брать строительные материалы, какие риски скрыты в геологической среде и как ими управлять. Именно вокруг этого и был выстроен юбилей – с отчетливым ощущением ответственности за будущее профессии.

От запроса региона – к собственной школе

Когда в 2000 году в Казанском государственном университете (получившем название «Казанский федеральный уни-

верситет» в 2010 году) под руководством заведующей кафедрой общей геологии и гидрогеологии Н.К. Есауловой открывалось новое направление подготовки по специальности «гидрогеология и инженерная геология», решение было продиктовано вполне прагматичными причинами. Республика Татарстан остро нуждалась в специалистах для проведения масштабных гидрогеологических исследований, а также способных работать со сложными инженерно-геологическими условиями региона и сопровождать строительные проекты. Однако очень быстро стало ясно: речь идет не просто о закрытии кадрового дефицита, а о появлении новой научной школы.

Создание новой специальности потребовало от кафедры, основу которой на тот момент составляли геологоразведчики, радикальной перестройки. Пришлось разрабатывать новые курсы, осваивать непривычные для классической геологии дисциплины, выстраивать сотрудничество с производственными организациями и смежными факультетами – химическим, физическим, географическим. Фактически кафедра училась вместе со своими первыми студентами – и именно это задало дальнейший характер ее развития. Здесь не было жесткой границы между академической наукой и практикой: полевые работы, реальные объекты, производственные задачи с самого начала были частью образовательной логики.

Состав кафедры на момент открытия нового направления подготовки включал: профессоров Н.К. Есаулову и А.И. Шевелева; доцентов М.Е. Королёва, Е.С. Шуликова, И.Я. Жаркова, Р.Х. Мусина и А.А. Галева; старшего преподавателя Ф.А. Му-

равьева; ассистентов И.С. Нуриева и И.А. Хузина; инженеров Р.А. Ильматову, Н.Ю. Сабирову и М.И. Мухамедшину.

Первые годы стали периодом интенсивного накопления опыта. К учебному процессу активно привлекались специалисты-производственники из таких организаций, как «Татарстангеология», КазТИСИЗ, ТГРУ АО «Татнефть» и др.

Благодаря этому студенты работали не с абстрактными моделями, а с реальными объектами – строительными площадками, городскими территориями, инженерными сооружениями. Параллельно формировалась научная повестка, также связанная с конкретными геологическими условиями региона.

К 2003 году кафедра обладала значительным научным потенциалом в области гидрогеологии, однако инженерная геология испытывала серьезный дефицит кадров. Это требовало привлечения молодых специалистов, готовых развивать новую специальность. С этой ролью успешно справились пришедшие в 2003 году выпускники геофака Э.А. Королёв, внесший существенный вклад в развитие программ по литологии и мелиорации грунтов, и Н.И. Жаркова, начавшая всестороннее исследование инженерно-геологических условий Казани и её окрестностей, включая изучение природных и антропогенных факторов воздействия на геологическую среду. В том же году был приглашен аспирант кафедры оснований, фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии Казанского государственного архитектурно-строительного университета А.И. Латыпов, начавший чтение курсов «Механика грунтов», «Механика скальных грунтов» и «Инженерные сооружения».

От описаний - к анализу и моделированию

По мере развития специальности менялась и сама кафедра. Период 2006–2011 гг. характеризовался активной научной деятельностью молодых преподавателей, защитивших кандидатские диссертации по темам, связанным с закономерностями формирования инженерно-геологических условий города Казани, с исследованиями динамической прочности песчаных грунтов, литолого-минералогических характеристик пермских маркирующих карбонатных горизонтов и пр. На кафедре в тот период появлялись научные труды в области гидрогеологии и инженерной геологии, разрабатывались новые и совершенствовались имевшиеся учебные курсы, сотрудники привлекались к сложным хозяйственным работам.

