

ГеоИнфо

Независимый электронный журнал

Эколого-геологические условия
российского участка
магистрального нефтепровода...
Стр. 8

Рациональные схемы очистки
грунтов от нефтяных загрязнений
по трассам нефтепроводов
Стр. 24

Запретные зоны: как будет
проводиться строительство
вблизи памятников...
Стр. 120



GEOINFO

ISSN 2949-0677 (ONLINE)

WWW.GEOINFO.RU

TOM VII • 2-2025

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



Геотехническая лаборатория
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



ООО «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

АО «ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЙ»



MACSAFERRI / ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ

СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ООО НПП «ГЕОТЕК»



MALINISOFT



ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС» / FUGRO



Обработка и хранение результатов
инженерно-геологических
изысканий

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
«ENGGEО»



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ



АНО ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР
«НОРТЕСТ»



КОМПЛЕКС
АВТОНОМНЫХ ПРОГРАММ
ДЛЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ



ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ
УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ
В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ



ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ДЛЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ НЕЗАВИСИМОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА «ГЕОИНФО»

Самарин Евгений Николаевич

Главный редактор журнала «ГеоИнфо», профессор Кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н.

Баборыкин Максим Юрьевич

Главный геолог ООО «Аэрогеоматика», к.г.-м.н., имеет степень MBA

Бершов Алексей Викторович

Генеральный директор ГК «Петромоделинг», ассистент Кафедры Инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Ван Пин

Профессор Института географических наук и исследования природных ресурсов Академии наук, КНР, к.г.-м.н.

Галкин Александр Николаевич

Профессор кафедры экологии и географии учреждения образования «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова», д.г.-м.н.

Еременко Виталий Андреевич

Директор научно-исследовательского центра «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии» Горного института НИТУ МИСИС, д.т.н., профессор РАН

Ермолов Александр Александрович

Научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории геоэкологии Севера Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.н.

Жидков Роман Юрьевич

Главный инженер отдела цифровой картографии ГБУ «Мосгоргеотрест», к.г.-м.н.

Зайцев Андрей Александрович

Доцент кафедры "Путь и путевое хозяйство" РУТ (МИИТ), к.т.н.

Исаев Владислав Сергеевич

Доцент Университета МГУ ППИ, Шэньчжэнь, КНР, к.г.-м.н.

Королев Владимир Александрович

Профессор Кафедры инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., член-корреспондент Российской академии естественных наук (РАЕН) по секции наук о Земле

Латыпов Айрат Исламгалиевич

Руководитель Лаборатории по исследованию грунтов в строительстве, доцент по специальности «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение», член национального реестра специалистов в области строительства, эксперт Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, д.г.-м.н.

Лю Цзянькунь

профессор Университета Сунь Ятсена, Гуанчжоу, КНР, к.г.-м.н.

Маштаков Александр Сергеевич

Доцент кафедры географии и картографии Волгоградского государственного университета, директор ООО «ВОЛГАСТРОЙТЕХНОЛОГИЯ»

Мирный Анатолий Юрьевич

Доцент Кафедры инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, генеральный директор ООО «Независимая геотехника», к.т.н.

Миронюк Сергей Григорьевич

Доцент/старший научный сотрудник Кафедры инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, научный сотрудник ООО «Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова», к.г.-м.н.

Молдобеков Болот Дуйшеналиевич

Доцент, содиректор Центрально-Азиатского института прикладных исследований Земли, к.г.-м.н.

Пиоро Екатерина Владимировна

Генеральный директор ООО «Петромоделинг Лаб», к.г.-м.н.

Салихов Фарид Салохиддинович

Доцент кафедры математики и естественных наук филиала МГУ им. М.В. Ломоносова в городе Душанбе, д.г.-м.н.

Судакова Мария Сергеевна

Старший преподаватель Кафедры сейсмометрии и геоакустики Геологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, Научный сотрудник института Криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, к.ф.-м.н.

Слободян Владимир Юрьевич

Генеральный директор АО «Институт экологического проектирования и изысканий» (АО «ИЭПИ»)

Труфанов Александр Николаевич

Заведующий лабораторией «Методов исследования грунтов» НИИОСП им. Н.М. Герсевича, АО «НИЦ Строительство», к.т.н., Почетный строитель России

Федоренко Евгений Владимирович

Научный консультант ООО «НИП-Информатика», к.г.-м.н.

Фоменко Игорь Константинович

Профессор Кафедры инженерной геологии МГРИ, д.г.-м.н.

Фролова Юлия Владимировна

Профессор Кафедры инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.г.-м.н.

Чжан Шэнжун

Доцент Северо-Восточного Университета Лесного Хозяйства, Харбин, КНР, к.г.-м.н.

Чжан Цзе

Профессор факультета гражданского строительства и транспорта Северо-Восточного университета Лесного Хозяйства, директор Китайско-Российской лаборатории инженерии и экологии холодных регионов, к.г.-м.н.

Шарафутдинов Рафаэль Фаритович

Директор НИИОСП им. Н.М. Герсевича, ученый секретарь Российского Общества по Механике Грунтов, Геотехнике и Фундаментостроению (РОМГиФ), к.т.н.



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: 18.08.2025

© Ананко Виктор Николаевич, 2025

© ГеоИнфо, 2025

Фото на обложке: Midjourney

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Эколого-геологические условия российского участка магистрального нефтепровода Сковородино – Мохэ (РФ – КНР) 6
Григорьева И.Ю., Королев В.А., Самарин Е.Н., Николаева С.К., Чжан Цз., Чжан Ш.

Рациональные схемы очистки грунтов от нефтяных загрязнений по трассам нефтепроводов 24
Королёв В.А., Самарин Е.Н., Григорьева И.Ю., Николаева С.К., Чжан Цз., Чжан Ш.

Особенности промышленных эколого-геологических систем Белоруссии 38
Королёв В.А., Галкин А.Н.

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Определение прочностных и деформационных свойств элювиальных песчаников по данным статического зондирования 56
Латыпов А.И., Гараева А.Н., Королев Э.А.

ГЕОТЕХНИКА

Влияние корреляции между прочностными показателями свойств грунтов на результаты расчета устойчивости склона 64
Фоменко И.К., Зеркаль О.В., Самарин Е.Н.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Методы дистанционного зондирования Земли как инструмент регионального инженерно-геологического мониторинга (на примере г. Москвы) 70
Жидков Р.Ю., Романова Е.Р., Абакумова Н.В., Рекун В.С., Савченко Д.С., Буфеев Ф.К.

ПЕРЕВОДНЫЕ СТАТЬИ

Трехмерное геологическое моделирование верхней части подземного пространства и его использование на примере исследования в районе Тунчжоу, г. Пекин, Китай 80
Хэ Х., Сяо Цз., Хэ Цз., Вэй Б., Ма С., Хуан Ф., Цай С., Чжоу Ю., Би Цз.;
Чжао И., Ван Ч., Вэй Цз.

Трехмерное инженерно-геологическое моделирование и геотехническая характеристика в рамках правил геотехнического проектирования на примере площадки строительства логистического комплекса в долине Нола (Южная Италия) 100
Петроне П., Аллокка В., Фуско Ф., Инконтри П., Де Вита П.

ПРИЛОЖЕНИЕ. ДИСКУССИЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ

Запретные зоны: как будет проводиться строительство вблизи памятников культуры и как ему могут помешать градозащитники 120
Дьяченко Л.

Федор Зепалов: Использование систем ERP – обязательная составляющая проектно-изыскательского бизнеса 124
Интервью с Зепаловым Ф.

Что влияет на качество и достоверность результатов лабораторных испытаний грунтов 128
Трофимов В.А.

Перечень научных специальностей:

010601.	Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика
010606.	Гидрогеология
010607.	Инженерная геология, мерзотоведение и грунтоведение
010608.	Гляциология и криология Земли
010609.	Геофизика
010612.	Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов
010616.	Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия
010617.	Океанология
010621.	Геоэкология
010619.	Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия
010620.	Геоинформатика, картография
010622.	Геодезия
020102.	Основания и фундаменты, подземные сооружения
020106.	Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология
020107.	Технология и организация строительства
020109.	Строительная механика
020110.	Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства
020806.	Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика



ECOLOGICAL GEOLOGY

Eco-geological conditions of the Russian section of the main oil pipeline Skovorodino-Mohe (Russia-China)	6
Grigor'eva I.Yu., Korolev V.A., Samarin E.N., Nikolaeva S.K., Zhang J., Zhang Sh.	
Rational schemes for cleaning away oil pollution from grounds along oil pipelines	24
Korolev V.A., Samarin E.N., Grigor'eva I.Yu., Nikolaeva S.K., Zhang J., Zhang Sh.	
Features of industrial ecological-geological systems of Belarus	38
Korolev V.A., Galkin A.N.	

SOIL SCIENCE

Determination of the Strength and Deformation Properties of Eluvial Sandstones from Static Cone Penetration Test Data	56
Latypov A.I., Garaeva A.N., Korolev E.A.	

GEOTECHNICS

The influence of correlation between strength indicators of soil properties on the results of slope stability calculations	64
Fomenko I.K., Zerkal' O.V., Samarin E.N.	

ENGINEERING GEOLOGY. ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEY

Earth remote sensing methods as a tool for regional engineering-geological monitoring (by the example of Moscow)	70
Zhikov R.Yu., Romanova E.R., Abakumova N.V., Rekun V.S., Savchenko D.S., Bufeov F.K.	

TRANSLATED ARTICLES

Three-dimensional geological modeling of the shallow subsurface and its application: a case study in Tongzhou District, Beijing, China	80
He H., Xiao J., He J., Wei B., Ma X., Huang F., Cai X., Zhou Yu., Bi J., Zhao Yi., Wang Ch., Wei J.	
Engineering geological 3D modeling and geotechnical characterization in the framework of technical rules for geotechnical design: the case study of the Nola's logistic plant (Southern Italy)	100
Petrone P., Allocca V., Fusco F., Incontri P., De Vita P.	

APPENDIX. DISCUSSION OF PROFESSIONALS

Prohibited zones: how construction will be carried out near cultural sites, and how cultural heritage advocates can interfere it	120
D'yachenko L.	
Fedor Zepalov: using ERP systems is an indispensable component of the design and survey business	124
Interview with Zepalov F.	
What influences the quality and reliability of soil laboratory test results	128
Trofimov V.A.	



Оценка несущей способности свай, погруженных в элювиальные песчаники Стр. 56

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: 18.08.2025

© Ananko Viktor Nikolaevich, 2025

© GeoInfo, 2025

Cover photo: Midjourney

**ГРИГОРЬЕВА И.Ю.**

Доцент кафедры инженерной и экологической геологии МГУ имени М.В. Ломоносова, к. г.-м. н., г. Москва, Россия
ikagrig@inbox.ru

КОРОЛЁВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д. г.-м. н., г. Москва, Россия
va-korolev@bk.ru

САМАРИН Е.Н.

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

НИКОЛАЕВА С.К.

Доцент кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, к. г.-м. н., г. Москва, Россия
nikolaeva sk@gmail.com

ЧЖАН Цз.

Профессор Северо-Восточного университета лесного хозяйства, к. г.-м. н., г. Харбин, Китай
zez@nefu.edu.cn

ЧЖАН Ш.

Доцент Северо-Восточного университета лесного хозяйства, к. г.-м. н., г. Харбин, Китай
zhangshengrong1988@nefu.edu.cn

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РОССИЙСКОГО УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА СКОВОРОДИНО – МОХЭ (РФ – КНР)

Принята к публикации 25.04.2025

Опубликована 18.08.2025

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены существующие на сегодняшний день подходы к выделению компонентов эколого-геологических условий. На основе учения об экологических функциях литосферы дана характеристика эколого-ресурсных, эколого-геодинамических, эколого-геохимических и эколого-геофизических условий российского участка магистрального нефтепровода Сковородино – Мохэ (Россия – Китай). Представленные подходы к характеристике эколого-геологических условий могут быть востребованы как при проведении инженерно-экологических изысканий, так и при оценке воздействия на компоненты окружающей среды при решении аналогичных задач на территориях России и Китайской Народной Республики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

эколого-геологические условия; компоненты эколого-геологических условий; эколого-ресурсные условия; эколого-геодинамические условия; эколого-геохимические условия; эколого-геофизические условия; трасса нефтепровода; Сковородинский район.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Григорьева И.Ю., Королев В.А., Самарин Е.Н., Николаева С.К., Чжан Цз., Чжан Ш. Эколого-геологические условия российского участка магистрального нефтепровода Сковородино – Мохэ (РФ – КНР) // ГеоИнфо. 2025. Т. 7. № 2. С. 6–23. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-6-23.

ECO-GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE RUSSIAN SECTION OF THE MAIN OIL PIPELINE SKOVORODINO-MOHE (RUSSIA-CHINA)

Accepted for publication 25.04.2025

Published 18.08.2025

GRIGOR'EVA I.Yu.

PhD, assistant professor, Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
ikagrig@inbox.ru

KOROLEV V.A. *

DSc, professor, Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
va-korolev@bk.ru

SAMARIN E.N.

DSc, professor, Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
samarinen@mail.ru

NIKOLAEVA S.K.

PhD, assistant professor, Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
nikolaeva sk@gmail.com

ZHANG J.

PhD, professor, Northeast Forestry University, Harbin, China
zez@nefu.edu.cn

ZHANG Sh.

PhD, assistant professor, Northeast Forestry University, Harbin, China
zhangshengrong1988@nefu.edu.cn

ABSTRACT

The article considers the currently existing approaches to identifying the components of eco-geological conditions. Based on the doctrine of the ecological functions of the lithosphere, the characteristics of the eco-resource, eco-geodynamic, eco-geochemical, and eco-geophysical conditions of the Russian section of the Skovorodino-Mohe main oil pipeline are given. The presented approaches to the characteristics of the eco-geological conditions can be in demand both in engineering and environmental surveys and in assessing the impact on environmental components when solving similar problems in Russia and in the People's Republic of China.

KEYWORDS:

eco-geological conditions; components of eco-geological conditions; eco-resource conditions; eco-geodynamic conditions; eco-geochemical conditions; eco-geophysical conditions; oil pipeline route; Skovorodino district.

FOR CITATION:

Grigor'eva I.Yu., Korolev V.A., Samarin E.N., Nikolaeva S.K., Zhang J., Zhang Sh. *Ehkologo-geologicheskie usloviya rossiiskogo uchastka magistral'nogo nefteprovoda Skovorodino – Mokheh (RF – KNR) [Eco-geological conditions of the Russian section of the main oil pipeline Skovorodino-Mohe (Russia-China)]* // *GeoInfo*. 2025. T. 7. № 2. S. 6–23. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-6-23 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

Сотрудничество России и Китая в нефтяной отрасли обусловлено традиционными для наших стран географическими и историко-экономическими предпосылками, естественной ресурсной взаимодополняемостью экономик этих двух держав, а также современными геополитическими и геоэкономическими факторами – перемещением центра мировой экономической активности с Запада на Восток.

В 2011 году для транспортировки нефти в Китай был построен нефтепровод от города Сковородино (РФ) до приграничного города Мохэ (КНР) и далее до города Дацин (КНР). Его первоначальная пропускная способность составляла 15 млн т/год, в 2017 году она была увеличена до 30 млн т/год. При этом полная протяженность нефтепровода составляет 997,45 км, из них на территории России – 63,4 км, на территории Китая – 932 км. Маршрут начинается в Сковородино Амурской области и заканчивается в Дацине (КНР) в провинции Хэйлунцзян (рис. 1). Этот проект направлен на углубление энергетического сотрудничества между Россией и Китаем и служит предложенной Китаем инициативе «Один пояс – один путь».

Строительство и эксплуатация нефтепроводных систем в условиях Дальнего Востока сопряжено с весьма сложными

эколого-геологическими условиями, рассмотрению которых и посвящена настоящая статья. Детальный анализ состояния эколого-геологических условий с последующей их оценкой во многом позволяет планировать и проводить научно обоснованные мероприятия по предотвращению негативного воздействия объектов нефтегазовой отрасли на компоненты окружающей среды, включая ее литосферную составляющую.

Результаты работы, представленные в статье, выполнялись в рамках госбюджетной темы МГУ имени М.В. Ломоносова «Эколого-геологические системы: структура, многообразие, систематика и их анализ» и совместных иссле-

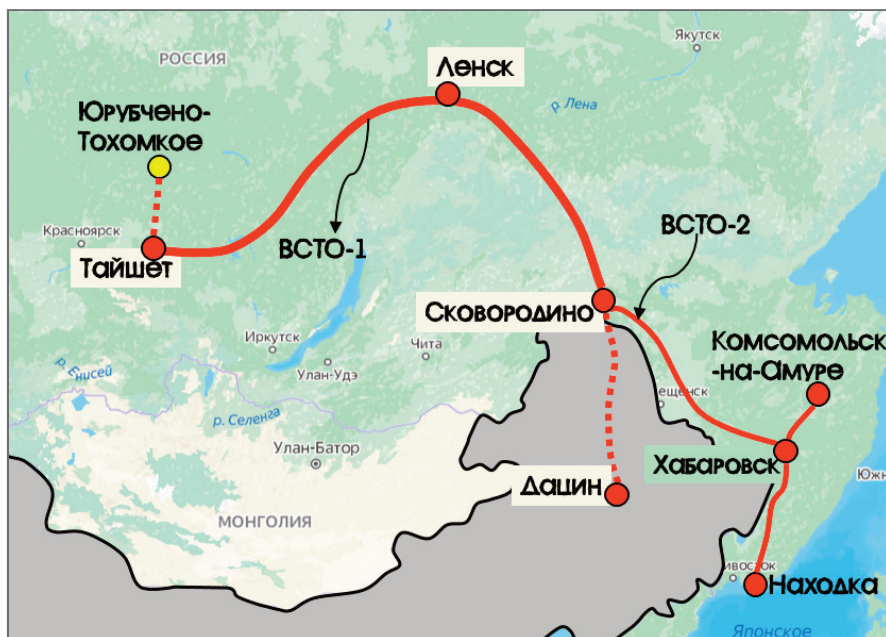


Рис. 1. Схема магистрального трубопровода «Транснефть – Восток» [1]

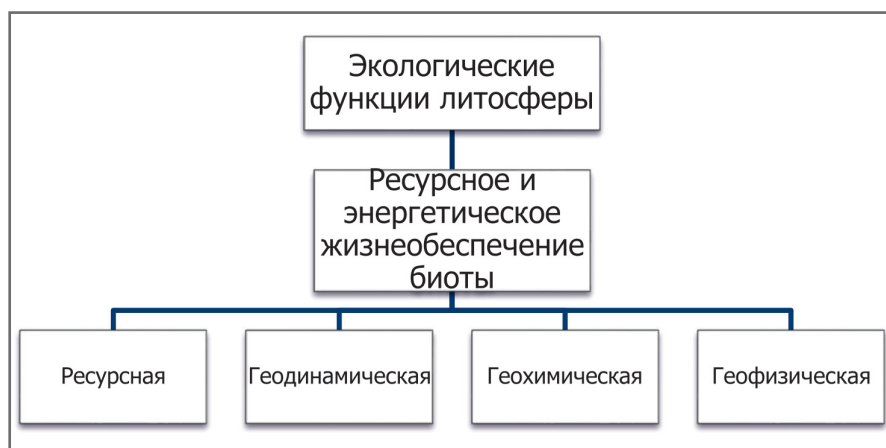


Рис. 2. Назначение и виды экологических функций литосферы (по [2])

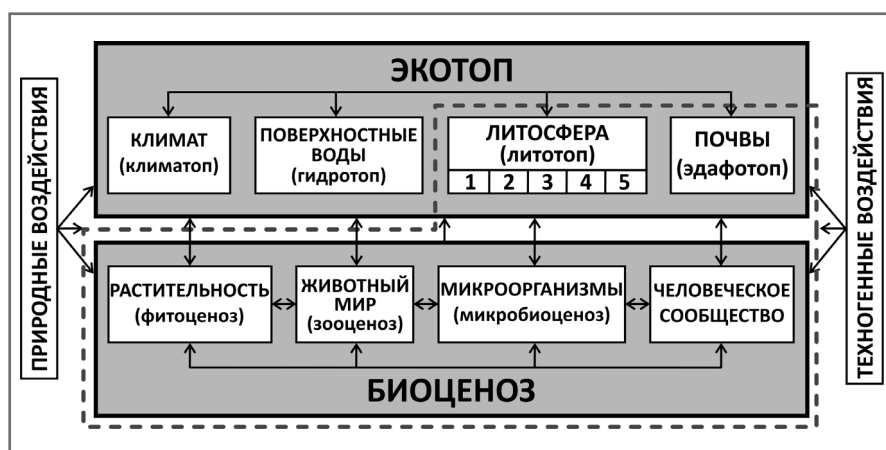


Рис. 3. Структура эколого-геологической системы [4]. Цифрами 1–5 обозначены параметры литосферы: 1 – состав и строение; 2 – подземные воды; 3 – геохимические поля; 4 – геофизические поля; 5 – современные эндо- и экзогенные процессы (штриховой линией выделены границы эколого-геологической системы)

Сковородино – Моха дадим общие представления о компонентах эколого-геологических условий и подходов к их выделению.

ФАКТОРЫ (КОМПОНЕНТЫ) ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ▶

В теории экологической геологии, развитой в классических работах представителей школы Московского университета (В.Т. Трофимова, Д.Г. Зилинга, В.А. Королева, А.Д. Жигалина, М.А. Харьковской, Т.А. Барабошкиной и др.), реализовано два подхода к определению понятия «эколого-геологические условия»: через понятие «экологические функции литосферы» (рис. 2) или через понятие «эколого-геологическая система» (рис. 3). Так, под эколого-геологическими условиями (эколого-геологической обстановкой) понимается совокупность конкретных экологических функций и свойств литосферы, отражающих современное и палеосостояние условий жизнедеятельности живых организмов в данном объеме литосферы как среде их обитания [2]. Или, в более поздней трактовке, *эколого-геологические условия – это условия, создаваемые комплексом современных морфологически выраженных геологических факторов, оказывающих влияние на особенности функционирования биоты, включая человека, в рамках эколого-геологической системы* [3].

Следует четко представлять, что литосфера (а точнее, земная кора) – внешняя твердая оболочка Земли – является основой всех природных комплексов, она создает необходимые абиотические условия для существования жизни на Земле и является литогенной основой экосистем. Эндогенные и экзогенные геологические процессы, рельеф и геолого-структурные условия развития территории, литолого-петрографический состав пород, неотектонический режим, состав и состояние подземных вод, мощность и режим многолетнемерзлых пород и т.д. во многом определяют особенности жизнедеятельности людей (равно как и жизни других организмов) в пределах той или иной территории.

Роль литосферы в становлении экосистем, обеспечивающих существование жизни на Земле, заключается в следующих основных позициях:

- служит литогенной основой экосистем, ландшафтов, в том числе и почв;
- служит средой обмена веществом и энергией с атмосферой и гидросферой;
- обеспечивает круговорот воды в природе;

дований с Северо-Восточным университетом лесного хозяйства (Китайская Народная Республика).

Перед рассмотрением особенностей эколого-геологических условий российского участка трассы нефтепровода

Таблица 1. Факторы эколого-геологических условий и факторы их формирования [5]

Факторы (компоненты) эколого-геологических условий		Факторы формирования эколого-геологических условий	
Региональные геологические	1. Мега- и мезорельеф	Региональные геологические	1. Совокупность геологических процессов, реализованных в ходе истории геологического развития территории
	2. Состав, строение и свойства, степень литификации или метаморфизации пород, условия их залегания и распространения		2. Современное тектоническое развитие территории
	3. Условия залегания и химический состав подземных вод глубоких горизонтов		
	4. Геохимические поля, их неоднородность		
	5. Геофизические поля, их неоднородность		
	6. Характер эндогенных и экзогенных геологических процессов		
Зональные геологические и ландшафтные	1. Современное состояние пород и их свойства	Зональные геологические и ландшафтные	1. Теплообеспеченность территории
	2. Глубина залегания и химический состав грунтовых вод		2. Увлажненность территории
	3. Характер и интенсивность экзогенных геологических процессов		3. Соотношение теплообеспеченности и увлажненности территории
	4. Ландшафтные особенности		4. Ландшафтные особенности
		Техногенные	

- является накопителем пресных вод и минеральных ресурсов;
- является источником, преобразователем, накопителем и поглотителем энергии;
- осуществляет непрерывное поступление энергии, тем самым обуславливает неравновесность энергетического состояния литосферы (что обеспечивает работу рек, горообразование, трансгрессию и регрессию моря, землетрясения и т.д.) и существование жизни.

При проведении эколого-геологических исследований на конкретной территории перед исследователем встает задача выявления экологически значимых особенностей литосферы, которые и будут влиять на состояние живых организмов. И здесь возникает правомерный вопрос, касающийся компонентов эколого-геологических условий, состояние которых следует оценить. Вопрос о перечне компонентов эколого-геологических условий до сих пор остается открытым. Здесь могут быть реализованы три подхода к выделению компонентов. Так, согласно первому из них экологически

значимые особенности состава и строения литосферы объединяются в понятие «экологические функции литосферы» [2]. И, поскольку выделяются четыре функции, отражающие способность литосферы к поддержанию жизни на Земле – *ресурсная* (обеспечение пространством и ресурсами), *геодинамическая* (воздействие геологических процессов и геодинамических аномалий), *геохимическая* (воздействие геохимических полей), *геофизическая* (воздействие геофизических полей), то и изучение и описание территории может вестись на основе этих четырех компонентов.

В.Т. Трофимовым позднее было предложено выделять следующие восемь компонентов, более традиционных для геологических исследований:

- 1) геологическое строение местности и характер слагающих ее пород;
- 2) рельеф;
- 3) гидрогеологические условия;
- 4) мерзлотные условия;
- 5) геохимические условия;
- 6) геофизические условия;
- 7) ландшафтные условия;

8) современные геологические процессы [4].

И наконец, по аналогии с инженерно-геологическими условиями был предложен подход, рассматривающий региональные и зональные компоненты эколого-геологических условий (таблица 1), где в перечень компонентов были добавлены геохимические и геофизические поля и ландшафтные особенности [5].

Исходя из вышеизложенного считаем целесообразным дать характеристику эколого-геологических условий территории вдоль трассы магистрального нефтепровода Сковородино – Мохэ, основываясь на учении об экологических функциях литосферы. Особо следует пояснить, что понятие «экологические функции литосферы» было введено В.Т. Трофимовым и Д.Г. Зилингом еще в 1994 году. Его появление не было случайным и было обусловлено прежде всего тем, что начало изучения взаимодействий между компонентами литосферы и биотой, включая человеческое сообщество, по существу, свидетельствует о новом подходе к оценке роли

литосферы геологом: появилась необходимость оценить литосферу как вещественную и энергетическую основу существования биоты и в первую очередь человеческого сообщества. Это потребовало рассмотрения атрибутивных экологических качеств литосферы и их современного состояния в неразрывной связи с экологическим состоянием биоты и условиями развития человеческого общества.

Теоретической и методической основой такого исследования и являются представления об экологических функциях литосферы. По существу, речь идет об изучении и описании прямых связей в системе «литосфера (или техногенно измененная литосфера) – биота». Следовательно, экологические функции литосферы – тот реальный механизм, через который или с помощью которого можно выявить и оценить эколого-геологические условия территории и их изменения под влиянием природных и антропогенных факторов, в том числе и под влиянием техногенеза. Именно это обстоятельство позволило считать идеологию экологических функций литосферы краеугольным камнем теоретического базиса экологической геологии [6].

Поэтому, исходя из сказанного, с позиций экологической геологии экологические функции литосферы в общем виде следует определить как роль и значение литосферы в жизнеобеспечении и эволюции биоты. Под экологическими функциями литосферы понимается все многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение литосферы (включая подземные воды, нефть, газы, геофизические поля и протекающие в ней геологические процессы) в жизнеобеспечении биоты и главным образом человеческого сообщества. Приоритетное выделение в экосистеме человеческой популяции обусловлено ее активным воздействием на среду обитания, причем до глубин, значительно превышающих глубину влияния остальной биоты. В таком качестве литосфера не изучалась и не изучается в рамках традиционной биоэкологии, биогеографии и экологического почвоведения [2].

Научная концепция экологических функций литосферы объединяет в единый круг рассматриваемых проблем многоплановое изучение роли литосферы как среды существования органической жизни – простейших ее форм, растительного и животного мира и человеческой популяции. Основное с экологи-

ческих позиций «предназначение» – ресурсное и энергетическое жизнеобеспечение биоты – реализуется через ресурсную, геодинамическую, геофизическую и геохимическую функции (см. рис. 2). Их содержание определяется таким образом [2]:

- ресурсная экологическая функция литосферы – функция, определяющая роль минеральных, органических и органо-минеральных ресурсов и ресурсов геологического пространства литосферы для жизни и деятельности биоты как в биогеоценозе, так и в социальной структуре;
- геодинамическая экологическая функция литосферы – функция, отражающая такое свойство литосферы, как влияние на состояние биоты, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные процессы и явления;
- геохимическая экологическая функция литосферы – функция, отражающая такое свойство геохимических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения, как влияние на состояние биоты, включая человека;
- геофизическая экологическая функция литосферы – функция, отражающая такое свойство геофизических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения, как влияние на состояние биоты, включая человека.

Исходя из вышеизложенного, рассмотрим последовательно эколого-ресурсные, эколого-геодинамические, эколого-геохимические и эколого-геофизические условия трассы магистрального нефтепровода Сковородино – Мохэ.

ЭКОЛОГО-РЕСУРСНЫЕ УСЛОВИЯ ►

Среди различных видов ресурсов, актуальных для рассматриваемого Сковородинского района Амурской области, выделяются минерально-сырьевые и энергетические ресурсы, ресурсы подземных и поверхностных вод, почв, геологического пространства, а также биологические ресурсы.

По степени обеспеченности ресурсами, необходимыми для жизни и деятельности человека, в пределах Дальневосточного региона России выявлено около 85 видов рудных и нерудных полезных ископаемых, локализованных как в коренных, так и в россыпных месторождениях, однако в настоящее время осваиваются только 20–24 из них. Основными продуктами горного про-

изводства являются золото, алмазы, источники углеводородов (нефть, газ, уголь). Суммарная стоимость этих продуктов, добытых, например, в 2012 году, составила 92% от стоимости всех видов продукции, полученной за этот период [6]. Подобная ситуация с использованием сырьевого потенциала определяет характерную структуру горного производства Дальневосточного федерального округа, заключающуюся в «точечном» (выборочном) освоении месторождений только «выгодного» сырья, разработка которого обеспечивает высокую прибыль [8].

Важнейшую роль в формировании и активном использовании георесурсов минерально-сырьевых центров играют: территориальная организация экономически и технологически увязанных производственных единиц, расширение транспортных коммуникаций, усиление роли металлургии и машиностроения с учетом удовлетворения внутренних потребностей и экспортных поставок. С этих позиций формирование горнорудных районов целесообразно на территориях, которые обладают активным или прогнозируемым ресурсным потенциалом в пределах соответствующих минерально-сырьевых центров [9].

На интенсивно обжитой и экономически развитой *пригравийной части Сковородинского района* сосредоточены многочисленные подготовленные к промышленному освоению, разрабатываемые и законсервированные месторождения.

Территория Амурской области в целом характеризуется высокой *золотоснабженностью*. Здесь разведаны месторождения коренного и россыпного золота. В настоящее время по объемам добычи золота Амурская область находится на четвертом месте по общероссийскому рейтингу (после Красноярского края, Чукотского автономного округа и Якутии). С 2005 года в структуре золотодобывающей промышленности области происходят кардинальные изменения: начался устойчивый спад объемов добычи россыпного золота на фоне роста рудной золотодобычи. В 2009 году доля рудной добычи впервые сравнялась с долей россыпной, в 2010 году она составила более 60%, а к 2015 году – превысила 90%. Это было обусловлено истощением сырьевой базы россыпного золота в результате интенсивной эксплуатации россыпей. На сегодняшний день средняя промышленная россыпь в области характеризуется низким содержанием золота (160–9100 мг золота на

1 м³ горной массы) и, как правило, усложненными горно-геологическими условиями эксплуатации. Средняя обеспеченность предприятий запасами россыпного золота составляет менее 5 лет, при этом 20% старательских артелей обеспечены запасами всего на 1 год и менее. Основные золотороссыпные районы выработаны полностью, поэтому снижение россыпной золотодобычи неизбежно. В то же время остается невостребованным потенциал месторождений для дражного способа добычи, в первую очередь с помощью пригодных для использования мобильных малолитражных драг.

Коренных месторождений *серебра* в рассматриваемом районе не обнаружено. Серебро предусматривается добывать из месторождений золота как сопутствующий компонент. Поэтому ресурсный потенциал этого полезного ископаемого представлен золото-серебряным рудно-формационным типом.

На территории Сковородинского района выявлены и разрабатываются месторождения *строительных материалов*. Среди них – месторождения и проявления строительного камня, глинистого сырья для грубой керамики, глинистого сырья для керамзита, тугоплавких глин, песчано-гравийных материалов, строительного песка. Кроме того, известны многочисленные недостаточно изученные, но ранее обрабатывавшиеся для местных нужд проявления глин, песка, строительного камня, минеральных красок. Намечаются и перспективные для изучения проявления базальтов для производства изделий из стекловолокна. Месторождения строительного камня связаны с разновозрастными интрузиями гранитов, гранодиоритов, диоритов, габбро, габбро-диоритов, габбро-диабазов, сиенитов с гнейсами, гранито-гнейсами и др. Сырье этих месторождений пригодно для получения щебня для изготовления тяжелого и гидротехнического бетона, щебня для отсыпки дорог, путевого балласта.

Балансом запасов по Амурской области также учтено одно месторождение *кварцитов* – Неверское, расположенное в 9 км к северу от железнодорожной станции Большой Невер в Сковородинском районе. Месторождение находится в государственном резерве, его запасы составляют 2766 тыс. т по категориям А+В+С₁ и 419 тыс. т по категории С₂. Эти кварциты пригодны для использования в металлургической промышленности.

Довольно многочисленной группой месторождений горючих полезных ис-

копаемых в рассматриваемом районе, которые могут иметь практический интерес, являются месторождения *торфа*, приуроченные к современным четвертичным отложениям (торфяникам). Все эти месторождения характеризуются запасами (ресурсами) свыше 10 тыс. т.

Территории месторождений полезных ископаемых застройке не подлежат. В случае необходимости их освоения требуется согласование с органами Ростехнадзора Амурской области.

Таким образом, минерально-сырьевая база Сковородинского района богата и разнообразна, но его недра к настоящему времени на 95% являются невостребованными. Перспективы создания здесь надежной минерально-сырьевой базы – самого существенного для развития любой территории – весьма велики. Основу минерально-сырьевой базы района составляет золото. Будущее золотодобычи связано с отработкой коренных месторождений. Имеющиеся балансовые запасы и прогнозные ресурсы рудного золота превышают здесь балансовые запасы и прогнозные ресурсы россыпного золота. За счет вовлечения в освоение коренного золота объем золотодобычи может быть увеличен в 2–2,5 раза [10].

Район обеспечен практически всеми видами нерудного сырья и строительных материалов для развития строительной индустрии и создания новых, нетрадиционных для области, отраслей промышленности – керамической, электрокерамической, цементной, лакокрасочной, медицинской, парфюмерной и др.

Сковородинский район обладает всеми благоприятными условиями для полного комплексного использования своих минеральных ресурсов. С запада на восток его пересекает Транссибирская железнодорожная магистраль и связывающая ее с БАМом поперечная железнодорожная линия Сковородино – Тында – Беркамит. Район является своеобразными воротами в Китай, страны Юго-Восточной Азии и другие страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Поэтому есть все возможности для значительного роста его значения как внешнеэкономического партнера и транзитной территории. Все это вместе взятое требует кардинальных мер по ускоренному изучению территории района в отношении различных видов полезных ископаемых и по освоению как уже известных, так и вновь выявляемых месторождений [9].

Достаточно значимой с эколого-ресурсных позиций является оценка *запа-*

сов и качества природных вод, представляющих собой ресурс, необходимый одновременно для жизни и деятельности биоты и для функционирования и развития человеческого общества.

Сложное геологическое строение территории Амурской области, разнообразие форм рельефа и наличие многолетней мерзлоты определяют сложность и многообразие гидрогеологических условий. Здесь имеются все типы вод: поровые, пластовые, трещинные, трещинно-жильные и карстовые. По гидравлическим свойствам выделяются напорные и безнапорные воды. В районах распространения многолетней мерзлоты развиты надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные воды. *Подземные воды* в целом по территории Амурской области изучены крайне неравномерно. Наиболее изучены южная и центральная часть, где сосредоточены разведанные месторождения и пробуренные скважины на воду. Глубина залегания подземных вод изменяется в пределах 1–170 м в зависимости от расчлененности рельефа, мощности зоны выветривания и мерзлотных условий. Наименьшая глубина залегания приурочена к речным долинам и подножиям склонов. Воды безнапорные и напорные, нередко самоизливающиеся. Величина напора колеблется в пределах 5–120 м. Ввиду расчлененности рельефа подземные воды в пределах гидрогеологических массивов не образуют выдержанных по простиранию водоносных горизонтов. Водообильность пород является неравномерной и в целом слабой. Дебиты скважин, вскрывших подземные воды в зоне выветривания, чаще всего не превышают 1 л/с, расходы родников – 1–3 л/с. Зоны тектонических нарушений и участки распространения карбонатных пород обладают большей водообильностью, дебиты скважин там изменяются в пределах 1–10 л/с, расходы родников могут достигать 10–50 л/с. Из-за слабой водообильности подземные воды гидрогеологических массивов непригодны для организации водоснабжения крупных водопотребителей. Некоторый интерес могут представлять подземные воды, приуроченные к зонам тектонических нарушений и к участкам распространения карбонатных пород, а также к четвертичным аллювиальным отложениям крупных рек (воды подрусловых таликов).

По результатам оценки обеспеченности населения Сковородинского района ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения их

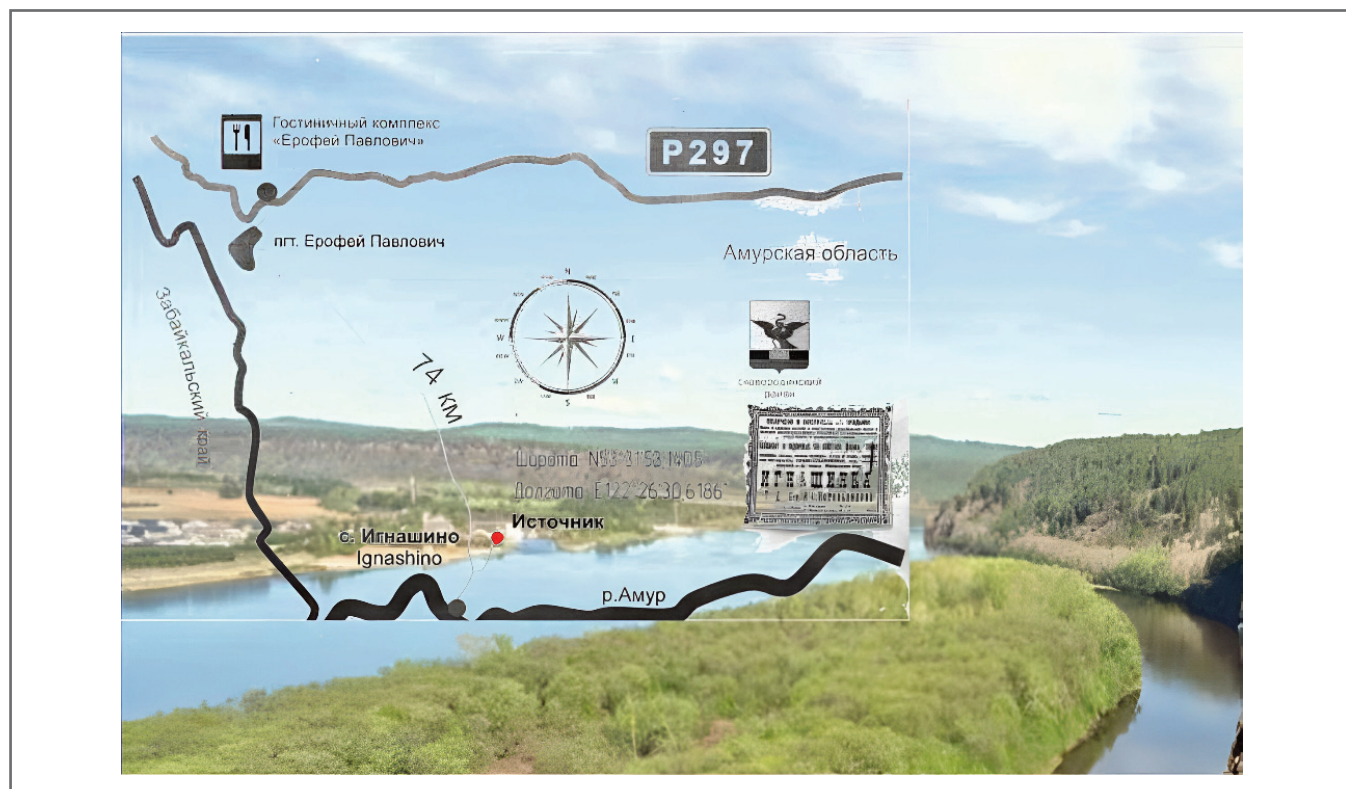


Рис. 4. Расположение Игнашинского минерального источника (показан красной точкой) [3]

Таблица 2. Общий объем воды питьевого качества на территории Сковородинского района [9]

Населенный пункт, район	Население тыс. чел.	Современное хозяйственно-питьевое водоснабжение (ХПВ), тыс. м³/сут				Доля подземных вод в балансе ХПВ, %
		всего	в том числе			
			поверх-ностными водами	Подземными водами		
				всего	Центральный водозабор	
г. Сковородино	10,4	1,9	-	1,9	1,9	100
п. Ерофей Павлович	5,6	0,94	-	0,94	0,94	100
Сковородинский район (всего)	32	8,84	2,39	6,45	6,28	72,96

общие ресурсы с учетом природоохранных ограничений составляют порядка 21 млн м³/сут. Средний модуль прогнозных ресурсов подземных вод в целом по району равен 0,1 л/с-км². На территории района распространены главным образом пресные подземные воды с минерализацией от 0,1 до 0,7 г/л. В некоторых случаях, по всей вероятности, ресурсов подземных вод стихийно освоенных участков в перспективе окажется недостаточно для населенных пунктов, расположенных на площадях со сложными гидрогеологическими условиями, в том числе на территориях города Сковородино и поселка Большой Невер. Это определяет целесообраз-

ность освоения запасов разведанных там месторождений [9].