Этот этап стал переломным. Кафедра начала формироваться как научная школа, где инженерная геология и гидрогеология рассматривались не изолированно, а в тесной связке с реальными условиями – с учетом антропогенного воздействия, урбанизации, техногенной нагрузки. Исследования перестали

быть сугубо локальными и приобрели региональный масштаб. Одновременно с этим геологический факультет Казанского государственного университета претерпел значительную реорганизацию, трансформировавшись в 2011 году в Институт геологии и нефтегазовых технологий.

С 2009 года к учебе и работе на кафедре начали активно привлекать студентов, которые впоследствии стали ассистентами и аспирантами. Среди них были А.Н. Минюхина (Гараева), Н.А. Курлянов, З.Г. Файзрахманова (Гайнанова), Г.А. Чернийчук, Р.М. Усманов, Е.Н. Ястребова (Яббарова), Д.И. Петрова.

Особое значение имело развитие лабораторной базы, которое заметно ускорило в период 2011–2014 гг. Появление специализированных лабораторий механики грунтов, гидрогеохимии, грунтоведения и механики мерзлых грунтов, полевых методов в рамках программы стратегического развития под руководством А.А. Галеева позволило вывести обучение и исследования на качественно новый уровень. Студенты получили возможность работать с самым современным на тот момент оборудованием, а преподаватели – заниматься прикладными и фундаментальными задачами, востребованными за пределами университета.

Кафедра оснащалась не только учебным, но и исследовательским оборудованием, что позволило усилить научную деятельность и публикационную активность сотрудников, в том числе на международном уровне. Кроме того, был создан специализированный компьютерный класс с современным программным обеспечением.

Город как главный полигон

Со временем именно Казань стала одним из ключевых объектов инженерно-геологических исследований кафедры. Сложные геологические условия, карст, суффозия, подтопление, плотная застройка – все это требовало комплексного подхода. Исследования сопровождали строительство метро, высотных зданий, крупных общественных и промышленных объектов.

Параллельно развивались исследования гидрогеоэкологического направления. Анализ состава подземных вод, изучение промышленных зон, оценка рисков загрязнения показали, что геологическая среда обладает значительным потенциалом самоочищения, но этот ресурс не безграничен. Такие выводы имели значение не только для науки, но и для принятия управленческих решений.

Юбилей со смыслом

Юбилейная конференция стала отражением этого пути. В выступлениях ученых, специалистов-практиков, выпускников звучала мысль, которая еще пару десятилетий назад показалась

бы непривычной: вода становится стратегическим ресурсом, а специалисты по подземным водам – ключевыми фигурами в системе устойчивого развития.

«25 лет – это на самом деле очень мало, это начало, юность, – отметил в своем выступлении проректор КФУ Денис Нурғалиев. – Я думаю, что это направление будет активно развиваться. Уже сегодня стакан воды в несколько раз дороже стакана нефти. Без нефти мы как-нибудь проживем, а без воды – нет. По запасам пресной воды Россия занимает второе место в мире после Бразилии. Запасы воды у нас огромные, правда ее доставка нередко затруднена».

Говорили не столько о прошлом, сколько о будущем – о росте роли инженерной геологии в условиях изменения климата, урбанизации и усложнения инфраструктуры.

Важно, что в этом разговоре активно участвовали выпускники кафедры, работающие в изыскательских и производственных компаниях. Их опыт подтвердил: специалисты, подготовленные в КФУ, востребованы именно благодаря комплексному подходу и умению работать на стыке дисциплин. Кафедра остается для них не просто воспоминанием о студенческих годах, а профессиональной точкой опоры.

Связь поколений и живая профессия

Встреча выпускников разных лет стала, пожалуй, одним из самых показательных моментов юбилея. Для одних кафедра ассоциируется с первыми полевыми практиками и экспериментами, для других – с цифровыми моделями и современными лабораториями. Но всех объединяет понимание профессии как работы с неопределенностью, где нет готовых ответов и каждое решение требует ответственности.