В пределах Сковородинского района встречаются разнообразные по физическим свойствам, газовому составу и радиоактивности минеральные воды. Минеральные воды относятся к «ласточкинскому» и «дарасунскому» типам и характеризуются невысокими температурами (до 10 °С), слабой или малой и средней минерализацией, содержанием уголекислоты до 3–4 мг/л и часто повышенным содержанием железа и кремнекислоты. Из анионов в воде преобладают гидрокарбонат-ионы, из катио-

нов – ионы кальция и магния. Известны следующие проявления углекислых вод: Гонжинское месторождение, Игнашинские и Хорьковские источники [3].

В настоящее время велики перспективы создания на изучаемой территории собственной курортно-санаторной базы на основе как известных, так и вновь выявленных месторождений минеральных вод, сапропеля и лечебных грязей. Набор различных типов минеральных вод, обладающих широким спектром бальнеологических свойств, позволяет решить проблему оздоровления людей без выезда за пределы района и Амурской области. Значительные перспективы связаны с дальнейшим расширением



Рис. 5. Государственный природный заказник «Верхне-Амурский» [12]

действующих месторождений минеральных вод и освоением новых объектов, например Игнашинского источника минеральных вод (рис. 4).

Что касается обеспеченности Сковородинского района *поверхностными водными ресурсами*, то на его территории протекает около 40 рек. Все реки относятся к бассейну реки Амур, ширина которого в границах района составляет 350–600 м, скорость течения – 1,1–1,4 м/с, глубина – до 4,7 м. Речные воды района по химическому составу гидрокарбонатно-кальциевые, по жесткости – мягкие и очень мягкие, обладают хорошими питьевыми качествами, отличаются малой минерализацией, не превышающей 100 мг/л для большинства рек. Несколько большей минерализацией (до 140 мг/л) обладают воды Амура. В водах устойчиво преобладают ионы HCO_3^- (30–44 %-экв), Ca^{2+} (22–39 %-экв), иногда $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (22–25 %-экв). Величина pH колеблется от 6,4 до 7,5. Сведения об общем объеме вод питьевого качества приведены в таблице 2.

В целом в районе за счет подземных вод обеспечиваются расчетные расходы воды питьевого качества. Создаются и реконструируются групповые подземные водозаборы, локальные скважины и автономные системы транспортировки воды к потребителям. Подземные воды, имеющие природные (такие как избыток железа, марганца и др.) и техногенные загрязнения, обрабатываются на

очистных сооружениях с помощью установок обезжелезивания, деманганации и обеззараживания.

Протяженность водопроводных сетей в Сковородинском районе составляет 116,7 км, из них в замене нуждаются 50,7 км (45,2%). Темпы замены изношенных сетей недостаточны (порядка 20 км/год), тем более что с каждым годом количество таких сетей увеличивается. В связи с высоким процентом их износа утечки в системе водоснабжения составляют около 20%.

Использование воды для технологических целей возможно в основном только за счет реконструкции и развития отдельных систем с забором воды из поверхностных ее источников – рек, прудов, водохранилищ. Водоснабжение крупных промышленно-коммунальных объектов и сельскохозяйственных комплексов также рекомендуется основывать на поверхностных водах.

В структуре *ресурса геологического пространства* особую роль играют *зоны с особыми условиями использования территорий*. К ним относятся следующие зоны:

- санитарно-защитные;
- охраны объектов культурного наследия;
- особо охраняемых природных территорий (ООПТ);
- водоохранные;
- охраны источников питьевого водоснабжения;

- охраняемых объектов;
- иные, устанавливаемые в соответствии с законодательством Российской Федерации (пунктом 4 статьи 1 федерального закона № 190-ФЗ).

ООПТ предназначены для формирования единого экологически связанного природного каркаса территории Сковородинского района, обеспечивающего экологическую стабильность, сохранение и воспроизводство природных ресурсов. В планировочной структуре района для целей охраны природы в настоящее время предусмотрено резервирование территорий с различными природоохранными функциями [11]. Основой системы природно-экологического каркаса района служат существующие и проектируемые ООПТ, зоны с особым режимом использования.

Например, государственный природный комплексный заказник областного значения «Верхне-Амурский» был образован по постановлению губернатора Амурской области № 507 от 30.12.2010. Его территория общей площадью 50 700 га состоит из двух кластеров – северного (46 616 га) и южного (4 084 га) (рис. 5). Заказник создан для сохранения и восстановления природных комплексов, ценных в экологическом, научном и природоохранном отношении.

Государственный природный зоологический заказник областного значения «Урушинский» общей площадью 36 800 га был создан в 1963 году



Рис. 6. Вид на Албазинский острог [13]



Рис. 7. Пожар в Сковородинском районе 18.05.2021 [15]

по решению облисполкома Амурской области № 304 от 05.07.1963. Его границы и режим охраны были утверждены постановлением губернатора Амурской области № 200 от 24.04.2006. Целями создания этого заказника были сохранение и восстановление редких и исчезающих видов животных, в том числе видов, ценных в хозяйственном, научном и культурном отношении.

Государственный природный ботанический заказник областного значения «Улэгир» был создан по постановлению главы администрации Амурской области № 402 от 13.06.2002. Он расположен в северо-западной части Сковородинского района на участке площадью 42 302 га и в Тындинском районе. Общая его площадь - 95 384 га. Его границы и режим охраны были утверждены постановлением губернатора Амурской области № 200 от 24.04.2006. Целями создания данного заказника были сохранение и восстановление редких и исчезающих видов растений, в том числе

видов, ценных в хозяйственном, научном и культурном отношении.

На территориях заказников действует особый режим охраны. Здесь запрещается любая деятельность, если она противоречит целям создания заказника или причиняет вред природным комплексам и их компонентам.

На территории Сковородинского района имеется 20 объектов культурного наследия (памятников истории и культуры), состоящих на государственном учете, с региональной категорией охраны. Также выявлены объекты археологического наследия. Основной объект – памятник истории и культуры «Албазинский острог» - центр казачьей культуры. В районе села Албазино обнаружены древние поселения первых веков, а также поселения 5–13 веков до н.э. и эпохи неолита (рис. 6).

В настоящее время в Сковородинском районе принимается комплекс мощных мер, направленных на:

- выявление и изучение объектов, представляющих собой ценность с точки зрения истории, археологии, архитектуры, градостроительства, искусства, науки и техники, эстетики, этнологии или антропологии, социальной культуры;
- сохранение и дальнейшее развитие традиций, обрядов и праздников;
- реставрацию и консервацию объектов (памятников истории и культуры) и предметов культурного наследия;
- пополнение музейного, архивного и библиотечного фондов;
- создание новых организаций по сохранению объектов культурного наследия и укреплению их материально-технической базы.

Серьезной проблемой остается и угроза уничтожения памятников археологии при хозяйственной деятельности. Поэтому отношения в области сохранения, использования, охраны таких объектов и соответствующие меры подлежат дальнейшему правовому регулированию и регламентированию.

Особое значение в структуре ресурса геологического пространства имеют территории, занятые лесами. Согласно данным Бельмач и др. [14], земли лесного фонда занимают 94% от общей площади Сковородинского района при залесенности этих земель 86,3%. Большая часть района покрыта хвойными лесами с незначительными примесями лиственных пород. Антропогенные негативные воздействия на эти территории связаны с хозяйственным освоением (промышленным и транспортным строительством, добычей полезных ископаемых, лесозаготовками, прокладкой нефте- и газопроводов и т.д.), лесными пожарами и сельскохозяйственными палами (рис. 7).

Также в районе имеется около 219 км² болот и заболоченных земель. Отмечаются весенние и осенние максимумы уровней болотных вод и минимум зимой. Замерзание начинается в ноябре. Промерзание идет постепенно и к апрелю достигает наибольших значений. Оттаивание начинается в апреле и заканчивается в июле.

Земли сельскохозяйственного назначения в Сковородинском районе явно не выражены. В связи с неблагоприятными агроклиматическими условиями сельское хозяйство там носит очаговый характер. Выращиваются в основном ранний картофель и корнеплоды. Более развито животноводство. Зоны сельскохозяйственной деятельности расположены преимущественно в южной части района – на территориях, приле-

гающих к рекам, на низинных участках с торфяными, луговыми почвами, которые подходят для развития сельскохозяйственных отраслей (рис. 8).

Следует отметить, что площадь *природных ландшафтов* в районе составляет 95,7% [14]. По степени использования ландшафты на данной территории относятся к группе неинтенсивного освоения.

Рассматривая *качество ресурса геологического пространства*, следует отметить следующее. Территория района в целом характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, и ее освоение может затруднять развитие таких *экзогенных процессов*, как речная и овражная эрозия, обвалы, осыпи, наледи, морозное пучение, карстовые процессы. Значительная часть района неблагоприятна для освоения из-за сильно расчлененного рельефа в среднегорье и низкогорье, где экзогенные процессы развиты наиболее интенсивно. К ограниченно благоприятным территориям относятся слаборасчлененное низкогорье и холмисто-увалистые территории. К неблагоприятным и ограниченно благоприятным относятся также поймы и низкие надпойменные террасы рек, затапливаемые паводковыми водами. Благоприятными для освоения являются территории предгорной равнины и высоких надпойменных террас.

И все же в целом в районе не наблюдается прогрессирующей эрозии. При естественном состоянии экосистем эрозийные процессы развиваются незначительно благодаря плотному растительному покрову. Но в местах рубок главного пользования (в северной части района) заметны следы начала плоскостной и линейной эрозии, особенно вдоль заброшенных лесовозных дорог. При уничтожении растительности и механическом нарушении горных разновидностей почв эрозия резко усиливается. За несколько лет возникают овраги глубиной 2,0–2,5 м. Поэтому необходимо принятие противоэрозионных мер для сохранения естественной растительности на крутых склонах и в верховьях рек.

Особое значение в структуре ресурса геологического пространства имеют *техногенно нарушенные земли* – отработанные карьеры, участки территорий промышленных предприятий с техногенными нарушениями рельефа, отвалами грунта и пр. На таких территориях необходимы рекультивационные работы.

В Сковородинском районе имеется ряд производственных предприятий,



Рис. 8. Участок земель сельскохозяйственного назначения в Сковородинском районе (фото Д. Якимова)

для которых устанавливаются *санитарно-защитные зоны* в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.

По территории района проходит несколько веток магистральных трубопроводов. Для магистральных продуктопроводов углеводородного сырья создаются санитарные разрывы (санитарные полосы отчуждения). Минимальные расстояния учитывают степень взрыво- и пожароопасности при аварийных ситуациях и зависят от видов поселений, типов зданий, назначений объектов с учетом диаметров трубопроводов. Минимальные размеры санитарных разрывов устанавливаются в соответствии с приложениями № 1–6 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.

Для исключения возможности повреждения трубопровода (при любом виде его прокладки) устанавливаются охранные зоны, размеры которых регламентируются положениями об охранных зонах трубопроводов в соответствии с приказом Ростехнадзора и Минэнерго России от 23.12.2021 № 452/1458. В зависимости от вида транспортируемого топлива охрannая зона устанавливается шириной от 25 м (при транспортировке по трубопроводам нефти, природного газа, нефтепродуктов, нефтяного и искусственного углеводородных газов) до 100 м (при транспортировке сжиженных углеводородных газов, нестабильного бензина и конденсата). Земельные участки, входящие в охранные зоны трубопроводов, не изымаются у землепользователей и используются ими для сельскохозяйственных и иных работ.

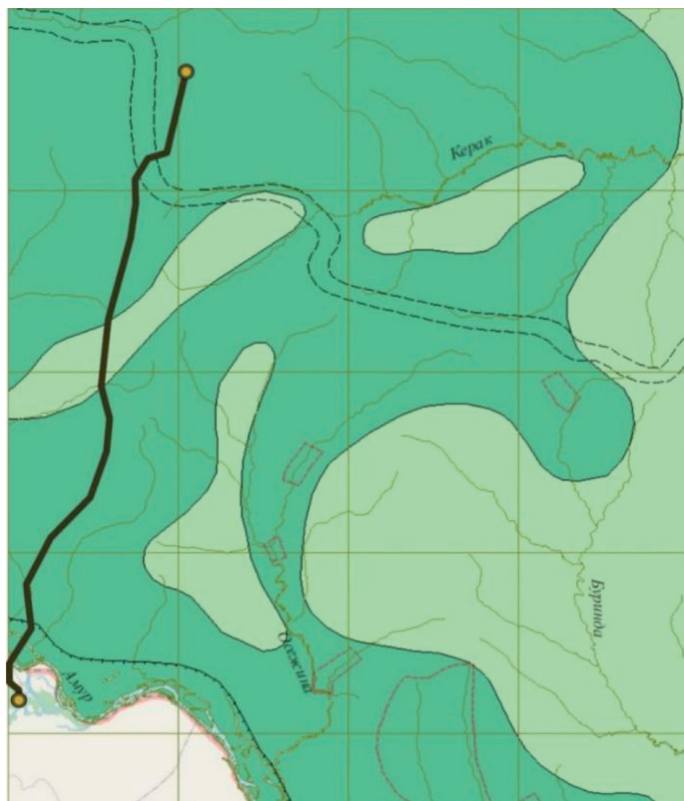
В Сковородинском районе ежегодно образуется не менее 5 тыс. т *твердых*

коммунальных отходов (ТКО). Система обращения с отходами сводится к сбору и захоронению их на свалках. Всего для захоронения ТКО используется около 16,5 га земель. Увеличение массы отходов в год в среднем составляет 3–5%.

Рассматривая *эколого-ресурсные условия*, необходимо особое внимание уделить *почвам*, которые, с одной стороны, являются ценным с эколого-геологических позиций ресурсом, обеспечивающим питание и биологическое существование человека как вида, а с другой стороны, во многом определяют особенности использования геологического пространства территории. Большую часть территории Сковородинского района занимают почвы, имеющие лесохозяйственное значение, а бурые лесные, пойменные аллювиальные и подзолистые почвы, наиболее благоприятные для сельскохозяйственного использования, занимают правобережную часть района и в основном уже освоены в сельскохозяйственном плане.

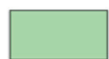
На рисунке 9 приведена схема оценки качества ресурса геологического пространства, согласно которой трасса магистрального нефтепровода Сковородино – Мохэ проходит в границах благоприятной и удовлетворительной для освоения зоны рассматриваемой территории. Определенные ограничения накладывают лишь наличие транспортного коридора в северной части трассы.

В целом для рассматриваемой территории с учетом охарактеризованных эколого-ресурсных условий уровень развития конфликтов в сфере природопользования оценивается как относительно низкий [17].



Условные обозначения

Эколого-геологическая оценка площади



Благоприятная



Удовлетворительная

Площади с ограничениями и особыми условиями хозяйственной деятельности



Запретная полоса. Водоохранная зона.
Площадь, рекомендованная для организации защиты биологических ресурсов в приграничной полосе



Защитная полоса. Транспортный коридор



Золотодобывающая деятельность и транспортные коммуникации, приводящие к интенсивному нарушению почвенно-растительного покрова, вырубке лесов, взмучиванию водотоков, активизации ЭГП и др. Требуют рекультивации и организации мониторинга

Рис. 9. Схема оценки качества ресурса геологического пространства территории расположения трассы магистрального нефтепровода Сковородино – Мохэ на основе картографических данных [16] (ЭГП – экзогенные геологические процессы)

ЭКОЛОГО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

С эколого-геодинамических позиций анализ многолетних наблюдений за возникновением природных чрезвычайных ситуаций (ЧС) показывает, что на территории Сковородинского района в течение календарного года наблюдаются различные опасные природ-

ные явления, последствия которых могут привести к возникновению ЧС [11, 18]. Основными факторами риска возникновения ситуаций природного характера, воздействующих на состояние биоты и в том числе человека, являются опасные геологические процессы, метеорологические и гидрологические явления.

Причины риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера разнообразны. В таблицах 3, 4 приведены оценки сложности природных условий и категорий опасности по видам опасных природных процессов в соответствии с СП 115.13330.2016.

Особо неблагоприятным является то, что территория Сковородинского района характеризуется высокой **сейсмичностью** – возможностью землетрясений интенсивностью 7–9 баллов по шкале MSK-64 на основе комплекта карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-2016. Сейсмичность населенных пунктов Сковородинского района показана в таблице 5.

Ранее (в том числе по картам ОСР-1978) большая часть обжитых мест района относилась к сейсмически менее опасным 6-балльным зонам и застраивалась зданиями и сооружениями, которые не способны воспринимать большие сейсмические нагрузки. Кроме того, большая часть существующего строительного фонда была возведена в 60–80-х годах прошлого века и имеет значительный износ [11]. Здания и сооружения в районе в основном характеризуются дефицитом сейсмостойкости, так как они были рассчитаны выдерживать толчки интенсивностью только 1–2 балла и иногда до 3 баллов.

Уже в 6–7-балльных зонах в результате сейсмических воздействий возможны разрушения средней степени жилых и производственных зданий и сооружений, защитных сооружений, коммунально-энергетических сетей. Возможны разрушения одно- и двухэтажных домов, появление трещин в пятиэтажных домах, разрывы магистрального нефтепровода высокого давления, разрушения на нефтеперекачивающих станциях и на объектах, использующих в своей производственной деятельности нефтепродукты.

Таким образом, особенности климата и геолого-тектонического строения территории района определяют частое возникновение стихийных бедствий и наложение их результатов на природные и особенно техногенные ландшафты. Поэтому проблема обеспечения сейсмической безопасности там является комплексной, требующей разносторонних межведомственных решений и согласований, оценок и прогнозов не только прямого, но и косвенного ущерба, а также реализации различных многоцелевых задач в масштабах района. Следует учесть, что при реализации

сейсмических воздействий большей интенсивности степень повреждений будет гораздо выше. Единственно правильным методом решения подобных задач, требующих тщательного учета большого количества разнокачественных факторов, является программно-целевой метод, то есть своевременная научно обоснованная разработка долгосрочной целевой программы и непрерывное отслеживание ее реализации в соответствии с меняющейся природной обстановкой [11]. Особенно важно учитывать степень сейсмоопасности площадки и предусматривать антисейсмические меры при строительстве объектов капитального строительства (вместе с учетом уровня их ответственности).

Природные пожары помимо прямого ущерба лесному хозяйству угрожают и населенным пунктам. В теплые периоды года подвержен им и Сковородинский район. При возникновении крупных лесных пожаров могут быть уничтожены большие площади леса преимущественно в северной и центральной частях района.

Основными причинами возгораний на рассматриваемой территории являются несоблюдение правил пожарной безопасности при нахождении в лесу и сельскохозяйственные палы.

Систематически повторяющиеся лесные пожары не только наносят ущерб лесопромышленному комплексу, но и оказывают отрицательное воздействие на всю окружающую среду, затрудняют хозяйственную деятельность как в период пожаров, так и в последующее время. Участки леса, характеризующиеся четвертым классом пожарной опасности, сгруппированы в крупные массивы и рассредоточены по всей территории района.

Администрацией Сковородинского муниципального района в соответствии с действующим Лесным кодексом Российской Федерации и Правилами пожарной безопасности в лесах Российской Федерации, а также на основании Федерального закона от 06.10.2003 № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» ежегодно проводятся мероприятия по подготовке к тушению лесных пожаров на территории района и предусматриваются расходы на охрану и защиту лесов от пожаров, происходящих в границах населенных пунктов [11].

Районные пункт управления гражданской обороны и комиссия по чрезвычайным ситуациям располагаются в

Таблица 3. Оценка сложности природных условий

Виды природных факторов	Оценка сложности в соответствии с п. 5.2 СП 115.13330.2016
Рельеф и геоморфологические характеристики	сложные
Геологические и тектонические условия	средней сложности
Гидрогеологические условия	средней сложности
Опасные природные процессы по степени развития	сложные

Таблица 4. Оценка категорий опасности по видам опасных природных процессов и явлений

Вид опасного природного процесса	Категория опасности в соответствии с приложением Б СП 115.13330.2016
Землетрясения	опасная
Подтопление	умеренно опасная
Плоскостная эрозия	умеренно опасная
Овражная эрозия	опасная
Речная эрозия	умеренно опасная
Оползнеобразование	опасная

Таблица 5. Сейсмичность населенных пунктов Сковородинского района

Населенный пункт	По картам ОСП-1978	По картам ОСП-2016		
		А	В	С
Сковородино	6	7	8	8
Ерофей Павлович	6	7	8	8
Невер	6	7	8	9
Талдан	6	7	8	8
Тахтамыгда	6	7	8	9
Уруша	6	7	8	9

Примечание: по карте А указана интенсивность с 90%-ной вероятностью не превышения в течение 50 лет; по карте В – с 95%-ной вероятностью; по карте С – с 99%-ной вероятностью.

городе Сковородино. На нефтеотгрузочном терминале базируется группа Дальневосточного регионального поисково-спасательного отряда МЧС России в количестве 5 человек.

Климатические условия Сковородинского района и случающиеся **неблагоприятные метеорологические явления** создают трудности в природопользовании. При хозяйствовании необходимо учитывать все особенности климата. В пределах района к опасным метеорологическим явлениям относятся заморозки, засухи, суховеи, сильные ветры, ливни и грады.

Неустойчивые погодные условия в зимние периоды в последние годы об-

уславливают возможность возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с:

- зимними паводками, природно-техногенными паводками на прудах;
- налипанием мокрого снега на провода и деревья;
- гололедно-изморозевыми явлениями;
- сильными морозами и снежными заносами, которые могут вызывать, например, заторы автотранспорта на дорогах, обрушения крыш и слабо укрепленных конструкций.

К неблагоприятным метеорологическим явлениям в летний период относятся в том числе суховеи. Интенсивность суховея определяется сочетанием



Рис. 10. Затопление большого участка в населенном пункте Сковородинского района в результате ливневых дождей в июне 2021 года [19]



Рис. 11. Град в районе города Сковородино в июне 2016 года [20]

большой скорости ветра и дефицита влажности воздуха. Суховеи средней интенсивности бывают в районе ежегодно.

Заморозки в южных районах Амурской области начинаются во второй – третьей декадах сентября, когда вегетация в основном уже закончена, и прекращаются в третьей декаде мая, когда всходы теплолюбивых культур еще не появились. Поэтому существенного вреда сельскохозяйственным культурам заморозки не приносят.

Ливневые дожди опасны для сельского хозяйства при суточном максимуме 50 мм и более или при интенсивности 20 мм/ч и выше. В этих случаях они вызывают полегание посевов и переувлажнение почвы (рис. 10). В период с мая по октябрь бывает от 1 до 3 дней с выпадением ливневых осадков 50 мм и более за сутки. В отдельные годы число таких дней увеличивается до 4–8. Сильные дожди чаще всего вызываются поларно-фронтовыми циклонами.

Большой ущерб сельскому хозяйству наносит также *град*. Наибольшую опасность он представляет при диаметре

градин более 20 мм (рис. 11). Он случается не каждый год, преимущественно в теплые месяцы (наиболее часто, примерно раз в 2 года, – в мае – июне), выпадает обычно пятнами, а иногда полосами, достигающими в длину нескольких километров, и сопровождается ливнями, грозами, иногда шквальным ветром. Выпадение града на исследуемой территории, как правило, связано с прохождением областей пониженного давления, неустойчивостью воздушных масс и местными географическими факторами.

Сильные ветры чаще наблюдаются в весеннее время (в апреле – мае). Они иссушают почву, выдувают посевы, ломают деревья и другие растения. Весной по мере общего увеличения ветровой деятельности снижается относительная влажность. В отдельные дни она составляет всего 10–15%. В такое время наблюдаются суховеи. К суховеям в климатической области муссонов умеренных широт относится ветер со скоростью не менее 5 м/с при температуре воздуха в пределах его воздействия вы-

ше нормы, относительной влажности воздуха не более 50% за 13-часовой срок наблюдений в рассматриваемый месяц. В отдельные годы бывает значительное число дней с суховеями, особенно в апреле. Но сильные суховеи бывают очень редко, наблюдаются в основном слабые и очень слабые суховеи. Больших бедствий они не приносят, но часто случается, что весной из-за недостатка влаги всходы растений приостанавливают рост. В этот период необходимо принимать меры по сохранению влаги.

В зимний период неблагоприятными для сельского хозяйства являются *метели*. Число дней с метелями за зиму в отдельных местах района не превышает 4–16, но в наиболее защищенных от ветра местах они наблюдаются даже не каждый год. Почти на всей изучаемой территории максимальное количество дней с метелями приходится на ноябрь – декабрь, а также на март.

Низкие среднесуточные температуры (–20 °C и ниже) наблюдаются в рассматриваемом районе в основном в декабре и январе. Число дней с такими температурами в январе бывает от 15 до 25. Наблюдаются такие температуры в большинстве случаев при наличии снега высотой 1–10 см.

Таким образом, с эколого-геодинамических позиций данная территория характеризуется муссонным климатом, что проявляется прежде всего в режиме осадков с большей их концентрацией во второй половине лета. Продолжительные ливневые дожди в это время вызывают наводнения на крупных реках и приносят большой вред сельскому хозяйству. Почвенно-климатические условия в Сковородинском районе позволяют возделывать пшеницу, сою, овес, кукурузу и другие культуры [18, 21]. Муссонные дожди второй половины лета, приуроченные к созреванию и уборке зерновых культур, приносят большой вред урожаю. Почвы насыщаются водой, происходит их эрозия, колосовые и другие культуры дождем прибивает к земле и делает их недоступными для уборки.

В целом рассматриваемая территория характеризуется сложными природными условиями (прежде всего в отношении сейсмичности, геоморфологических особенностей и опасных природных процессов). Наибольший риск возникновения чрезвычайных ситуаций связан с развитием оползней и овражной эрозии, чуть меньший риск связан подтоплением, плоскостной и речной эрозией.

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ►

В ландшафтном отношении Амурско-Зейская равнина в целом может быть охарактеризована как лесная территория, в которой происходит сложное сочленение подзон широколиственных лесов с буроземными почвами и южно-таежных лиственных лесов с буроземно-таежными почвами [21]. Ландшафты широколиственных лесов распространены на юго-востоке и юге области, но вдоль Амура и Зеи далеко проникают на запад и север – до хребтов Тукурингра и Джагды.

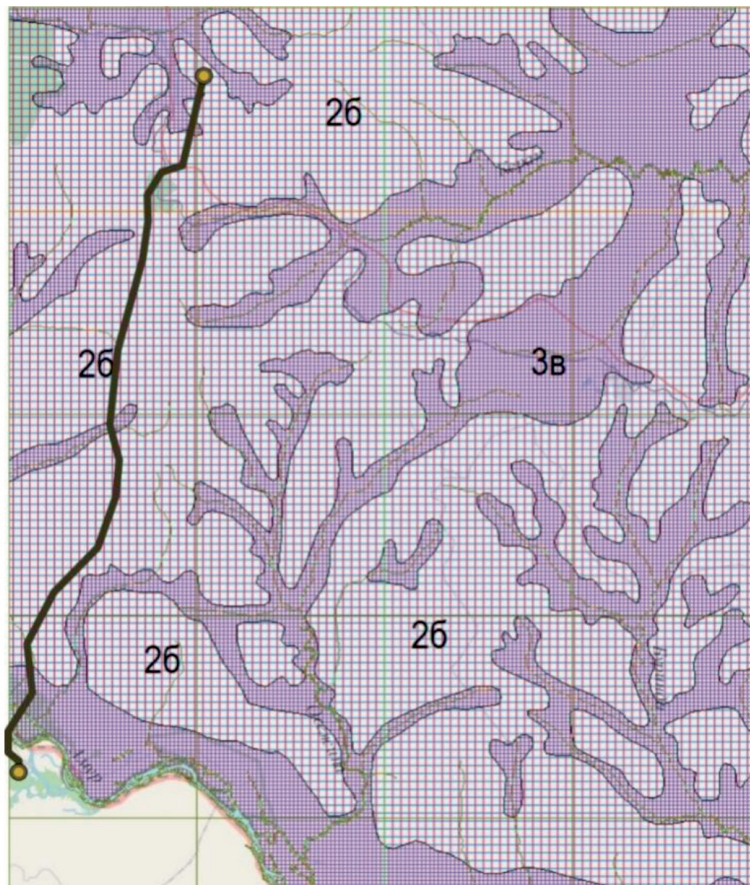
Природные ландшафтно-геохимические особенности рассматриваемой территории могут быть охарактеризованы как среднеустойчивые (рис. 12).

Миграционные процессы в речных долинах и дельтах относятся к аккумулятивно-транзитному типу с умеренным водообменом и интенсивным биологическим круговоротом [17]. Классы водной миграции ландшафтов речных долин – H^+ , H^+-Fe^{2+} .

Самоочищающая способность рек зависит от температурного коэффициента (отношения количества дней в году с температурой более $16^\circ C$ к общему числу дней) и водности рек (среднегодового расхода воды в реке). Температурный коэффициент для рек области составляет 0,15–0,22. Способность рек к самоочищению определяется по таблице 6.

В соответствии с приведенной таблицей и характеристиками водности рек, приведенными выше, потенциал самоочищения рек оценивается как пониженный для Амура на всем протяжении и как низкий для всех остальных рек.

Биогеохимический потенциал любой территории определяется интенсивностью и емкостью биологического круговорота веществ, который связан с ежегодной продукцией и запасами органического вещества в фитомассе и почвах. Биологический круговорот включает в себя процессы создания живого вещества из элементов окружающей среды и разложения органических веществ. Его интенсивность обусловлена зональными гидротермическими условиями метаболизма веществ и интенсивностью миграционных процессов [17]. На этом зональном фоне широко распространены гидроморфные ландшафты: луговые – по поймам рек, болотные – по долинам рек и плоским слабо дренированным междуречьям; среди них часты лиственные мари. Их образованию кроме дренажа способствуют: наличие грунтов тяжелого механического состава, много-



Условные обозначения

Геолого-экологические потенциалы и их индексы		Геодинамические	
		Средней устойчивости 2	Малоустойчивые 3
Геохимические	Средней устойчивости б	26	
	Малоустойчивые в		3в

Рис. 12. Схема геохимической устойчивости ландшафтных подразделений в пределах территории трассы магистрального нефтепровода Сковородино – Мохэ (на основе картографических данных [16])

Таблица 6. Способность рек к самоочищению [11]

Температурный коэффициент	Среднегодовой расход воды в реке, м³/с		
	менее 50,0	50–500	более 500
Более 0,32	пониженный	умеренный	высокий
0,28–0,32	низкий	пониженный	умеренный
Менее 0,28	низкий	низкий	пониженный

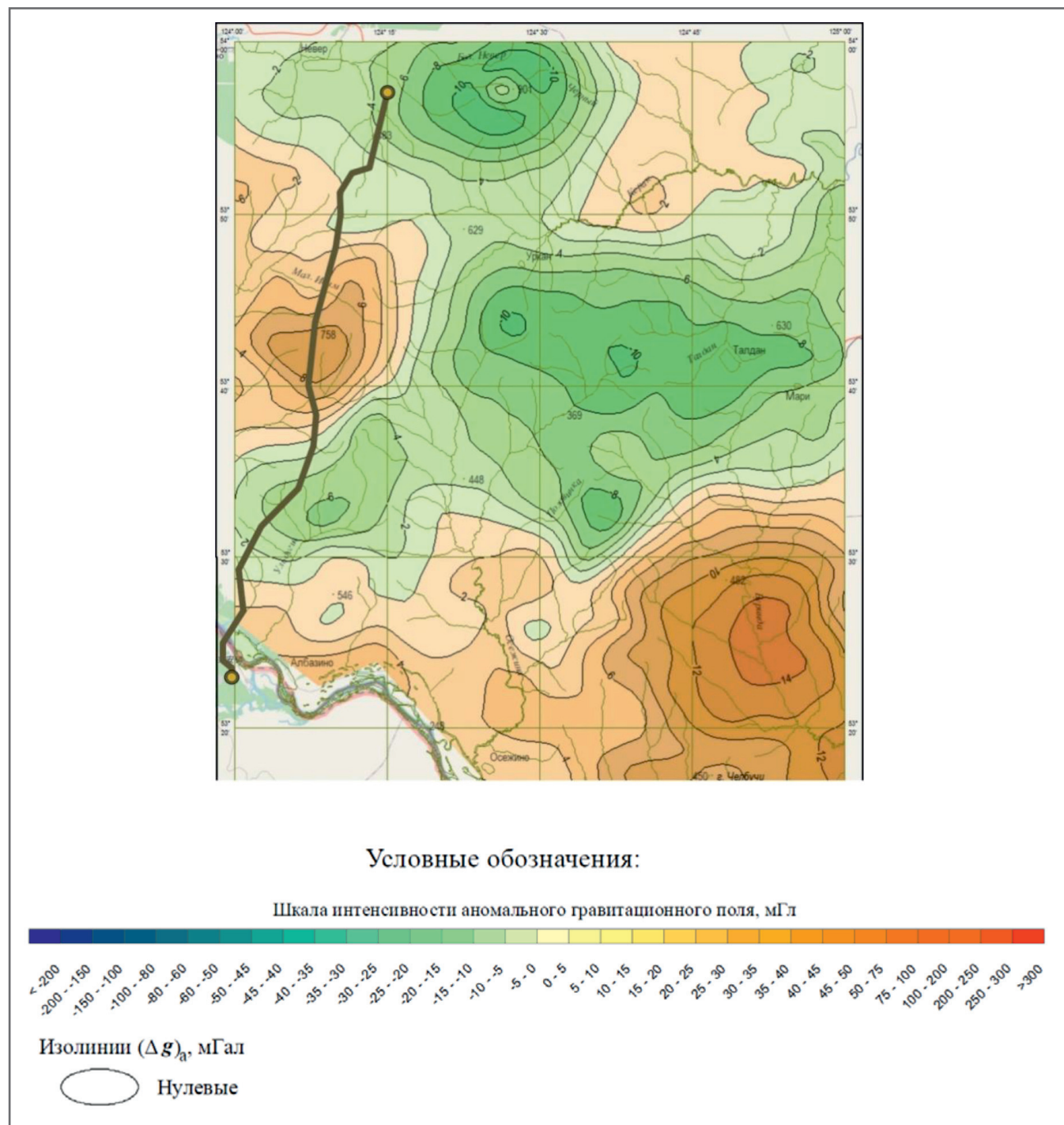


Рис. 13. Схема гравитационных аномалий в пределах территории трассы магистрального нефтепровода Сковородино – Мохэ (на основе картографических данных [16])

летняя мерзлота или мощный слой сезонного промерзания грунтов. Для рассматриваемой территории (области развития южнотаежных и подтаежных ландшафтов) интенсивность биологического круговорота может быть оценена в целом как умеренная. Круговорот веществ происходит как в радиальном, так и в латеральном направлении, биопродукция составляет 6–8 т/га в год. Запасы органического вещества в почвах достигают 100–150 т/га. На территории могут быть выделены органоминеральные поверхностные почвенные барьеры сред-

ней емкости. Водный режим миграции химических элементов – промывной, окислительный.

Следует отметить следующее. Поскольку рассматриваемая территория характеризуется низким уровнем антропогенного воздействия, то и существенной трансформации эколого-геохимических условий на ней не наблюдается.

В настоящее время количество пунктов наблюдений недостаточно для объективной оценки гидрохимического состояния поверхностных водных объектов и прогноза изменений этого со-

стояния под влиянием техногенных и природных факторов. Местоположение пунктов наблюдений не соответствует сложившейся современной инфраструктуре населенных пунктов. Однако можно отметить высокую концентрацию марганца, железа, фенолов в поверхностных водах области [11].

Таким образом, природный эколого-геохимический потенциал данной территории (оцененный как потенциал средней устойчивости) на фоне низкой степени трансформации эколого-геохимических условий благоприятствует осу-

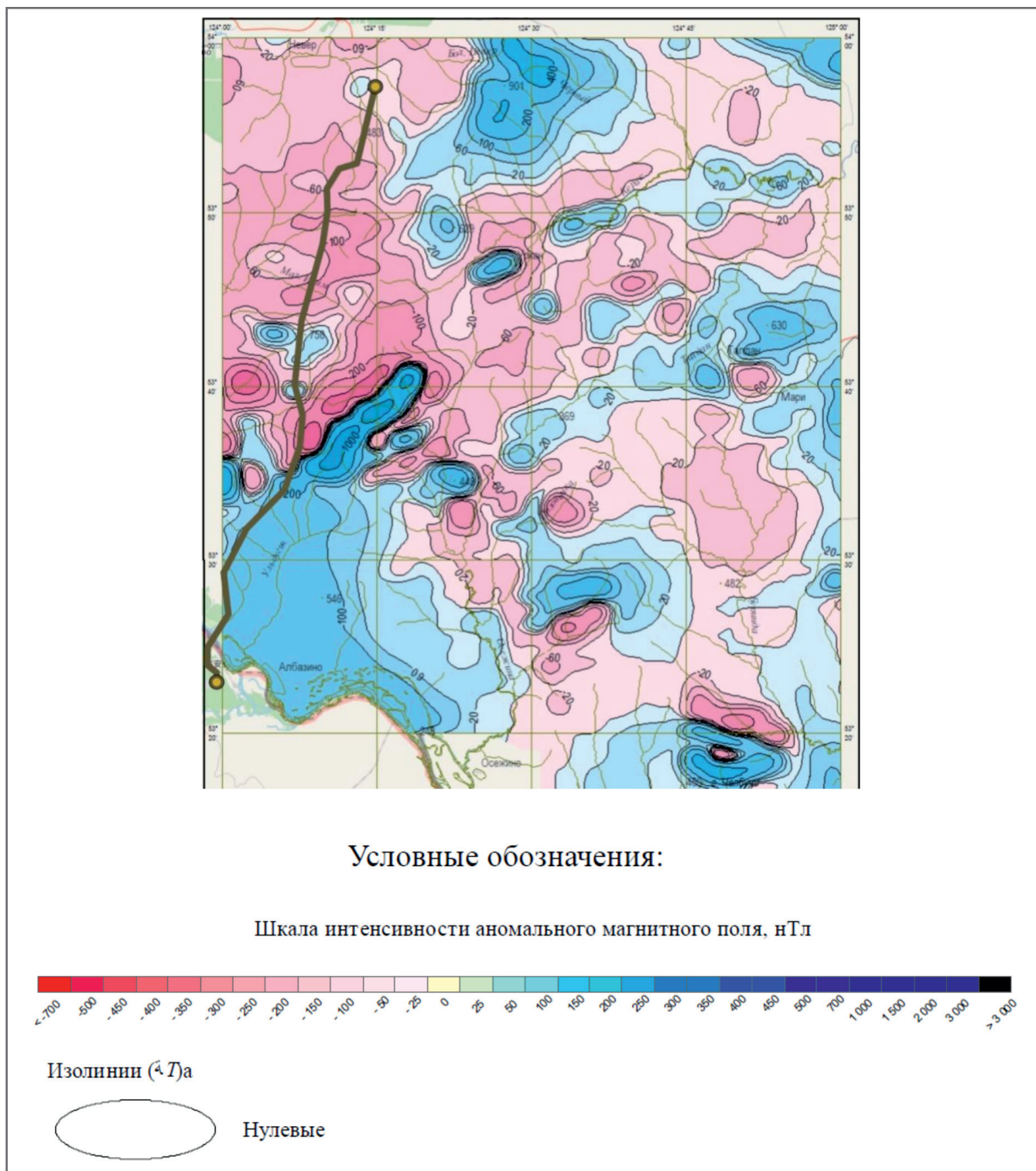


Рис. 14. Схема магнитных аномалий в пределах территории трассы магистрального нефтепровода Сковородино – Мохэ (на основе картографических данных [16])

ществлению и планированию здесь рациональных схем природопользования.

ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Сведения об эколого-геофизических условиях рассматриваемого региона весьма ограничены и на сегодняшний день не позволяют дать их исчерпывающую характеристику. На рисунках 13 и 14 приведены карты-схемы гравита-

ционных и магнитных аномалий в пределах трассы магистрального нефтепровода Сковородино – Мохэ. Согласно этим схемам существенных аномалий данных полей в пределах трассы трубопровода не наблюдается.

С эколого-геофизических позиций следует учитывать, что рассматриваемая территория относится к районам с высокой сейсмичностью, характеризующейся возможностью землетрясений ин-

тенсивностью 7–9 баллов по шкале MSK-64. Сведения о сейсмичности населенных пунктов Сковородинского района представлены в таблице 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, территория российского участка магистрального нефтепровода Сковородино – Мохэ характеризуется достаточно сложной палитрой эколого-геологических условий. С эко-

лого-ресурсных позиций, обладая высоким потенциалом, она расположена в благоприятных и удовлетворительных условиях, при этом уровень развития конфликтов природопользования здесь оценивается как относительно низкий. Природный эколого-геохимический потенциал данной территории обладает средней устойчивостью, и на фоне низкой степени трансформации благоприятствует осуществлению и планированию рациональных схем природопользования. В то же время российский участок магистрального нефтепровода расположен в районе с высокой сейсмичностью и характеризуется наличием слоя многолетнемерзлых пород. Здесь активно развиваются процессы оползней, необразования и эрозии, а также ряд

опасных метеорологических процессов и явлений. В частности, велика опасность затопления паводковыми водами.

С учетом рассмотренных особенностей эколого-геологических условий территории данного участка трассы следует признать, что высокая ресурсообеспеченность, выгодное экономико-географическое положение Сковородинского района при условии осуществления научно-обоснованного подхода к последующему его развитию позволит придать ему мировое значение при расширении как геополитических, так и торгово-экономических связей между Западом и Востоком. **И**

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени

М.В. Ломоносова, а также в сотрудничестве с Северо-восточным университетом лесного хозяйства (г. Харбин, КНР).

Работа частично выполнена с использованием оборудования, приобретенного за счет средств Программы развития Московского университета.

The study was conducted under the state assignment of Lomonosov Moscow University, as well as in cooperation with the Northeast Forestry University (Harbin, China).

This work was supported in part by M.V. Lomonosov Moscow State University Program of Development. The authors acknowledge (partial) support from M.V. Lomonosov Moscow State University Program of Development.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ►

1. Вести.RU [веб-сайт]. Дата обращения: 15.11.2024. URL: <http://www.vestifinance.ru/articles/93735>.
2. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. 415 с.
3. Амурская областная научная библиотека имени Н.Н. Муравьева-Амурского [веб-сайт]. Дата обращения: 15.11.2024. URL: <https://libamur.ru/new/8561.html>.
4. Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2009. № 2. С. 48–52.
5. Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии: 280 основных терминов / под ред. В.Т. Трофимова. М.: ОАО «Геомаркетинг», 2012. 320 с.
6. Эколого-геологические условия России. Том 1. Экологические функции литосферы как природное геологическое образование и их пространственное распределение на территории России / В.Т. Трофимов, М.А. Харькина, Т.А. Барабошкина и др. (под ред. В.Т. Трофимова). М.: Изд-во ООО «СамПолиграфист», 2015. 341 с.
7. Корнилков С.В., Яковлев В.Л., Мамаев Ю.А., Ван-Ван-Е А.П. Особенности формирования горнопромышленных комплексов Дальневосточного и Уральского регионов // Известия вузов. Горный журнал. 2012. № 6. С. 4–11.
8. Ханчук А.И., Иванов В.В. Минерально-сырьевая база Дальневосточного региона и перспективы ее развития // Современные проблемы обогащения и глубокой комплексной переработки минерального сырья: материалы международного совещания. Часть 1. Владивосток, 2008. С. 7–12.
9. Стратегия выделения и ресурсное обеспечение минерально-сырьевых центров на территории Российской Федерации: резолюция заседания Круглого стола, г. Санкт-Петербург, 25–26 ноября 2010 г. СПб: ФГУП «ВСЕГЕИ», 2010.
10. Ван-Ван-Е А.П. Основные принципы формирования горнорудных районов Российского Дальнего Востока // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: Четвертая Всерос. науч. конф.: сб. докладов. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2016. Т. 1. С. 42–47.
11. Схема территориального планирования муниципального образования «Сковородинский район». Книга I. Часть 1. Положения о территориальном планировании. Хабаровск: ЗАО «Дальлеспроект», 2011. 276 с.
12. Amurvisit.ru [веб-сайт]. Дата обращения: 15.04.2025. URL: <http://www.amurvisit.ru/place/skovorodinskiy-rayon/127.html>.
13. ТУ.Маркет в Благовещенске [веб-сайт]. Дата обращения: 10.11.2024. URL: <https://tu.market/product/451589/ehkskursiya-v-albazino>.
14. Бельмач Н.В., Маканикова М.В., Попова Е.В., Стекольников Г.А. Анализ современного использования земель Амурской области на основе эколого-ландшафтного подхода // Вестник Омского ГАУ. 2017. № 2 (26). С. 53–60.
15. Вести. Амурская область [веб-сайт]. Дата обращения: 20.11.2024. URL: <https://gtrkamur.ru/news/2021/05/18/161451>.
16. ВСЕГЕИ. Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского [веб-сайт]. Дата обращения 20.11.2023. URL: <https://vsegei.ru/ru/>.
17. Экологический атлас России. М.: ООО «Феория», 2017. 510 с.
18. Эколого-геологические условия России. Том 3. Эколого-геологические условия крупнейших регионов России как современное проявление экологических функций литосферы / В.Т. Трофимов, М.А. Харькина, Т.А. Барабошкина и др. (под ред. В.Т. Трофимова). М.: Изд-во ООО «СамПолиграфист», 2015. 255 с.
19. Amur.Life [веб-сайт]. Дата обращения: 10.11.2023. URL: <https://www.amur.life/news/2021/06/18/v-skovorodinskom-rayone-voda-zashla-sela-povredila-dorogi-mosty-i-vodopropusknye-truby-vveden-rezhim-chs>.

20. Интернет-версия газеты «Домовой Совет» [веб-сайт]. Дата обращения 10.11.2024. URL: <https://domsovet.tv/articles/amurskij-gorod-skovorodino-nakrylo-krupnym-gradom/#!/prettyPhoto>.
21. Рациональное природопользование и охрана природы в СССР / под ред. Н.А. Гвоздецкого, Г.С. Самойловой. М.: Изд-во МГУ, 1989. 208 с.

REFERENCES ►

1. Vesti.RU [website]. Data obrashcheniya: 15.11.2024. URL: <http://www.vestifinance.ru/articles/93735> (in Rus.).
2. Trofimov V.T., Ziling D.G. Ehkologicheskaya geologiya [Environmental Geology]. M.: ZAO «GeoinformmarK», 2002. 415 s. (in Rus.).
3. Amurskaya oblastnaya nauchnaya biblioteka imeni N.N. Murav'eva-Amurskogo [website]. Data obrashcheniya: 15.11.2024. URL: <https://libamur.ru/new/8561.html> (in Rus.).
4. Trofimov V.T. Ehkologo-geologicheskaya sistema, ee tipy i polozhenie v strukture ehkosistemy [Ecological-Geological System, Its Types, and Position in the Ecosystem Structure] // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4. Geologiya. 2009. № 2. S. 48–52 (in Rus.).
5. Bazovye ponyatiya inzhenernoi geologii i ehkologicheskoi geologii: 280 osnovnykh terminov [Basic Concepts of Engineering Geology and Environmental Geology: 280 Key Terms] / pod red. V.T. Trofimova. M.: OAO «GeomarketinG», 2012. 320 s. (in Rus.).
6. Ehkologo-geologicheskie usloviya Rossii. Tom 1. Ehkologicheskie funktsii litosfery kak prirodnoe geologicheskoe obrazovanie i ikh prostranstvennoe raspredelenie na territorii Rossii [Ecological-Geological Conditions of Russia, Volume 1. Environmental Functions of the Lithosphere as a Natural Geological Formation and Their Spatial Distribution in Russia] / V.T. Trofimov, M.A. Khar'kina, T.A. Baraboshkina i dr. (pod red. V.T. Trofimova). M.: Izd-vo OOO «SaMPoligrafisT», 2015. 341 s. (in Rus.).
7. Kornilkov S.V., Yakovlev V.L., Mamaev Yu.A., Van-Van-E A.P. Osobennosti formirovaniya gornopromyshlennykh kompleksov Dal'nevostochnogo i Ural'skogo regionov [Features of Formation of Mining Complexes in the Far Eastern and Ural Regions] // Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal. 2012. № 6. S. 4–11 (in Rus.).
8. Khanchuk A.I., Ivanov V.V. Mineral'no-syr'evaya baza Dal'nevostochnogo regiona i perspektivy ee razvitiya [Mineral Resource Base of the Far Eastern Region and Prospects for Its Development] // Sovremennye problemy obogashcheniya i glubokoi kompleksnoi pererabotki mineral'nogo syr'ya: materialy mezhdunarodnogo soveshchaniya. Chast' 1. Vladivostok, 2008. S. 7–12 (in Rus.).
9. Strategiya vydeleniya i resursnoe obespechenie mineral'no-syr'evykh tsentrov na territorii Rossiiskoi federatsii: rezolyutsiya zasedaniya Kruglogo stola, g. Sankt-Peterburg, 25–26 noyabrya 2010 g. [Strategy for Identification and Resource Provision of Mineral Resource Centers in the Russian Federation]: Resolution of the Round Table Meeting, St. Petersburg, 25–26 November 2010]. SPb: FGUP «VSEGEI», 2010 (in Rus.).
10. Van-Van-E A.P. Osnovnye printsipy formirovaniya gornorudnykh raionov Rossiiskogo Dal'nego Vostoka [Basic Principles of Formation of Mining Regions in the Russian Far East] // Voprosy geologii i kompleksnogo osvoeniya prirodnnykh resursov Vostochnoi Azii: Chetvertaya Vseros. nauch. konf.: sb. dokladov. Blagoveshchensk: IGIP DVO RAN, 2016. T. 1. S. 42–47 (in Rus.).
11. Skhema territorial'nogo planirovaniya munitsipal'nogo obrazovaniya «Skovorodinskii raion». Kniga I. Chast' 1. Polozheniya o territorial'nom planirovanii [Territorial Planning Scheme of the Municipal Formation "Skovorodino District". Book I. Part 1. Territorial Planning Regulations]. Khabarovsk: ZAO «Dal'lespromproekt», 2011. 276 s. (in Rus.).
12. Amurvisit.ru [website]. Data obrashcheniya: 15.04.2025. URL: <http://www.amurvisit.ru/place/skovorodinskiy-rayon/127.html>.
13. TU.Market v Blagoveshchenske [websait]. Data obrashcheniya: 10.11.2024. URL: <https://tu.market/product/451589/ehkskursiya-v-albazino> (in Rus.).
14. Bel'mach N.V., Makannikova M.V., Popova E.V., Stekol'nikova G.A. Analiz sovremennogo ispol'zovaniya zemel' Amurskoi oblasti na osnove ehkologo-landshaftnogo podkhoda [Analysis of Modern Land Use in the Amur Region Based on an Ecological-Landscape Approach] // Vestnik Omskogo GAU. 2017. № 2 (26). S. 53–60 (in Rus.).
15. Vesti. Amurskaya oblast' [website]. Data obrashcheniya: 20.11.2024. URL: <https://gtrkamur.ru/news/2021/05/18/161451> (in Rus.).
16. VSEGEI. Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii geologicheskii institut im. A.P. Karpinskogo [website]. Data obrashcheniya 20.11.2023. URL: <https://vsegei.ru/ru/> (in Rus.).
17. Ehkologicheskii atlas Rossii [Ecological Atlas of Russia]. M.: OOO «Feoriya», 2017. 510 s. (in Rus.).
18. Ehkologo-geologicheskie usloviya Rossii. Tom 3. Ehkologo-geologicheskie usloviya krupneishikh regionov Rossii kak sovremennoe proyavlenie ehkologicheskikh funktsii litosfery [Ecological-Geological Conditions of Russia. Volume 3. Ecological-Geological Conditions of Major Russian Regions as a Modern Manifestation of the Lithosphere's Environmental Functions] / V.T. Trofimov, M.A. Khar'kina, T.A. Baraboshkina i dr. (pod red. V.T. Trofimova). M.: Izd-vo OOO «SamPoligrafist», 2015. 255 s. (in Rus.).
19. Amur.Life [website]. Data obrashcheniya: 10.11.2023. URL: <https://www.amur.life/news/2021/06/18/v-skovorodinskom-rayone-voda-zashla-sela-povredila-dorogi-mosty-i-vodopropusknye-truby-vveden-rezhim-chs> (in Rus.).
20. Internet-versiya gazety «Domovoi SoveT» [website]. Data obrashcheniya 10.11.2024. URL: <https://domsovet.tv/articles/amurskij-gorod-skovorodino-nakrylo-krupnym-gradom/#!/prettyPhoto> (in Rus.).
21. Ratsional'noe prirodoopol'zovanie i okhrana prirody v SSSR [Rational Nature Management and Environmental Protection in the USSR] / pod red. N.A. Gvozdet'skogo, G.S. Samoilovoi. M.: Izd-vo MGU, 1989. 208 s. (in Rus.).



Источник фото: <https://ru.freepik.com/popular-photos>

КОРОЛЁВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д. г.-м. н., г. Москва, Россия
va-korolev@bk.ru

САМАРИН Е.Н.

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

ГРИГОРЬЕВА И.Ю.

Доцент кафедры инженерной и экологической геологии МГУ имени М.В. Ломоносова, к. г.-м. н., г. Москва, г. Москва, Россия
ikagrig@inbox.ru

НИКОЛАЕВА С.К.

Доцент кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, к. г.-м. н., г. Москва, Россия
nikolaeva sk@gmail.com

ЧЖАН Цз.

Профессор Северо-Восточного университета лесного хозяйства, к. г.-м. н., г. Харбин, Китай
zez@nefu.edu.cn

ЧЖАН Ш.

Доцент Северо-Восточного университета лесного хозяйства, к. г.-м. н., г. Харбин, Китай
zhangshengrong1988@nefu.edu.cn

РАЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ОЧИСТКИ ГРУНТОВ ОТ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПО ТРАССАМ НЕФТЕПРОВОДОВ

Принята к публикации 03.04.2025

Опубликована 18.08.2025

АННОТАЦИЯ

Очистка грунтов от нефтяных загрязнений вдоль трасс нефтепроводов представляет собой важнейшую задачу. Однако ни один из современных методов очистки грунтов от нефтяных загрязнений не является универсальным, что обусловлено многообразием форм нахождения нефтяных загрязнений в грунтах, которые варьируют от летучих легких фракций углеводородов (УВ) до тяжелых мазутов. Поэтому для успешного решения этой проблемы необходима рациональная методика, основанная на комплексной очистке грунтов от УВ, основывающаяся на базе многих методов. Именно этот вопрос и анализируется в данной статье. Авторами предлагается ряд рациональных комплексных схем по проведению очистки грунтов от нефтяных загрязнений вдоль трасс нефтепроводов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

геологическая среда; нефтяные загрязнения; методы очистки грунтов; рациональная схема очистки; трассы нефтепроводов.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Королёв В.А., Самарин Е.Н., Григорьева И.Ю., Николаева С.К., Чжан Цз., Чжан Ш. Рациональные схемы очистки грунтов от нефтяных загрязнений по трассам нефтепроводов // ГеоИнфо. 2025. Т. 7. № 2. С. 24–36.
DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-24-36.

RATIONAL SCHEMES FOR CLEANING AWAY OIL POLLUTION FROM GROUNDS ALONG OIL PIPELINES

Accepted for publication 03.04.2025

Published 18.08.2025

KOROLEV V.A. *

DSc, professor, Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
va-korolev@bk.ru

SAMARIN E.N.

DSc, professor, Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
samarinen@mail.ru

GRIGOR'EVA I.Yu.

PhD, assistant professor, Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
ikagrig@inbox.ru

NIKOLAEVA S.K.

PhD, assistant professor, Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
nikolaeva sk@gmail.com

ZHANG J.

PhD, professor, Northeastern Forestry University, Harbin, China
zez@nefu.edu.cn

ZHANG Sh.

PhD, assistant professor, Northeastern Forestry University, Harbin, China
zhangshengrong1988@nefu.edu.cn

ABSTRACT

Cleaning away oil pollution from grounds along oil pipelines is an extremely important task. However, none of the modern methods of cleaning away oil pollution from grounds is universal due to the variety of forms of oil pollution in grounds (from volatile light fractions of hydrocarbons to heavy fuel oils). Therefore, for successful solution of this problem, a rational technique on the basis of the integrated cleaning away hydrocarbons from grounds is needed. It is this question that is analyzed in this paper. The authors propose a number of rational integrated schemes for the process of cleaning away oil pollution from grounds along oil pipelines.

KEYWORDS:

geological environment; oil pollution; ground cleaning methods; rational cleaning scheme; oil pipeline routes.

FOR CITATION:

Korolev V.A., Samarin E.N., Grigor'eva I.Yu., Nikolaeva S.K., Zhang J., Zhang Sh. Ratsional'nye skhemy ochistki gruntov ot neftyanykh zagryaznenii po trassam nefteprovodov [Rational schemes for cleaning away oil pollution from soils along oil pipelines] // Geoinfo. 2025. T. 7. № 2. S. 24–36. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-24-36 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

Очистка грунтов от нефтяных загрязнений вдоль трасс нефтепроводов представляет собой самостоятельную важнейшую задачу среди прочих аналогичных задач, связанных с нефтяным загрязнением геологической среды. Однако ни один из существующих современных методов очистки грунтов от нефтяных загрязнений не является универсальным. Это объясняется многообразием возможных форм нахождения нефтяных загрязнений в грунтах, которые чрезвычайно многообразны и варьируют от летучих легких фракций углеводородов (УВ) до тяжелых мазутов. По-

движность и связанность этих форм УВ с грунтами весьма различна и специфична.

Поэтому для успешного решения этой проблемы необходима рациональная методика комплексной очистки грунтов от УВ, основанная на применении ряда методов. Именно этот вопрос и является целью и анализируются в настоящей статье, в которой авторы предложили ряд оригинальных рациональных комплексных схем проведения работ по очистке грунтов от нефтяных загрязнений. Учитывая широкое многообразие нефтезагрязненных грунтов, авторы ограничились лишь анализом нефтя-

ных загрязнений вдоль трасс нефтепроводов. Анализ проводился на базе полевых и камеральных материалов, собранных авторами на объектах нефтепроводов Самотлорского месторождения и нефтепровода Сковородино – Мохэ (РФ – КНР), являющегося частью сети магистральных нефтепроводов ООО «Транснефть-Восток».

Работа выполнялась в рамках государственной темы МГУ имени М.В. Ломоносова «Эколого-геологические системы: структура, многообразие, систематика и их анализ» и совместных исследований с Северо-Восточным университетом лесного хозяйства (Китайская Народная Республика).

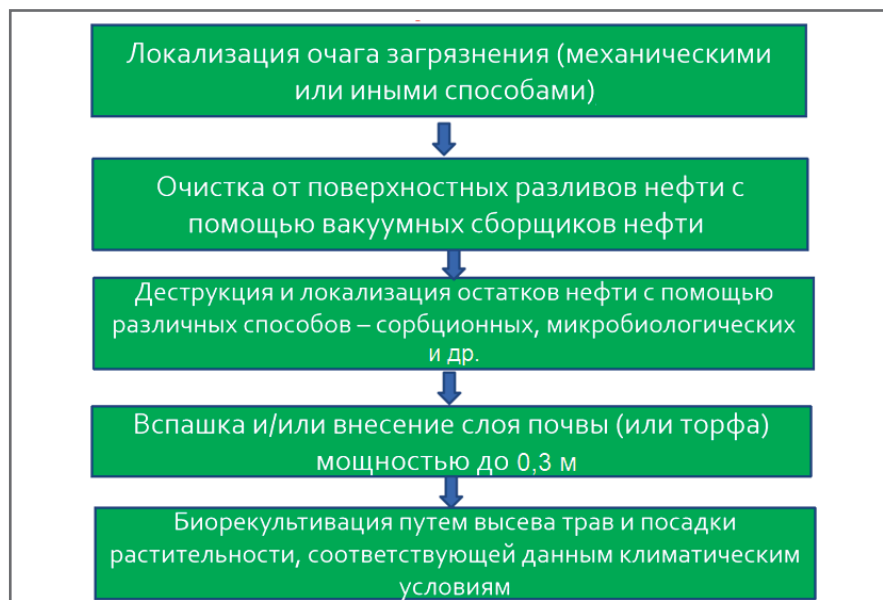


Рис. 1. Рациональная схема ликвидации поверхностных нефтяных загрязнений вне криолитозоны [4]



Рис. 2. Рациональная схема ликвидации поверхностных нефтяных загрязнений в криолитозоне [4]

Сначала рассмотрим варианты схем для ликвидации поверхностных загрязнений нефтью.

РАЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ ►

Поверхностные разливы нефти возникают особенно часто именно вдоль трасс магистральных и производственных нефтепроводов, а также в местах добычи нефти. Рациональная схема их ликвидации должна основываться на учете масштабов загрязнений и особенностей местных геолого-климатических

условий. В этой связи ведется интенсивный поиск рациональных технологий для последовательного применения различных методов очистки поверхностных разливов нефти. В зависимости от уровня загрязнения и от наличия или отсутствия мерзлоты рациональные схемы рекультивации будут различны.

Например, Институтом биологии КНЦ УрО РАН была разработана *двух-этапная система* восстановления посттехногенных пустошей, в том числе нефтезагрязненных земель на территории европейского севера России. В этой схеме на первом этапе с помощью интенсивных агротехнических приемов – вне-

сения удобрений, специальных препаратов, посева адаптированных к условиям севера многолетних трав – достигается восстановление продуктивного слоя почвы, предотвращается развитие эрозионных процессов. Поэтому за «интенсивным» первым этапом следует второй – «ассимиляционный», в течение которого происходит замещение сообщества, возникшего благодаря посеву, на биогеоценоз, близкий по типу к природному.

Второй этап не требует активной агротехнической деятельности. Его главной задачей является предупреждение повторного техногенного воздействия с осуществлением мониторинга.

Смысл предложенной схемы заключается в ускорении начального периода самовосстановительной сукцессии, которая может длиться без участия человека неопределенно долго до появления сомкнутого растительного покрова. Длительность первого этапа – не менее двух лет, второго – 20–25 лет [1].

По мнению А.В. Булановой и И.В. Грецовской [2], технология рекультивации почв от нефтяных загрязнений должна включать *четыре основных этапа очистки*.

На первом этапе используются механические методы очистки почвы от нефти и нефтепродуктов, к которым относят: обваловку загрязнения, замену почвы, откачку нефти в емкости, сгребание различными техническими средствами.

На втором этапе применяют физико-химические методы: промывку почвы, сорбцию нефти и нефтепродуктов с поверхностного почвенного слоя, электрохимическую очистку почвы и т.д.

На третьем этапе используются биологические методы, включающие применение гуминовых кислот, микроорганизмов (МО) и биотехнологий для очистки от нефтяных загрязнений;

На четвертом этапе применяют агротехнические приемы: рыхление, внесение минеральных удобрений, химическую мелиорацию и посев трав (фитомелиорацию) [3]. С их помощью можно ускорить процесс самоочищения загрязненных нефтью почв с помощью углеродородокисляющих микроорганизмов, входящих в состав естественного микробиоценоза. При использовании рыхления создается оптимальный газовоздушный и тепловой режим, растет численность микроорганизмов и их активность.

По нашему мнению, эта комплексная схема более обоснованна и может быть рекомендована к применению. Однако она не учитывает особенности нефтяных загрязнений вне и внутри криоли-

тозоны, а также сводит основную стадию удаления нефтяных загрязнений к механическим и сорбционным методам.

Нами же предлагаются следующие рациональные схемы.

1. В условиях вне криолитозоны в схему ликвидации поверхностных нефтяных загрязнений входят следующие этапы (рис. 1):

а) локализация очага загрязнения (механическими или иными способами);

б) очистка от поверхностных разливов нефти с помощью вакуумных сборщиков нефти;

в) деструкция и локализация остатков нефти с помощью различных способов – сорбционных, микробиологических и др. (см. выше);

г) вспашка и/или внесение слоя почвы (или торфа) мощностью до 0,3 м;

д) биорекультивация путем посева трав и посадки растительности, соответствующей данным климатическим условиям (при этом микробиологические способы рекультивации применимы лишь для первого уровня рекультивации нефтяного загрязнения, то есть для ликвидации загрязнений незначительной интенсивности и для доочистки грунтов).

2. В условиях криолитозоны в схему рекультивации территорий с поверхностными разливами нефти входят следующие этапы: (рис. 2):

а) локализация очагов загрязнения с обеспечением сохранения мерзлоты;

б) сбор поверхностных разливов нефти с помощью вакуумных сборщиков;

в) деструкция и локализация остатков нефти с помощью различных способов – сорбционных (зимой), микробиологических (летом) и др. (см. выше);

г) проведение мероприятий для сохранения мерзлоты;

д) вспашка и/или внесение слоя почвы (или торфа) мощностью до 0,3 м;

е) биорекультивация путем посева трав и посадки растительности, соответствующей данным климатическим условиям.

РАЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ►

Рациональная схема рекультивации нефтезагрязненных территорий при подземном типе нефтяного загрязнения строится с учетом его особенностей, уровня загрязнения, форм нахождения нефти, а также геологических особенностей массива грунтов.

Мероприятия по рекультивации назначаются исходя из содержания нефтепродуктов в грунтах [5]. Например, для

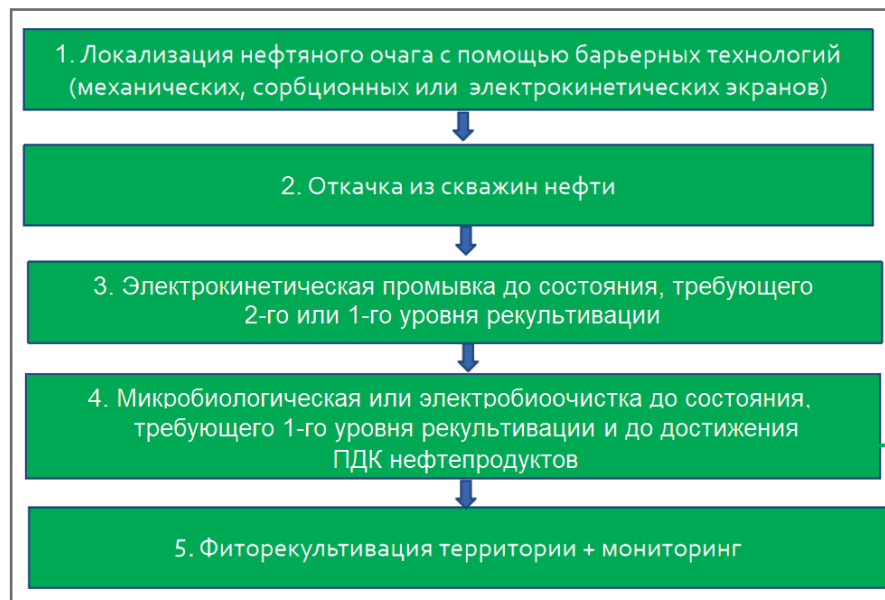


Рис. 3. Рациональная схема ликвидации подземных нефтяных загрязнений [4]

земель сельскохозяйственного назначения выделяют три уровня рекультивации при следующем содержании нефтепродуктов в почве соответственно:

1) 300–1000 мг/кг (низкий уровень загрязнения нефтью и нефтепродуктами);

2) 1000–5000 мг/кг (средний и высокий уровни загрязнения);

3) более 5000 мг/кг (очень высокий уровень загрязнения).

Для земель несельскохозяйственного назначения выделяют три уровня рекультивации при следующем содержании нефтепродуктов в почве соответственно:

1) 1000–5000 мг/кг;

2) 5000–10 000 мг/кг;

3) более 10 000 мг/кг.

Для рекультивации сильно загрязненных нефтью массивов (при наличии линз и пластов нефти (3-й уровень загрязнения) нами рекомендуется комплексная рациональная схема, в которую входят следующие этапы (рис. 3):

1) локализация нефтяного очага с помощью барьерных технологий (механических, сорбционных или электрокинетических экранов);

2) откачка нефти из скважин;

3) электрокинетическая промывка массива до состояния, требующего 2-го или 1-го уровня рекультивации;

4) микробиологическая или электробиоочистка до состояния, требующего 1-го уровня рекультивации, и до достижения предельно допустимой концентрации (ПДК) нефтепродуктов;

5) фиторекультивация территории с полным восстановлением ландшафта.

Эта схема, как и прочие, должна дополняться мониторингом состояния ре-

культивируемого массива, чтобы оперативно отслеживать все изменения, происходящие в очищаемых грунтах.

ЗАЩИТА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ОТ ВОЗМОЖНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НЕФТЬЮ ►

При строительстве и эксплуатации магистральных нефтепроводов соблюдаются требования по защите окружающей среды от возможных загрязнений нефтью, которые регламентируются рядом нормативных документов, в том числе СНиП 2.05.06-85 «Охрана окружающей среды» [6].

Согласно этому и иным документам, в проектах на прокладку трубопроводов необходимо предусматривать решения по охране окружающей среды при сооружении нефтетрубопроводов и последующей их эксплуатации. При этом в первую очередь учитываются опасности от наличия, развития или инициирования новых опасных геологических процессов, которые могли бы нарушить нефтепровод и привести к аварийным ситуациям. Среди этих опасностей основными являются: экзогенные геологические процессы, нарушение термического режима по трассе в криолитозоне, внешние техногенные факторы.

Поэтому для увеличения сохранности магистральные нефтепроводы прокладываются в основном подземным способом и лишь в исключительных случаях – наземным. Чтобы обеспечить нормальные условия эксплуатации и исключить возможность повреждения магистральных трубопроводов и их объектов, вокруг них устанавливаются охраняемые зоны, размеры которых и по-

рядок производства в которых сельскохозяйственных и других работ регламентируются положениями об охраняемых зонах трубопроводов в соответствии с приказом Ростехнадзора и Минэнерго России от 23.12.2021 № 452/1458.

Заглубление трубопроводов до верха трубы принимается согласно параметрам, указанным в таблице 1.

Заглубление нефтепроводов и нефтепродуктопроводов в дополнение к указанным требованиям определяется также с учетом оптимального режима перекачки и свойств перекачиваемых продуктов в соответствии с указаниями, изложенными в нормах технологического проектирования. Для трубопроводов диаметром 1000 мм и более в зависимости от рельефа местности предусматривается предварительная планировка трассы, а основание трубопровода должно быть уплотнено.

При подземной и наземной (в насыпи) прокладках нефтетрубопроводов предусматриваются противоэрозийные мероприятия с использованием местных материалов, а в местах пересечения подземными трубопроводами крутых склонов, промоин, оросительных каналов и кювет – перемычки, предотвращающие проникновение в траншею воды и распространение ее вдоль трубопровода. Если трубопроводы прокладываются в земляных насыпях, то в местах пересечения ими балок, оврагов и ручьев предусматривается устройство водопропускных сооружений (лотков, труб и др.). Поперечное сечение водопропускных сооружений следует определять по максимальному расходу воды с повторяемостью один раз в 50 лет.

Крепление незатопляемых берегов в местах пересечения их подземными трубопроводами предусматривается до отметки, возвышающейся не менее чем на 0,5 м над расчетным паводковым горизонтом с повторяемостью один раз в 50 лет и на 0,5 м над высотой вкатывания волн на откос. На затопляемых берегах кроме откосной части должна укрепляться пойменная часть на прилегающем к откосу участке длиной 1–5 м. Ширина укрепляемой полосы берега определяется проектом в зависимости от геологических и гидрогеологических условий.

Проектные решения по прокладке нефтепроводов в оползневых районах должны приниматься из условия исключения возможного нарушения природных условий (например, при использовании глубоких забивных и бурильных свай или столбов и др.).

Таблица 1. Параметры заглубления трубопроводов

Условия прокладки трубопровода	Заглубление трубопровода, м
Диаметр менее 1000 мм	0,8
Диаметр более 1000 мм	1,0
На болотах или торфяных грунтах, подлежащих осушению	1,1
В скальных грунтах, болотистой местности при отсутствии проезда автотранспорта и сельскохозяйственных машин	0,6
На пахотных и орошаемых землях	1,0

При подземной прокладке трубопроводов необходимо предусматривать рекультивацию плодородного слоя почвы. Снятый при строительстве слой почвы затем должен использоваться для восстановления почвенного покрова.

Основным принципом использования *многолетнемерзлых грунтов* в качестве основания для трубопроводов должен являться принцип I согласно СП 25.13330.2012 (актуализированной редакции СНиП 2.02.04-88) [7], при котором многолетнемерзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии (без оттаивания), сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации трубопровода. Для трассы трубопровода должны выбираться наиболее благоприятные в мерзлотном и инженерно-геологическом отношении участки по материалам опережающего инженерно-геокриологического изучения территории.

Выбор трассы для трубопровода и площадок для его объектов производится на основе:

- мерзлотно-инженерно-геологических карт и карт ландшафтного микрорайонирования оценки благоприятности освоения территории масштаба не более 1:100 000;
- схематической прогнозной карты восстановления растительного покрова;
- карт относительной осадки грунтов при оттаивании;
- карт коэффициентов удорожания относительной стоимости освоения.

На участках трассы, где возможно развитие криогенных процессов, проводятся предварительные инженерные изыскания для прогноза этих процессов в соответствии с требованиями СНиП 1.02.07-87.

При пересечении трубопроводом участков с подземными льдами и наледями, а также при прокладке трубопроводов по солифлюкционным и опасным в термоэрозийном отношении склонам и вбли-

зи термоабразионных берегов водоемов проектом должны предусматриваться:

- специальные инженерные решения по предотвращению техногенных нарушений и развитию криогенных процессов;
- мероприятия по максимальному сохранению растительного покрова;
- подсыпка грунта и замена пучинистых грунтов на непучинистые;
- дренаж и сток вод;
- выравнивание и уплотнение грунтового валика над трубопроводом.

Кроме того, при прокладке трубопроводов на многолетнемерзлых грунтах на участках с льдистостью менее 0,1 допускается их оттаивание в процессе строительства или эксплуатации. На участках с таликами рекомендуется использовать грунты основания трубопроводов в талом состоянии. Допускается многолетнее промораживание талых непучинистых грунтов при прокладке газопроводов, транспортирующих газ с отрицательной температурой.

На участках трассы нефтетрубопроводов, прокладываемых в пределах урочищ с интенсивным проявлением криогенного пучения, предусматриваются проектные решения по предупреждению деформаций оснований (уменьшение глубины сезонного оттаивания, устройство противопучинистых подушек и др.). Эродируемые овраги и промоины, расположенные вблизи трасс трубопроводов, должны быть укреплены методами технической мелиорации.

Перечисленные требования по охране окружающей среды включаются в проект строительства нефтепровода отдельным разделом, а в сметах предусматриваются необходимые затраты. Требования к гидравлическим испытаниям трубопровода и рекультивации регламентируются в проекте в виде самостоятельных подразделов.

Важнейшим превентивным мероприятием для защиты геологической

среды по трассам нефтепроводов является организация мониторинга, позволяющего своевременно обнаруживать негативные изменения различного характера и эффективно устранять их.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ВДОЛЬ ТРАСС НЕФТЕПРОВОДОВ ►

Восстановление (рекультивация) геологической среды вдоль трасс нефтепроводов основывается на различных способах управления компонентами геологической среды: грунтами (грунтовыми толщами); подземными водами, определяющими гидрогеологические условия; мерзлыми массивами, определяющими геокриологические условия; рельефом, определяющим геоморфологические условия и парагенез геологических процессов (природных и антропогенных) и связанным с теми или иными грунтовыми толщами [2, 8].

Эти способы и мероприятия нацелены на сохранение или восстановление экологических условий территорий, а в ряде случаев – на их улучшение. Мероприятия по восстановлению техногенно нарушенной геологической среды реализуются в определенной последовательности (рис. 4).

На первом этапе проводится всестороннее полевое обследование техногенно нарушенной территории, которое при необходимости дополняется анализом фондовых и литературных данных. Этот этап реализуется в соответствии с нормативными документами по инженерно-экологическим изысканиям – СП 47.13330. 2016 [9]. В ходе этого этапа выявляются степень нарушенности территории (компонентов геологической среды), степень загрязненности грунтов нефтепродуктами и т.д.

Затем, на втором этапе, на этой основе проводится разработка проекта восстановления техногенно нарушенной территории согласно нормативным и методическим документам. Эти работы дополняются лабораторными исследованиями по обоснованию и выбору оптимальных способов очистки грунтов от нефтяных загрязнений, а также по подбору методов мелиорации, рекультивации и инженерно-экологической защиты территории, которые дополняются полупроизводственными и полевыми испытаниями. В проекте указываются конечная требуемая степень восстановления геологической среды и степень очистки грунтов от нефтяных токсикантов

(по отношению к ПДК или иным показателям).

Затем, на третьем этапе, на основе составленного проекта проводится его практическая реализация на месте – выполняется комплекс мероприятий по очистке грунтов от нефтяных загрязнений и восстановлению геологической среды техногенно нарушенной территории. Этот этап сопровождается эколого-геологическим мониторингом территории, с помощью которого ведется оперативный контроль процесса восстановления. На основе мониторинга проводится (при необходимости) корректировка производства работ, а также отслеживаются их качество и требуемая конечная степень восстановления нарушенной территории, степень очистки грунтов от нефтяных загрязнений и т.д.

МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТРАСС НЕФТЕПРОВОДОВ ►

В России в конце 1980-х годов на ряде нефтяных промыслов Западной Сибири была впервые организована отраслевая служба инженерно-геологического мониторинга, концепция которой была разработана Ю.Ф. Захаровым, направ-

ленная на контроль, прогнозирование и управление природно-техническими системами (ПТС). При такой системе мониторинга принятые управляющие решения реализуются путем предотвращения, прекращения, ослабления нежелательных инженерно-геологических процессов и усиления или ускорения положительных и желаемых эффектов. Для достижения требуемых результатов в системе отраслевого мониторинга местоорождений жидких и газообразных полезных ископаемых в условиях Западной Сибири предлагался спектр технологических методов и способов – от изменения режима работы объекта, параметров и объемов добываемого и транспортируемого полезного ископаемого до приостановления природопользования, отключения отдельных объектов или их элементов для проведения ремонта.