Сегодня кафедра продолжает развиваться, отвечая на новые вызовы. В учебный процесс внедряются элементы цифровых технологий, моделирования, междисциплинарных исследований, появляются направления, связанные с применением методов


искусственного интеллекта. При этом сохраняется главное – ориентация на реальные задачи и подготовку специалистов, способных работать в сложных условиях.

Не подведение итогов, а старт к новым горизонтам

25 лет – срок достаточный, чтобы осмыслить пройденный путь, но недостаточный для того, чтобы ставить точку. Юбилей показал, что кафедра общей геологии и гидрогеологии КФУ находится не на этапе подведения итогов, а на стадии нового роста. Исследования сложных инженерно-геологических условий, работа с объектами на урбанизированных территориях, развитие гидрогеоэкологии и внедрение новых технологий формируют повестку на годы вперед.

Пожалуй, в этом и заключается главный смысл юбилея: кафедра – это не собрание заслуг и дат, а живая профессиональная среда. Среда, в которой история служит опорой, но не ограничением, а прошлое становится инструментом для разговора о будущем – будущем профессии, без которой невозможно устойчивое развитие современных городов.

На 2025 год кадровый состав кафедры составляют: Э.А. Королёв (заведующий кафедрой, доцент, к. г.-м. н.), Р.Л. Ибрагимов (профессор, д. г.-м. н.), А.И. Латыпов (профессор, д. г.-м. н.), Ф.А. Муравьев (доцент, к. г.-м. н.), Р.Х. Мусин (к. г.-м. н.), Л.В. Музалевская (к. г.-м. н.), И.С. Нуриев (к. г.-м. н.), А.Н. Гараева (к. г.-м. н.), О.А. Софинская (к.б.н.), И.А. Хузин (старший преподаватель), Е.Н. Яббарова (ассистент, к. г.-м. н.), Р.М. Усманов (ассистент), А.Р. Галиева (инженер), А.Э. Королёв (старший лаборант).

С подробной историей кафедры общей геологии и гидрогеологии КФУ можно ознакомиться в соответствующем разделе на официальном сайте Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ (<https://geo.kpfu.ru/istoriya-kafedry-obshhej-geologii-i-gidrogeologii/>). 

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

С 2022 года журнал «ГеоИнфо» выходит в формате *PDF. 4 выпуска в 2026 году.

WWW.GEOINFO.RU





МОЛОДЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ ИЗ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА ВЫСТУПИЛИ С ДОКЛАДАМИ НА XIX МАШЕРОВСКИХ ЧТЕНИЯХ В ВИТЕБСКЕ

КРАСОВСКАЯ И.А.

Доцент кафедры экологии и географии, начальник научно-исследовательского сектора Витебского государственного университета имени П.М. Машерова, к. г.-м. н., доцент, г. Витебск, Республика Беларусь

ГАЛКИН А.Н.

Профессор кафедры экологии и географии Витебского государственного университета имени П.М. Машерова, д. г.-м. н., профессор, г. Витебск, Республика Беларусь
galkin-alexandr@yandex.by

АННОТАЦИЯ

С 2007 года в Витебском государственном университете (ВГУ) имени П.М. Машерова (г. Витебск, Республика Беларусь) каждый год проводится Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Машеровские чтения» (по имени видного государственного деятеля БССР Петра Мироновича Машерова, который внёс неоценимый вклад в развитие науки и образования Беларуси). Главные цели этих чтений – популяризация науки среди молодежи и создание динамичной платформы для обмена опытом и передовыми идеями, а также для реализации межвузовских инновационных проектов молодых ученых по приоритетным направлениям развития науки и техники. По итогам каждой такой конференции издается официальный рецензируемый многотомный сборник научных материалов. Сборник размещается в репозитории ВГУ и регистрируется в научной базе РИНЦ.