С тех пор мониторинг трасс нефтепроводов получил широкое развитие и стал обязательным элементом в нефтяной отрасли. Наиболее широко применяемый вид управляющих решений на действующих промыслах заключается в предупредительных или ремонтно-восстановительных работах, которые проводятся с использованием:



Рис. 4. Последовательность мероприятий по восстановлению техногенно нарушенной геологической среды вдоль трасс нефтепроводов

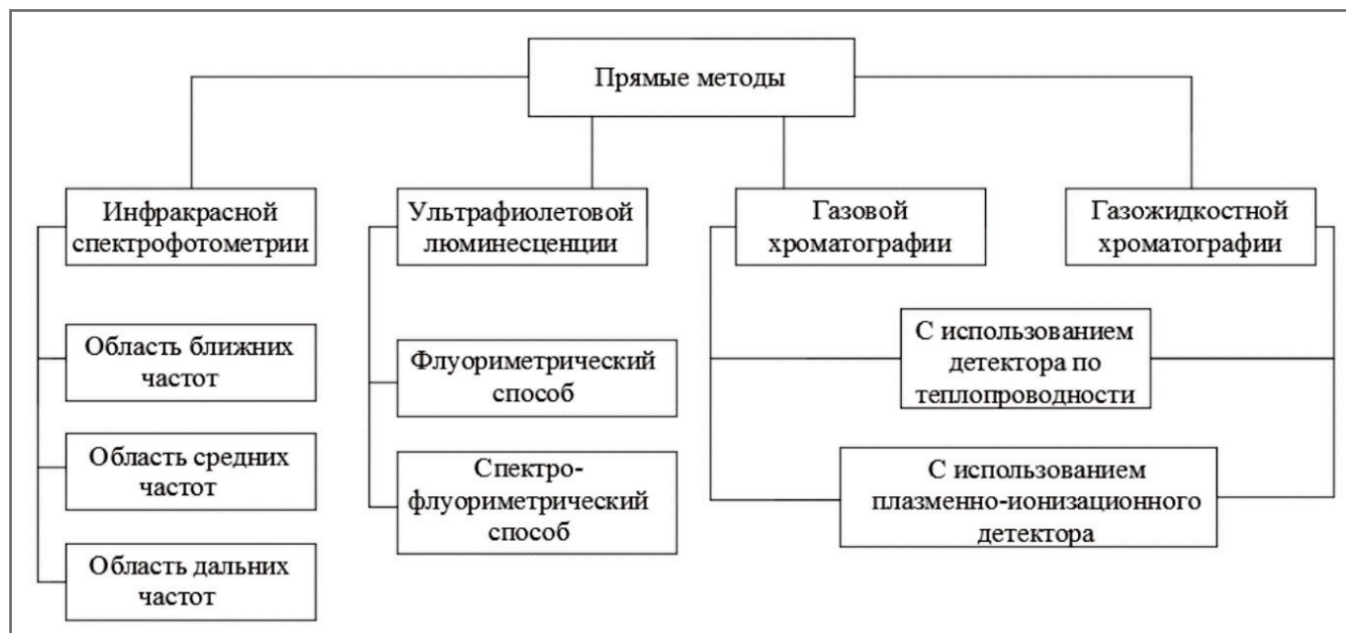


Рис. 5. Прямые методы определения содержания нефтепродуктов

- геохимического, криогенного, геомеханического, термического закрепления грунтов оснований и насыпей;
- усиления фундаментов объектов дополнительными буронабивными или бурильно-крановыми сваями;
- устройства противозерозионной и тепловой защит, поверхностного и подземного дренажей, противофильтрационных завес и барражей;
- подсыпки и выемки грунта;
- замены слабых, сильнольдистых и пучинистых грунтов;
- управляемого замораживания и оттаивания грунтов;
- регулирования водоотбора и снегонакопления;
- пополнения запасов подземных вод;
- регенерации водоносных пластов и водоприемных устройств; совершенствования защиты геологической среды и очистки протоканалов;
- локализации источников загрязнения и очистки загрязненных участков;
- других рекультивационных мероприятий.

По характеру воздействия нефтедобывающая промышленность существенно отличается от других комплексов добычи полезных ископаемых – прежде всего большей глубиной проникновения техногенных процессов в геологическую среду (до 7 км), а также разработкой нефтяных месторождений в том числе на морских акваториях. Это учитывается в системах мониторинга. Основными чертами геологической среды нефтяных месторождений, которые надо учитывать при организации мониторинга, является присут-

ствие в разрезе двух несмешивающихся жидкостей (нефти и подземных вод), а также существенное влияние на горные породы жидких и газообразных углеводородных компонентов. Главная особенность в техногенезе нефтедобывающих комплексов состоит в своеобразии техногенной нагрузки на геологическую среду, при которой происходит взаимодействие двух процессов – мощного отбора полезных компонентов из недр и не менее мощного нагнетания воды и реагентов в продуктивные пласты.

Как и в случае иных систем мониторинга, при транспортировке нефти создается специализированная геоинформационная система (ГИС) для территории вдоль трассы нефтепровода. Это система двойного рода. Одна ее часть представляет собой *геотехнический мониторинг*, позволяющий отслеживать состояние трубопроводной системы и сопутствующей инфраструктуры, а другая – *эколого-геологический мониторинг* трассы, позволяющий собирать первичную информацию по трассе, ее эколого-геологических условиях [10]. Обе эти части ГИС снабжаются:

- 1) блоком сбора первичной информации (базой данных, автоматизированной информационно-поисковой системой (АИПС));
- 2) блоком обработки первичной информации (блоком автоматизированной системы обработки информации или первичных данных (АСОД));
- 3) блоком выработки прогнозных решений (блоком с постоянно действующей моделью нефтепровода, автомати-

зированной прогнозно-диагностической системой (АПДС));

- 4) блоком выработки управляющих решений (автоматизированной системой управления (АСУ)) [10].

МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ►

Для контроля в ходе мониторинга состояния трассы нефтепровода, а также процессов очистки грунтов от загрязнений применяют прямые и косвенные инструментальные методы. Прямые методы мониторинга (инфракрасной спектрофотометрии, ультрафиолетовой люминесценции, газовой и газожидкостной хроматографии) предусматривают наличие сложной аппаратуры, значительную продолжительность анализа и обязательное извлечение проб грунта; при этом погрешность измерений может достигать 40–50% (рис. 5).

Оперативный мониторинг необходим как для диагностирования зон загрязнения, так и для контроля процессов, происходящих при очистке грунтового массива от нефтяных экотоксикантов. Он осуществляется дистанционными геофизическими методами (рис. 6).

На разных трассах нефтепроводов набор применяемых методов может быть разным, зависящим от местных условий. Например, в ФГУНПП «Аэрогеология» с помощью аэрокосмических дистанционных методов, применяемых в мониторинге, осуществляется дистанционный экологический мониторинг территорий освоения нефтегазовых месторождений и их влияния на окружающую среду. При этом проводятся:

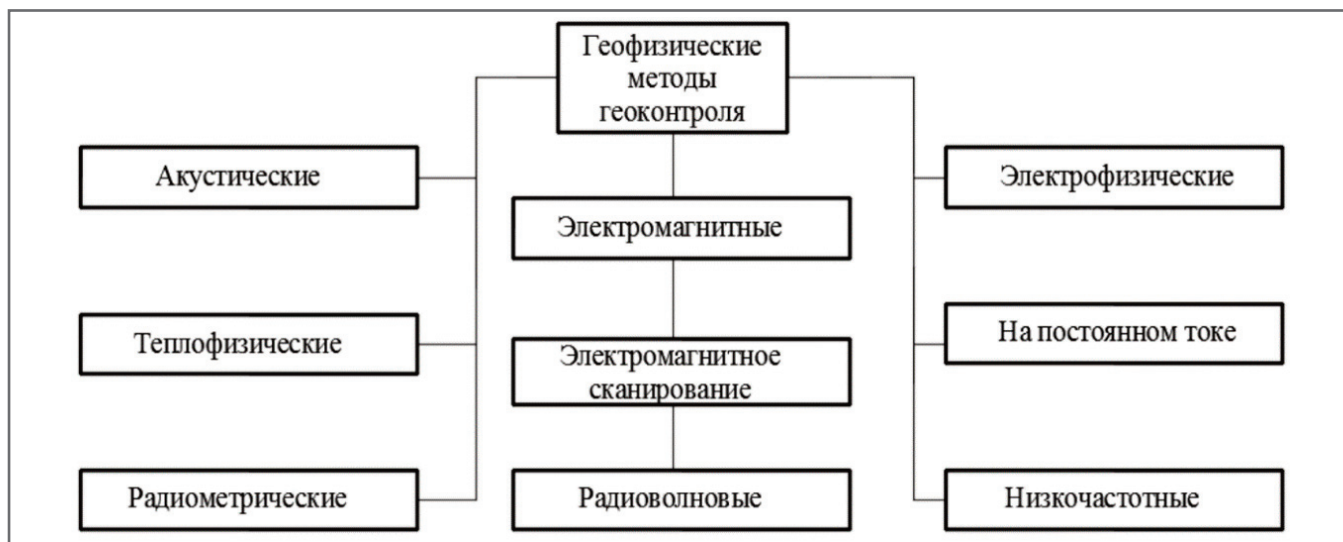


Рис. 6. Геофизические методы контроля содержания нефтепродуктов

- оценка влияния объектов нефтегазодобычи (буровых установок, нефтепроводов, станций подготовки нефти и газа, других инженерных сооружений) на динамику изменений окружающей среды;
- оценка влияния изменений окружающей среды на устойчивость инженерных сооружений и миграцию загрязнений;
- разработка ГИС по нефтегазодобыче и экологической безопасности.

Кроме того, в ФГУНПП «Аэрогеология» с помощью аэрокосмических дистанционных методов, используемых при мониторинге, осуществляется контроль загрязнения нефтепродуктами территории влияния нефтеперерабатывающих комплексов на основе многозональной аэрофотосъемки. При этом проводятся:

- оценка ландшафтно-экологического состояния территории деятельности нефтеперерабатывающего предприятия;
- выявление типов и видов загрязнений;
- выявление и оценка интенсивности процесса просачивания промышленных стоков;
- оценка степени засоленности почв и других грунтов;
- прогнозная оценка динамики процесса поражения окружающей среды.

По результатам дешифрирования составляется ландшафтно-экологическая карта территории, на которой показываются объекты хранения и переработки нефти, хранилища отходов и пути транспортировки (с оценкой их состояния), участки и зоны фильтрации и миграции загрязненных вод, зоны загрязнения почв. Проводится районирование территории по степени устойчивости природной среды к геохимическому загрязнению и по возможности

самовосстановления ландшафта. Разрабатываются прогноз и рекомендации по защите окружающей среды от загрязнения нефтепродуктами.

Таким образом, мониторинг районов трасс нефтепроводов, нефтедобычи и нефтеперерабатывающей промышленности должен быть комплексным, учитывающим способы добычи нефти и ее транспортировки и переработки, а также особенности изменений геологической среды; и он должен охватывать все системы объектов наблюдения, контроля и управления.

МОНИТОРИНГ НЕФТЕПРОВОДОВ В РАЙОНАХ НЕФТЕДОБЫЧИ ►

В районах нефтедобычи эколого-геологический мониторинг создается как многоуровневая система наблюдений, включающая следующие комплексы наземных и дистанционных (в том числе аэрокосмических) методов наблюдений:

- детальный – обследование состояния (стабильности) труб по трассе, наблюдения на режимных площадках и при обходах по трассе;
- локальный – наземную и аэросъемку (локальные прогнозы);
- региональный – космосъемку и аэрофотосъемку (региональные прогнозы).

Объектами наблюдений при эколого-геологическом мониторинге в районах нефтедобычи являются различные компоненты эколого-геологических систем – почвы, подпочвенные грунты, подземные воды, поверхностные воды, выбросы в атмосферу, объекты инфраструктуры нефтедобычи (добывающие скважины, трубопроводы и др.).

Актуальной остается и разработка эффективных (и оперативных) способов

очистки грунтов от нефтяных загрязнений, включение их в систему управляющих мер в системе мониторинга.

Для биологической очистки территорий от нефти в настоящее время используются различные биопрепараты и аборигенная микрофлора. Однако методы биоочистки действуют довольно медленно, они дороги и могут использоваться лишь на стадиях доочистки, так как при сильном загрязнении они неприменимы [8, 11].

В последнее время для автоматизации сбора и обработки данных, полученных с помощью режимных сетей мониторинга, на ряде объектов газовых и нефтяных промыслов России начато внедрение системы Dataqua (Венгрия), в комплект которой входят: датчики, одновременно регистрирующие до 8 параметров; устройства считывания и перезаписи данных; устройства сбора и записи данных, совместимые с компьютером IBM-PC. Данные, собранные с использованием этих устройств и датчиков, позволяют организовать эффективную работу автоматизированной информационной системы (АИС) в системе мониторинга. Внедрение таких систем позволяет вести мониторинг геологической среды практически в автоматическом режиме, что особенно важно для удаленных северных районов России.

МОНИТОРИНГ ТРАСС МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ ►

Природно-технические линейные системы нефтепроводов, в том числе на трассе Сковородино – Мохэ, имеют свои *специфические особенности*, которые необходимо учитывать при органи-



Рис. 7. Прокладка подземной линии магистрального газопровода в Сибири



Рис. 8. Укладка магистрального газопровода в траншею

зации мониторинга геологической среды территорий, на которых располагаются нефтепроводы. Основными из них являются [10]:

1) значительная протяженность трасс нефтепроводов, проходящих через разные климатические и природные зоны с разнообразными инженерно-геологическими условиями;

2) тенденции к увеличению технологических нагрузок на трубопроводы, связанные с увеличением объемов перекачиваемой нефти;

3) чрезвычайно серьезные экологические последствия для окружающей среды, возникающие в случае аварий на нефтепроводах, из чего следует необходимость обеспечения достаточно высокой надежности работы этих сооружений;

4) увязка различных сооружений нефтепроводов с инженерными комплексами осваиваемых месторождений.

Как правило, крупнейшие нефтепроводы (конденсатопроводы) включаются

в систему мониторинга вместе со всей сопутствующей инженерной структурой освоения месторождения.

Например, освоение крупнейших газовых месторождений на территории Западной Сибири и на северо-востоке европейской части России в настоящее время ведется путем сооружения отдельных газовых промыслов, состоящих из установок комплексной подготовки газа и дожимных компрессорных станций. Промыслы размещаются по осевой линии месторождения в пределах коридора основных коммуникаций, где сооружаются по две-три нитки газопровода-коллектора с диаметром труб 1200–1400 мм, по 1–2 нитки водоводов, линия электропередачи (ЛЭП) и автомобильная дорога с покрытием бетонными плитами.

Большинство газопроводов-коллекторов и магистральных газопроводов прокладывается подземным способом или полуподземным (полузаглубленным) способом с обваловкой, реже – на-

земным в насыпи (рис. 7, 8). Таким образом, при освоении крупных нефтяных и газовых месторождений в связи с необходимостью добычи, очистки и транспортировки полезного ископаемого создается сложно построенная региональная ПТС, захватывающая огромную территорию, отличающаяся большой протяженностью, а в условиях России к тому же часто полностью или частично проходящая в криолитозоне.

Методы контроля состояния нефтепровода в системе мониторинга зависят и от способа укладки трубы. Есть различные способы прокладки газо- и нефтепроводов:

- подземный (скрытый);
- полуподземный (с обваловкой);
- наземный (с обваловкой);
- наземный свайный;
- подводный (речной, озерный, морской);
- надводный (рис. 9).

На территории Российской Федерации уже к 1997 году эксплуатировалось 350 тыс. км внутрипромысловых трубопроводов, на которых ежегодно отмечалось свыше 50 тыс. случаев порывов, нарушений и некатегорийных аварий, что приводило к значительным потерям нефти и замасленности территорий. Например, только на месторождениях Западной Сибири проложено 100 тыс. км промысловых трубопроводов, из которых 30% имеют 30-летний срок службы, но ежегодно заменяется не более 2% трубопроводов вместо 10% по нормативам [12].

В ходе эколого-геологического мониторинга должны учитываться следующие возможные техногенные воздействия на эколого-геологические системы со стороны нефтепроводов:

- загрязнение углеводородами атмосферы;
- загрязнение нефтью подземных и поверхностных вод;
- загрязнение нефтью почвенно-растительного покрова;
- изменение температурного режима грунтов, особенно в криолитозоне;
- активизация инженерно-геологических и геокриологических процессов вдоль трассы;
- угнетение видового разнообразия микро-, фито- и зооценозов.

Вполне естественно, что при создании и эксплуатации таких ПТС в связи с нарушением природных условий, изменением теплового и водного режима грунтов происходит активизация различных экзогенных процессов и интенсивное проявление инженерно-геологических процессов (рис. 10–12). Опыт борьбы с многочисленными деформациями

циями различных сооружений вдоль трасс нефте- и газопроводов показал, что эксплуатационная надежность газопроводов и нефтедобывающих комплексов и трубопроводов в сложных инженерно-геологических условиях не может быть обеспечена проведением отдельных ремонтных работ и мероприятий по инженерной защите ПТС. Обязательным условием надежности трубопровода является мониторинг трассы.

Большое внимание уделяется обеспечению безопасной эксплуатации уже существующих магистральных трубопроводов, включая сеть трубопроводов ООО «Транснефть – Восток», в том числе Сковородино – Мохэ. Так, в ПАО «Транснефть» разработана и реализуется «Комплексная программа диагностики, капитального ремонта и реконструкции магистральных нефтепроводов», что позволило за 1995–1997 годы сократить количество аварий с 0,14 до 0,06 на 1000 км нефтепровода, то есть более чем в 2 раза. Например, в 1997 году в Западной Сибири произошла только одна авария магистрального нефтепровода, при этом было предотвращено загрязнение нефтью водных объектов. Ежегодные объемы капитального ремонта и реконструкции трубопроводов возросли с 836 км в 1995 году до 1385 км в 1997 году, и эта тенденция сохраняется до настоящего времени, в том числе и на трубопроводах ООО «Транснефть – Восток».

На предприятиях отрасли создаются специальные подразделения, оснащенные высокоэффективной отечественной и зарубежной техникой для борьбы с аварийными разливами нефти. В ПАО «Транснефть – Восток» функционирует центр по ликвидации аварий и их последствий, в который входит ряд аварийно-восстановительных пунктов (АВП), специализированных аварийно-ремонтных служб, специализированных управлений по ликвидации аварий, аварийно-восстановительные поезда, служба экологической безопасности и др. ПАО «Транснефть – Восток» систематически проводит общероссийские учения, в ходе которых отрабатываются технологии локализации и ликвидации разливов нефти в близких к естественным условиям.

Тем не менее на трассах магистральных нефтепроводов России периодически возникают аварии и разливы нефти, некоторые из которых имели катастрофический характер, так как вызывали загрязнение природной среды (почв, грунтов, подземных и поверхностных



Рис. 9. Воздушный переход нефтепровода через реку



Рис. 10. Проливы нефти вдоль трассы нефтепровода на Самотлорском месторождении в Западной Сибири (фото Е.А. Вознесенского, 1999 г.)



Рис. 11. Проливы нефти вдоль трассы нефтепровода на Самотлорском месторождении (фото Е.В. Маниной, 1999 г.)

вод) на значительных территориях. Поэтому организация эффективного мониторинга трасс нефтепроводов остается актуальной задачей.

Диагностика трубопроводной системы является на сегодняшний день одной из составляющих арсенала технических и технологических приемов, обеспечивающих продление срока службы магистральных нефтепроводов и условий их безопасной эксплуатации. Ежегодные расходы трубопроводных компаний на разработку средств технической диагностики и диагностическое обслуживание достигают 0,25–0,3% стоимости основных фондов трубопроводов. Диагностика трубопроводной системы реализуется в ходе мониторинга и предназначена для поддержания определенного уровня ее надежности, который позволяет обеспечить безопасный транспорт нефтепродукта и сократить аварийность до минимума [13].

Для обеспечения жизнедеятельности новой системы и продления срока службы магистральных нефтепроводов, например Сковородино – Мохэ, реализуется концепция четырехуровневого интегрированного диагностического контроля.

На первом уровне проводится контроль на наличие дефектов, сужающих проходное сечение трубы (вмятин, гофров). Для этого используются внутритрубные снаряды-профилемеры.

На втором уровне с помощью ультразвуковых снарядов-дефектоскопов ведутся поиск и измерение коррозионных дефектов, а также расслоений металла стенок трубы.

На третьем уровне с помощью магнитных снарядов-дефектоскопов выявляются дефекты кольцевых сварных швов.

На четвертом уровне с помощью специальных ультразвуковых снарядов-дефектоскопов ведутся поиск и измерение параметров трещиноподобных дефектов в продольных швах и в теле трубы.

Кроме этого применяется система коррозионного мониторинга магистральных трубопроводов «Пульсар», которая предназначена для оперативного контроля параметров электрохимической защиты и дистанционного управления работой устройств катодной защиты магистральных трубопроводов [13].

Прогноз изменений инженерно-геологических условий вдоль трасс нефтепроводов, может осуществляться в три этапа [3]:

1) региональный прогноз изменений инженерно-геологических условий на



Рис. 12. Обнажение труб и пролив нефти на трубопроводе Сомотлорского месторождения (фото Е.А. Вознесенского, 1999 г.)

основе анализа структуры полей геологических параметров, характеризующих состояние геологической среды до и после освоения территории;

2) прогнозные инженерно-геологическое районирование территории по характеру взаимодействия различных типов сооружений с геологической средой;

3) локальный количественный прогноз геологических параметров, определяющих устойчивость ПТС.

Общая структура мониторинга геологической среды вдоль трассы трубопровода включает в себя подсистемы регионального, локального и детального уровней.

В систему мониторинга трассы трубопровода детального уровня входят периодические обследования состояния трубопровода, анализ развития различных инженерно-геологических процессов вдоль трассы, осуществление фотодокументирования и др. Особого внимания требуют участки обнажения трубопроводов (см. рис. 12). Для оперативного отслеживания состояния трассы применяются дроны, снабженные фотокамерами высокого разрешения. Обследования должны повторяться один раз в 0,5–2 года, что позволяет получить картину изменений состояния ПТС в процессе эксплуатации.

Состояние подземных газопроводов по сравнению с проектным может оцениваться по такому показателю, как, например, «стабильность» (S), предложенному в 1988 году В.В. Пендиным с сотрудниками. Показатель стабильности S варьирует от 1 до 0, причем значение 1 соответствует полному отсутствию деформаций сооружения, превышающих предусмотренные проектом, а при $S=0$ сооружение выходит из строя в резуль-

тате развития инженерно-геологических процессов.

Классификация состояния газопроводов по показателю стабильности S приведена в таблице 2.

На участках наиболее интенсивного развития деформаций трубопроводов и инженерно-геологических процессов организуются режимные площадки. На них разбивают профиль и для криолитозоны оборудуют 5–7 термометрических скважин, пучиномерную установку, на трубе устанавливают деформационные геодезические марки и тензодатчики. Наблюдения за температурой ведут один раз в месяц, за деформациями – два раза в год (весной и осенью).

Например, в ФГУНПП «Аэрогеология» с помощью аэрокосмических дистанционных методов (включая использование дронов), применяемых в мониторинге, осуществляется дистанционный контроль и предупреждаются аварийные ситуации на магистральных трубопроводах. При этом проводятся:

- анализ природных условий вдоль трассы: наличия опасных геодинамических, геофизических и других воздействий;
- выявление физических нарушений обваловки труб, газовых эманий, протечек и т.д.

В результате перечисленных работ представляются:

- планы фактического положения трубопроводов на местности (в том числе не имеющих видимого обозначения на поверхности земли) в масштабе 1:10 000–1:25 000;
- маршрутные фотосхемы (альбом) полосы технического коридора в масштабе 1:10 000–1:25 000 с географической привязкой;

Таблица 2. Классификация состояния подземных трубопроводов по показателю стабильности S [3]

№	S	Состояние газопровода	Возможные дефекты
1	1	Газопровод полностью соответствует проекту	Нет дефектов
2	0,7	Газопровод обнажен частично	Разрушение гидроизоляции, активизация коррозии, потенциальная возможность разрушения соседних ниток при аварии одной из них
3	0,5	Газопровод обнажен полностью	То же, что в п. 2; газопровод не заземлен, подвижен, создаются условия для развития скрытых дефектов трубы
4	0,3	Газопровод обнажен полностью, имеются арки, змейки	То же, что в п. 3; возможна работа трубы при напряжениях выше допустимых
5	0,1	Газопровод обнажен, имеются арки, змейки с гофрами	То же, что в п. 4; возможно течение материала трубы
6	0	Разрыв трубы газопровода	Разрушение

- увеличенные аэрофотоснимки (до масштаба 1:1000–1:5000) дефектных участков (оголенных и всплывших труб, мест искривления и др.), крановых узлов и узлов подключения компрессорных станций;

- ведомости дефектных участков по всем трубопроводам с указанием их длины (с точностью до 0,5 м) и привязкой к километражу коридора;

- карта гидрогеологических и инженерно-геологических условий трассы с выделением зон подтопления, заболачивания, с прогнозом развития неблагоприятных гидрогеологических процессов, угрожающих нормальному функционированию трубопроводов.

Работы выполняются на основе аэрофотосъемки и тепловой аэросъемки с любых легких носителей (дронов, автожиров, вертолетов, легких самолетов).

Поскольку пространственно-временная структура мониторинга геологической среды трасс нефтепроводов определяется целью управления, режимом эксплуатации, а также инженерно-геологическими условиями, обуславливающими характер и интенсивность взаимодействия между различными типами сооружений и геологической средой, то при создании системы мониторинга вдоль трассы трубопровода необходимо прежде всего оценить инженерно-геологические условия этой территории и

проанализировать техногенную нагрузку на нее. На основе сопоставления карт разных типов и другой информации составляется прогноз взаимодействий геологической среды и инженерных сооружений вдоль всей трассы и в соответствии с этим разбивается наблюдательная сеть мониторинга. Рассмотренная выше общая методика организации системы мониторинга остается в силе и для территорий газо- и нефтепроводов.

Источниками исходных данных для составления прогнозов изменений инженерно-геологических условий трасс служат: опережающие инженерно-геологические съемки среднего масштаба; детальные предпостроечные изыскания; режимные наблюдения за изменениями тех или иных компонентов геологической среды при их взаимодействиях с инженерными сооружениями; повторные обследования промплощадок и трасс трубопроводов, а также повторные площадные съемки; многозональные космические и аэрофотосъемки предпостроечной ситуации и последующих облетов, а также тепловые съемки.

На основе обработки этой информации вырабатываются управляющие решения и рекомендации по устранению аварийных ситуаций, очистке грунтов от нефтяных загрязнений и т.д.

Таким образом, технологический и эколого-геологический мониторинг

вдоль трасс нефтепроводов позволяет не только вовремя выявлять негативные воздействия и нарушения трубопроводов, но и своевременно устранять их.

ВЫВОДЫ ►

1. Отсутствие какого-либо одного универсального метода очистки грунтов от нефтяных загрязнений обуславливает необходимость разработки рациональной комплексной схемы последовательного применения отдельных методов локализации, деструкции и удаления нефтяных загрязнений.

2. Рациональные схемы очистки грунтов от нефтяных загрязнений вдоль трасс нефтепроводов должны строиться с учетом геологического строения массива, геоэкологических условий, особенностей нахождения форм углеводородов в массиве и их количественного содержания.

3. С целью недопущения потенциального загрязнения нефтью геологической среды необходимо большее внимание уделять превентивным мероприятиям, соблюдению требований нормативных документов при строительстве и эксплуатации нефтепроводов.

4. При эксплуатации нефтепроводов существенную роль в их сохранности и в исключении нефтяных загрязнений геологической среды играет система мониторинга состояния трасс. **и**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ►

1. Якуцени С.П., Арчegov В.Б. Арчegov И.Б. Комплексная рекультивация нефтезагрязненных земель и проблемы государственного контроля на территории Северо-Западного федерального округа России // Труды Международной научной конференции «Экогеология-2003», г. Санкт-Петербург, 6–10 октября 2003 г. СПб: Изд-во СПбГУ, 2003. С. 112–124.
2. Буланова А.В., Грецовка И.В., Муратова О.В. Исследование сорбционных свойств сорбентов, применяемых для очистки почв от нефтяных загрязнений // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. 2005. № 3 (37). С. 150–158.
3. Аренс В.Ж., Саушин А.З., Гридин О.М., Гридин А.О. Очистка окружающей среды от углеводородных загрязнений. М.: Интербук, 1999. 371 с.

4. Королев В.А. Рациональные схемы очистки и восстановления геологической среды техногенно нарушенных территорий // Материалы Общероссийской научно-практической конференции «Инженерно-экологические изыскания – нормативно-правовая база, современные методы и оборудование», г. Москва, 27–28 февраля 2019 г. (под ред. К.С. Висхаджиева). М.: ИГИИС, 2019. С. 30–42.
5. Желязко В.И., Лагун Т.Д. Мелиорация, рекультивация и охрана земель. Горки: БГСХА, 2016. 276 с.
6. Бородавкин П.П., Ким Б.И. Охрана окружающей среды при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1981. 160 с.
7. СП 25.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88). Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. М.: Минрегион России, 2012.
8. Королев В.А. Очистка и восстановление геологической среды. М.: ООО «Сампринт», 2019. 430 с.
9. СП 47.13330.2016 (актуализированная редакция СНиП 11-02-96). Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2017.
10. Королев В.А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем. М.: КДУ, 2015. 416 с.
11. Королев В.А. Очистка грунтов от загрязнений. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 365 с.
12. О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1998 году: государственный доклад от 30.12.1998 № 349. М.: Государственный комитет РФ по охране окружающей среды. 2000. 498 с. URL: http://www.wdcb.ru/mining/obzor/Doc_1998/Contents.htm.
13. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. Москва – Ижевск. 2005. 268 с.
14. Пендин В.В., Ганова С.Д. Геоэкологический мониторинг территорий расположения объектов транспорта газа в криолитозоне. М.: ОАО «ПНИИС», 2009. 260 с.

REFERENCES ►

1. Yakutseni S.P., Archegov V.B. Archegov I.B. Kompleksnaya rekul'tivatsiya neftezagryaznennykh zemel' i problemy gosudarstvennogo kontrolya na territorii Severo-Zapadnogo federal'nogo okruga Rossii [Integrated reclamation of oil-contaminated lands and problems of state control in the North-Western Federal District of Russia] // Trudy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Ehkogeologiya-2003», g. Sankt-Peterburg, 6–10 oktyabrya 2003 g. Spb: Izd-vo SpBGU, 2003. S. 112–124 (in Rus.).
2. Bulanova A.V., Gretsikova I.V., Muratova O.V. Issledovanie sorbtionnykh svoystv sorbentov, primenyaemykh dlya ochistki pochv ot neftyanykh zagryaznenii [Investigation of sorption properties of sorbents used for cleaning away oil pollution from soils] // Vestnik SaMGU. Estestvennonauchnaya seriya. 2005. № 3 (37). S. 150–158 (in Rus.).
3. Arens V.ZH., Saushin A.Z., Gridin O.M., Gridin A.O. Ochistka okruzhayushchei sredy ot uglevodorodnykh zagryaznenii [Cleaning away hydrocarbon pollution from the environment]. M.: Interbuk, 1999. 371 s. (in Rus.).
4. Korolev V.A. Ratsional'nye skhemy ochistki i vosstanovleniya geologicheskoi sredy tekhnogenno narushennykh territorii [Rational schemes for cleaning and restoring the geological environment of technogenically disturbed territories] // Materialy Obshcherossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Inzhenerno-ekologicheskie izyskaniya – normativno-pravovaya baza, sovremennyye metody i oborudovaniya», g. Moskva, 27–28 fevralya 2019 g. (pod red. K.S. Viskhadzhieva). M.: IGIIS, 2019. S. 30–42 (in Rus.).
5. Zhelyazko V.I., Lagun T.D. Melioratsiya, rekul'tivatsiya i okhrana zemel' [Melioration, reclamation and protection of lands]. Gorki: BGSKHA, 2016. 276 s. (in Rus.).
6. Borodavkin P.P., Kim B.I. Okhrana okruzhayushchei sredy pri stroitel'stve i ehkspluatatsii magistral'nykh truboprovodov [Environmental protection during the construction and operation of main pipelines]. M.: Nedra, 1981. 160 s. (in Rus.).
7. SP 25.13330.2012 (aktualizirovannaya redaktsiya SNIP 2.02.04-88). Osnovaniya i fundamente na vechnomerzlykh gruntakh [Ground bases and foundations on permafrost soils]. M.: Minregion Rossii, 2012 (in Rus.).
8. Korolev V.A. Ochistka i vosstanovlenie geologicheskoi sredy [Cleaning and restoration of the geological environment]. M.: ООО «SamprinT», 2019. 430 s. (in Rus.).
9. SP 47.13330.2016 (aktualizirovannaya redaktsiya SNIP 11-02-96). Inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva. Osnovnye polozheniya [Engineering surveys for construction. Basic provisions]. M.: Standartinform, 2017 (in Rus.).
10. Korolev V.A. Monitoring geologicheskikh, litotekhnicheskikh i ehkologo-geologicheskikh sistem [Monitoring of geological, lithotechnical and ecological-geological systems]. M.: KDU, 2015. 416 s. (in Rus.).
11. Korolev V.A. Ochistka gruntov ot zagryaznenii [Cleaning away pollution from grounds]. M.: MAIK «Nauka/Interperiodika», 2001. 365 s. (in Rus.).
12. O sostoyanii okruzhayushchei prirodnoi sredy Rossiiskoi Federatsii v 1998 godu: gosudarstvennyi doklad ot 30.12.1998 № 349 [On the state of the environment of the Russian Federation in 1998: State Report № 349 dated 12.30.1998]. M.: Gosudarstvennyi komitet RF po okhrane okruzhayushchei sredy. 2000. 498 s. URL: http://www.wdcb.ru/mining/obzor/Doc_1998/Contents.htm (in Rus.).
13. Kamenshchikov F.A., Bogomol'nyi E.I. Neftyanye sorbenty [Oil sorbents]. Moskva – Izhevsk. 2005. 268 s. (in Rus.).
14. Pendin V.V., Ganova S.D. Geoekologicheskii monitoring territorii raspolozheniya ob'ektov transporta gaza v kriolitozone [Geoecological monitoring of areas of gas transportation objects in the cryolithozone]. M.: ОАО «ПНИИС», 2009. 260 s. (in Rus.).

Организаторы:

Независимый электронный журнал
Геоинфо



geoinfo.ru

II практическая конференция

**«АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИЗЫСКАНИЙ И ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

18 ноября 2025 года, Москва



Наша конференция по автоматизации и цифровизации инженерно-геологических изысканий в 2024 году вызвала большой интерес среди специалистов. Участниками мероприятия стали более 100 человек, а хедлайнерами – представители ООО «Газпром нефть». По отзывам слушателей, они получили много новой, полезной и интересной информации, а значительную часть полученных знаний смогут успешно интегрировать в собственную работу. В связи с этим мы приняли решение провести в 2025 году вторую тематическую конференцию. Тем более, что за год с момента проведения первой конференции, мы уверены, будет сделан гигантский шаг вперед в области цифровизации.





Источник фото: : <https://stock.adobe.com/ru>

ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ БЕЛОРУССИИ

Принята к публикации 17.04.2025

Опубликована 18.08.2025

КОРОЛЁВ В.А.

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

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

В статье проанализированы структура и характерные особенности промышленных эколого-геологических систем (ЭГС), существующих на территории Белоруссии. Показано, что рассмотренные ЭГС являются широко распространенными в республике антропогенными эколого-геологическими системами, играющими важную роль в экосистемах страны. Каждая из них обладает своей специфической структурой, отражающей влияние различных техногенных факторов на ее абиотические (литотоп, гидротоп, эдафотоп) и биотические (микробоценоз, фитоценоз, зооценоз, социум) компоненты. Все компоненты этих промышленных ЭГС (как абиотические, так и биотические) обладают своими комплексами особых характеристик, обусловленных влиянием хозяйственной деятельности человека, техногенной трансформацией соответствующих компонентов природных экосистем и созданием новых искусственных эколого-геологических систем, что необходимо учитывать при систематике ЭГС, описании и анализе экологических функций литосферы. Описаны характерные черты разных типов промышленных ЭГС (производственных и складских как наиболее распространенных в стране). Выявленные закономерности и особенности можно рассматривать как общие для промышленных ЭГС Белоруссии и для аналогичных ЭГС в России. Их необходимо учитывать при инженерно-экологических исследованиях и изысканиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

эколого-геологическая система (ЭГС); антропогенная промышленная ЭГС; технолитотоп; техноэдафотоп; техномикробоценоз; технофитоценоз; зооценоз; Белоруссия.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Королёв В.А., Галкин А.Н. Особенности промышленных эколого-геологических систем Белоруссии // ГеоИнфо. 2025. Т. 7. № 2. С. 38–55.
DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-38-55.

FEATURES OF INDUSTRIAL ECOLOGICAL- GEOLOGICAL SYSTEMS OF BELARUS

Accepted for publication 17.04.2025

Published 18.08.2025

KOROLEV V.A.

DSc, professor at the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
va-korolev@bk.ru

GALKIN A.N.

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

ABSTRACT

The article analyzes the structure and characteristic features of industrial ecological-geological systems (EGS) existing in Belarus. It is shown that the considered EGS are anthropogenic ecological-geological systems that are widespread in the republic and play an important role in the ecosystems there. Each of those EGS has its own specific structure reflecting the influence of various technogenic factors on its abiotic (the lithotope, hydrotape, edaphotope) and biotic (the microbocenosis, phytocenosis, zoocenosis, society) components. All the components of those industrial EGS (both abiotic and biotic ones) have their own sets of special characteristics caused by the influence of human industrial-economic activity, by the technogenic transformation of the corresponding components of natural ecosystems, and by the creation of new artificial ecological-geological systems, that should be taken into account when systematizing EGS, describing and analyzing the ecological functions of the lithosphere. The characteristic features of different types of industrial EGS (production and warehouse ones as the most widespread in the republic) are described. The identified patterns and features can be considered as common for industrial EGS in Belarus and similar EGS in Russia. They should be taken into account when performing geo-environmental studies and site investigations.

KEYWORDS:

ecological-geological system (EGS); anthropogenic industrial EGS; technolithotope; technoedaphotope; technomicrocenosis; technophytocenosis; zoocenosis; Belarus

FOR CITATION:

Korolev V.A., Galkin A.N. Osobennosti promyshlennykh ehkologo-geologicheskikh sistem Belorussii [Features of industrial ecological-geological systems of Belarus] // GeoInfo. 2025. T. 7. № 2. S. 38–55. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-38-55 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

В экологической геологии и геоэкологии центральное место занимает понятие «эколого-геологическая система» (ЭГС). Структура и классификация ЭГС, 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 антропогенные). Природные и некоторые техногенные ЭГС изучены достаточно хорошо: определена их систематика и описаны абиотические (литотоп, гидротоп, эдафотоп) и биотические (микробоценоз, фитоценоз, зооценоз) компоненты [2–9]. Однако искусственные ЭГС на территории республики исследованы пока недостаточно.

Как мы указывали в своих более ранних публикациях [2, 3], в Белоруссии

выделяют шесть классов антропогенных эколого-геологических систем – горно-промышленные, промышленные, оборонно-промышленные, селитебные, транспортно-коммуникационные и агрономические ЭГС. Они подразделяются на восемнадцать видов (например, шахтно-отвалы, карьерно-отвалы, нефтегазопромышленные, производственные, складские, дорожные, жилые, тепличные, земледельческие и другие ЭГС). Особое место среди них занимают промышленные эколого-геологические системы.

С функциональной точки зрения промышленная ЭГС представляет собой систему, включающую в себя тесно взаимосвязанные промышленное звено, или подсистему (где производится «чистая» промышленная продукция и продукция в виде отходов), и модифицированные в соответствии с определенной технологией природные

комплексы, представленные в виде природно-хозяйственных единств определенной территории.

Эколого-геологические характеристики, структура и специфические черты промышленных ЭГС обладают особенностями, значительно отличающимися от соответствующих особенностей других эколого-геологических систем и до сих пор остаются недостаточно исследованными. В связи с этим на основе ранее разработанной нами классификации ЭГС территории Белоруссии [2, 3] в данной статье предпринята попытка представить общее описание промышленных эколого-геологических систем, а также выявить и охарактеризовать особенности их абиотических (литотоп, гидротоп, эдафотоп) и биотических (микробоценоз, фитоценоз, зооценоз) компонентов. Это и стало основными целью и задачами настоящего исследования.



Рис. 1. Структура промышленной ЭГС

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭГС ►

В промышленных ЭГС основную роль играют техногенные источники воздействий, специфика которых обусловлена типами этих воздействий, которые, в свою очередь, связаны с теми или иными инженерно-хозяйственными объектами отраслей промышленности (техническими подсистемами ЭГС).

Системы данного класса отличаются высокой долей техногенно преобразованных экологических свойств литосферы. Это связано с глубокими физическими (механическими, термическими, электрическими и др.), химическими и физико-химическими преобразованиями всех ее компонентов – грунтов, подземных вод, газов и органических веществ.

Для промышленной ЭГС характерно формирование индустриального микро-рельефа и микроклимата, которые становятся отличными от таковых для природных ЭГС на той же территории. В этих местах наблюдается активное загрязнение атмосферы, проявляющееся в виде смогов, инверсий загрязняющих веществ и в образовании тепловых подушек над промышленными предприятиями. В спектре загрязняющих эле-

ментов доминируют компоненты, относящиеся к ведущим классам опасности.

Регулирование поверхностного стока на техногенно освоенных территориях путем строительства водохранилищ приводит к деградации и отмиранию рек, интенсивному их загрязнению, подтоплению территорий.

Кроме того, ЭГС рассматриваемого класса отличаются максимальной деградацией почв как по количественным, так и по качественным показателям. Хроническое ухудшение свойств почв и разрушение их структуры происходят в результате как прямого загрязнения, так и консервации почв на фоне массового асфальтирования.