24 октября 2025 года в ВГУ имени П.М. Машерова при поддержке Министерства образования Республики Беларусь состоялась уже «XIX Машеровские чтения». Работа конференции была организована в виде секций и охватила широкий спектр дисциплин. В работе секции «Охрана и рациональное использование природных ресурсов» особый интерес вызвали доклады молодых исследователей с кафедры инженерной и экологической геологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

XIX Машеровские чтения; международная конференция; молодые ученые; Витебский государственный университет имени П.М. Машерова; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; охрана и рациональное использование природных ресурсов; инженерная и экологическая геология.

YOUNG RESEARCHERS FROM LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY PRESENTED REPORTS AT THE 19TH MASHEROV READINGS IN VITEBSK

KRASOVSKAYA I.A.

PhD (Geology and Mineralogy), associate professor at the Department of Ecology and Geography, head of the Research Sector of Masherov Vitebsk State University, Vitebsk, Republic of Belarus

GALKIN A.N.

DSc (Geology and Mineralogy), professor at the Department of Ecology and Geography, Masherov Vitebsk State University, Vitebsk, Belarus
galkin-alexandr@yandex.by

ABSTRACT

Since 2007, Masherov Vitebsk State University (Vitebsk, Republic of Belarus) has annually hosted the International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates, and Young Researchers “Masherov Readings” (named after Pyotr Mironovich Masherov, the prominent statesman of the Byelorussian Soviet Socialist Republic, who made an invaluable contribution to the development of science and education in Belarus). The main objectives of the conference are to promote science among young people, create a dynamic platform for the exchange of experience and advanced ideas, and support the implementation of interuniversity innovative projects by young researchers in priority areas of scientific and technological development. Following each conference, an official peer-reviewed multi-volume collection of scientific papers is published. The collection is deposited in the Repository of Masherov Vitebsk State University and indexed in the Russian Science Citation Index (RSCI).

On October 24, 2025, the 19th Masherov Readings were held at Masherov Vitebsk State University with the support of the Ministry of Education of the Republic of Belarus. The conference program was organized into thematic sections and covered a wide range of disciplines. Particularly strong interest at the section “Protection and Rational Use of Natural Resources” was attracted by presentations delivered by young researchers from the Department of Engineering and Ecological Geology of Lomonosov Moscow State University.

KEYWORDS:

19th Masherov Readings; international conference; young scientists; Vitebsk State University named after P.M. Masherov; Lomonosov Moscow State University; protection and rational use of natural resources; engineering and ecological geology.

Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Машеровские чтения», известная своей популярностью, в этом году проводилась в девятнадцатый раз и стала площадкой для обмена опытом и идеями для более чем 400 исследователей из Беларуси, России, Китая и Кыргызстана. Обсуждались актуальные вопросы широкого спектра дисциплин – от применения математических методов и IT-технологий в медицине и образовании до гражданско-патриотического воспитания, проблем здорового образа жизни и визуальных искусств.

Работа конференции «XIX Машеровские чтения» проводилась в рамках десяти секций, каждая из которых была посвящена отдельному научному направлению.

На секции «Охрана и рациональное использование природных ресурсов», организованной на факультете химико-биологических и географических наук под председательством декана факультета, кандидата биологических наук, доцента Т.А. Толкачёвой, были сделаны и активно обсуждались доклады, посвященные проблемам микробиологии, биоразно-



образия, экологической геологии и рационального природопользования. В работе секции приняли участие: профессор кафедры экологии и географии, доктор геолого-минералогических наук, профессор А.Н. Галкин; профессор кафедры фундаментальной и прикладной биологии, доктор биологических наук, доцент Д.Д. Жерносеков; профессор кафедры



химии и естественнонаучного¹ образования, доктор биологических наук, профессор А.А. Чиркин (название «кафедра химии и естественнонаучного образования» было зарегистрировано по старым справочникам и приведено в соответствии с официальным уставом ВГУ, но по современным правилам русского языка верным считается написание слова «естественно-научного» через дефис. – *Ред.*).