Серьезное негативное воздействие на экологические характеристики литосферы промышленных ЭГС оказывают отстойники и накопители опасных отходов. Технологические процессы, связанные с этими отходами, как правило, идут открыто и активно взаимодействуют с грунтовыми и поверхностными водами. Подземные захоронения высокотоксичных отходов, образующихся в ходе промышленной деятельности, создают объекты повышенной экологической угрозы на глубине до 2–3 км.

Высокий уровень техногенного преобразования компонентов приповерх-

ностной части литосферы в целом создает неблагоприятные эколого-геологические условия в районах расположения промышленных объектов. В результате наблюдается снижение продуктивности экосистем и возникновение мутационных процессов в биосфере, что приводит к устойчивому ухудшению условий обитания в экосистемах более высоких порядков [10].

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И КОМПОНЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭГС ►

Особенности структуры промышленных ЭГС ►

Общая структура промышленных эколого-геологических систем показана на рисунке 1. Для них характерны те же основные структурные компоненты (подсистемы), что и для иных техногенных ЭГС, – как абиотические (литотоп, гидротоп, атмотоп, технические сооружения), так и биотические (эдафотоп, микробиоценоз, фитоценоз, зооценоз). Но эти компоненты являются техногенно измененными, или искусственными (антропогенными), из-за влияния социума и создаваемых им технических сооружений.

Кроме того, в отличие от прочих техногенных ЭГС, в промышленных эко-

Таблица. Основные отрасли промышленности Белоруссии и технические подсистемы соответствующих ЭГС

Отрасль промышленности	Продукция	Технические сооружения (подсистемы ЭГС)	
		производственные	складские
Металлургическая	Черные металлы, цветные металлы	Металлургические заводы	Склады готовой продукции; отвалы металлургических шлаков
Химическая	Минеральные удобрения; продукты нефтехимии; продукты переработки газа; химические волокна; пластмассы; бытовая химия; резинотехнические изделия и др.	Заводы по производству удобрений; нефтехимические предприятия; газоперерабатывающие заводы; химические и фармацевтические фабрики	Склады готовой продукции; отвалы фосфогипса; шламонакопители; полигоны ТПО
Энергетическая	Электрическая энергия; тепловая энергия	ТЭС; ТЭЦ; АЭС; ГАЭС	Отвалы золы, образовавшейся при сжигании угля, торфа, сланцев
Машиностроительная	Автомобили; сельскохозяйственные машины; бытовая техника; станки; электронная техника	Автомобильные, тракторные, станкостроительные, электротехнические заводы и фабрики; заводы бытовой техники и приборостроения	Склады готовой продукции; полигоны ТПО
Лёгкая	Ткани, одежда, обувь и др.	Текстильные, швейные, обувные и др. фабрики	Склады готовой продукции; полигоны ТПО
Пищевая	Мясомолочная, рыбная, хлебобулочная, кондитерская, масложировая, сахарная, табачная, алкогольная продукция; поваренная соль	Фабрики и др. предприятия пищевой промышленности (по видам продукции)	Склады готовой продукции; полигоны ТПО; отвалы лигнина; полигоны ТКО
Лесная и деревообрабатывающая	Древесина; пиломатериалы; древесно-волоконные, древесно-стружечные и др. плиты; мебель	Деревообрабатывающие, мебельные фабрики	Склады готовой продукции; полигоны ТПО
Целлюлозно-бумажная	Целлюлоза; картон; бумага	Целлюлозно-бумажные, целлюлозно-картонные комбинаты	Склады готовой продукции; полигоны ТПО
Строительных материалов	Цемент; стройматериалы; стекло; фарфор	Цементные, стекольные, фарфоровые заводы; заводы других стройматериалов	Склады готовой продукции; полигоны ТПО

Примечание: ЭГС – эколого-геологические системы; ТЭС – тепловая электростанция; ТЭЦ – тепловая электроцентраль; АЭС – атомная электростанция; ГАЭС – гидроаккумулирующая электростанция; ТПО – твердые промышленные отходы; ТКО – твердые коммунальные отходы.

лого-геологических системах ведущую роль играют их технические подсистемы – промышленные сооружения (заводы, фабрики, комбинаты, производственные комплексы и др.) с соответствующей инфраструктурой (административными и служебными зданиями, путепроводами, продуктопроводами, линиями электропередачи, трубопроводами и др.). Именно они являются основным фактором воздействия на биотические компоненты промышленных ЭГС и определяют облик таких систем.

Промышленные ЭГС, еще не так давно тяготевшие к урбанизированным территориям, теперь все чаще выводятся за их пределы. Все больше встречается крупных заводских комплексов, в

которых управленческие службы, складские и вспомогательные хозяйства сосредоточены вокруг территории базового производства.

В зависимости от особенностей хозяйственной деятельности в рассматриваемом классе выделяются такие виды ЭГС, как *производственные* и *складские* [11]. Из них на территории Белоруссии наиболее распространены *производственные ЭГС*, отличающиеся многообразием технических объектов, каждый из которых имеет свое определенное функциональное назначение и свой набор инженерных сооружений. Среди таких объектов можно выделить предприятия машиностроительной, энергетической, металлургической, ме-

таллообрабатывающей, химической, нефтехимической, легкой, пищевой, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности, промышленности строительных материалов и других отраслей (таблица, рис. 2). Такое многообразие предприятий (технических подсистем ЭГС) в значительной степени определяет характер воздействий на геологическую составляющую той или иной ЭГС и окружающую среду в целом. Это обусловлено тем, что многие производственные объекты способны оказывать воздействия не только на приповерхностные горизонты массивов грунтов (литотопы), имеющие повсеместное распространение и служащие основаниями фундаментов большинства



Рис. 2. Белорусский металлургический завод – не просто завод, а настоящий город [12]



Рис. 3. Отвалы шлака Белорусского металлургического завода [17]

производственных зданий и сооружений, но и на более глубокие горизонты литосферы, а также на гидротоп и атмостоп (приповерхностную атмосферу).

Складская подсистема промышленных ЭГС (см. таблицу) объединяет различного рода складские, технопарковые сооружения, крупные промышленные шламонакопители и шламоотвалы, а также полигоны и свалки твердых промышленных отходов (ТПО).

Наиболее остро в республике стоит проблема создания и эксплуатации полигонов для захоронения ТПО и осадков промышленных сточных вод (ОПСВ). Ежегодно в стране образуется не менее 20 млн. т твердых отходов производства и потребления. Из них, например, в 2020 году: около 56% составили отходы минерального происхождения; более 24% – отходы растительного и животного происхождения; 4,3% – отходы жизнедеятельности населения и подобные им отходы промышленности; 4,4% – отходы химических и связанных

с ними производств; 10,9% – отходы (осадки) водоподготовки котельно-теплого хозяйства и питьевой воды, очистки сточных, дождевых вод и использования воды на электростанциях; чуть более 0,1% – медицинские отходы [13]. Для размещения ТПО в Белоруссии используется 80 полигонов, занимающих 740 га земли [14].

Кроме того, значительный объем (30–35%) промышленных отходов, включая отходы, подобные бытовым, и некоторые специфические их виды (инертные и третьего и четвертого классов опасности), направляется на полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО), что может создавать дополнительную нагрузку на эти объекты [11].

Промышленные отходы весьма разнообразны по составу и происхождению. Их номенклатура включает около 800 наименований. Большая доля приходится на отходы минерального происхождения (формовочную горелую землю литейных производств, фосфо-

гипс), а также на органические отходы производства пищевых продуктов и вкусовых добавок, на гидролизный лигнин и промышленный мусор [15].

На долю других видов промышленных отходов, наиболее разнообразных по составу, приходится не более 10%. Эта группа объединяет отходы, содержащие вещества всех классов опасности, образующиеся в относительно небольших количествах на предприятиях различных отраслей, что затрудняет возможность их селективного сбора и переработки. На предприятиях машиностроительного и химического профилей образуется большое количество шламов, в том числе гальванических (одного из наиболее опасных видов отходов). При работе лакокрасочных, электротехнических, швейно-трикотажных заводов и фабрик накапливаются отходы производства красок, лаков, эмалей, в том числе отработанные растворители. Среди отходов легкой промышленности выделяются отходы кожевенного производства [11].

Ежегодный уровень утилизации производственных отходов в стране варьирует в широких пределах. Например, в 2019–2022 годах он составлял от 84,9 до 102,4% (в среднем – 92,9%), включая утилизацию ранее накопленных отходов. Однако этот показатель существенно различается для разных типов отходов. Самые высокие уровни переработки относятся к отходам формовочных и стержневых смесей (100 и 99,4% соответственно). Высокие показатели утилизации также демонстрируют окалина (97,3%) и следующие отходы: известковые (98,7%), бетонные (93,6%), пластиковые (93,2%), текстильные и химических волокон (94,5%). Достаточно эффективно утилизируются отходы растительного и животного происхождения (97,2%) – в основном за счет переработки отходов пищевой промышленности, деревообработки, а также бумажных и картонных отходов [16].

К отходам, которые не имеют активного применения или используются в минимальных объемах, относятся: золы и шлаки, образующиеся в котельных, при сжигании отходов, при работе литейных цехов (рис. 3); отработанные шлифовальные и полировальные материалы; минеральные остатки, получаемые в процессе газоочистки; асбестосодержащие материалы; загрязненный песок; шиферный лом и др. Неиспользованные отходы вывозятся на объекты захоронения или накапливаются на территориях предприятий (рис. 4). Среди

вывозимых на захоронение преобладают отходы производства, подобные отходам жизнедеятельности населения, включая отходы от уборки территорий промышленных предприятий, а также отходы минерального происхождения (такие как отходы, возникающие при работе литейно-фасонных цехов; отдельные виды строительных отходов; лом огнеупорных изделий; отходы сухой уборки гаражей, автостоянок, мест парковки транспорта; минеральные шламы и др.) [15].

ОСОБЕННОСТИ АБИОТИЧЕСКИХ И БИОКОСНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭГС ►

Технолитотопы

Технолитотопы промышленных ЭГС представлены массивами грунтов различного состава и генезиса (песчаных, глинистых, песчано-глинистых, мергельно-меловых, искусственных и др.), которые либо служат вмещающей средой, либо являются *техногенными грунтами*. К последним относятся *естественные грунты, измененные и перемещенные в результате производственной и хозяйственной деятельности человека, и антропогенные геологические образования. Под антропогенными образованиями понимают твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, в результате которой произошли коренные изменения состава, структуры и текстуры природного минерального и органического сырья (компонентов геологической среды)* [17].

По уровню техногенного преобразования литотопы промышленные эколого-геологические системы нередко сопоставимы с горнопромышленными ЭГС. Это выражается в изменениях строения, состава и свойств грунтов, рельефа, гидрогеологических условий. К примеру, при строительстве некоторых зданий и сооружений производственных ЭГС в основаниях их фундаментов происходит уплотнение грунтов, иногда грунты оснований искусственно упрочняются методами технической мелиорации. Действие динамических нагрузок нередко, напротив, вызывает разуплотнение грунтовых массивов. В местах размещения горячих цехов ряда производств фиксируется разогрев грунтов в той или иной степени. В результате утечек технологических и других сточных вод повышается уровень грунтовых вод, происходит засоление



Рис. 4. Отвалы фосфогипса Гомельского химического завода [18]

грунтов и загрязнение подземных вод. Например, анализ состава подземных вод на территории 29 предприятий страны [19] показал, что на всех этих объектах подземные воды подверглись загрязнению, преимущественно азотистыми соединениями и фенолами, а в зонах влияния отдельных предприятий высоких концентраций в них достигли ртуть, кадмий и свинец.

Следует отметить, что состав загрязнений подземных вод весьма разнообразен и определяется главным образом характером производства и перечнем веществ, использующихся или образующихся при технологических процессах. Например: на предприятиях машиностроения и металлообработки это нефтепродукты, тяжелые металлы; на предприятиях пищевой промышленности – органические вещества, хлориды и т.д. [20]. Зоны техногенного влияния в производственных ЭГС распространяются на глубину в десятки метров и часто охватывают эксплуатируемые водоносные горизонты [21].

Изменения, происходящие в различных компонентах геологической составляющей рассматриваемых ЭГС, нередко приводят к активизации геологических и возникновению инженерно-геологических процессов, среди которых можно отметить суффозию, подтопление, заболачивание и др. [22].

Как и для производственных эколого-геологических систем, многообразие технических объектов складских ЭГС в значительной степени определяет характер строения и состояния их литотопов. Причем изменение литотопа нередко сопровождается формированием литохимических и гидрогеохимических полиэлементных аномалий, характеризующихся широкой ассоциацией эле-

ментов-загрязнителей, в составе которой преобладают наиболее опасные технофильные элементы [11]. К примеру, на участке размещения шламонакопителей и полей фильтрации Гродненского ОАО «Азот» грунтовые воды загрязнены сульфатами (1700 мг/дм³), нитратами (182 мг/дм³), нитритами (3,0 мг/дм³), аммонием (60 мг/дм³) [14]. Под отвалами фосфогипса и под шламонакопителями Гомельского химического завода подземные воды загрязнены фосфатами (до 7 предельно допустимых концентраций (ПДК)), фтором (до 48 ПДК), сульфатами (до 14 ПДК) и другими компонентами. Причем загрязнение отмечено и в глубокозалегающем (30–35 м) палеогеновом водоносном горизонте [21]. На полигоне ТПО Бобруйского завода биотехнологий, где ежегодно складывается более 46 тыс. т лигнинных отходов, в подземных водах на глубине 45 м обнаружено высокое содержание ионов Mg²⁺ (77 мг/дм³), Pb²⁺ (0,11 мг/дм³), Fe²⁺ (3,6 мг/дм³), Zn²⁺ (12,5 мг/дм³) [23].

Такая же ситуация наблюдается и в отношении грунтов. Перечень основных веществ, загрязняющих грунты, включает тяжелые металлы, нефтепродукты, водорастворимые соединения – нитраты, сульфаты, хлориды и др. (рис. 5). По обобщенным данным, в Белоруссии только в зонах влияния полигонов ТПО площадь территорий с опасным уровнем загрязнения почв и других грунтов зоны аэрации оценивается в 1,02 тыс. га [11].

При функционировании складских ЭГС помимо загрязнения компонентов геологической подсистемы часто происходит уплотнение и разогрев грунтов, повышается уровень грунтовых вод, что нередко приводит к подтоплению и за-

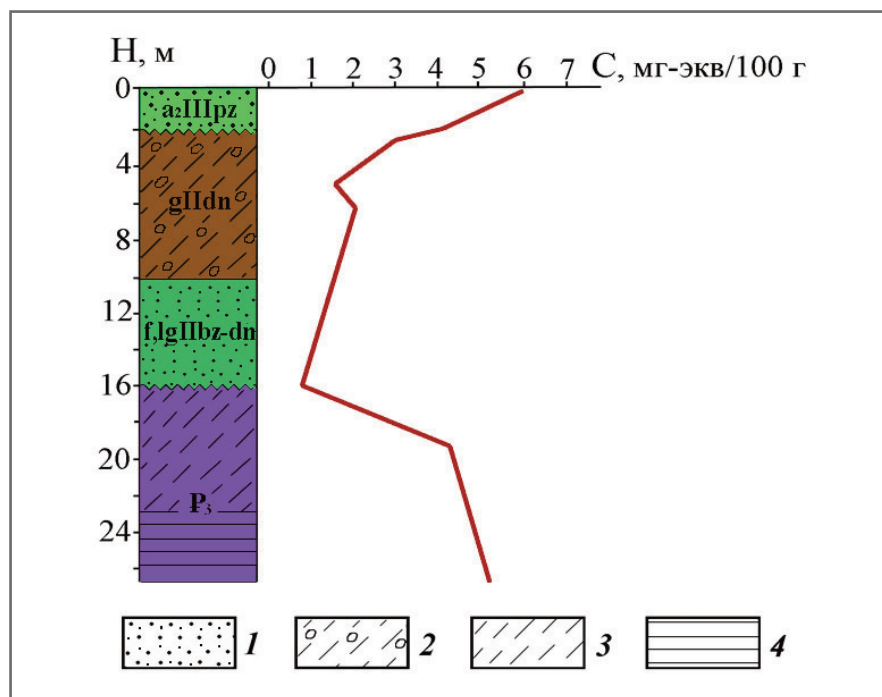


Рис. 5. Распределение концентраций ионов SO_4^{2-} в разрезе поверхностных отложений на участке размещения отвалов фосфогипса Гомельского химзавода. *Стратиграфия и генетические типы отложений:* P_3 – олигоценевые морские отложения; f,lgIIbz-dn – березинско-днепровский водно-ледниковый комплекс; gIIIdn – днепровская морена; a2IIIprz – поозерский аллювий вторых надпойменных террас. *Остальные обозначения:* H – глубина; C – концентрация; 1 – песок разнозернистый; 2 – супесь валунно-галечная (моренная); 3 – супесь пылеватая; 4 – глина (по [11] с изменениями)

болачиванию участков размещения самих ЭГС и прилегающих к ним территорий (см. рис. 4).

Зона техногенного влияния в складских эколого-геологических системах, как и в производственных, может распространяться на глубину в несколько десятков метров и охватывать эксплуатируемые водоносные горизонты.

Отдельного внимания при характеристике литотопов промышленных ЭГС заслуживают массивы техногенных грунтов, возникающих на основе отходов различных отраслей производства, которые становятся компонентами геологической среды, характеризуются большими объемами и занимают значительные площади. К таким массивам относятся отвалы сталеплавильных шлаков Белорусского металлургического завода (БМЗ) в Жлобине, фосфогипса Гомельского химического завода (ГХЗ), лигнина Бобруйского завода биотехнологий.

В настоящее время в отвалах БМЗ накопилось свыше 4,5 млн т *сталеплавильных шлаков*. Ежегодно к ним добавляется примерно по 700 тыс. т. В химическом составе этих шлаков присутствуют (масс. %): кислород (41,4), кальций (19,3), железо (14,6), углерод (8,0), кремний (7,4), марганец (3,2), алюминий (2,6), магний (1,4), кадмий (0,6).

В небольших количествах (менее 1%) в них также содержатся тяжелые металлы: кадмий, цинк, свинец, медь [24].

При естественном охлаждении эти шлаки представляют собой кристаллические камнеподобные образования (см. рис. 3). При охлаждении и затвердевании в них образуются минералы, среди которых преобладают силикаты, присутствуют алюминаты, алюмосиликаты и сульфиды. Их основной фазовой составляющей является двукальциевый силикат ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$).

При остывании и длительном хранении в отвалах шлаки подвергаются физическому и химическому выветриванию. Их физическое выветривание приводит к образованию крупно- и мелкообломочных материалов. Химическое выветривание шлаков и скорость протекающих в них процессов определяются их составом.

Для шлаков БМЗ характерны четыре вида распада: известковый, магнезиальный, марганцевый и железистый.

Известковый и магнезиальный распады шлаков связаны с гидратацией включений свободных оксидов кальция и магния при воздействии атмосферных осадков и колебаний температуры воздуха. Это приводит к увеличению объема («набуханию») шлаков на 18–20%.

Продолжительность указанных процессов зависит от состава шлаков, их прочности, устойчивости структуры, условий гидратации и может колебаться от 2–3 месяцев до 10–12 лет.

Марганцевый и железистый распады происходят в результате взаимодействия закисей марганца и железа с сульфидной серой и образования сульфидов этих металлов, которые во влажной среде переходят в гидраты. Это сопровождается увеличением объема соответственно на 24 и 38%. В результате химического преобразования исходного шлака образуются новые минералы, такие как гидросиликаты, гидроалюминаты, гидроферриты, портландит, брусит, карбонаты и др. [17].

В соответствии с ГОСТ 25100–2011 [25] сталеплавильные шлаки являются щебенистыми грунтами (содержание в них частиц размером более 10 мм превышает 50%). В куске они обладают достаточно высокой прочностью, характерной для скальных грунтов природного происхождения. Их свойства зависят от структурно-текстурных особенностей. В массиве шлаки хорошо поддаются уплотнению, приобретая при этом высокую прочность и малую сжимаемость [17].

Отвалы *фосфогипса* в Белоруссии начали формироваться с 1969 года, когда ГМЗ освоил выпуск фосфорных удобрений на основе апатитовых концентратов (с 2008 года – с добавлением фосфоритовых концентратов). За более чем полувековой срок накопилось свыше 22 млн т фосфогипса на площади 89 га (см. рис. 4). Ежегодно к этому прибавляется более 350 тыс. т [17].

В пересчете на сухое вещество фосфогипс на 97% состоит из сульфата кальция (CaSO_4). В его химический состав входят также CaO , MgO , SO_3 , K_2O , Na_2O , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , P_2O_5 , F , SiO_2 . В зависимости от температуры и концентрации получаемой экстракционной фосфорной кислоты сульфат кальция может образовываться в формах дигидрата ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), полугидрата ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) или безводной соли (CaSO_4).

Минеральный состав фосфогипса ГХЗ (%): $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (97,0–97,2); AlPO_4 и FePO_4 (0,8–1,2); Na_2SiF_6 и K_2SiF_6 (0,5); H_3PO_4 (0,7–0,85), $\text{Ca}_3\text{F}(\text{PO}_4)_3$ и CaF_2 (0,7).

По внешнему виду фосфогипс – это полидисперсный материал серо-белого цвета, представленный агрегатами частиц, комками с межагрегатными пустотами. Он содержит примеси неоргани-

ческих и органических соединений – водорастворимых и водонерастворимых, адсорбированных на поверхности кристаллов. По гранулометрическому составу фосфогипс близок к пылеватому песку (содержание частиц крупнее 0,1 мм составляет менее 75%, а частиц менее 10 мкм – около 40–55%). В отвалах он содержит до 40–50% влаги, и в этом случае при механическом воздействии способен разжижаться с выделением свободной воды и уменьшением объема. Его полная влагоемкость (когда все поры заняты водой) составляет 65–70%, максимальная молекулярная влагоемкость (наименьшая влагоемкость в условиях свободного оттока) – 15–16%, что характеризует способность фосфогипса удерживать влагу силами молекулярного сцепления. Пластическими свойствами он не обладает. Его удельная поверхность составляет 3400–4300 см²/г. Плотность фосфогипса при естественной влажности изменяется от 1,09 до 1,72 г/см³, плотность твердого компонента – от 2,53 до 2,83 г/см³. Угол естественного откоса при влажности, равной 44%, составляет 55°.

Фосфогипс отличается достаточно высокими прочностными показателями: угол внутреннего трения равен 30–34°, удельное сцепление – 0,031–0,042 МПа. Он обладает квазитропными свойствами, способен разжижаться при вибрации, встряхивании или перемешивании. При его уплотнении происходит уменьшение пористости, отжатие или перемещение в нем воды.

По фильтрационной способности фосфогипс близок к супесчаным грунтам. Его коэффициент фильтрации (K_f) зависит от плотности. Свежеотсыпанный фосфогипсовый шлам обладает высокой проницаемостью ($K_f=1,0–3,0$ м/сут). По мере увеличения высоты отвалов нижние слои фосфогипса уплотняются (при высоте отвалов 40–60 м величина дополнительного давления на земную поверхность достигает значений 4–6 МПа), что ведет к снижению их проницаемости. Так, с увеличением плотности с 1,25 до 1,4 г/см³ K_f уменьшается с 1,04 до 0,8 м/сут, а при плотности 1,5 г/см³ K_f достигает 0,47 м/сут. Это предопределяет формирование в техногенных массивах водоносных горизонтов, режим которых в значительной степени будет определять условия устойчивости откосов за счет гидростатических и гидродинамических сил. С увеличением плотности фосфогипса значительно повышаются его прочностные показатели. В рыхлом состоянии он

характеризуется наименьшими значениями удельного сцепления. По результатам штамповых испытаний, модуль деформации фосфогипса в интервале нагрузок 0,05–0,25 МПа составляет 4,0–4,5 МПа [17].

Лигнин – продукт отходов целлюлозно-бумажной промышленности и гидролизного производства. В Белоруссии он долгое время образовывался на двух заводах – в Речице и Бобруйске – и накапливался в отвалах. В настоящее время Речицкий гидролизный завод не функционирует, а на Бобруйском заводе биотехнологий производство значительно сократилось. Тем не менее на объектах складирования (в отвалах) накопилось более 3,4 млн т лигнина, хранящегося не один десяток лет.

Внешне лигнин представляет собой опилкоподобную массу темно-коричневого цвета со специфическим запахом и высокой влажностью (55–70%). В его минеральном составе кроме собственно лигнина (48–72%) присутствуют полисахариды (до 12–30%), смолистые вещества (7–19%), зола (до 9%), редуцирующие вещества (до 10%). Из вредных органических соединений в лигнине установлено присутствие (мг/кг): формальдегида (0,33–5,61, в среднем 3,23); фенолов (14–28, в среднем 20,4); фенантрена (0,011–0,099, в среднем 0,042); метанола (19,7–73,2, в среднем 50,24, причем в отвале до глубины 10 м метанол не обнаружен, а в свежем лигнине его концентрация составляет 93 мг/дм³). Кроме органических соединений в лигнине присутствуют сульфаты, содержание которых колеблется от 4803 до 12 008 мг/кг и в среднем составляет 7235 мг/кг [26].

По физико-химической природе лигнин – это трехфазная полидисперсная система с размерами частиц от нескольких миллиметров до микронов и меньше. Он не обладает связностью и пластичностью. Его физико-механические свойства в значительной степени зависят от состава и влажности. С увеличением влажности с 50 до 60% статическое напряжение сдвигу уменьшается с $0,27 \cdot 10^{-3}$ до $0,06 \cdot 10^{-3}$ МПа. С увеличением количества присутствующих в лигнине трудногидролизуемых полисахаридов плотность частиц повышается с 0,21 до 0,31 г/см³, а предел прочности при сжатии – с 0,03 до 0,09 МПа. По физико-механическим свойствам лигнин близок к заторфованным грунтам с характерной для них высокой сжимаемостью.

Отметим, что рассмотренные выше массивы техногенных грунтов не только

являются источниками формирования литохимических и гидрогеохимических полиэлементных аномалий, характеризующихся широкими ассоциациями элементов-загрязнителей, но и формируют сложные и динамичные эколого-геологические системы, требующие комплексного подхода к оценке и управлению. Их влияние на окружающую среду далеко выходит за рамки простого загрязнения, затрагивая качество почв, поверхностных и подземных вод, а также здоровье населения, проживающего вблизи территорий их размещения.

Особенности техноэдафотона

Почвы, находящиеся в сфере влияния предприятий различных отраслей промышленности (машиностроительной, пищевой, нефтеперерабатывающей, химической и в том числе фармацевтической, деревообрабатывающей, легкой, производства резиновых, пластмассовых изделий и строительных материалов и др.), классифицируются как техногенные и представляют собой измененные человеческой деятельностью земельные ресурсы, в некоторой степени сочетающие в себе признаки почв горнодобывающих и селитебных территорий.

В зависимости от характера дневной поверхности, территории предприятий, особенно крупных, подразделяются на два основных типа – открытые (с частичным озеленением) и закрытые (застроенные и заасфальтированные) (см. рис. 2). На *открытых территориях* выделяют три группы поверхностных почвенно-грунтовых образований – естественно-антропогенные поверхности преобразованные почвы, антропогенные глубоко преобразованные почвы, искусственно созданные почвоподобные (техноземы) и непочвенные (насыпные, намывные и другие техногенные грунты) образования. На заасфальтированных *закрытых территориях* под асфальтобетоном или другим дорожным покрытием формируется особая группа почв – экраноземы, или запечатанные грунты [27].

Антропогенные поверхностно-преобразованные почвы сочетают в себе горизонт, претерпевший нарушения, изменения или добавления материала на глубину менее 50 см, и ненарушенную срединную и нижнюю части профиля. Эти почвы сохраняют типовое название с добавлением первой части слова «техно-» (технодерново-подзолистые, аллювиальные технодерновые и т.д.).

Антропогенные глубоко преобразованные почвы образуют группу,

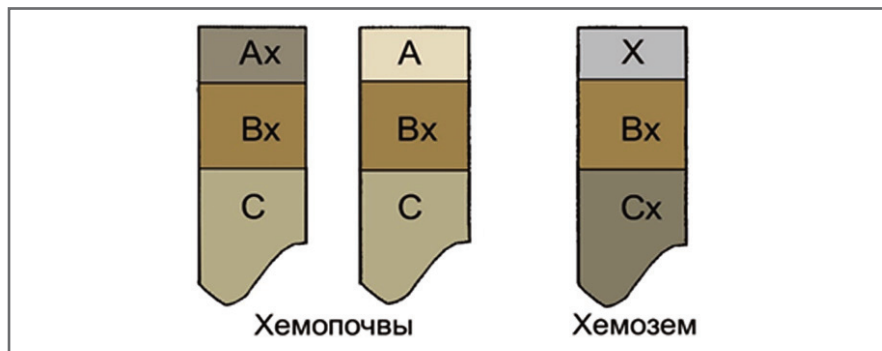


Рис. 6. Схемы строения профилей химически преобразованных почв (нижним индексом «х» обозначены горизонты с признаками видимого химического загрязнения) [27]

включающую: механически (физически) преобразованные почвы; химически преобразованные почвы; почвоподобные тела – техноземы.

Механически (физически) преобразованные почвы близки к урбаноземам, профиль которых состоит из одного или нескольких подгоризонтов разной мощности и качества, образованных из своеобразного пылевато-гумусного субстрата с примесью строительного мусора. Они формируются на грунтах разного происхождения и на культурном слое. Иногда верхний подгоризонт подстилается непроницаемым материалом (асфальтом, фундаментом, бетонными плитами, коммуникациями). Профили механически преобразованных почв характеризуются отсутствием природных генетических горизонтов до глубины 50 см и более.

Химически преобразованные почвы (рис. 6), профиль которых претерпел существенные изменения свойств и строения вследствие интенсивного химического загрязнения (атмосферного и гидрогенного), классифицируются как индустриземы и интруземы. *Индустриземы* (это условный термин, иногда их называют также *поллютоземами*) – это почвы промышленно-коммунальных зон, характеризующиеся экстремально высоким техногенным загрязнением тяжелыми металлами и другими токсикантами, приводящим к деградации почвенного поглощающего комплекса, резкому снижению биоразнообразия и в ряде случаев к абиотичности. Они отличаются уплотнением, бесструктурностью, содержанием более чем 20% токсичного непочвенного материала и частично могут соответствовать хемоземам – техногенным почвам районов добычи полезных ископаемых. *Интруземы* (это условный термин, их также можно назвать *нефтеземами*, *петролеумными почвами*, *ПАУ-почвами*) – это почвы, формирующиеся в ре-

зультате проникновения в них нефтепродуктов (масла, мазута, бензина) вследствие аварийных ситуаций или бесхозяйственных действий человека на автозаправочных станциях, автостоянках и др. Они характеризуются наличием нефтепродуктов на поверхности или в почвенном профиле. Интруземы являются аналогом почв, образующихся при авариях на нефтепромыслах.

Техноземы представляют собой целенаправленно искусственно созданные почвоподобные тела, образующиеся в процессе рекультивации антропогенно трансформированных территорий. Структура их профилей включает один или несколько насыпных слоев, состоящих из природных или техногенных грунтов, общей мощностью более 50 см и поверхностного плодородного слоя. Функционируя как почвы, техноземы, однако, отличаются от них отсутствием генетической взаимосвязи между насыпными слоями и, как следствие, отсутствием системы генетических горизонтов. Несмотря на это, техноземы обладают рядом важных почвенных функций, включая продукционную, сорбционную и водно-миграционную. Как и в профилях природных почв, верхний горизонт техноземов обогащен органическими веществами и представляет собой перегнойный или гумусовый горизонт, полученный из почвы-донора или специально подготовленной плодородной смеси. Техноземы широко распространены в техногенно нарушенных ландшафтах, где реализуются программы биологической рекультивации.

Техногенные грунты промышленного происхождения, не встречающиеся в природе, представлены инертными и токсичными отходами различных производств (шлаками, золами, горелой землей, иловыми осадками и т.д.) и твердыми отходами полигонов. По классификации почв России они частично могут со-

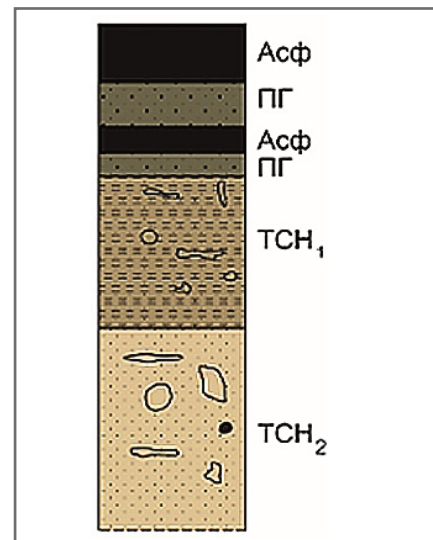


Рис. 7. Морфологическое строение экраноземов, развитых в промышленных зонах (Асф – асфальтобетон, ПГ – песчано-гравийная подушка; ТСН – техногенный перемешанный грунт) [28]

ответствовать ТПО, группам артификакатов и токсифабрикатов.

Экраноземы (это условный термин, их также называют *экранированными почвами*, *запечатанными почвами* – *sealed soils*) – отдельная группа почв, находящихся под дорожными асфальтобетонными покрытиями (рис. 7). Они существенно уплотнены, в них изменены водный, тепловой и газовый режимы, микробиота функционирует в основном по анаэробному типу, не происходит поступления веществ извне, при укладке покрытия могла быть разрушена верхняя часть профиля. При дорожном строительстве часто производят полное срезание почвенного профиля до нижележащих грунтов и/или последующее наложение на них нового материала и дорожного покрытия. В этом случае выделяется группа *запечатанных грунтов*.

Особенности биотических компонентов промышленных ЭГС

Особенности техномикробоценоза

В состав техномикробоценозов промышленных эколого-геологических систем, как и других ЭГС, входят различные группы микроорганизмов, включая простейших, низшие водоросли, низшие грибы и бактерии (в том числе актиномицеты). Наибольшая их часть обитает в почве, где они играют важную роль в поддержании экосистемных процессов и биогеохимических циклов. Однако, несмотря на их значимость, на территории Белоруссии практически не исследовано

микробное разнообразие, характерное для анализируемых ЭГС. Это до некоторой степени затрудняет осмысление воздействий антропогенных факторов, связанных с работой предприятий различных отраслей промышленности, на микробное разнообразие и функциональные возможности почвенных экосистем. Вместе с тем исследования, проведенные Ю.М. Бачурой, Г.А. Заварзиным, М.А. Канискиным, А.Е. Кузнецовым, Т.А. Семеновой, В.А. Тереховой, О.М. Храменковой и другими [29–31 и др.], дали ценную информацию для характеристики микробных сообществ в контексте функционирования промышленных ЭГС на территории Белоруссии, особенно для массивов техногенных грунтов складских эколого-геологических систем.

Например, Ю.М. Бачурой и О.М. Храменковой в 2006–2008 годах был изучен видовой и/или родовой состав почвенных водорослей на *отвалах фосфогипса* ГМЗ [29]. Причем эти авторы проводили исследования на участках отвалов следующих категорий:

I – свежие отвалы (ФI): с полным отсутствием высших растений;

II – отвалы среднего возраста: без растений (ФIIa); с наличием мохового покрова (ФIIб); с травянистыми растениями и мхами (ФIIв);

III – старые отвалы с травянистыми и древесными растениями (ФIII), а также прилегающие к ним территории вдоль дороги между отвалами фосфогипса (ПФ1) и в лесу напротив свежего отвала фосфогипса (ПФ2) с травянистыми и древесными растениями.

На всех изученных участках были выявлены представители родов *Chlamydomonas* и *Chlorella*. Водоросли родов *Phormidium*, *Leptolyngbya*, *Chlorococcum*, *Scotiellopsis* и *Pseudococcomyxa* встречались практически повсюду. Однако представители родов *Phormidium* и *Leptolyngbya* не были зафиксированы на свежих и средневозрастных отвалах фосфогипса, а роды *Chlorococcum* и *Scotiellopsis* отсутствовали на средневозрастных отвалах (без растений и со мхами). Как было установлено ранее [32], эти водоросли отличаются широким диапазоном распространения и благодаря ряду своих морфологических и физиологических особенностей способны существовать в крайне неблагоприятных условиях.

Для развития диатомовых водорослей (*Bacillariophyta*) экологические условия отвалов фосфогипса оказались непригодными.

Распространение других родов водорослей было тесно связано с возрастом

отвала и, вероятно, с химическим составом субстрата. Представители рода *Merismopedia* предпочитала средневозрастные отвалы, а *Synechocystis salina* – более зрелые отвалы и прилегающие территории, где вымывание анионов из почв создавало более благоприятные условия. Зеленые водоросли (*Chlorophyta*) оказались наиболее устойчивыми и доминировали на всех участках, в то время как желто-зеленые водоросли (*Xanthophyceae*) были представлены слабо.

Наибольшее разнообразие водорослей наблюдалось в зоне вдоль дороги между отвалами, что может быть связано с промежуточными условиями.

А наиболее экстремальные условия на свежих и средневозрастных отвалах ограничивали развитие альгогруппировок [29].

Определенные закономерности в особенностях обитания микроорганизмов на отвалах фосфогипса можно также наблюдать и по отношению к другим видам микробных сообществ. М.А. Канискин и его коллеги [31] выявили изменения в сообществах микроскопических грибов (микромикетов) на участках, расположенных на разных расстояниях от отвалов фосфогипса. Эти авторы показали, что биогенные элементы, несмотря на их большое количество в фосфогипсе, не способствуют нейтрализации его токсических свойств. Влияние фосфогипса на общее количество и структуру микромикетных сообществ, представленных главным образом пенициллами, проявляется нечетко и может выражаться в стимуляции роста одних видов рода *Penicillium*, подавлении других и практически отсутствии влияния на третьи. В то же время различия в морфобиологической структуре микробиоты на разных расстояниях от отвалов фосфогипса проявляются достаточно четко. Ближе к отвалам наблюдается значительное увеличение доли споровой биомассы из-за воздействия фосфогипса [31].

Микроорганизмы играют важную роль в переработке *лигниновых отвалов*, которые образуются как побочный продукт на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности и на гидролизных заводах. На этих отвалах формируются сложные экосистемы, в которых микроорганизмы берут на себя роль ключевых переработчиков органических соединений. Исследования [30] показывают, что ведущую роль в разложении лигнина играют аэробные базидиомицеты. Биодеградация лигнина – это окислительный процесс, осуществ-

ляемый в первую очередь грибами – возбудителями белой гнили (например, базидиомицетами вида *Phanerochaete chrysosporium*). Они разрушают лигнин с образованием почти белой легкометаболизируемой массы, состоящей из целлюлозы и гемицеллюлозы. Большинство представителей этой группы грибов являются сапротрофными, но некоторые (например, *Armillaria mellea*) известны как фитопатогенные. Частично разлагают лигнин актиномицеты рода *Streptomyces*, бактерии родов *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Nocardia*, *Pseudomonas*. Процесс разложения происходит при участии таких ферментов, как пероксидазы, лигниназы, которые катализируют восстановление пероксида водорода с образованием в качестве промежуточных продуктов высокореакционноспособных кислородных радикалов.

Ключевую роль играют микроорганизмы и в очистке почв и других грунтов, загрязненных *нефтью и нефтепродуктами (НП)*. В условиях, когда обычная почвенная жизнь подавлена, именно микроорганизмы становятся основными агентами разложения этих загрязнителей. Разложение углеводов в почве происходит благодаря углеводородокисляющим микроорганизмам. Они способны использовать углеводороды в качестве источника энергии и строительного материала, окисляя их до углекислого газа и воды либо преобразуя их с образованием соединений, доступных для других микроорганизмов. Установлено, что разложение нефти и НП в почве осуществляется местными (аборигенными) углеводородокисляющими микроорганизмами, имеющими широкое распространение практически во всех природных зонах [33]. Эффективное разложение сложной смеси нефтепродуктов требует участия целого сообщества микроорганизмов.

Углеводородокисляющие микроорганизмы обладают необходимыми ферментами (оксигеназами), способностью поглощать гидрофобные вещества и выделять биоэмульгаторы. Характерной особенностью этих микроорганизмов является наличие углеводородных включений в их цитоплазме.

В процессе окисления нефтяных углеводов участвуют различные группы микроорганизмов, включая: бактерии (22 рода); мицелиальные (плесневые) грибы (24 рода); такие одноклеточные грибы, как дрожжи (19 родов); зеленые микроводоросли (например, *Chlamydomonas*, *Chlorella*); жгутиковых простейших (например, *Euglena*).