Особый интерес у аудитории вызвали доклады молодых исследователей с кафедры инженерной и экологической геологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Всего ими было представлено пять докладов:

- «Изучение электроповерхностных свойств глинистых грунтов на основе суспензионного эффекта» (автор – магистрант М.В. Евтихов; научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук, профессор В.А. Королёв);
- «Влияние поверхностных пленок на эффективность закрепления грунтов методами смолизации» (авторы – аспирант С.С. Летуновская, магистрант И.Г. Каратеев; научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук, профессор Е.Н. Самарин);
- «Поглощающие свойства модифицированных органическими компонентами грунтов по отношению к цинку (на

примере полигона промышленных отходов в Республике Татарстан)» (авторы – магистранты Т.В. Маликова, В.Г. Сокасян, аспирант С.С. Летуновская; научный руководитель – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник И.А. Родькина);

- «Изучение циклической деформируемости песков на основе термодинамики» (автор – магистрант В.В. Матвеев; научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук, профессор В.А. Королёв);
- «Инженерно-геологическая характеристика отложений обломочной лавины Авачинского вулкана (Камчатка)» (автор – магистрант М.А. Никулина; научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук, профессор Ю.В. Фролова).

Доклады магистрантов В.В. Матвеева, М.А. Никулиной и аспиранта С.С. Летуновской авторитетным жюри были признаны одними из лучших, а сами докладчики были награждены дипломами II и III степени и получили в подарок сборник опубликованных материалов конференции.

В конце работы секции её руководитель Т.А. Толкачёва поблагодарила гостей и выразила надежду на дальнейшее тесное взаимодействие молодых учёных ВГУ имени П.М. Машерова и МГУ имени М.В. Ломоносова. 

¹ Название «кафедра химии и естественнонаучного образования» было зарегистрировано по старым справочникам и приведено в соответствии с официальным уставом ВГУ имени П.М. Машерова, но по современным правилам русского языка верным считается написание слова «естественно-научного» через дефис. – *Ред.*

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

С 2022 года журнал «ГеоИнфо» выходит в формате *PDF. 4 выпуска в 2026 году.

WWW.GEOINFO.RU



ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ ЖУРНАЛА



Геотехническая лаборатория
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



ООО «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»



ООО «КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

АО «ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЙ»

СПОНСОРЫ ЖУРНАЛА



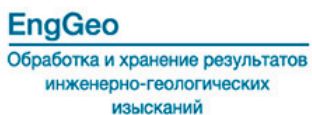
ООО НПП «ГЕОТЕК»



MALININSOFT



ПРОГРЕССГЕО



ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
«ENGGeo»



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ



ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ДЛЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ



АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ
ГРУНТОВ



РОССИЙСКОЕ ИНЖЕНЕРНОЕ ПО



В.А.Королёв, В.Т.Трофимов, А.Н.Галкин

**ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ РЕКРЕАЦИОННЫХ
КОМПЛЕКСОВ**

Москва - 2025

О МОНОГРАФИИ В.А. КОРОЛЁВА, В.Т. ТРОФИМОВА И А.Н. ГАЛКИНА «ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЕКРЕАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ»

КОРОЛЁВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д. г.-м. н., профессор, г. Москва, Россия

ТРОФИМОВ В.Т.

Заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор, д. г.-м. н., г. Москва, Россия

ГАЛКИН А.Н.

Профессор кафедры экологии и географии Витебского государственного университета имени П.М. Машерова, д. г.-м. н., профессор, г. Витебск, Белоруссия
galkin-alexandr@yandex.by

В октябре 2025 года в ООО «СамПринт» вышла монография «Эколого-геологические системы рекреационных комплексов» В.А. Королева, В.Т. Трофимова (профессоров Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова) и А.Н. Галкина (профессора Витебского государственного университета имени П.М. Машерова). Рецензентами монографии были известные инженеры-геологи и геоэкологи – Е.А. Вознесенский (директор Института геоэкологии РАН имени Е.М. Сергеева, член-корреспондент РАН, профессор) и М.А. Богдасаров (проректор по научной работе

Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, член-корреспондент НАН Беларуси, профессор).