Рис. 8. Сорно-рудеральная растительность на отвалах лигнина на полигоне «Деражня» Речицкого гидролизного завода (фото А.Н. Галкина)

Некоторые виды бактерий, такие как *Bacillus cereus*, *Staphylococcus xylosus* и *Pseudomonas aeruginosa*, производят биоэмульгаторы, которые облегчают окисление нефти и НП. Коринеформные бактерии, содержащие ненасыщенные миколовые кислоты, способны усваивать углеводороды даже при низких температурах [34].

В деградации нефти также участвуют грибы родов *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Beauveria*, *Absidia*, *Mortierella*, *Mucor*, *Penicillium*, *Candida*, *Dabayomyces*, *Leucosporidium*, *Lodderomyces*, *Metschnikowia*, *Pichia*, *Rhodospiridium*, *Rhodotorula*, *Saccharomycopsis*, *Schwanniomyces*, *Selenotila*, *Sporidiobolus*, *Sporobolomyces*, *Torulopsis*, *Trichosporon* [35].

Рассматривая техномикробоценоз производственной эколого-геологической системы, который, как и у большинства техногенных ЭГС, представлен простейшими, низшими водорослями, низшими грибами и бактериями (в том числе актиномицетами), следует отметить, что в условиях функционирования данной экогеосистемы может создаваться благоприятная среда для развития патогенных микроорганизмов (бактерий и грибов), которые быстро адаптируются к особым почвенным условиям (со слабощелочной средой, наличием техногенных загрязнителей, повышенной температурой и т.д.), и вытесняют собственную микрофлору почвы.

Кроме того, производственные процессы часто приводят к увеличению концентрации тяжелых металлов в почве, что, в свою очередь, изменяет состав микробного сообщества. Например, длительное поступление в почву свинца и меди вызывает значительные изменения в группах и видах микроорганизмов. В таких условиях начинают

доминировать те микроорганизмы, которые обладают способностью противостоять токсичному воздействию тяжелых металлов. Это связано с их умением преобразовывать тяжелые металлы в менее опасные формы или использовать их в своих метаболических процессах. Гены, отвечающие за устойчивость к токсичным металлам, локализованы в плазмидной ДНК бактерий и могут передаваться между близкородственными их видами, что способствует распространению устойчивости в микробных популяциях [36].

Таким образом, техномикробоценоз производственной ЭГС – это сложный и динамичный комплекс, в котором антропогенное воздействие становится мощным фактором эволюции микроорганизмов. Адаптация к экстремальным условиям, вызванным техногенным загрязнением, приводит к формированию уникальных микробных сообществ, обладающих специфическими свойствами.

Особенности технофитоценоза

Фитоценозы промышленных территорий в большинстве своем являются довольно специфическими и часто деградированными растительными сообществами. Они формируются под влиянием целого комплекса негативных факторов, связанных с производственной деятельностью человека. В таких фитоценозах можно встретить:

1) обедненный видовой состав (многие виды растений просто не выдерживают загрязнения почвы и воздуха, поэтому остаются только самые устойчивые и неприхотливые);

2) преобладание сорных растений (на промышленных территориях часто доминируют сорняки, которые быстро

размножаются и хорошо приспосабливаются к неблагоприятным условиям);

3) измененную структуру сообщества (нарушается естественное соотношение между разными видами растений, что приводит к упрощению экосистемы);

4) замедленный рост и развитие (растения на загрязненных территориях часто отстают в росте и развитии, имеют меньшую биомассу и сниженную репродуктивную способность);

5) накопление токсичных веществ (растения могут накапливать в своих тканях тяжелые металлы и другие загрязнители, что делает их опасными для животных и человека).

Тем не менее следует отметить, что фитоценозы на промышленно освоенных территориях не всегда характеризуются сильной деградацией. В ряде случаев благодаря рекультивационным работам и созданию благоприятных условий существует возможность восстановить растительность и сформировать более устойчивые и разнообразные растительные сообщества.

Помимо сказанного следует подчеркнуть, что состояние и характеристики фитоценозов промышленных территорий сильно варьируют в зависимости от типа производства, возраста предприятия, применяемых технологий и, конечно, от проводимых мероприятий по охране окружающей среды. Например, фитоценозы вокруг металлургического комбината и вокруг нефтехимического завода будут существенно отличаться друг от друга.

Важным фактором является и возраст предприятия. На территориях давно заброшенных промышленных объектов может происходить постепенное самовосстановление растительного по-

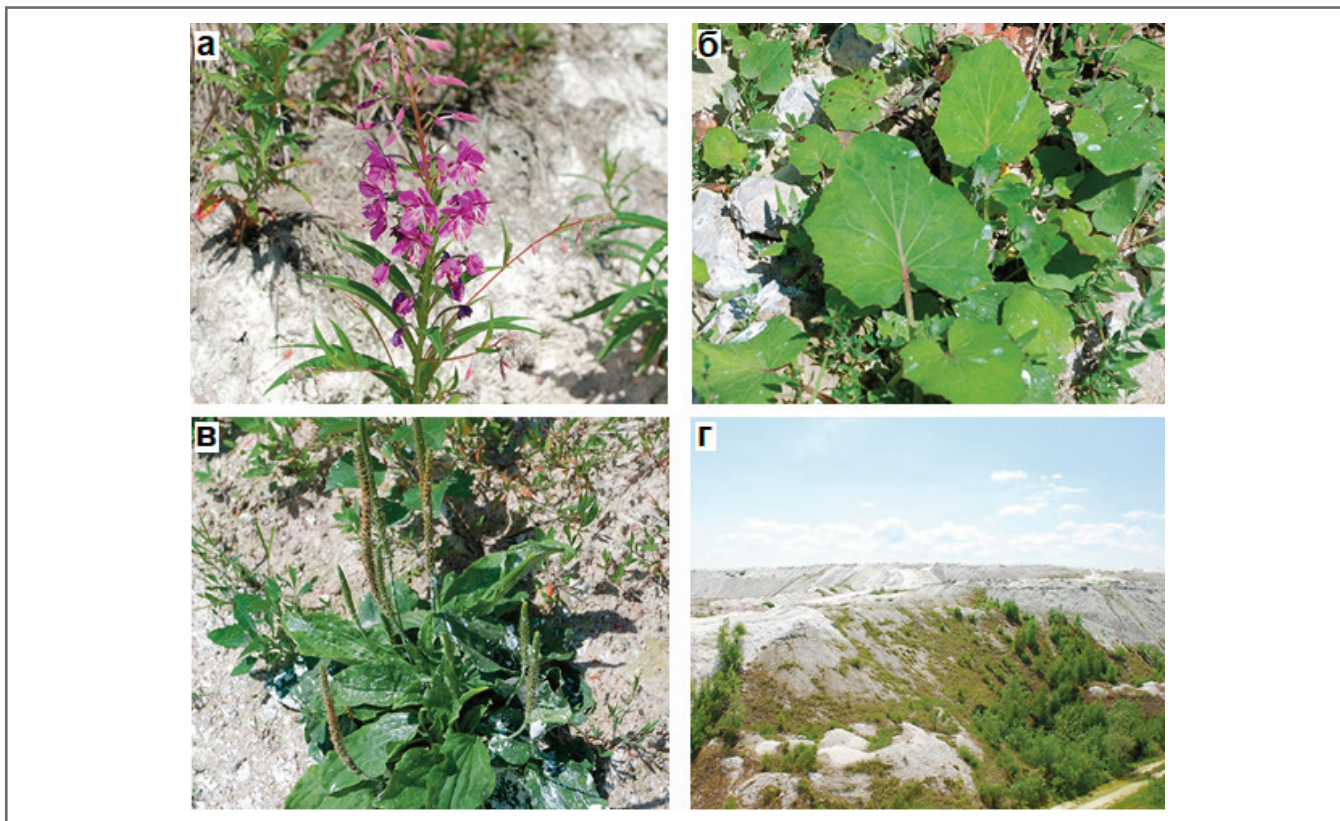


Рис. 9. Травянистые растения на отвалах фосфогипса и характер образования растительного покрова на них: а – иван-чай (*Chamerion angustifolium*); б – мать-и-мачеха (*Tussilag farfara*); в – подорожник большой (*Plantago major*); г – обрастание травянистыми и древесно-кустарниковыми растениями нижних и средних участков вогнутой поверхности склона отвала [37]

крова. Этот процесс, однако, часто идет очень медленно и может осложняться высокой степенью загрязнения почвы и отсутствием в ней необходимых питательных веществ. В таких случаях даже устойчивые виды растений могут испытывать серьезный стресс, что проявляется в изменениях их морфологических и физиологических характеристик.

С другой стороны, на современных предприятиях, где применяются более экологичные технологии и регулярно проводятся мероприятия по очистке территорий, фитоценозы могут быть более разнообразными и устойчивыми. Там можно встретить не только сорные растения, но и некоторые виды луговых трав и даже кустарников. Однако даже в таких случаях видовой состав растений остается обедненным по сравнению с естественными экосистемами.

Особое внимание следует уделять тому, как растения адаптируются к условиям загрязнения. Некоторые из них способны накапливать тяжелые металлы, не испытывая на себе негативных последствий, в то время как другие вырабатывают защитные механизмы против токсичных веществ. Например, на отвалах лигнина на полигоне «Деражня» Речицкого гидролизного завода, образовавшихся в 1971–

2000 годах на площади 13 га и имеющих общую массу около 1 млн т, можно встретить такие сорные виды, как лебеда обыкновенная (*Chenopodium album*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa pastiris*), одуванчик обыкновенный (*Taraxacum officinale*), лопух большой (*Arctium lappa*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*) и др. (рис. 8).

Важным аспектом, который следует учитывать при анализе фитоценозов на промышленных территориях, особенно на полигонах складирования ТПО, является влияние окружающей среды на биологическое разнообразие. В условиях загрязнения, вызванного наличием в отходах вредных веществ, многие виды растений могут не только исчезать, но и трансформироваться, адаптируясь к новым условиям с образованием специфических сообществ.

Кроме того, стоит отметить, что на восстановление растительности на площадках складирования промышленных отходов могут оказывать влияние не только химические, но и физические факторы. Например, не только уровень кислотности, но и структура почвенного субстрата, его плотность и другие показатели могут существенно влиять на

прорастание семян и развитие корневых систем растений.

Показательным примером в этом отношении являются отвалы фосфогипса Гомельского химзавода. Здесь растения заселяют поверхность фосфогипса повсеместно. Происходит самозарастание преимущественно травянистыми видами. Общее проективное покрытие в местах образования растительного покрова составляет от 6 до 60% (рис. 9). Интенсивнее обрастают нижние и средние части склонов и их подножия, менее подверженные внешним воздействиям (проходам техники, подсыпке и уплотнению фосфогипса, ветру). Активно заселяются вогнутые участки поверхности и трещины, защищенные от ветра (см. рис. 9, г), удобные для закрепления семян и проростков.

Согласно исследованиям А.П. Гусева [38], восстановление экосистем на территории ГХЗ происходит поэтапно – за три последовательные стадии сукцессии.

На первой стадии в наиболее увлажненных местах, обогащенных мелкоземом и изначально лишенных растительности, поселяются виды растений, семена которых привносятся в отвальный комплекс из смежных экосистем. Для этой стадии характерны слабо развитый растительный покров, отсутствие под-

стилочного горизонта, низкое видовое разнообразие, слабое естественное возобновление древесно-кустарниковых видов. На приотвальных участках в растительном сообществе доминируют два вида – вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*), доля в покрытии 44,4%, встречаемость 85%) и иван-чай (*Chamerion angustifolium*, 50 и 90% соответственно) (см. рис. 9, а). Естественно возобновляющиеся древесные породы представлены березой повислой (*Betula pendula*), сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*), тополем дрожащим, или осиной (*Populus tremula*), ивами (видами рода *Salix*). Плотность их произрастания составляет от 200 до 3500 экз./га, из которых более 90% имеют высоту ниже 1 м. На склонах отвалов растительность отмечается только в самой нижней части (1/10) и характеризуется весьма низкой численностью естественного возобновления и слабым развитием травяного покрова, который формируется вейником наземным и иван-чаем.

На второй стадии наблюдается двукратное увеличение проективного покрытия травяного яруса и 2,7-кратный рост численности естественного возобновления. В отдельных местах образуется маломощная подстилка. В сообществах приотвальных участков все еще преобладают иван-чай (доля в покрытии 34,0%, встречаемость 95%) и вейник наземный (45,4 и 50% соответственно), однако начинают появляться костёр кровельный (*Bromus tectorum*), скерда кровельная (*Cerepis tectorum*) и ряд других видов. Увеличивается видовое разнообразие древесной и кустарниковой растительности (см. рис. 9, г). На склонах отвалов естественно возобновившаяся численность колеблется от 100 до 5000 экз./га (91,5% – ниже 1 м). По сравнению с первой стадией, видовое разнообразие растений возрастает в 2,9 раза. Травяной ярус имеет покрытие от 5 до 50% и складывается из тех же видов – вейника наземного, иван-чая и костра кровельного.

На третьей стадии развития растительности появляется прерывистый древесно-кустарниковый ярус. Молодые деревья и кустарники высотой от 1 до 2 м составляют 26% от общего числа, а более высокие (выше 2 м) – 8,8%. На участках, прилегающих к отвалам, в травяном покрове доминируют вейник наземный (встречаемость 23,2%, покрытие 70%), иван-чай (12,7 и 85% соответственно), скерда кровельная (5,4 и 25% соответственно), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*), костёр кро-

вельный. Также встречаются горошек мышиный (*Vicia crassa*), полынь обыкновенная (*Aztemisia vulgaris*), подорожник (*Plantago*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), мать-и-мачеха (*Tussilag farfaga*) (см. рис. 9, а–в). На склонах отвалов плотность подраста варьирует от 100 до 5400 экз./га (28,9% – выше 1 м). По сравнению со второй стадией разнообразие древесно-кустарниковых видов увеличивается в 1,3 раза. Травяной покров практически полностью предотвращает водную эрозию [38].

А.П. Гусевым [38] также было установлено, что скорость и характер сукцессионных процессов на разных участках отвалов фосфогипса варьируют в зависимости от их расположения. Наиболее интенсивное заселение растениями наблюдается у подножий склонов, что обусловлено оптимальными гидрологическими условиями и небольшой мощностью фосфогипса (5–50 см) над погребенными почвами. Такие участки характеризуются более ранним появлением на них растительности, а также более высокими показателями численности естественного возобновления (в 5,2; 2,5 и 2,0 раза на первой, второй и третьей стадиях соответственно), проективного покрытия травяного яруса (в 2,5; 1,2 и 1,1 раза соответственно) и видового разнообразия по сравнению со склоновыми участками. На вершинах же отвалов сукцессия протекает наиболее медленно, а растительный покров, формирующийся там лишь на третьей стадии, характеризуется минимальными значениями численности подраста, проективного покрытия травяного яруса, видового разнообразия и мощности подстилочного горизонта. По мере развития сукцессионных процессов различия в скорости сукцессии между подножием и склонами уменьшаются.

Особенности технозооценоза

Состав технозооценозов изучаемых ЭГС представлен как беспозвоночными, так и позвоночными животными и во многом обусловлен особенностями производственных процессов, а также характеристиками соответствующих литотопов, эдафотопов и фитоценозов.

Несмотря на то что беспозвоночные животные составляют наиболее многочисленные и разнообразные группы фауны в этих ЭГС, их изучение пока не получило должного внимания. Информация о воздействии промышленных объектов на почвенных беспозвоночных носит в основном фрагментарный харак-

тер, за исключением работ Э.И. Хотько [39, 40], в которых подробно проанализировано влияние выбросов предприятий нефтеперерабатывающей промышленности и заводов минеральных удобрений на почвенных беспозвоночных хвойных и лиственных лесов.

Например, этот автор [39, 40], исследуя дубовые леса в окрестностях Мозырского нефтеперерабатывающего завода, обнаружил в дубравах, подвергшихся влиянию промышленных выбросов, 70 видов беспозвоночных, из них: 27 видов жуелиц; 15 – стафилинид; 8 – пластинчатоусых; 8 – щелкунов; 5 – долгоносиков; 4 – дождевых червей; 2 – диплопод; 1 – мягкотелок. Численное разнообразие беспозвоночных в контрольных (не подвергавшихся загрязнению) и в загрязненных дубравах существенно не различалось (в контрольных – 51 вид, в загрязненных – 54 вида). Причем 50% видов присутствовали в обоих этих типах дубрав, то есть общими оказались 35 видов, из которых наибольшее соответствие было зафиксировано для дождевых червей, долгоносиков и щелкунов (100 и 66,7% соответственно).

Наблюдались различия в численности отдельных видов. В загрязненных дубравах было зарегистрировано 19 новых видов (27,1% от общего числа), которые не были встречены на контрольных участках. Большинство из этих видов (63,2%) являются типичными обитателями лесов (41,7% из них характерны для дубрав с кисличником). Меньшая часть (21,1%) относится к полевым обитателям и очень небольшая часть (по 5,3%) – к видам, распространенным на лугах и болотах. Вместе с тем 16 видов были обнаружены исключительно в контрольных дубравах с кисличником: 8 видов жуелиц; 6 – стафилинидов; 1 – мягкотелок; 1 – щелкунов. Основная часть из них (81,2%) относилась к лесным видам, 30,8% из которых были типичны для дубрав с кисличником, а полевых и лугово-лесных видов среди них было немного (12,5 и 6,3% соответственно).

В контрольных и загрязненных дубравах наблюдалась примерно одинаковая численность для 15 видов (21,4%). В то же время для 13 видов (18,6%) было обнаружено незначительное снижение численности в загрязненных зонах, в том числе для жуелиц (4 видов), стафилинидов (3), щелкунов (2), долгоносиков (2), дождевых червей (1) и пластинчатоусых (1). Из этих видов 69,2% являются представителями лесной фауны, 15,4% – полевой, 7,7% – лугово-

лесной, 7,7% – лугово-полевой. Четыре обнаруженных вида (*Carabus glabratus*, *Geostiba circellaris*, *Ectinus aterrimus*, *Curculio glandium*) типичны для дубрав с кисличником и составляют 44,4% от общего количества беспозвоночных, обитающих в лесах.

Было выявлено, что за счет загрязнения на 7–10% увеличилась численность некоторых видов (*Aporrectodea rosea*, *Geotrupes stercorarius*, *Melolontha melolontha*, *Agrypnus murinus*), которые преимущественно характерны для данного типа дубрав, в то время как другие виды встречаются в различных лесных экосистемах.

Общее количество почвенных беспозвоночных из-за загрязнения снизилось на 32,1% из-за уменьшения численности ктырей, дождевых червей и стафилинидов. В то же время число пластинчатоусых и бекасиц выросло на 67 и 53,1% соответственно. Под воздействием промышленных выбросов изменились 55,6% групп всех беспозвоночных. При этом общая зоомасса беспозвоночных как в контрольных, так и в загрязненных дубравах кисличных оказалась на одинаковом уровне, хотя внутри отдельных групп наблюдались значительные колебания, особенно для ктырей (зоомасса которых при загрязнении снизилась на 73,3%) и двупарноногих многоножек (зоомасса которых уменьшилась на 90,2%). Для других групп беспозвоночных изменения в зоомассе были менее заметными.

В загрязненных дубравах наблюдалось небольшое увеличение числа космополитных, голарктических и европейских видов и незначительное снижение количества транспалеарктических и европейско-сибирских видов. Индексы видового разнообразия в загрязненных дубравах кисличных остались прежними, однако уровень выравненности немного упал. Разнообразие экологических групп там выросло с 4 до 6, появились эврибионтная и болотная группы. Изменения коснулись видов двух экологических групп: у полевой группы численность увеличилась, у лесной – уменьшилась. Число видов, специфичных для таких дубрав, было сравнительно небольшим: в контрольных дубравах было встречено 3 вида (пластинчатоусых), в загрязненных – 4 (2 вида жуужелиц, 1 вид стафилинидов, 1 вид мягкотелок).

Плотность функциональных групп в дубравах кисличных под воздействием выбросов нефтеперерабатывающей промышленности, как правило, снижалась, особенно для фитофагов и сапрофагов.

Обилие зоофагов составило 59,6% от контрольного уровня, в то время как численность миксофитофагов увеличилась в 2 раза. Отношение численности зоофагов к численности других функциональных групп в загрязненных дубравах снизилось с 0,5 до 0,4. Отношение их зоомассы к зоомассе других функциональных групп также уменьшилось (с 0,2 до 0,1). Изменения зоомассы функциональных групп под влиянием промышленных выбросов были аналогичны изменениям их численности, за исключением зоомассы сапрофагов, которая увеличилась в 1,9 раза.

Не меньший интерес представляют результаты исследований Э.И. Хотько [39, 40] в отношении березовых лесов, расположенных в зоне действия выбросов ОАО «Азот», комбината стройматериалов, ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 города Гродно. Основными загрязнителями там являются (в порядке убывания токсичности): сернистый ангидрид, неорганическая пыль, аммиак, окись углерода, серная кислота. Свой вклад в загрязнение окружающей среды вносит также производство капролактама с выбрасыванием циклогексана, циклогексанола, циклогексанона и паров капролактама.

Вблизи источников загрязнений в березняках, особенно в черничных и мшистых, наблюдалось увеличение кислотности всех слоев почвы [39, 40]. Выросло содержание подвижной формы фосфора и нитратного азота, на глубине 5–10 и 10–30 см повысилось содержание общего и аммиачного азота, катионов магния и кальция. В березняках рядом с источниками загрязнений активно разрослись азотоллюбивые растения, особенно сорняки, что способствовало увеличению разнообразия почвенной фауны.

Среди беспозвоночных в березняках разных типов преобладали дождевые черви, долгоносики, щелкуны, стафилиниды и жуужелицы. Дождевые черви были в основном представлены видом *Dendrobaena octaedra*. Их численность в загрязненных березняках иногда достигала 46% от общего числа беспозвоночных, что было значительно выше, чем в контрольных березняках.

В почвах березняков было обнаружено 9 видов долгоносиков. Их численность в загрязненных березняках превышала контрольные значения в 1,8 раза. Сходство видов долгоносиков в этих двух средах составило 55,6%, общими оказались 5 видов. Число видов долгоносиков под воздействием загрязнения увеличилось. При этом выросло количе-

ство европейско-сибирских и транспалеарктических видов, в то время как число голарктических видов осталось тем же.

Количество экологических группировок в загрязненных березняках также не изменилось. Число видов лесной экологической группы увеличилось в 2 раза. Выросли индексы видового разнообразия долгоносиков. Увеличились и показатели выравненности, то есть количественно виды стали более равномерно распределенными. При этом сформировались более крупные их агрегации, которые были распределены случайно или регулярно.

Видовой состав щелкунов в почвах как контрольных, так и загрязненных березняков был представлен 9 видами. Общими оказались 6 видов (совпадение составило 66,7%). Однако доминирующие виды были разными. В загрязненных березняках: увеличилось количество видов щелкунов, в том числе появились новые виды (*Melanotus erythropus*, *Athous haemorrhoidalis* и *Selatosomus latus*); выросло число видов, приуроченных именно к этим березнякам; незначительно увеличилось количество европейско-азиатских и голарктических видов, а также видов лесной экологической группы; количество редких видов снизилось; индексы видового разнообразия увеличились; количественное распределение видов было довольно равномерным; мелкие агрегации щелкунов исчезли и их особи были распределены случайно. Кривая доминантной структуры щелкунов для загрязненных березняков прошла значительно выше контрольной кривой. Это свидетельствовало о том, что численность доминантных видов щелкунов в загрязненных березняках была значительно выше, чем в ненарушенных.

Общее количество видов стафилинидов под влиянием промышленных выбросов увеличилось в 1,6 раза. Число их видов, приуроченных только к загрязненным березнякам выросло в 7 раз, количество редких видов – в 1,4 раза. Сходство видового состава в контрольных и загрязненных березняках не превышало 37,9% (общими оказались 25 видов из 66).

Под влиянием загрязнения увеличилось количество видов всех зоогеографических элементов, присутствовавших в контрольных биогеоценозах, появились широко распространенные космополитные виды, значительно выросли доли видов лесной и полевой экологических групп (в 1,6 и 2,7 раза соответственно), исчезли виды болотной группировки, численность видов эври-

бионтной, лугово-лесной и лугово-болотной групп не изменилась.

Индексы видового разнообразия стафилинидов при загрязнении увеличились в черничных и мшистых березняках, что было обусловлено возрастанием количества их видов и уменьшением численности доминантных видов. Вырос и показатель выравненности, то есть количественное распределение видов стало более равномерным. Расположение кривой доминантной структуры стафилинидов в загрязненных березняках указало на ее более высокую информативность по сравнению с кривой для этой группы насекомых в контрольных березняках. Структура стафилинидов в березняках при загрязнении улучшилась: сократилось количество «геометрических» классов (произошло выравнивание линии, отображавшей кумулятивный процент обилия стафилинидов). Особи стафилинидов в основном распределялись случайно. Только в отдельных загрязненных березняках мшистых могли образовываться их мелкие скопления (на участках площадью примерно 4 м²)

В почвах березняков было выявлено 54 вида жуков. Количество видов при загрязнении осталось примерно таким же, но их состав и численные соотношения изменились. Видовой состав совпал с контрольным менее чем на 50% (общими оказались 25 видов). Комплекс доминирующих видов в контрольных березняках включал *Pterostichus melanarius*, *Carabus hortensis*, *Pt. niger*, *Pt. oblongopunctatus*, *C. arvensis*, в загрязненных – *Pt. melanarius*, *Calathus micropterus*, *Oxytelaphus obscurus*, *Pt. niger*, *Pt. oblongopunctatus*. Количество видов, приуроченных только к этим биогеоценозам, при загрязнении уменьшилось в 2 раза. Незначительно снизилось количество европейских и транспалеарктических видов, увеличилось число европейско-сибирских, голарктических, европейско-арктических и европейско-средиземноморских видов. Количество экологических группировок уменьшилось с 8 до 6. Лугово-болотные и болотные группы исчезли. Количество видов в лесной, лугово-полевой и полевой экологических группах несколько выросло, в лугово-лесной и луговой – незначительно снизилось, в эврибионтной – осталось прежним.

При загрязнении почв березняков достоверно снизились индексы видового разнообразия жуков и значения выравненности; появились виды с очень высокой численностью, однако количество их стало меньше, то есть доминантная структура для жуков в кон-

трольных березняках была более информативной. Линия, характеризующая структуру сообществ жуков, при загрязнении стала ломаной, то есть выросло количество «геометрических» классов. Размещение особей жуков по площади носило случайный характер, но на небольших площадях они образовывали агрегации [39, 40].

Особый интерес представляют результаты фаунистических исследований А.П. Гусева [38], который проанализировал сукцессионные процессы в отвалах фосфогипса ГХЗ. В частности, изучение населения беспозвоночных в подстилочном горизонте показало следующее. В ходе сукцессии наблюдалось появление и постепенное увеличение численности и биомассы этих животных. Уже на второй стадии в подстилке появились паукообразные, муравьи, низшие бескрылые, жуки. Биомасса мезофауны колебалась в пределах 0–180 мг/м² (в среднем составляя 85,6 мг/м²); численность – в пределах 0–88 экз./м² (в среднем составляя 34,0 экз./м²). Основная часть биомассы складывалась из муравьев (50,5%), личинок насекомых (35,1%) и паукообразных (8,4%). В экологической структуре преобладали хищники (59,0% биомассы) и сапрофаги (35,0%).

На третьей стадии, по сравнению со второй, общая численность беспозвоночных выросла в 2,6 раза, число видов – в 2,5 раза. Биомасса колебалась в пределах 104–332 мг/м², в среднем составляя 272,0 мг/м² (биомасса личинок насекомых была равна 49,5%; муравьев – 25,9%; жуков – 5,3%). В экологической структуре доминирование перешло к группе сапрофагов, которые стали составлять 55,0% биомассы.

Все учтенные представители беспозвоночных обитали в подстилочном горизонте, а в слое фосфогипса (на глубине обследования 5 см) они отсутствовали даже на третьей стадии. Это указывает на то, что процесс почвообразования находился только на начальном этапе и фиксировался только по специфической коре выветривания, сформировавшейся на фосфогипсовом субстрате. Слой сильновыветрелого фосфогипса на третьей стадии имел мощность около 1 см, а мощность слоя фосфогипса, подверженного изменениям (которые диагностировались по изменению его окраски и другим визуальным признакам), составляла в местах наличия растительности 5–10 см [38].

Среди позвоночных животных, экологически связанных с промышленными ЭГС на территории Белоруссии, выде-

ляют многих представителей их основных групп. Здесь обитают рептилии, птицы и млекопитающие. Например, из рептилий здесь можно встретить прыткую ящерицу (*Lacerta agilis*). А среди птиц особенно часто встречаются воробьинообразные (*Passeriformes*), врановые (*Corvidae*) и чайковые (*Laridae*). Разнообразие птиц, впрочем, не ограничивается этими группами. В зависимости от типа промышленного объекта и окружающего ландшафта, там можно встретить и хищных птиц, таких как пустельга или канюк, использующих для обзора и гнездования в том числе высокие здания и сооружения. Водоемы, образовавшиеся в результате промышленной деятельности человека, привлекают водоплавающих птиц, например крякв и лысух.

Что касается млекопитающих, то в промышленных зонах страны можно встретить как мелких грызунов, таких как полевки и мыши, так и более крупных животных. Заброшенные здания и склады становятся убежищами для летучих мышей. К жизни на окраинах промышленных территорий приспосабливаются зайцы и лисы. Вблизи лесных массивов можно встретить даже косулю или лося, случайно зашедших на территорию промышленного объекта.

Важно отметить, что присутствие этих животных в составе промышленных ЭГС не всегда является признаком благополучия. Часто это бывает вынужденная адаптация животных к неблагоприятным условиям при нарушении естественных экосистем.

ВЫВОДЫ ►

1. Все компоненты промышленных ЭГС – как абиотические, так и биотические – характеризуются своими комплексами специфических характеристик, обусловленных влиянием промышленной деятельности человека. Это необходимо учитывать при их систематике, описании и при анализе экологических функций литосферы.

2. Показано, что промышленные ЭГС составляют весьма значительную долю среди прочих техногенных ЭГС Белоруссии. Поэтому именно к их анализу и изучению должно быть приковано внимание исследователей в области экологической геологии и геоэкологии.

3. Выявленные закономерности и особенности промышленных ЭГС Белоруссии необходимо учитывать при инженерно-экологических исследованиях и изысканиях. Их можно рассматривать как общие для аналогичных ЭГС и за пределами республики, в том числе в России. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ►

1. Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Вестник Моск. ун-та. Серия 4. Геология. 2009. № 2. С. 48–52.
2. Галкин А.Н., Королёв В.А. Классификация эколого-геологических систем Беларуси на основе учета особенностей литотопов и инженерно-хозяйственных объектов // Літасфера. 2023. № 1 (58). С. 98–109.
3. Королёв 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. Королёв 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.
5. Королёв 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.
6. Королёв В.А., Галкин А.Н. Особенности сельскохозяйственных эколого-геологических систем Белоруссии // Вестник МГТУ. 2025. Т. 28. № 1. С. 49–61.
7. Королёв 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.
8. Королёв 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/10.25296/1993-5056-2024-19-1-24-44>.
9. Королёв 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>.
10. Валяльщикова А.А., Ильях В.В., Косинова И.И., Силкин К.Ю., Стародубцев В.С. Курс лекций для подготовки к государственному экзамену по экологической геологии. Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2016. 140 с.
11. Галкин А.Н., Королёв В.А. Особенности функционирования литотехнических систем территории Белоруссии // Инженерная геология. 2014. № 4. С. 28–44.
12. ОАО «Белорусский металлургический завод» // FullTeam.by [веб-сайт]. Дата последнего обращения: 07.04.2025. URL: <https://eae.by/projects/shinoprovod/oao-belorusskiy-metallurgicheskiy-zavod/>.
13. Прогноз состояния природной среды Беларуси на период до 2035 года / под общ. ред. В.С. Хомича. Минск : Белорусская наука, 2022. 331 с.
14. Прогноз изменения окружающей среды Беларуси на 2010–2020 гг. / под ред. В.Ф. Логинова. Минск: Минсктиппроект, 2004. 180 с.
15. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2010 / под общ. ред. С.И. Кузьмина, В.В. Савченко. Минск: РУП «Бел НИЦ «Экология», 2011. 308 с.
16. Национальный доклад о состоянии окружающей среды Республики Беларусь за 2019–2022 годы. Минск, 2023. 172 с.
17. Галкин А.Н., Акулевич А.Ф., Павловский А.И., Галезник О.И. Техногенные грунты. Минск: Вышэйшая школа, 2020. 192 с.
18. Дворцы, природа и много древностей. Что посмотреть на Гомельщине в Беларуси? // Planetabelarus.by [веб-сайт]. Дата последнего обращения: 07.04.2025. URL: https://dzen.ru/planetabelarus_by.
19. Природная среда Беларуси / под ред. В.Ф. Логинова. Минск: НОООО «БІП-С», 2002. 424 с.
20. Михалевич Р.В., Наркевич И.П., Конькова В.М., Гончар К.В., Мелех Д.В. Национальный доклад о состоянии окружающей среды Республики Беларусь. Минск: РУП «Бел НИЦ «Экология», 2019. 191 с.
21. Жогло В.Г., Галкин А.Н., Третьякова А.В., Красовская И.А. Пресные подземные воды Гомельской области: динамика и экология. Минск: Белорусская наука, 2018. 176 с.
22. Жогло В.Г., Галкин А.Н., Ковалева А.В. Особенности создания системы инженерной защиты геологической среды от негативных техногенных процессов в районе Гомельского химического завода // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2009. № 4. С. 298–310.
23. Логинов В.Ф., Калинин М.Ю., Иконников В.Ф. Антропогенные воздействия на водные ресурсы Беларуси // Природные ресурсы. 1999. № 3. С. 23–38.
24. Калыска А.О., Бусел А.В. Активация процессов твердения электросталеплавильных шлаков и блокирование ионов тяжелых металлов // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F. Строительство. Прикладные науки. 2015. № 8. С. 83–87.
25. ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013. 38 с.
26. Ерошина Д.М., Лысухо Н.А., Ракова Ю.С. Лигнин – образование, использование, хранение, воздействие на окружающую среду // Экологический вестник. 2010. № 3 (13). С. 109–118.
27. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / под ред. Г.В. Добровольского. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
28. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Полициклические ароматические углеводороды в дорожном покрытии и экраноземах Восточного округа Москвы // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2020. № 2. С. 94–117.
29. Бачура Ю.М., Храменкова О.М. Почвенные водоросли некоторых антропогенно-нарушенных территорий // Экологический вестник. 2010. № 4 (14). С. 21–28.
30. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2004. 348 с.

31. Каниськин М.А., Семенова Т.А., Терехова В.А. Изменения микобиоты почв под влиянием фосфогипса // Микология и фитопатология. 2009. Т. 43. № 4. С. 317–323.
32. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.
33. Замотаев И.В., Иванов И.В., Михеев П.В., Никонова А.Н. Химическое загрязнение и трансформация почв в районах добычи углеводородного сырья (обзор литературы) // Почвоведение. 2015. № 12. С. 1505–1518.
34. Баландина А.В., Еремченко О.З. Микробная ремедиация нефтезагрязненных агродерново-карбонатных почв и техногенных поверхностных образований в подзоне южной тайги: монография. Пермь: ПГНИУ, 2016. 100 с.
35. Исакова Е.А. Особенности воздействия нефти и нефтепродуктов на почвенную биоту // Colloquium-journal. 2019. № 12 (36). С. 7–10.
36. Соловьева Е.С. Экологические особенности актиномицетных комплексов городских почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2015. 22 с.
37. Репортаж с гор химзавода: здесь может вырасти лес или появиться горнолыжная трасса // Onliner.by [веб-сайт]. Дата последнего обращения: 14.04.2025. URL: <https://gomelnews.onliner.by/2013/06/11/fosfogips?ysclid=m99qfymhog929265423>.
38. Гусев А.П. Экологическая сукцессия в техногенном ландшафте // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. 2002. № 3 (25). С. 134–138.
39. Хотько Э.И. Почвенная фауна Беларуси. Минск: Наука и техника, 1993. 252 с.
40. Khotko L.I. Estimation of industrial pollution influence on Zoocenotic indicators of soil invertebrates in the forests with the purpose of ensuring ecological safety in the region // Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety. 2011. Vol. 5. Part 3. P. 42–77.

REFERENCES ►

1. Trofimov V.T. Ehkologo-geologicheskaya sistema, ee tipy i polozhenie v strukture ehkosisistemy [Ecological-geological system, its types and position in the ecosystem structure] // Vestnik Mosk. un-ta. 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 objects] // 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 in 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 lesokhozyaistvennykh ehkologo-geologicheskikh sistem Belorussii [Features of forestry ecological-geological systems in Belarus] // Geoinfo. 2024. T. 6. № 12. S. 6–19. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-12-6-19 (in Rus.).
5. Korolev V.A., Galkin A.N. Osobennosti prirodnnykh ehkologo-geologicheskikh sistem massivov glinistyykh gruntov Belorussii [Features of natural ecological-geological systems of clayey soil bodies in Belarus] // Geoinfo. 2023. T. 5. № 9/10. S. 12–21. DOI:10.58339/2949-0677-2023-5-9/10-12-21 (in Rus.).
6. Korolev V.A., Galkin A.N. Osobennosti sel'skokhozyaistvennykh ehkologo-geologicheskikh sistem Belorussii [Features of agricultural ecological-geological systems in Belarus] // Vestnik MGTU. 2025. T. 28. № 1. S. 49–61 (in Rus.).
7. Korolev V.A., Galkin A.N. Osobennosti ehkologo-geologicheskikh sistem massivov lessovykh gruntov Belorussii [Features of ecological-geological systems of loess soil bodies 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 ehkologo-geologicheskikh sistem massivov torfyanykh gruntov Belorussii [Features of ecological-geological systems of peat soil bodies in Belarus] // Inzhenernaya geologiya. 2024. T. 19. № 1. S. 20–40. DOI: <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2024-19-1-24-44> (in Rus.).
9. Korolev V.A., Galkin A.N. Prirodnye ehkologo-geologicheskije sistemy massivov peschanykh gruntov Belorussii [Natural ecological-geological systems of sandy soil bodies 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.).
10. Valyal'shchikov A.A., Il'yash V.V., Kosinova I.I., Silkin K.Yu., Starodubtsev V.S. Kurs lektzii dlya podgotovki k gosudarstvennomu ehkzameni po ehkologicheskoi geologii [Course of lectures to prepare for the environmental geology state exam]. Voronezh: IPTS VGU, 2016. 140 s. (in Rus.).
11. Galkin A.N., Korolev V.A. Osobennosti funktsionirovaniya litotekhnicheskikh sistem territorii Belorussii [Features of functioning lithotechnical systems in the territory of Belarus] // Inzhenernaya geologiya. 2014. № 4. S. 28–44 (in Rus.).
12. OAO «Belorusskii metallurgicheskii zavod» [Belarusian Metallurgical Plant OJSC] // FullTeam.by [website]. Data poslednego obrashcheniya: 07.04.2025. URL: <https://eae.by/projects/shinoprovod/oao-belorusskiy-metallurgicheskii-zavod/> (in Rus.).
13. Prognoz sostoyaniya prirodnoi sredy Belarusi na period do 2035 goda [Forecast of the state of the natural environment of Belarus for the period up to 2035] / pod obshch. red. V.S. Khomicha. Minsk : Belaruskaya navuka, 2022. 331 s. (in Rus.).
14. Prognoz izmeneniya okruzhayushchei sredy Belarusi na 2010–2020 gg. [Forecast of changes in the environment of Belarus for 2010–2020] / pod red. V.F. Loginova. Minsk: Minskipproekt, 2004. 180 s. (in Rus.).