В этой книге впервые анализируются особенности континентальных эколого-геологических систем (ЭГС) рекреационных комплексов как одного из распространенных типов техногенных ЭГС, которые включают техноприродные, природно-техногенные и антропогенные ЭГС, состоящие из абиотических (технолитотопа, техногидротопа, техноэдафотопа, техноатмотопа, технических сооружений) и биотических (техномикробоценоза, технофитоценоза, технозооценоза, со-

циума) компонентов, взаимосвязанных, взаимодействующих и составляющих единое целое.

С функциональной точки зрения ЭГС рекреационных комплексов представляют собой системы, целенаправленно или непреднамеренно сформированные для сохранения природного биоразнообразия, организации деятельности человека (социума) с целью его отдыха, туризма, восстановления и укрепления физических и духовных сил, а также для всестороннего развития личности и познавательной деятельности. Их создают в основном с использованием природных факторов на специально предназначенных для этого территориях, находящихся вне места постоянного проживания людей. Отметим, что к данным эколого-геологическим системам не относятся спортивные и спортивно-оздоровительные объекты, которые пространственно располагаются в селитебных ЭГС.

При этом функции, которые выполняют эколого-геологические системы рекреационных комплексов, разнообразны и подразделяются на медико-биологические (лечебно-оздоровительные, профилактические и восстановительные), социально-культурные (культурно-исторические, учебно-научные, просветительские, туристические, воспитательные, мемориальные) и экономические (по восполнению и восстановлению ресурсов).

В издании анализируются различные виды таких ЭГС и их многообразие, приводится их характеристика на основе рассмотрения различных эколого-геологических систем рекреационных комплексов на территориях России и Белоруссии.

Авторами впервые разработана систематика ЭГС рекреационных комплексов, описанных в монографии, обоснована


их структура, учитывающая состав их абиотических и биотических компонентов и взаимоотношения между ними.

Приведена характеристика ЭГС рекреационных комплексов разных типов, описаны их характерные примеры на основе ряда имеющихся ЭГС типичных и наиболее значимых рекреационных комплексов территорий России и Белоруссии.

Выполненный сравнительный анализ показал, что многие особенности ЭГС рекреационных комплексов для территорий России и Белоруссии являются схожими (за исключением различий, обусловленных разным геологическим строением их литотопов), что объясняется схожими природно-климатическими условиями ряда регионов этих соседних государств.

Обосновано, что целый ряд ЭГС рекреационных комплексов (особенно ЭГС заповедных комплексов) имеет большое научно-методическое значение при исследовании и выявлении закономерностей протекания природных процессов, а также их трансформаций в результате различных антропогенных воздействий.

Не меньшее значение эколого-геологические системы рекреационных комплексов имеют и в практическом отношении, обеспечивая сохранность естественной природной среды, выполняя лечебно-оздоровительные, восстановительные, культурно-просветительские, историко-архитектурные, мемориальные, спортивно-туристические, учебно-научные и иные функции.

Книга предназначена для экогеологов, геоэкологов, экологов, специалистов в области охраны природы, а также студентов и аспирантов вузов, занимающихся вопросами экологической геологии и экологии. 

ON THE MONOGRAPH "ECOLOGICAL-GEOLOGICAL SYSTEMS OF RECREATIONAL COMPLEXES" BY V.A. KOROLEV, V.T. TROFIMOV, AND A.N. GALKIN

KOROLEV V.A.

DSc (Geology and Mineralogy), professor at the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

TROFIMOV V.T.

DSc (Geology and Mineralogy), professor, Head of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

GALKIN A.N.

DSc, professor at the Department of Ecology and Geography, Masherov Vitebsk State University, Vitebsk, Belarus
galkin-alexandr@yandex.by

In October 2025, the monograph "Ecological-Geological Systems of Recreational Complexes" by V.A. Korolev, V.T. Trofimov (professors of Lomonosov Moscow State

University) and A.N. Galkin (professor of Masherov Vitebsk State University) was published by SamPrint LLC. The reviewers of the monograph were well-known engineering

geologists and geo-ecologists: E.A. Voznesensky (corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor, director of the Sergeev Institute of Environmental Geoscience of the Russian Academy of Sciences) and M.A. Bogdasarov (corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, professor, vice-rector for research at Pushkin Brest State University).

This book is the first to analyze the features of continental ecological-geological systems (EGS) of recreational complexes as one of the widespread types of technogenic EGS, which include technonatural, natural-technogenic, and anthropogenic EGS composed of abiotic components (technolithotope, technohydrotope, technoedaphotope, technoatmotope, and technical structures) and biotic components (technomicrobiocenosis, technophytocenosis, technozoocenosis, and human society), all of which are interconnected, interact, and form an integrated whole.

From a functional point of view, ecological-geological systems of recreational complexes are systems intentionally or unintentionally formed to preserve natural biodiversity, organize human (social) activity for recreation, tourism, restoration, and strengthening of physical and spiritual health, as well as for comprehensive personal development and cognitive activity. They are mainly created using natural factors in specially designated areas located outside places of permanent human residence. It should be noted that these EGS do not include sports and fitness facilities that are located within residential EGS.

The functions performed by ecological-geological systems of recreational complexes are diverse and include medical-biological (therapeutic, preventive, and restorative), socio-cultural (cultural-historical, educational-scientific, educational, tourism, upbringing, and memorial), and economic (resource replenishment and restoration) functions.

The publication analyzes various types of such EGS and their diversity, providing their characteristics based on the study of ecological-geological systems of recreational complexes in the territories of Russia and Belarus.


The authors have developed, for the first time, a systematics of EGS of recreational complexes described in the monograph and substantiated their structure, taking into account the composition of their abiotic and biotic components and the relationships between them.

The monograph presents characteristics of EGS of recreational complexes of different types, describes representative examples based on a number of EGS of typical and most significant recreational complexes in the territories of Russia and Belarus.

The comparative analysis shows that many features of EGS of recreational complexes in Russia and Belarus are similar (except for differences due to variations in the geological structure of their lithotopes), which is explained by similar natural and climatic conditions in a number of regions of these neighboring countries.

It is substantiated that a number of EGS of recreational complexes (especially EGS of protected complexes) are of great scientific and methodological importance for studying and identifying patterns of natural processes, as well as their transformation under various anthropogenic impacts.

Ecological-geological systems of recreational complexes are also of considerable practical importance, ensuring the preservation of the natural environment and performing therapeutic, recreational, cultural-educational, historical-architectural, memorial, sports-tourism, educational-scientific, and other functions.

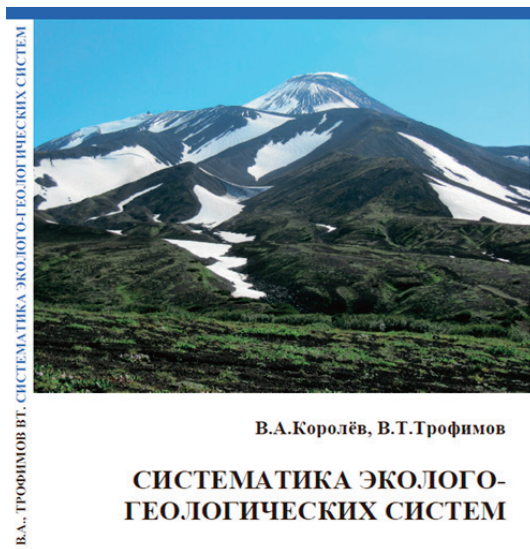
The book is intended for eco-geologists, geo-ecologists, environmental scientists, specialists in nature conservation, as well as for undergraduate and graduate students studying ecological geology and ecology. 

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

С 2022 года журнал «ГеоИнфо» выходит в формате *PDF. 4 выпуска в 2026 году.