15. Natsional'naya sistema monitoringa okruzhayushchei sredy Respubliki Belarus': rezul'taty nablyudenii, 2010 [National environmental monitoring system of the Republic of Belarus: observation results, 2010] / pod obshch. red. S.I. Kuz'mina, V.V. Savchenko. Minsk: RUP «Bel Nits «Ehkologiya», 2011. 308 s. (in Rus.).
16. Natsional'nyi doklad o sostoyanii okruzhayushchei sredy Respubliki Belarus' za 2019–2022 gody [National report on the state of the environment of the Republic of Belarus for 2019–2022]. Minsk, 2023. 172 s. (in Rus.).
17. Galkin A.N., Akulevich A.F., Pavlovskii A.I., Galeznik O.I. Tekhnogennyye grunty [Technogenic Soils]. Minsk: Vyshehishaya shkola, 2020. 192 s. (in Rus.).
18. Dvortsy, priroda i mnogo drevnostei. Chto posmotret' na Gomel'shchine v Belarusi? [Palaces, Nature and Many Antiquities. What to See in the Gomel Region in Belarus?] // Planetabelarus.by [website]. Data poslednego obrashcheniya: 07.04.2025. URL: https://dzen.ru/planetabelarus_by.
19. Prirodnaya sreda Belarusi [Natural Environment of Belarus] / pod red. V.F. Loginova. Minsk: NOOO «BIP-S», 2002. 424 s. (in Rus.).
20. Mikhalevich R.V., Narkevich I.P., Kon'kova V.M., Gonchar K.V., Melekh D.V. Natsional'nyi doklad o sostoyanii okruzhayushchei sredy Respubliki Belarus' [National Report on the State of the Environment of the Republic of Belarus]. Minsk: RUP «Bel Nits «Ehkologiya», 2019. 191 s. (in Rus.).
21. Zhoglo V.G., Galkin A.N., Tret'yakova A.V., Krasovskaya I.A. Presnye podzemnye vody Gomel'skoi oblasti: dinamika i ehkologiya [Fresh groundwater of the Gomel region: the dynamics and ecology]. Minsk: Belaruskaya navuka, 2018. 176 s. (in Rus.).
22. Zhoglo V.G., Galkin A.N., Kovaleva A.V. Osobennosti sozdaniya sistemy inzhenernoi zashchity geologicheskoi sredy ot negativnykh tekhnogennykh protsessov v raione Gomel'skogo khimicheskogo zavoda [Features of creating a system of engineering protection of the geological environment against negative anthropogenic processes in the area of the Gomel Chemical Plant] // Geoehkologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya. 2009. № 4. S. 298–310 (in Rus.).
23. Loginov V.F., Kalinin M.YU., Ikonnikov V.F. Antropogennyye vozdeistviya na vodnye resursy Belarusi [Anthropogenic impacts on the water resources of Belarus] // Prirodnye resursy. 1999. № 3. S. 23–38 (in Rus.).
24. Kalyska A.O., Busel A.V. Aktivatsiya protsessov tverdeniya ehlektrostaleplavil'nykh shlakov i blokirovanie ionov tyazhelykh metallov [Activizing the hardening processes of electric steelmaking slags and blocking heavy metal ions] // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. 2015. № 8. S. 83–87 (in Rus.).
25. GOST 25100–2011. Grunty. Klassifikatsiya [Grounds. Classification.]. M.: Standartinform, 2013. 38 s. (in Rus.).
26. Eroshina D.M., Lysukho N.A., Rakova Yu.S. Lignin – obrazovanie, ispol'zovanie, khranenie, vozdeistvie na okruzhayushchuyu sredyu [Lignin: the formation, use, storage, influence on the environment] // Ehkologicheskii vestnik. 2010. № 3 (13). S. 109–118 (in Rus.).
27. Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokof'eva T.V. Antropogennyye pochvy: genezis, geografiya, rekultivatsiya [Anthropogenic soils: the genesis, geography, reclamation] / pod red. G.V. Dobrovol'skogo. Smolensk: Oikumena, 2003. 268 s. (in Rus.).
28. Nikiforova E.M., Kosheleva N.E. Politsiklicheskie aromatische uglevodorody v dorozhnom pokrytii i ehkranozemakh Vostochnogo okruga Moskvy [Polycyclic aromatic hydrocarbons in the roadway covering and screen soils in the Eastern District of Moscow] // Vestnik PNPU. Prikladnaya ehkologiya. Urbanistika. 2020. № 2. S. 94–117 (in Rus.).
29. Bachura YU.M., Khramchenkova O.M. Pochvennye vodorosli nekotorykh antropogennno-narushennykh territorii [Soil algae of some anthropogenically disturbed territories] // Ehkologicheskii vestnik. 2010. № 4 (14). S. 21–28 (in Rus.).
30. Zavarzin G.A. Lektsii po prirodoovedcheskoi mikrobiologii [Lectures on naturalistic microbiology]. M.: Nauka, 2004. 348 s. (in Rus.).
31. Kanis'kin M.A., Semenova T.A., Terekhova V.A. Izmeneniya mikrobioty pochv pod vliyaniem fosfogipsa [Changes in the mycobiota of soils under the influence of phosphogypsum] // Mikologiya i fitopatologiya. 2009. T. 43. № 4. S. 317–323 (in Rus.).
32. Shtina Eh.A., Gollerbakh M.M. Ehkologiya pochvennykh vodoroslei [Ecology of soil algae]. M.: Nauka, 1976. 143 s. (in Rus.).
33. Zamotaev I.V., Ivanov I.V., Mikheev P.V., Nikonova A.N. Khimicheskoe zagryaznenie i transformatsiya pochv v raionakh dobychi uglevodorodnogo syr'ya (obzor literatury) [Chemical pollution and transformation of soils in areas of hydrocarbon raw materials extraction (literature review)] // Pochvovedenie. 2015. № 12. S. 1505–1518 (in Rus.).
34. Balandina A.V., Eremchenko O.Z. Mikrobnaya remediatsiya neftezagryaznennykh agrodernovo-karbonatnykh pochv i tekhnogennykh poverkhnostnykh obrazovaniy v podzone yuzhnoi taigi: monografiya [Microbial remediation of oil-contaminated agrodernum-carbonate soils and technogenic surface formations in the southern taiga subzone: monograph]. Perm': PGNIU, 2016. 100 s. (in Rus.).
35. Isakova E.A. Osobennosti vozdeistviya nefti i nefteproduktov na pochvennyuyu biotu [Features of the influence of oil and oil products on soil biota] // Colloquium-journal. 2019. № 12 (36). S. 7–10 (in Rus.).
36. Solov'eva E.S. Ehkologicheskie osobennosti aktinomitsetnykh kompleksov gorodskikh pochv: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [Ecological features of actinomycete complexes of urban soils: author's abstract of a thesis for the degree of PhD in Biology]. Perm': Perm. gos. nats. issled. un-t, 2015. 22 s. (in Rus.).
37. Reportazh s gor khimzavoda: zdes' mozhnet vyrasti les ili poavit'sya gornolyzhnaya trassa [Report from the mountains of a chemical plant: a forest or a ski slope may appear there] // Onliner.by [veb-sait]. Data poslednego obrashcheniya: 14.04.2025. URL: <https://gomelnews.onliner.by/2013/06/11/fosfogips?ysclid=m99qfymhog 929265423> (in Rus.).
38. Gusev A.P. Ehkologicheskaya suktessiya v tekhnogennom landshafte [Ecological succession in a technogenic landscape] // Vesnik Vitsebskaga dzyarzhavnaga universitehta. 2002. № 3 (25). S. 134–138 (in Rus.).
39. Khot'ko E.H.I. Pochvennaya fauna Belarusi [Soil fauna of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1993. 252 s. (in Rus.).
40. Khotko L.I. Estimation of industrial pollution influence on Zoocenotic indicators of soil invertebrates in the forests with the purpose of ensuring ecological safety in the region // Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety. 2011. Vol. 5. Part 3. R. 42–77 (in Eng.).



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ПЕСЧАНИКОВ ПО ДАННЫМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Принята к публикации 08.08.2025

Опубликована 18.08.2025

Латыпов А.И.

Руководитель лаборатории по исследованию грунтов в строительстве ООО «КазГеоЛаб»; доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, д. г.-м. н., г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

Гараева А.Н.

Доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, к. г.-м. н., г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

Королев Э.А.

Доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, к. г.-м. н., г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

Трофимова А.С.

Магистрант кафедры общей геологии и гидрогеологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена трудностям, возникающим при строительстве из-за сложных инженерно-геологических условий на территории Нижнекамского промышленного узла, где широко развиты элювиальные песчаники уржумского яруса. Проанализированы их структура и свойства, отличающие их от обычных песков и вызывающие непредсказуемое поведение оснований. Собрано и проанализировано множество данных статического зондирования, лабораторных исследований. Установлены корреляционные зависимости между физико-механическими характеристиками рассматриваемых элювиальных песчаников и удельным лобовым сопротивлением. На основании систематизации и анализа полевых исследований построены региональные зависимости между параметрами статического зондирования и прочностными и деформационными характеристиками грунтов. Полученные результаты имеют важное практическое значение и позволяют оптимизировать проектирование и строительство инфраструктуры и сооружений на данной территории.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

кора выветривания; элювиальные песчаники; прочностные свойства; деформационные свойства; статическое зондирование; Нижнекамский промышленный узел.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Латыпов А.И., Гараева А.Н., Королев Э.А. Определение прочностных и деформационных свойств элювиальных песчаников по данным статического зондирования // ГеоИнфо. 2025. Т. 7. № 2. С. 56–62. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-56-62.

DETERMINATION OF THE STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF ELUVIAL SANDSTONES FROM STATIC CONE PENETRATION TEST DATA

Accepted for publication 08.08.2025

Published 18.08.2025

Latypov A.I.

DSc, head of the Laboratory for Soil Research in Construction, "KazGeoLab LLC"; associate professor at the Department of General Geology and Hydrogeology, Institute of Geology and Oil and-Gas Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation

Garaeva A.N.

PhD, associate professor at the Department of General Geology and Hydrogeology, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation

Korolev E.A.

PhD, associate professor at the Department of General Geology and Hydrogeology, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation

Trofimova A.S.

Master's degree student at the Department of General Geology and Hydrogeology, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation

ABSTRACT

The article is devoted to the difficulties encountered during construction due to difficult engineering-geological conditions in the territory of the Nizhnekamsk industrial hub, where the eluvial sandstones of the Urzhumian Stage are widely developed. Their structure and properties that distinguish them from ordinary sands and cause unpredictable behavior of the ground bases are analyzed. Lots of data from cone penetration tests, pile static load tests, and laboratory studies were collected and analyzed. Correlation dependencies between the physical-mechanical characteristics of the considered eluvial sandstones and the specific frontal resistance were established. Based on the systematization and analysis of field studies, regional dependencies between the parameters of cone penetration test and the strength and deformation characteristics of soils are constructed. The results are of great practical importance and make it possible to optimize the design and construction of infrastructure in a given area.

KEYWORDS:

weathering crust; eluvial sandstones; strength properties; deformation properties; cone penetration test; Nizhnekamsk industrial hub.

FOR CITATION:

Latypov A.I., Garaeva A.N., Korolev E.A., Trofimova A.S. Otsenka nesushchei sposobnosti svai, pogrushennykh v ehlyuvial'nye peschaniki [Assessment of the bearing capacity of piles immersed in eluvial sandstones] // *GeoInfo*. 2025. T. 7. № 2. S. 56–62. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-56-62 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

Проектирование фундаментов основывается на определении несущей способности и деформативности грунтового основания путем расчета согласно СП 22.13330 по физико-механическим характеристикам слагающих разрез грунтов, определяемых как правило с помощью лабораторных исследований, либо с использованием данных полевых исследований, например, статического зондирования.

Для ответственных сооружений ожидаемые деформации могут уточняться с помощью натурных штамповых испытаний [1], [9], [13]. При этом получаемые значения деформационных характеристик рассчитываются согласно различным зависимостям и таблицам и зависят только от гранулометрического состава и коэффициента пористости для несвязных грунтов. Подобные расчеты могут быть применимы для природных и техногенных песков, не обла-

дающих связностью и не имеющих существенных структурных связей.

В отчетах по изысканиям, выполненным в районах распространения элювиальных грунтов, песчаники с высокой степенью выветрелости часто обозначаются как просто пески, без указания их исходного материнского литотипа [7], [10], [12]. При этом расчеты несущей способности проводятся по тем же самым таблицам, что и для песков, с использованием классификации продуктов выветривания песчаников по ГОСТ 25100. Аналогично поступают и при определении прочностных и деформационных характеристик по данным статического зондирования, так как заложенные в основу этих расчетов корреляционные зависимости получены для песков, а не для песчаников.

Однако в тех случаях, когда грунтовым основанием являются элювиальные песчаники, практика проектирования часто показывает значительные несоот-

ветствия между ожидаемыми по таким расчетам и реальными значениями прочности и деформативности [3], [4], [14].

ТЕРРИТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ►

В качестве примера можно привести опыт проведения инженерно-геологических изысканий на территории Нижнекамского промышленного узла, расположенного на левом берегу реки Кама в Республике Татарстан, который является одним из наиболее динамично развивающихся территориально-производственных комплексов. Он включает в себя десятки химических заводов органического синтеза на основе местного углеводородного сырья, а также предприятий по производству комплектующих для автомобилестроения [8].

Нижнекамский промышленный комплекс расположен в южной части города Нижнекамск (рис. 1) и в настоящее время занимает площадь около 5 тыс. га. Сосредоточенный здесь мощ-

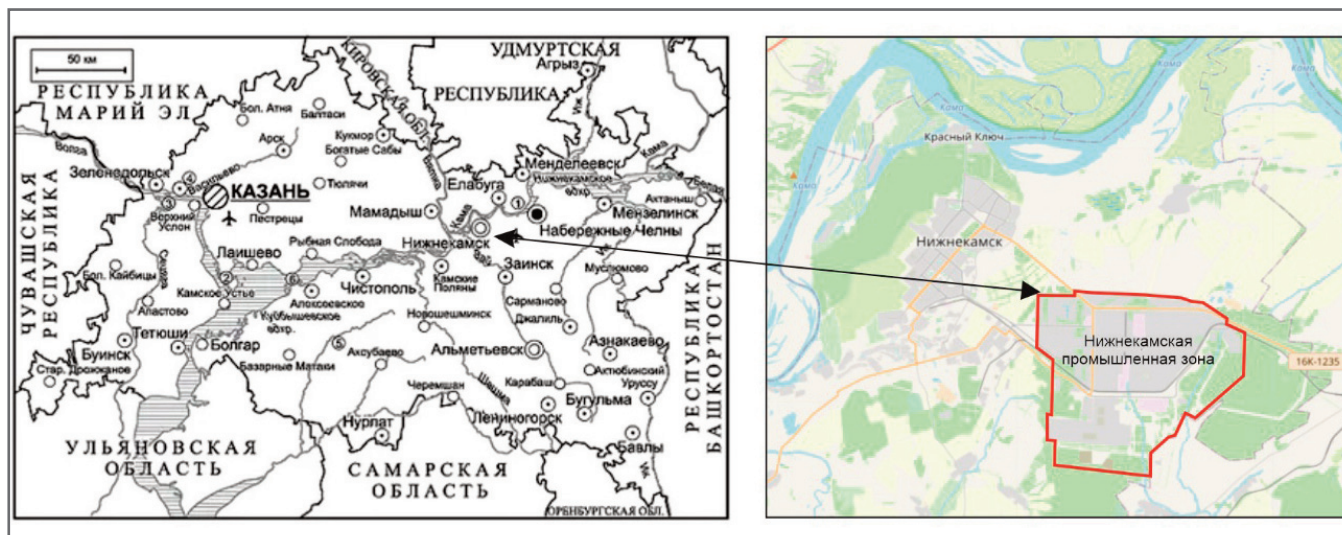


Рис. 1. Расположение Нижнекамской промышленной зоны

ный инновационный потенциал предполагает дальнейшее увеличение территории за счет строительства новых сопутствующих нефтехимической отрасли предприятий и объектов социальной значимости.

СЛОЖНОСТЬ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ►

Несмотря на высокую степень инженерно-геологической изученности рассматриваемой местности, строительные работы в пределах Нижнекамского промышленного узла постоянно сталкиваются с различными трудностями, особенно на этапе возведения фундаментов. В основном это связано со сложными инженерно-геологическими условиями территории, что обусловлено частым переслаиванием пород различного состава и возраста, наличием элювиальных грунтов, залегающих на произвольных глубинах, присутствием водоносных горизонтов [2], [8].

Из всего перечисленного наибольшие проблемы при строительстве вызывают элювиальные песчаники уржумского яруса, имеющие повсеместное распространение на данной территории. При инженерно-геологических изысканиях эти песчаники часто служат естественным основанием фундаментов мелкого заложения или выбираются в качестве основного несущего слоя, на который опираются сваи-стойки. При этом, как было указано выше, проектировщики часто сталкиваются с серьезными несоответствиями между расчетными и реальными значениями прочности и деформируемости. Другой проблемой является то, что после возведения фундаментов или забивки свай и дальнейшего их нагружения часто на-

блюдаются дополнительные осадки таких грунтов.

Элювиальные песчаники в рассматриваемом регионе являются продуктами выветривания коренных осадочных пород казанского и уржумского ярусов пермской системы. Они не представлены ни на каких картах и не выделены в стратиграфической шкале. Это создает серьезные трудности для изыскателей, так как часто бывает очень трудно отличить такие элювиальные грунты разной степени выветрелости либо от невыветрелой материнской породы, либо от обычных песков как в процессе проведения полевых работ, так и при лабораторном изучении [2].

Исследования авторов показали, что в профиле выветривания для исследуемой территории основную часть занимают не элювиальные пески, как правило обладающие рыхлым сложением и поэтому легко смываемые, а так называемые элювированные песчаники, слагающие массивы коры выветривания, в которых грунты претерпели процессы химического или физического выветривания, но при этом сохранили текстурные признаки, свойственные исходной материнской породе. Именно эти песчаники зачастую и путают с песками.

На рисунке 2 показаны примеры массивов элювированных песчаников в различных частях Республики Татарстан.

Песчаники зоны коры выветривания Б (по степени дезинтеграции и изменений физико-механических свойств) сохранили первичную косоугольную текстуру (рис. 3), что не позволяет считать их классическим элювием. В пределах этой зоны из песчаников практически полностью выщелочен кальцитовый цемент. Его фрагменты отмечаются в по-

роде локально на контактах соприкасающихся зерен минерального скелета. В отличие от исходного песчаника, у которого обломки горных пород и минералов не соприкасаются между собой, а «плавают» в кальцитовом цементе, в зоне выщелачивания боковые поверхности обломочных зерен контактируют друг с другом. За счет постепенного сближения зерен у них сформировались точечные контакты с механическим типом связи, чему в немалой степени способствовали шероховатость частиц кремнистых и эффузивных горных пород и угловатость кварцевых зерен.

Одновременно с перемещением минеральных обломков произошло перераспределение глинистого материала. Инфильтрующиеся воды, смачивая глинистые минералы, способствовали их агрегированию и вторичной аккумуляции либо на контактах минеральных частиц, либо на шероховатых поверхностях обломков горных пород. Таким образом, в этих песчаниках наряду с механическими сформировались и коагуляционные типы контактов. Глинистые агрегаты, обладая высокой сорбционной активностью, осаждали на своей поверхности коллоидные соединения гидроксидов железа из поровых растворов. Со временем по мере «старения» коллоидов гидроксиды преобразовывались в гематит, увеличивая силу структурных связей между минеральными частицами.

Оптико-микроскопические исследования рассматриваемых разуплотненных песчаников показали, что в пределах всего разреза эти грунты характеризуются рыхлой структурной упаковкой. Минеральные частицы скелета взаимодействуют друг с другом через

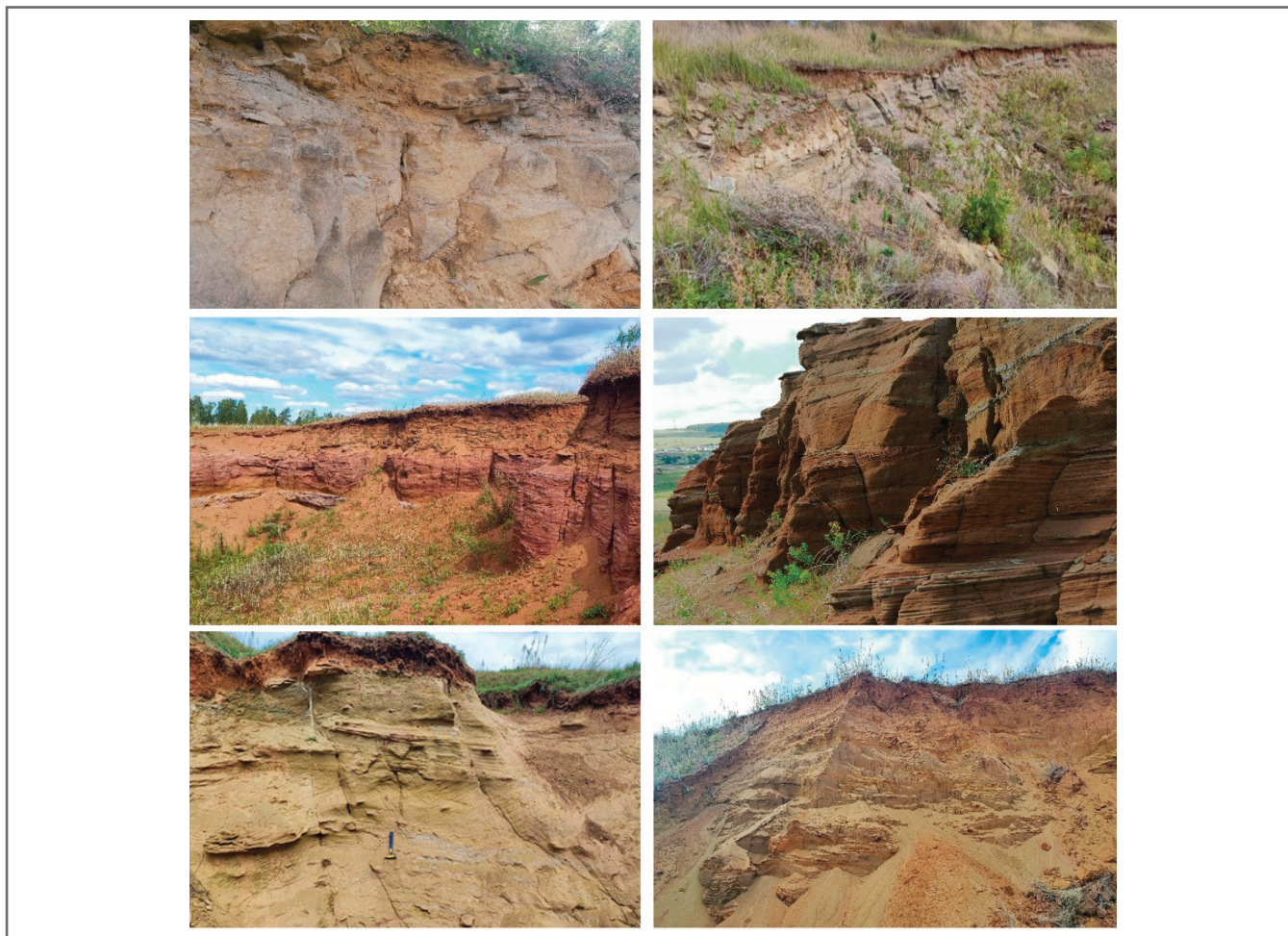


Рис. 2. Обнажения песчаников на территории Республики Татарстан

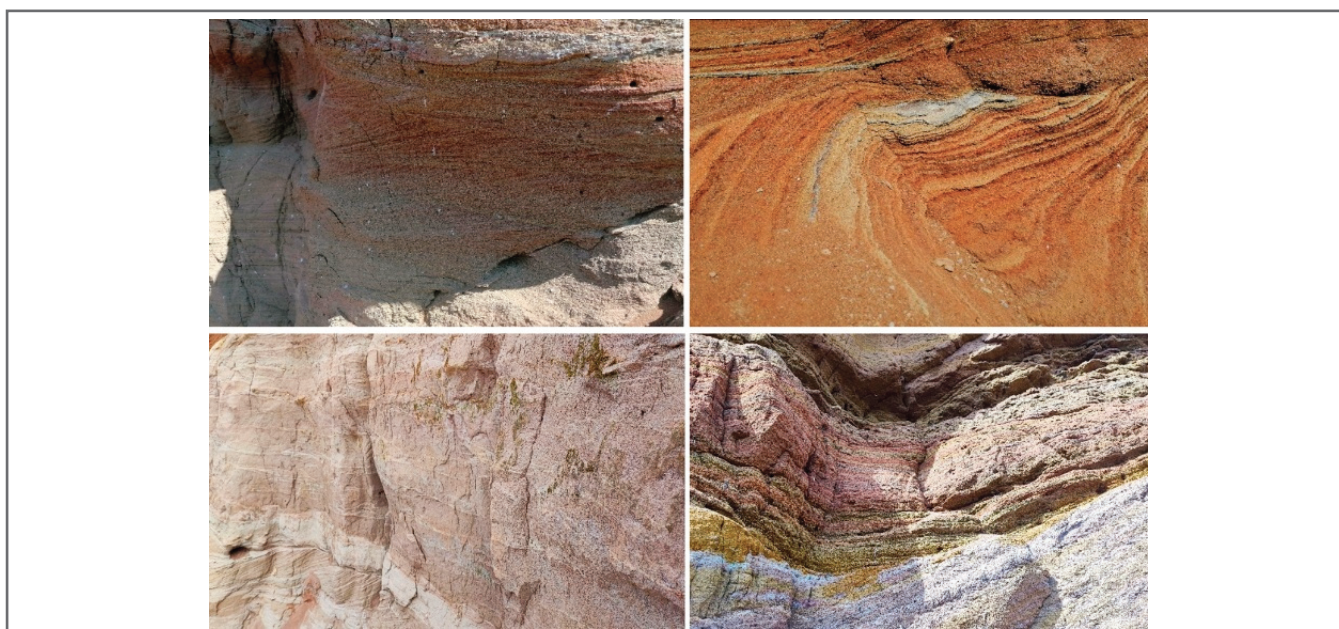


Рис. 3. Косослоистая текстура элювированных песчаников

точечные контакты и мостики из глинистых агрегатов. За счет слабых структурных связей терригенные породы зоны выщелачивания легко рассыпаются при незначительном механическом воздействии [6].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ►

С учетом значительной неоднородности свойств изучаемых элювиальных грунтов и трудности качественного отбора их проб надлежащего качества для лабораторных исследований, перспек-

тивным представляется использование полевых методов исследований, из которых наиболее популярным и доступным является статическое зондирование [5], [15]. Главное препятствие для применения этого метода – отсутствие корреля-

Таблица 1. Физико-механические свойства верхнепермских элювиальных песчаников

Показатель		Значение
Число проб, шт.		820
Природная влажность ω , д.ед.		0,20÷0,29
Плотность ρ , г/см ³		1,61÷2,03
Пористость n , %		37,0÷50,2
Коэффициент пористости e , д.ед.		0,58÷0,79
Модуль деформации E , МПа		7,1÷19,9
Угол внутреннего трения φ , град.		19,1÷30,9
Удельное сцепление c , МПа		0,016÷0,070
Гранулометрический состав: содержание частиц, %, размером	>1,0 мм	0,1÷1,8
	0,5 мм	17,7÷39,8
	0,25 мм	37,6÷61,6
	<0,1 мм	19,5÷30,8

Таблица 2. Результаты статистической обработки показателей свойств верхнепермских элювиальных песчаников на основе данных статического зондирования

Показатель	Значения	Среднее	Коэффициент вариации
Количество определений, шт.	264	-	-
Удельное лобовое сопротивление q , МПа	2,3÷27,0	14,4	0,27
Удельное сцепление c , кПа	36÷59	47	0,12
Угол внутреннего трения φ , град.	18÷26	22	0,10
Модуль деформации E , МПа	9,2÷17,6	14,5	0,27

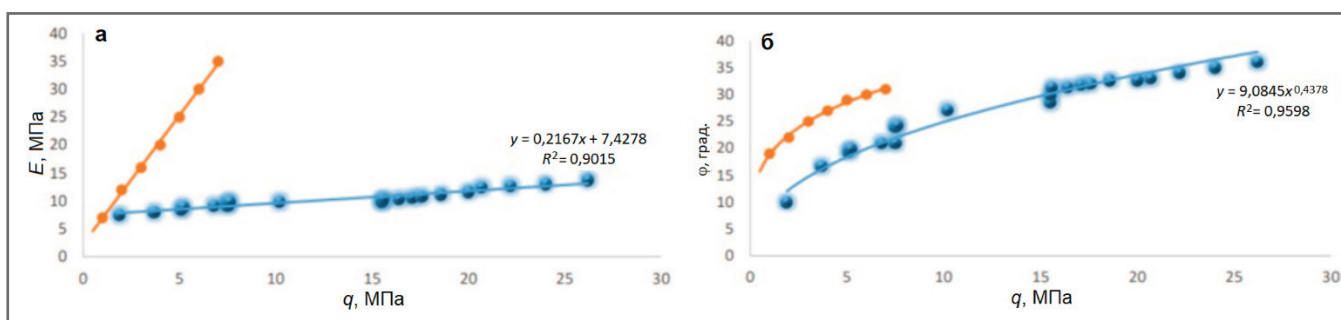


Рис. 4. Экспериментальные (синий цвет) и нормативные (красный цвет) зависимости модуля деформации E (а) и угла внутреннего трения φ (б) от удельного лобового сопротивления q при статическом зондировании

ционных зависимостей между параметрами зондирования и физико-механическими свойствами грунтов [11].

Авторами были проведено исследование, направленное на установление возможности использования метода статического зондирования для оценки прочностей и деформационных свойств. В качестве опытной площадки была выбрана территория проектируемой промышленной установки крупного нефтеперерабатывающего завода в Нижнекамске.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ►

На территории Нижнекамского промышленного узла ранее было выполнено несколько сотен инженерно-геологи-

ческих изысканий. Авторами были проанализированы данные по 550 буровым скважинам и 218 точкам статического зондирования объектов, расположенных в непосредственной близости от объекта исследований. Все результаты были сведены в единую базу данных. Анализ подвергались показатели физико-механических свойств, а также осредненные значения удельного сопротивления зондированию для каждого литологического типа грунта.

Результаты статистической обработки физико-механических свойств песчаников по данным лабораторных исследований приведены в таблице 1.

Для верхнепермских элювиальных песчаников отчетливо наблюдались бо-

лее низкие значения модуля деформации и угла внутреннего трения и более высокие значения удельного сцепления по сравнению с песками.

Также были собраны и проанализированы данные статического зондирования исследуемых грунтов. Результаты их статистической обработки приведены в таблице 2.

На основе полученных результатов были построены отдельные корреляционные зависимости для модуля деформации E , угла внутреннего трения φ , удельного сцепления c , показателя текучести IL и других параметров. Примеры таких зависимостей показаны на рисунке 4. Видны существенные расхождения величин параметров с нормативными, осо-

Таблица 3. Плотность сложения песчаников по данным статического зондирования

Песчанники	Плотность сложения при q_c , МПа		
	плотные	средней плотности	рыхлые
среднезернистые независимо от влажности	>16	7-16	<7
мелкозернистые независимо от влажности	>14	6-14	<6
тонкозернистые: неводонасыщенныеводонасыщенные	>12>10	4-123-10	<4<3

бенно для модуля деформации. Несмотря на наличие отдельных высоких значений удельного лобового сопротивления q (до 27 МПа), величины модуля деформации E меньше 18 МПа. С этим скорее всего и связано существенное превышение осадок в исследуемых элювированных песчанниках над ожидаемыми.

На основании анализа данных статического зондирования была разработана таблица определения плотности сложения песчанников различного гранулометрического состава в зависимости от нормативных значений удельного сопротивления внедрению конуса q (таблица 3).

Сравнение с аналогичными по гранулометрическому составу дисперсными песками показывает смещение значений удельного сопротивления практически в каждой области в большую сторону. Наличие цемента в структуре песчанника, пусть и по большей части слабого, приводит к тому, что внедрение зона в массив становится более сложным, что и находит отклик в увеличении значения удельного лобового со-

противления. При этом реальная плотность оказывается ниже, а деформативность выше ожидаемых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ►

Выполненное исследование показало актуальность рассматриваемой задачи. Элювиальные грунты имеют широкое распространение и встречаются практически на всех континентах. При этом вследствие труднопредсказуемого характера выветривания при образовании элювиальных грунтов и, следовательно, высокой изменчивости их свойств, проектирование сооружений на них всегда сопряжено с серьезными трудностями.

На исследуемой территории установлено, что в разрезе профиля выветривания по песчанникам можно выделить выделяются два слоя, соответствующих зонам структурного и бесструктурного элювия. Оценка прочностных и деформационных свойств грунтов должна проводиться с учетом того, что песчанники структурного элювия, по сути,

представляют собой сцементированную скальную породу, а бесструктурный элювий — это выщелоченный песчанник до состояния рыхлого песка.

Оценка плотности сложения и определение параметров механической прочности элювированных песчанников с использованием метода статического зондирования может проводиться только на основании региональных зависимостей и таблиц, построенных для каждого конкретного региона.

Изучение процессов выветривания песчанников с точки зрения описания инженерно-геологических особенностей территории Восточного Закамья становится важным для безопасности и устойчивого развития региона. Полученные данные и результаты исследований позволят эффективно прогнозировать риски и разрабатывать меры по инженерной защите от неблагоприятных геологических процессов, а также оптимизировать проектирование и строительство инфраструктуры и сооружений на данной территории. **и**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ►

1. Барановский, А. Г. Отечественный и мировой опыт изучения скальных и дисперсных элювиальных глинистых грунтов для инженерно-геологических целей / А. Г. Барановский // Инженерные изыскания. – 2015. – № 12. – С. 34–41.
2. Гараева, А. Н. Элювиальные отложения эрозионно-денудационных останцев Бугульминско-Белебеевской возвышенности / А. Н. Гараева, А. И. Латыпов, Д. Р. Зарипова // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: сборник статей всероссийской молодежной конференции. – Москва: Перо, 2021. – С. 16–20.
3. Золотарев, Г. С. Современные задачи инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания / Г. С. Золотарев // Вопросы инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. – Москва: Изд-во МГУ, 1971. – С. 4–25.
4. Латыпов, А. И. Зональность профиля выветривания среднепермских песчанников на территории Восточного Закамья / А. И. Латыпов, А. Н. Гараева, Э. А. Королев // Грунтоведение. – 2024. – № 1 (22). – С. 33–43.
5. Латыпов, А. И. Об интерпретации данных статического зондирования / А. И. Латыпов, Е. Н. Яббарова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – № 10. – С. 82–90.
6. Латыпов, А. И. Региональные закономерности районирования гипергенных преобразований осадочных пород среднепермского возраста Восточного Закамья / А. И. Латыпов, А. Н. Гараева, Э. А. Королев // Сергеевские чтения: Региональная инженерная геология и геоэкология. Вып. 25: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (28–29 марта 2024 г.). – Москва: ГеоИнфо, 2024. – С. 71–74.
7. Минебаева, А. З. Современное состояние и перспективы развития нижнекамского промышленного комплекса / А. З. Минебаева, А. Р. Гапсаламов // Экономика и социум. – 2014. – № 4 (13). – С. 1272–1275.
8. Мусин, Р. Х. О масштабах загрязнения пресных подземных вод в Нижнекамской промышленной зоне Татарстана / Р. Х. Мусин, Н. А. Курлянов // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. – 2018. – № 12. – С. 402–405.

9. Нугманов, И. И. Особенности проведения инженерно-геологических изысканий в районах развития элювиальных грунтов (на примере Нижнекамска) / И. И. Нугманов // Записки Горного университета. – 2008. – Т. 174. – С. 10–12.
10. Сунгатуллин, Р. Х. Комплексный анализ геологической среды (на примере Нижнекамской площади) / Р. Х. Сунгатуллин. – Казань: Мастер-Лайн, 2001. – 140 с.
11. Черняк, Э. Р. Будущее – за региональными таблицами нормативных и расчётных показателей физико-механических свойств грунтов / Э. Р. Черняк // Инженерная геология. – 2011. – № 9. – С. 4–9.
12. Derakhshan-Babaei, F. Rating the spatial variability of chemical weathering and erosion to geological and topographical zones / F. Derakhshan-Babaei, K. Nosrati, D. Tihomirov, M. Chistl, H. Sadough, M. Egli // Geomorphology. – 2020. – Vol. 363. – P. 107235.
13. Mayne, P. Stress-strain-strength-flow parameters from enhances in-situ tests / P. Mayne // International Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties and Case Histories. – 2001. – P. 27–48.
14. Startsev, A. Soils on eluvium of Permian carbonate deposits and the change in their chemical properties under the influence of bog formation / A. Startsev // Moscow University Soil Science Bulletin. – 1985. – Vol. 40, № 3. – P. 1–7.
15. Ziangirov, R. Use of static-penetration data to evaluate deformation properties of disperses soils / R. Ziangirov, V. Kashirskii // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2005. – Vol. 42, № 1. – P. 15–21

REFERENCES ►

1. Baranovskij, A. G. Otechestvennyj i mirovoj opyt izucheniya skal'nyh i dispersnyh elyuvial'nyh glinistykh gruntov dlya inzhenerno-geologicheskikh celej / A. G. Baranovskij // Inzhenernye izyskaniya. – 2015. – № 12. – S. 34–41.
2. Garaeva, A. N. Elyuvial'nye otlozheniya erozionno-denudacionnykh ostancev Bugul'minsko-Belebeevskoj vozvysheynosti / A. N. Garaeva, A. I. Latypov, D. R. Zaripova // Geologiya, geoekologiya i resursnyj potencial Urala i sopredel'nykh territorij: sbornik statej vsrossijskoj molodyozhnoj konferencii. – Moskva: Pero, 2021. – S. 16–20.
3. Zolotarev, G. S. Sovremennye zadachi inzhenerno-geologicheskogo izucheniya processov i kor vyvetriviya / G. S. Zolotarev // Voprosy inzhenerno-geologicheskogo izucheniya processov i kor vyvetriviya. – Moskva: Izd-vo MGU, 1971. – S. 4–25.
4. Latypov, A. I. Zonal'nost' profilya vyvetriviya srednepersmskikh peschanikov na territorii Vostochnogo Zakam'ya / A. I. Latypov, A. N. Garaeva, E. A. Korolev // Gruntovedenie. – 2024. – № 1 (22). – S. 33–43.
5. Latypov, A. I. Ob interpretacii dannykh staticheskogo zondirovaniya / A. I. Latypov, E. N. Yabbarova // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2019. – № 10. – S. 82–90.
6. Latypov, A. I. Regional'nye zakonomernosti rajonirovaniya gipergennykh preobrazovaniy osadochnykh porod srednepersmskogo vozrasta Vostochnogo Zakam'ya / A. I. Latypov, A. N. Garaeva, E. A. Korolev // Sergeevskie chteniya: Regional'naya inzhenernaya geologiya i geoekologiya. Vyp. 25: materialy godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii (28–29 marta 2024 g.). – Moskva: GeoInfo, 2024. – S. 71–74.
7. Minebaeva, A. Z. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya nizhnekamskogo promyshlennogo kompleksa / A. Z. Minebaeva, A. R. Gapsalamov // Ekonomika i socium. – 2014. – № 4 (13). – S. 1272–1275.
8. Musin, R. H. O masshtabah zagryazneniya presnykh podzemnykh vod v Nizhnekamskoj promyshlennoj zone Tatarstana / R. H. Musin, N. A. Kurlyanov // Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geoekologii Bashkortostana, Urala i sopredel'nykh territorij. – 2018. – № 12. – S. 402–405.
9. Nugmanov, I. I. Osobennosti provedeniya inzhenerno-geologicheskikh izyskanij v rajonah razvitiya elyuvial'nykh gruntov (na primere Nizhnekamska) / I. I. Nugmanov // Zapiski Gornogo universiteta. – 2008. – Т. 174. – S. 10–12.
10. Sungatullin, R. H. Kompleksnyj analiz geologicheskoy sredy (na primere Nizhnekamskoj ploshchadi) / R. H. Sungatullin. – Kazan': Master-Lajn, 2001. – 140 s.
11. Chernyak, E. R. Budushchee – za regional'nymi tablicami normativnykh i raschyotnykh pokazatelej fiziko-mekhanicheskikh svoystv gruntov / E. R. Chernyak // Inzhenernaya geologiya. – 2011. – № 9. – S. 4–9.
12. Derakhshan-Babaei, F. Rating the spatial variability of chemical weathering and erosion to geological and topographical zones / F. Derakhshan-Babaei, K. Nosrati, D. Tihomirov, M. Chistl, H. Sadough, M. Egli // Geomorphology. – 2020. – Vol. 363. – P. 107235.
13. Mayne, P. Stress-strain-strength-flow parameters from enhances in-situ tests / P. Mayne // International Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties and Case Histories. – 2001. – P. 27–48.
14. Startsev, A. Soils on eluvium of Permian carbonate deposits and the change in their chemical properties under the influence of bog formation / A. Startsev // Moscow University Soil Science Bulletin. – 1985. – Vol. 40, № 3. – P. 1–7.
15. Ziangirov, R. Use of static-penetration data to evaluate deformation properties of disperses soils / R. Ziangirov, V. Kashirskii // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2005. – Vol. 42, № 1. – P. 15–21

Организаторы:

Независимый электронный журнал
Геоинфо



geoinfo.ru

II практическая конференция

**«АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИЗЫСКАНИЙ И ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

18 ноября 2025 года, Москва



Наша конференция по автоматизации и цифровизации инженерно-геологических изысканий в 2024 году вызвала большой интерес среди специалистов. Участниками мероприятия стали более 100 человек, а хедлайнерами – представители ООО «Газпром нефть». По отзывам слушателей, они получили много новой, полезной и интересной информации, а значительную часть полученных знаний смогут успешно интегрировать в собственную работу. В связи с этим мы приняли решение провести в 2025 году вторую тематическую конференцию. Тем более, что за год с момента проведения первой конференции, мы уверены, будет сделан гигантский шаг вперед в области цифровизации.