WWW.GEOINFO.RU





О МОНОГРАФИИ В.А. КОРОЛЁВА И В.Т. ТРОФИМОВА «СИСТЕМАТИКА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

КОРОЛЁВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д. г.-м. н., профессор, г. Москва, Россия

ТРОФИМОВ В.Т.

Заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор, д. г.-м. н., г. Москва, Россия

В мае 2025 года в ООО «Сам Полиграфист» вышла монография профессоров геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова В.А. Королёва и В.Т. Трофимова «Систематика эколого-геологических систем». Её рецензентами были известные инженеры-геологи и экогеологи – Е.А. Вознесенский (директор Института геоэкологии РАН имени Е.М. Сергеева, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор) и А.Н. Галкин (доктор геолого-минералогических наук, профессор Витебского государственного университета имени П.М. Машерова).

В монографии впервые представлены классификации эколого-геологических систем различных типов, охватывающие всё многообразие данных объектов – природных, техногенных, сухопутных и водных (аквальных). Это позволяет системно подходить к анализу всего множества эколого-геологических систем, а на этой основе – разрабатывать в будущем карты их пространственного распространения и состояния, что

весьма важно при региональных эколого-геологических исследованиях и изысканиях.

В основу разработанного авторами методического подхода при обосновании систематики эколого-геологических систем положен учёт особенностей их литотопа как литогенной основы экосистемы.

Предложенные впервые и развитые авторами методологические подходы к систематизации эколого-геологических систем позволят в дальнейшем совершенствовать методику инженерно-экологических изысканий, методы анализа, характеристики и оценки эколого-геологических систем с учетом различных структур и взаимодействий их абиотических и биотических компонентов, что имеет большое значение для решения назревших экологических проблем современности.

Книга предназначена для экогеологов, геоэкологов, экологов, специалистов в области охраны природы, а также студентов и аспирантов вузов, занимающихся вопросами экологической геологии и экологии. **и**

ON THE MONOGRAPH "SYSTEMATICS OF ECOLOGICAL-GEOLOGICAL SYSTEMS" BY V.A. KOROLEV AND V.T. TROFIMOV

KOROLEV V.A.

DSc (Geology and Mineralogy), professor at the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

TROFIMOV V.T.

DSc (Geology and Mineralogy), professor, Head of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia


In May 2025, the monograph "Systematics of Ecological-Geological Systems" by V.A. Korolev and V.T. Trofimov (professors of the Faculty of Geology of Lomonosov Moscow State University) was published by Sam Poligrafist LLC. The reviewers of the monograph were well-known engineering geologists and eco-geologists: E.A. Voznesensky (corresponding member of the Russian Academy of Sciences, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, director of the Sergeev Institute of Environmental Geoscience of the Russian Academy of Sciences) and A.N. Galkin (doctor of geological and mineralogical sciences, professor of Masherov Vitebsk State University).

The monograph presents, for the first time, classifications of ecological-geological systems of various types, covering the full diversity of these objects – natural, technogenic, terrestrial, and aquatic ones. This makes it possible to systematically analyze the entire range of ecological-geological systems and, on this basis, to develop in the future maps of their spatial distribution and condition, which is of

great importance for regional ecological-geological studies and surveys.

The methodical approach developed by the authors for substantiating the systematics of ecological-geological systems is based on taking into account the features of their lithotope as the lithogenic basis of the ecosystem.

The methodological approaches to the systematization of ecological-geological systems, which were for the first time proposed and developed by the authors, will further improve methods of engineering-ecological surveys, as well as methods of analysis, characterization, and assessment of ecological-geological systems, taking into account the various structures and interactions of their abiotic and biotic components. This is of significant importance for addressing urgent environmental problems of the modern world.

The book is intended for eco-geologists, geo-ecologists, ecologists, specialists in nature conservation, as well as for undergraduate and graduate students specializing in ecological geology and ecology. 

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

С 2022 года журнал «ГеоИнфо» выходит в формате *PDF. 4 выпуска в 2026 году.



WWW.GEOINFO.RU