Источник фото: <https://stock.adobe.com/ru/search/free>

ВЛИЯНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ПРОЧНОСТНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ СВОЙСТВ ДИСПЕРНЫХ ГРУНТОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНА

Принята к публикации 14.07.2025

Опубликована 18.08.2025

Фоменко И.К.

Профессор кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (РГГУ-МГРИ), д. г.-м. н., г. Москва, Россия

Зеркаль О.В.

Ведущий научный сотрудник лаборатории инженерной геодинамики и обоснования инженерной защиты территорий кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, к. г.-м. н., г. Москва, Россия
igzov@mail.ru

Самарин Е.Н.

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

АННОТАЦИЯ

Одним из важнейших направлений обоснования и обеспечения безопасности зданий и сооружений является оценка риска возникновения геологических процессов. Для более достоверных оценок при решении задач инженерной геологии необходимо рассчитывать не только детерминированный компонент инженерно-геологического процесса, как это до сих пор часто делается, но и его случайную составляющую. Никакой анализ риска или проектирование на основе теории надежности не могут быть выполнены без вероятностного анализа с использованием только коэффициента устойчивости. Поэтому требуется дальнейшее развитие вероятностных подходов к расчетам. В представленной статье демонстрируются эффективность и необходимость стохастического анализа для учета влияния корреляции между прочностными параметрами на вероятность развития оползневых процессов. При использовании коэффициента устойчивости корреляция между удельным сцеплением и углом внутреннего трения учтена быть не может. При стохастическом подходе при изменении коэффициента корреляции от 0 до 0,8 эта вероятность развития оползневых процессов закономерно уменьшается от 30 до 9,9%, то есть опасность развития оползневых процессов при учете корреляции между прочностными параметрами уменьшается в этом случае более чем в 3 раза. Таким образом, никакой анализ риска или проектирование на основе теории надежности не могут быть выполнены без вероятностного анализа с использованием только Куст.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

геологические процессы; оползневые процессы; оценка риска; устойчивость склона; коэффициент устойчивости; достоверная оценка; вероятностный подход; стохастический анализ; индекс надежности; корреляция; прочностные свойства.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Фоменко И.К., Зеркаль О.В., Самарин Е.Н. Влияние корреляции между прочностными показателями свойств грунтов на результаты расчета устойчивости склона // Геоинфо. 2025. Т. 7. № 2. С. 64–69.
DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-64-69.

THE INFLUENCE OF CORRELATION BETWEEN STRENGTH INDICATORS OF DISPERSE SOIL PROPERTIES ON THE RESULTS OF SLOPE STABILITY CALCULATIONS

Accepted for publication 14.07.2025

Published 18.08.2025

Fomenko I.K.

DSc, professor at the Department of Engineering Geology, Faculty of Hydrogeology, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (RGGU-MGRI), Moscow, Russia

Zerkal' O.V.

PhD, leading researcher at the Laboratory of Engineering Geodynamics and Substantiating Territory Engineering Protection, Department of Engineering and Environmental Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
igzov@mail.ru

Samarin E.N.

DSc, professor at the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
samarinen@mail.ru

ABSTRACT

One of the most important directions for justifying and ensuring the safety of buildings and structures is the assessment of the risk of geological processes. For more reliable assessments when solving engineering geology problems, it is necessary to calculate not only the deterministic component of the engineering-geological process, as is often done to this day, but also its stochastic component. No risk analysis or design based on reliability theory can be carried out without probabilistic analysis using only the stability coefficient. Therefore, further development of probabilistic approaches to calculations is required. The article presented demonstrates the effectiveness and necessity of stochastic analysis to account for the influence of correlation between strength parameters on the probability of landslide development. When using the stability coefficient, the correlation between the specific cohesion and the angle of internal friction cannot be taken into account. In the stochastic approach, as the correlation coefficient changes from 0 to 0.8, the probability of landslide development systematically decreases from 30% to 9.9%, meaning that the danger of landslide development with consideration of the correlation between strength parameters decreases by more than 3 times in this case. Thus, no risk analysis or design based on reliability theory can be carried out without probabilistic analysis using only FS.

KEYWORDS:

geological processes; landslide processes; risk assessment; slope stability; stability factor; reliable assessment; probabilistic approach; stochastic analysis; reliability index; correlation; strength properties.

FOR CITATION:

Fomenko I.K., Zerkal' O.V., Samarin E.N. Vliyanie korrelyatsii mezhdu prochnostnyimi pokazatelyami svoistv gruntov na rezul'taty rascheta ustoychivosti sklona [The influence of correlation between strength indicators of soil properties on the results of slope stability calculations] // GeoInfo. 2025. T. 7. № 2. S. 64–69. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-64-69 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

В настоящее время одним из важнейших направлений обоснования и дальнейшего обеспечения безопасности зданий и сооружений в соответствии с «Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений», утвержденным Федеральным законом от 30.12.2009 № 384-ФЗ (в ред. от 02.07.2013), является оценка риска возникновения геологических процессов.

Согласно ГОСТ Р 51897-2021 [1] риск определяется как влияние неопределенности на достижение поставленных целей. В рамках риск-анализа проявления геологических и инженерно-геологических процессов рассматриваются как опасность (то есть как событие, являющееся источником риска), характеризующаяся вероятностью (или частотой) появления [1, 2]. Отсюда явно следует то, что результаты инженерно-геологических исследований, инженерных изысканий должны включать оценку вероятности (или частоты) развития/акти-

визации геологических процессов, из которых одними из наиболее опасных являются оползневые процессы.

Вместе с тем используемые в инженерно-геологической практике традиционные подходы к количественной оценке устойчивости склонов ориентированы в первую очередь на определение положения в массиве поверхности с минимальными значениями коэффициента устойчивости, или коэффициента запаса ($K_{уст}$), которая является либо потенциальной поверхностью разрушения, либо сформировавшейся плоскостью скольжения. Получаемые при этом величины $K_{уст}$ отражают состояние склонового массива исключительно на момент, когда грунты, слагающие массив, характеризуются показателями, принятыми в качестве исходных. Причем предполагается, что прочностные характеристики грунтов точно известны, являются неизменными и однородными.

Получаемые при количественной оценке устойчивости склонов детерми-

нированные значения $K_{уст}$ традиционно рассматриваются в качестве критерия оценки опасности развития оползневых смещений. Именно этот подход в настоящее время закреплён в действующих нормативных документах.

Очевидно, что описанный традиционный подход не обеспечивает получение оценок вероятности (или частоты) развития/активизации оползневых процессов. В то же время на развитие процессов и формирование физико-механических параметров грунтов широкое воздействие оказывают различные случайные факторы, так как геологический процесс не является полностью детерминированным [3].

Отсутствие полноты информации о составе, строении и свойствах грунтов, о механизмах проходящих в них процессов зачастую вызывает вопросы при проектировании и строительстве объектов. Сбор, накопление и анализ данных, как правило, сопровождающиеся ошибками измерений, а также неодно-

значность использования той или другой математической модели или расчетной методики искажают скудную информацию об инженерно-геологических условиях. Указанные выше и многие другие факторы вызывают неопределенность определения и представления инженерно-геологических условий, в частности в геотехнической модели [4].

Поскольку неопределенность тесно связана со случайными величинами и их вероятностной природой, то для более достоверных оценок при решении задач инженерной геологии необходимо рассчитывать не только детерминированный компонент инженерно-геологического процесса, но и его случайную составляющую. Это является мотивацией к развитию вероятностных подходов к расчетам.

Ранее авторами была показана возможность вероятностных количественных оценок устойчивости склонов [5–8]. Особенностью таких оценок является использование в качестве исходных данных не скалярных величин, используемых при традиционном детерминированном подходе, а функции распределения свойств грунтов [9]. Однако даже использование вероятностной методологии при расчетах не гарантирует достоверность оценки надежности. Необходимо сделать следующий шаг и перейти к стохастическому системному анализу, который объединяет детерминированный и вероятностный подходы.

Цель статьи – продемонстрировать эффективность и необходимость стохастического анализа при оценке надежности на примере расчета устойчивости склона.

Таблица 1. Характеристики свойств грунтов, принятые при модельных расчетах

Параметр	Среднее значение	Стандартное отклонение
Плотность, г/см ³	2,114	0,04412
Удельное сцепление, кПа	36,0	5,209
Угол внутреннего трения, град.	17,9	2,7

Использованная методика и полученные результаты ▶

Основная идея количественной вероятностной оценки устойчивости склонов заключается в учете фактически наблюдаемой изменчивости факторов (их количественных показателей), учитываемых при расчетах. В современной практике, как правило, для каждого фактора оползнеобразования (прочностных характеристик грунтов, положений уровней подземных вод, величин сейсмических воздействий и др.) можно получить статистическое распределение. На этой основе возможен (с использованием метода Монте-Карло) расчет вероятностного распределения коэффициента устойчивости склона, меняющегося в зависимости от учитываемых значений показателей, и проведение оценки влияния последних на устойчивость склонового массива. При этом корреляционные связи между различными факторами не учитываются и они рассматриваются как полностью независимые переменные. Однако известно, например, что удельное сцепление и угол внутреннего трения корреляционно связаны. Эта связь может быть объяснена зависимостью прочностных свойств грунтов от их гранулометриче-

ского состава. Как правило, глинистым грунтам свойственны низкие углы внутреннего трения и повышенные значения сцепления, а супесчаные грунты, наоборот, имеют более высокие углы внутреннего трения и низкое сцепление.

В то же время изменчивость гранулометрического состава и свойств грунтов будет наблюдаться и в пределах одного инженерно-геологического элемента, а следовательно, между прочностными показателями будет корреляционная связь.

Чтобы оценить влияние корреляции между сцеплением и углом внутреннего трения на результаты оценки устойчивости склона, была выполнена серия расчетов с различными коэффициентами корреляции между этими прочностными параметрами. С целью исключения влияния методов оценки устойчивости и оптимизации поверхности скольжения на получаемые результаты расчеты были выполнены с использованием простого метода Ямбу [10] по круглоцилиндрической поверхности. В качестве модельного был принят склон высотой 20 м, имеющий уклон 40° и сложенный грунтами, близкими по своим свойствам к моренным суглинкам московского горизонта. Показатели

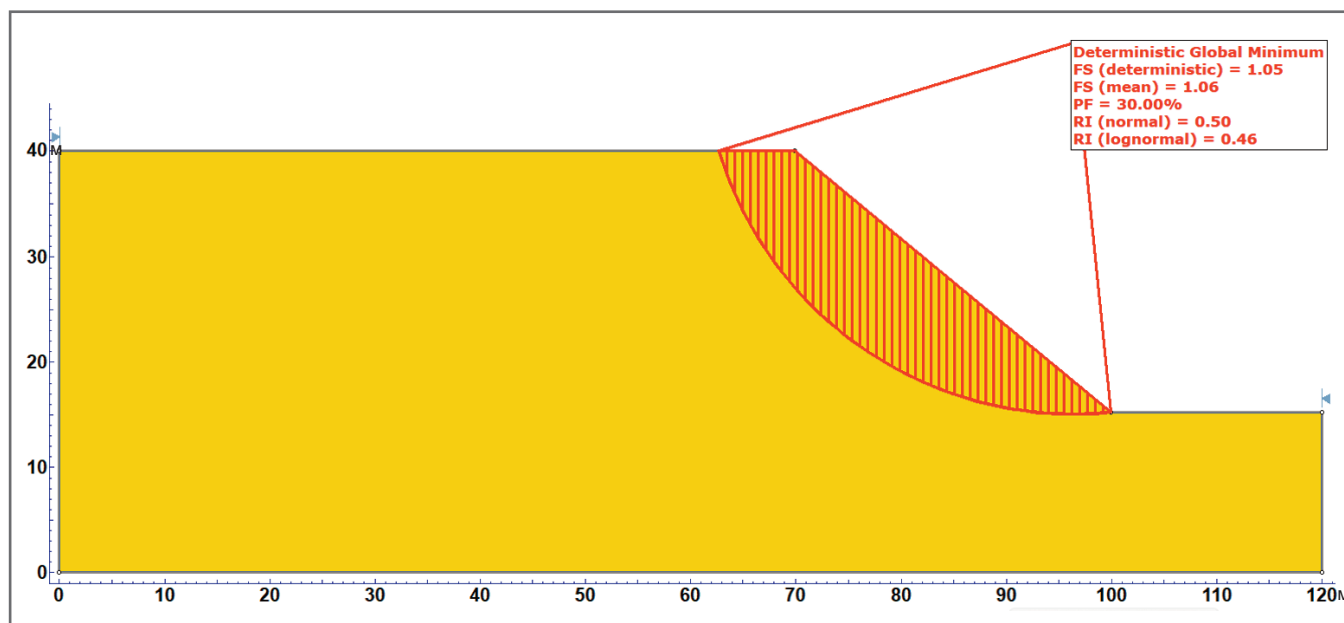


Рис. 1. Итоговая геомеханическая схема с результатами оценки устойчивости склона с использованием метода Ямбу

свойств грунтов, принятые при расчетах в качестве исходных данных, и результаты их статистической обработки, приведены в таблице 1.

Итоговая геомеханическая схема с результатами оценки устойчивости модельного склона указанным путем приведена на рисунке 1. В таблице 2 показаны численные результаты этой количественной оценки. Из таблицы видно, что при использовании только коэффициента устойчивости корреляция между удельным сцеплением и углом внутреннего трения учтена быть не может. Ведь с увеличением коэффициента корреляции вероятность потери склоном устойчивости не остается постоянной в отличие от $K_{уст}$, величина которого не меняется (см. таблицу 2, рис. 2). При изменении коэффициента корреляции от 0 до 0,8 эта вероятность закономерно уменьшается от 30 до 9,9%, то есть опасность развития оползневой процесса при учете корреляции между прочностными параметрами уменьшается в этом случае более чем в 3 раза. Таким образом, никакой анализ риска или проектирование на основе теории надежности не могут быть выполнены без вероятностного анализа с использованием только $K_{уст}$, что является прошлым мировой геотехники.

Не менее важный показатель при оценке оползневой опасности – индекс надежности β , который является мерой нормализации коэффициента устойчивости склона по его стандартному отклонению [11]:

$$\beta = \frac{K_{уст} - 1,0}{\sigma_{K_{уст}}},$$

где $\sigma_{K_{уст}}$ – среднеквадратическое отклонение коэффициента устойчивости склона.

Данный показатель позволяет подойти к оценке устойчивости склонов с позиций теории надежности.

Количественная оценка надежности на основе стохастического подхода является объективной мерой принимаемых технических решений [4]. На рисунке 3 приведена полученная по результатам расчетов зависимость индекса надежности от коэффициента корреляции между удельным сцеплением и углом внутреннего трения грунтов. Согласно рекомендациям департамента военных инженеров армии США (рис. 4) [2], в зависимости от величины этого коэффициента уровень надежности модельного склона будет меняться от аварийно-опасного (при отсутствии корреляции между прочностными свой-

Таблица 2. Результаты оценки устойчивости модельного склона

Коэффициент корреляции между сцеплением и углом внутреннего трения	Детерминированный $K_{уст}$	Среднестатистический $K_{уст}$	Вероятность потери устойчивости, %	Индекс надежности
0	1,05	1,06	30	0,5
0,2	1,05	1,06	26,2	0,62
0,4	1,05	1,06	22,6	0,72
0,6	1,05	1,06	17,8	0,88
0,8	1,05	1,06	9,9	1,23

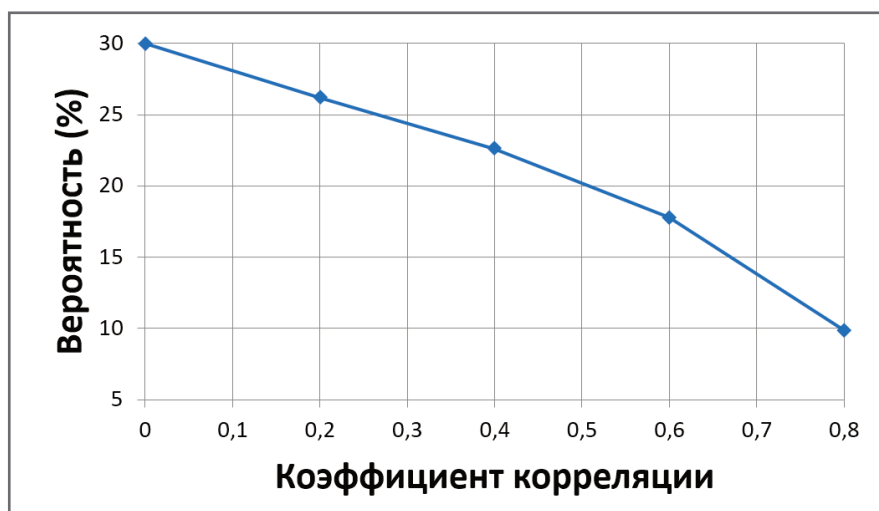


Рис. 2. Зависимость вероятности развития оползневой процесса от коэффициента корреляции между удельным сцеплением и углом внутреннего трения грунтов

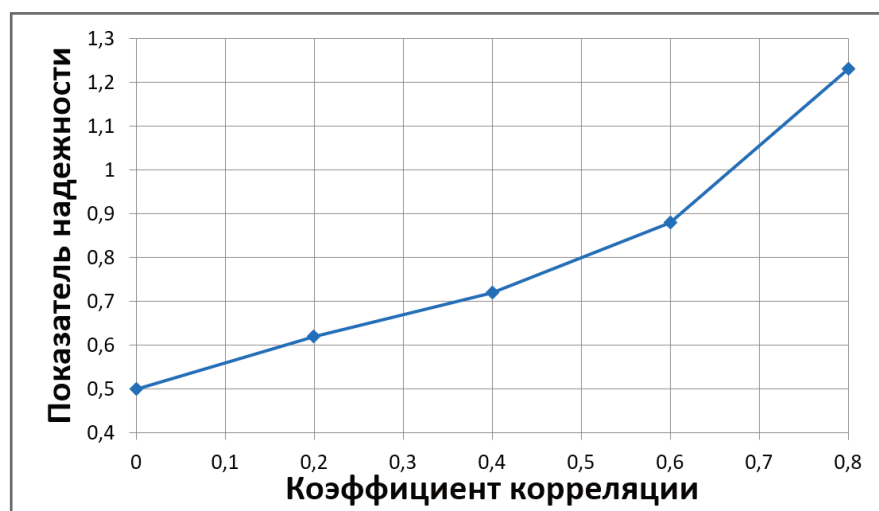


Рис. 3. Зависимость индекса надежности от коэффициента корреляции между удельным сцеплением и углом внутреннего трения грунтов

ствами, $\beta < 1$) до ненадежно-опасного уровня ($0,6 < \beta < 2,3$).

Заключение ►

В настоящее время в мире существует два основных подхода к количественной оценке устойчивости склонов при принятии проектных решений. Первый основан на детерминированном анализе с использованием коэффициентов без-

опасности/устойчивости. Именно на этом подходе базируется принятие проектных решений в России и, как следствие, именно его использование прописано во всех нормативных документах. По своей сути данное направление для достижения безопасности зданий и сооружений, с одной стороны, использует принцип избыточного проектирования, а с другой – полностью игнори-

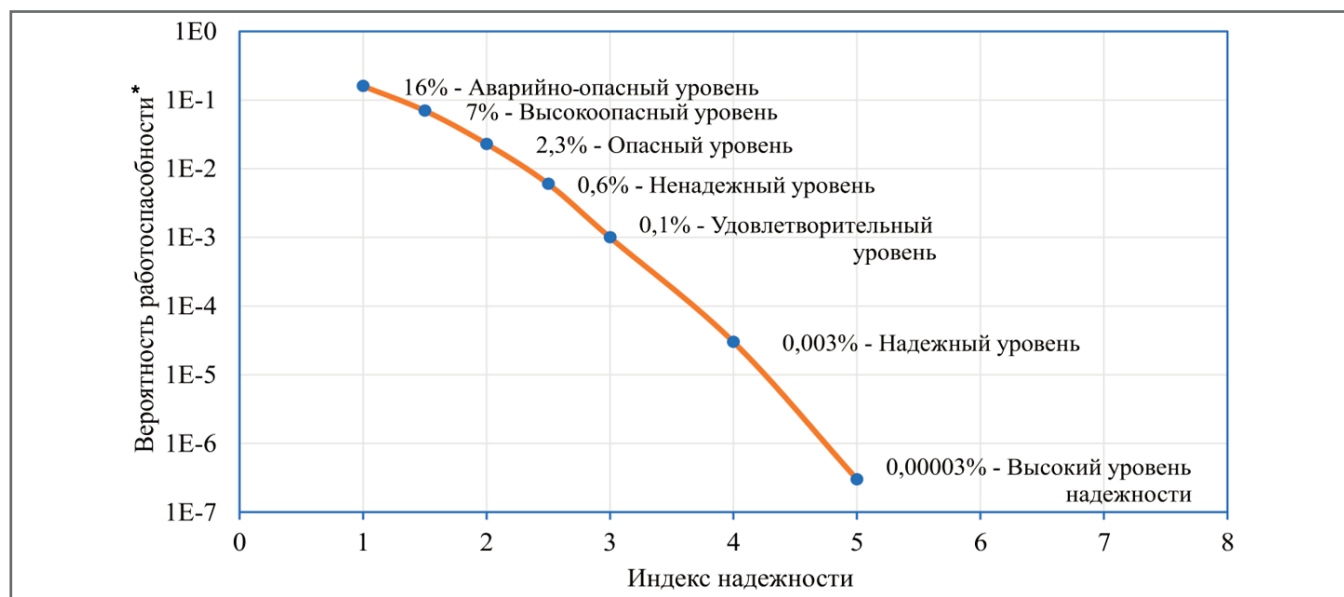


Рис. 4. Зависимость уровня вероятности от индекса надежности (по рекомендациям [12])

* В теории надёжности под работоспособностью понимается состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.

рует факт изменчивости свойств грунтов и связанной с этим неопределенности закладываемых в расчет показателей. К слову, К. Терцаги отмечал: «Быстрое развитие механики грунтов, к сожалению, сопровождалось одним нежелательным психологическим эффектом. От внимания ряда исследователей и ученых стали ускользать многочисленные ограничения, налагаемые природой на приложение математики к проблемам геотехники. В областях строительной техники инженер сталкивается с результатом действия сил на сооружения, построенные из искусственно приготовленных материалов, например таких как сталь или бетон, или из тщательно отобранных естественных материалов, например таких как дерево или камень. Так как свойства этих материалов определяются вполне надежно, вопросы проектирования соответствующих конструкций почти всегда могут быть решены либо теоретически, либо методом моделирования. С другой стороны, любое утверждение или заключение, относящееся к грунтам в естественном залегании, содержит много неопределенного. В некоторых случаях исходные

положения, лежащие в основе проектирования, являются не более чем грубыми рабочими гипотезами, которые могут быть далеки от истины» [13].

Для повышения эффективности проектирования в практику внедряются все более сложные модели грунтов. При этом полностью игнорируется то, что усложнение модели приводит к возрастанию неопределенности. Так, для модели Мора – Кулона необходимы пять входных параметров, а для модели упрочняющегося грунта (Hardening Soil) – уже десять. Безусловно, для описания процесса деформирования образца при трехосных испытаниях вторая модель предпочтительна. Однако при переходе от образца к грунтовому массиву масштабный эффект будет проявляться в росте неоднородности, которая при увеличении числа входных параметров модели приведет к тому, что полученные результаты могут быть далеки от истины (в полном соответствии с приведенным выше высказыванием К. Терцаги [14]).

Второй подход основан на стохастическом анализе и количественной оценке надежности. Он все более активно внедряется в лучшую мировую практи-

ку проектирования. В сравнении с детерминированным стохастический подход обладает объективностью и гибкостью, так как позволяет учитывать большое количество случайных и закономерных факторов без усложнения расчетных детерминированных моделей и проводить расчеты надежности системы в разнообразных грунтовых условиях [14]. Необходимыми условиями для его применения являются качественно выполненные инженерные изыскания, существенно превышающие по объемам прописанные в действующих нормативных документах, а также грамотные специалисты, понимающие эффективность данного подхода.

Приведенный в статье пример показывает, что оценка устойчивости склона может быть улучшена путем учета взаимосвязи прочностных характеристик грунтов – хорошо известного факта в практике инженерно-геологических изысканий. Но пока согласно отечественной практике принятия проектных решений безопасность может быть обеспечена только за счет реализации дорогостоящих решений по инженерной защите. **и**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ►

- ГОСТ Р 51897-2021. Менеджмент риска. Термины и определения. М., РСТ, 2021.
- United States Army Corps of Engineers. Engineering and Design: Introduction to Probability and Reliability Methods for Use in Geotechnical Engineering. Engineer Technical Letter 1110-2-547. Washington, DC, USA: Department of the Army, 1997.
- Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256 с.
- Кургузов К.В., Фоменко И.К., Сироткина О.Н. Вероятностно-статистические подходы при оценке неопределенности литотехнических систем // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2020. № 2. С. 80–89.
- Зеркаль О.В., Фоменко И.К. Влияние различных факторов на результаты вероятностного анализа активизации оползневых процессов // Инженерная геология. 2016. № 1. С. 16–21.

6. Зеркаль О.В., Фоменко И.К. Оценка геологического риска с использованием вероятностного анализа при количественной оценке устойчивости склона // Материалы 10-й Международной научно-практической конференции по проблемам снижения природных опасностей и рисков «Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата» (ГЕОРИСК-2018). М.: РУДН, 2018. Т. 1. С. 303–308.
7. Кан К., Зеркаль О.В. Применение вероятностного анализа при количественной оценке устойчивости склона // Инженерная геология. 2017. № 4. С. 18–26.
8. Кан К., Фоменко И.К., Ван Ц., Никольская О.В. Вероятностная оценка устойчивости откоса в скальных грунтах на основе обобщенного критерия прочности Хюека – Брауна // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2020. № 5. С. 60–68.
9. Фоменко И.К., Кургузов К.В., Горобцов Д.Н., Новгородова М.А., Сироткина О.Н. Схематизация свойств грунтов при математическом моделировании в инженерной геологии и геотехнике // Геоинфо (электронный журнал). 2021. № 3.
10. Janbu N. Application of composite slip surfaces for stability analysis // Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes, Stockholm, 1954. Vol. 3. P. 43–49.
11. Krahn J. Stability modeling with SLOPE/W: an Engineering Methodology. Calgary: GEO-SLOPE International Ltd., 2004.
12. UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction // International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), 2009.
13. Терцаги К., Пек Р. Механика грунтов в инженерной практике / под ред. М.Н. Гольдштейна, пер. с англ. А.В. Сулима-Самуйло. М.: Госстройиздат, 1958.
14. Кропоткин М.П., Фоменко И.К. Инженерно-геологические изыскания в России сегодня: проблемы нормативной технической документации, экспертизы и контроля качества // Инженерные изыскания. 2022. Т. 15, № 5/6. С. 8–23.

REFERENCES ►

1. GOST R 51897-2021. Menedzhment riska. Terminy i opredeleniya [Risk management. Terms and definitions]. М., RST, 2021 (in Rus.).
2. United States Army Corps of Engineers. Engineering and Design: Introduction to Probability and Reliability Methods for Use in Geotechnical Engineering. Engineer Technical Letter 1110-2-547. Washington, DC, USA: Department of the Army, 1997.
3. Bondarik G.K. Obshchaya teoriya inzhenernoi (fizicheskoi) geologii [General theory of engineering (physical) geology]. М.: Nedra, 1981. 256 s. (in Rus.).
4. Kurguzov K.V., Fomenko I.K., Sirotkina O.N. Veroyatnostno-statisticheskie podkhody pri otsenke neopredelennosti litotekhnicheskikh sistem [Probabilistic-statistical approaches in estimating uncertainty of lithotechnical systems] // Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya. 2020. № 2. S. 80–89 (in Rus.).
5. Zerkal' O.V., Fomenko I.K. Vliyanie razlichnykh faktorov na rezul'taty veroyatnostnogo analiza aktivizatsii opolznevnykh protsessov [The influence of various factors on the probabilistic analysis results of activating landslide processes] // Inzhenernaya geologiya. 2016. № 1. S. 16–21 (in Rus.).
6. Zerkal' O.V., Fomenko I.K. Otsenka geologicheskogo riska s ispol'zovaniem veroyatnostnogo analiza pri kolichestvennoi otsenke ustoychivosti sklona [Assessing geological risk using probabilistic analysis in the quantitative estimation of slope stability] // Materialy 10-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii po problemam snizheniya prirodnnykh opasnostei i riskov «Analiz, prognoz i upravlenie prirodnymi riskami s uchedom global'nogo izmeneniya klimata» (GEORISK-2018). М.: RUDN, 2018. Т. 1. С. 303–308 (in Rus.).
7. Kan K., Zerkal' O.V. Primenenie veroyatnostnogo analiza pri kolichestvennoi otsenke ustoychivosti sklona [Application of probabilistic analysis in the quantitative assessment of slope stability] // Inzhenernaya geologiya. 2017. № 4. S. 18–26 (in Rus.).
8. Kan K., Fomenko I.K., Van Ts., Nikol'skaya O.V. Veroyatnostnaya otsenka ustoychivosti otkosa v skal'nykh gruntakh na osnove obobshchennogo kriteriya prochnosti Khoeka – Brauna [Probabilistic assessment of the stability of a rock slope on the basis of the generalized Hoek-Brown strength criterion] // Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. 2020. № 5. S. 60–68 (in Rus.).
9. Fomenko I.K., Kurguzov K.V., Gorobtsov D.N., Novgorodova M.A., Sirotkina O.N. Skhematizatsiya svoystv gruntov pri matematicheskoy modelirovaniy v inzhenernoi geologii i geotekhnike [Schematization of soil properties in mathematical modeling in Engineering Geology and Geotechnics] // Geoinfo: ehlektronnyi zhurnal. 2021. № 3 (in Rus.).
10. Janbu N. Application of composite slip surfaces for stability analysis // Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes, Stockholm, 1954. Vol. 3. P. 43–49.
11. Krahn J. Stability modeling with SLOPE/W: an Engineering Methodology. Calgary: GEO-SLOPE International Ltd., 2004.
12. UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction // International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), 2009.
13. Terzaghi K., Peck R. Mekhanika gruntov v inzhenernoi praktike [Soil mechanics in engineering practice] / pod red. M.N. Gol'dshteina, per. s angl. A.V. Sulima-Samuilov. М.: Gosstroizdat, 1958 (transl. from Eng. into Rus.).
14. Kropotkin M.P., Fomenko I.K. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya v Rossii segodnya: problemy normativnoi tekhnicheskoi dokumentatsii, ehkspertizy i kontrolya kachestva [Engineering-geological surveys (site investigations) in Russia today: problems of the regulatory technical documentation, expertise and quality control] // Inzhenernye izyskaniya. 2022. Т. 15, № 5/6. S. 8–23.



МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ КАК ИНСТРУМЕНТ РЕГИОНАЛЬНОГО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА (НА ПРИМЕРЕ г. МОСКВЫ)

Принята к публикации 15.07.2025

Опубликована 18.08.2025

Жидков Р.Ю.

Главный инженер отдела картографирования и ведения единой городской картографической основы ГБУ «Мосгоргеотрест», к. г.-м. н., г. Москва, Россия

Романова Е.Р.

Младший научный сотрудник лаборатории экзогенной геодинамики и анализа геологического риска Института геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН, г. Москва, Россия
romanova.elizaveta.r@yandex.ru

Абакумова Н.В.

Инженер первой категории лаборатории грунтоведения и технической мелиорации грунтов кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
abakumova.nv@mail.ru

Рекун В.С.

Инженер второй категории ГБУ «Мосгоргеотрест», г. Москва, Россия

Савченко Д.С.

Младший научный сотрудник лаборатории геоэкологии Института геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН, г. Москва, Россия

Буфеев Ф.К.

Заведующий лабораторией исторических природно-технических систем и геоинформатики Института геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН, к. г.-м. н., г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены возможности использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) при инженерно-геологическом мониторинге регионального уровня на примере г. Москвы. Предлагается подход к выявлению областей проявления оползнеобразования, суффозии и осадок на основе спутниковых снимков из открытых источников и данных системы «Цифровой двойник». Показана эффективность комплексного анализа данных ДЗЗ и наземных наблюдений для оперативного управления георисками мегаполиса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

геориски мегаполиса; г. Москва; методы дистанционного зондирования Земли; инженерно-геологический мониторинг; региональный инженерно-геологический мониторинг; опасные геологические процессы; перемещение масс грунтов; насыпи; выемки; оползни; суффозия; осадки земной поверхности; изменение рельефа; спектральные индексы; комплексирование методов.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Жидков Р.Ю., Романова Е.Р., Абакумова Н.В., Рекун В.С., Савченко Д.С., Буфеев Ф.К. Методы дистанционного зондирования Земли как инструмент регионального инженерно-геологического мониторинга (на примере г. Москвы) // Геоинфо. 2025. Т. 7. № 2. С. 70–78. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-70-78.

EARTH REMOTE SENSING METHODS AS A TOOL FOR REGIONAL ENGINEERING-GEOLOGICAL MONITORING (BY THE EXAMPLE OF MOSCOW)

Accepted for publication 15.07.2025

Published 18.08.2025

Zhidkov R.Yu.

PhD, chief engineer at the Department of Mapping and Maintenance of the Unified City Cartographic Base, State Budgetary Institution "Mosgorgeotrest", Moscow, Russia

Romanova E.R.

Junior Researcher at the Laboratory of Exogenous Geodynamics and Geological Risk Analysis, Sergeev Institute of Geoecology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
romanova.elizaveta.r@yandex.ru

Abakumova N.V.

First Category Engineer at the Laboratory of Soil Science and Technical Soil Reclamation, Department of Engineering and Environmental Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
abakumova.nv@mail.ru

Rekun V.S.

Second category engineer at the State Budgetary Institution "Mosgorgeotrest", Moscow, Russia

Savchenko D.S.

Junior Researcher at the Laboratory of Geocryology, Sergeev Institute of Geoecology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Bufeev F.K.

PhD, the head of the Laboratory of Historical Natural-Technical Systems and Geoinformatics, Sergeev Institute of Geoecology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, Moscow, Russia

ABSTRACT

The paper considers the capabilities of using earth remote sensing data in engineering-geological monitoring at the regional level by the example of Moscow. An algorithm for identifying and predicting landslides, suffusion and subsidence was developed on the basis of satellite images from open sources and of materials from the "Digital Twin" system. The effectiveness of an integrated analysis of earth remote sensing and ground observation data for the operative georisk management in the megalopolis is shown.

KEYWORDS:

metropolis georisks; Moscow; earth remote sensing methods; engineering-geological monitoring; regional engineering-geological monitoring; hazardous geological processes; soil mass movement; embankments; excavations; landslides; suffusion; earth surface subsidence; relief changes; spectral indices; integration of methods.

FOR CITATION:

Zhidkov R.Yu., Romanova E.R., Abakumova N.V., Rekun V.S., Savchenko D.S., Bufeev F.K. Metody dstantsionnogo zondirovaniya Zemli kak instrument regional'nogo inzhenerno-geologicheskogo monitoringa (na primere g. Moskvy) [Earth remote sensing methods as a tool for regional engineering-geological monitoring (by the example of Moscow)] // Geoinfo. 2025. T. 7. № 2. S. 70–78. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-70-78 (in Rus.).

Введение ►

Инженерно-геологический мониторинг (ИГМ) служит фундаментальной основой для обеспечения безопасности и устойчивости инженерных сооружений и территорий в условиях воздействия опасных геологических процессов. Его ключевая задача – систематическое наблюдение за состоянием геологической среды (грунтовых массивов, подземных вод) и инженерных конструкций с целью своевременного выявления и прогнозирования развития неблагоприятных процессов, таких как оползни, карст, суффозия, осадки грунтов.

Классические методы ИГМ, базирующиеся на сетях наземных инстру-

ментальных наблюдений (с использованием геодезических реперов, пьезометрических установок, инклинометров и др.) и на визуальных обследованиях, обеспечивают высокую локальную точность, но сталкиваются с существенными ограничениями. К последним относятся высокая трудоемкость и стоимость регулярных полевых работ, ограниченный пространственный охват (дискретный характер данных), сложность мониторинга обширных или труднодоступных территорий (горных районов, зон активных оползней), а также запаздывание в получении информации о развитии процессов на всей контролируемой площади.

Развитие дистанционных методов зондирования Земли (ДЗЗ) предоставляет инструментарий для преодоления этих ограничений. Это способствует переходу от реактивного подхода в мониторинге к проактивному – прогнозированию опасных процессов и превентивному управлению рисками. Методы дистанционного зондирования включают использование спутниковых снимков, аэрофотосъемки, лазерного сканирования и радиолокационных измерений. Применение технологий обработки изображений, таких как компьютерное зрение, и возможностей геоинформационных систем позволяет проводить комплексный анализ пространственно-

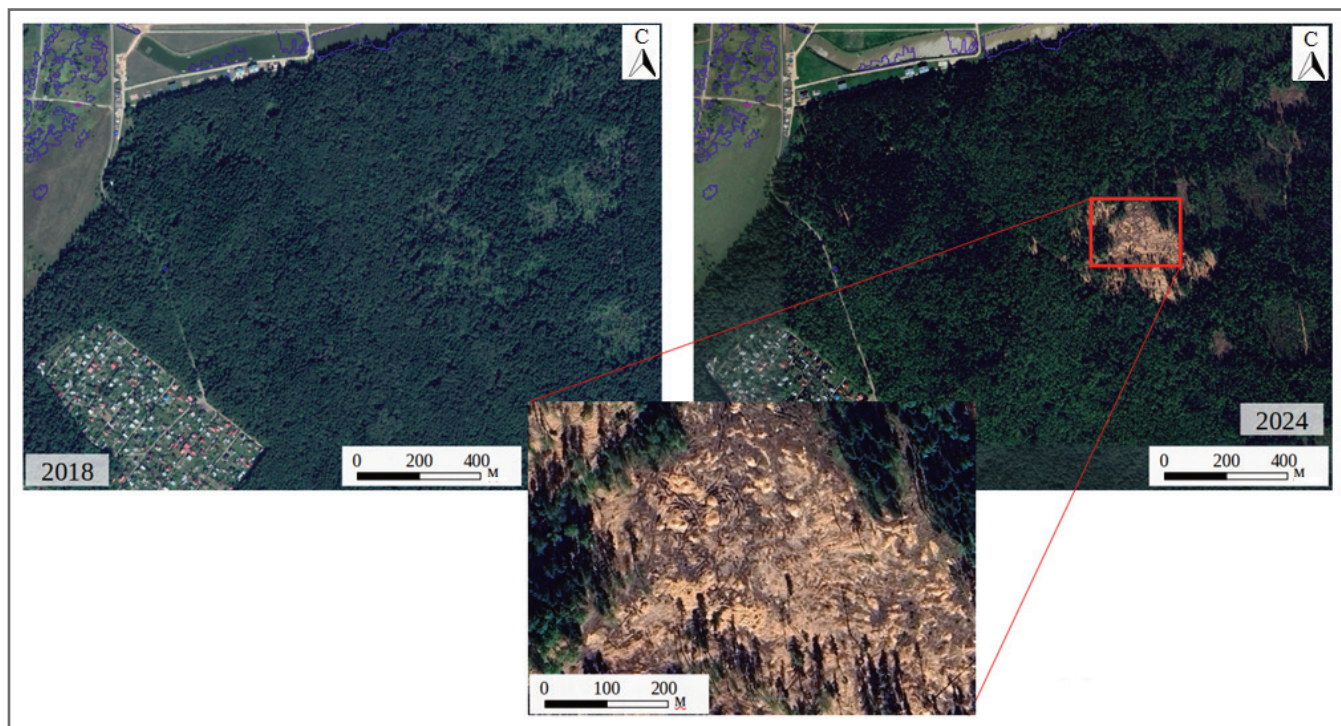


Рис. 1. Несанкционированный отвал строительных отходов в Троицком административном округе г. Москвы, идентифицированный по данным ДЗЗ

го распределения различных геологических явлений, выявлять зоны риска и оценивать потенциальные угрозы.

Согласно пособию [1] выделяется несколько уровней организации систем ИГМ – от детального (включающего наблюдения на конкретной строительной площадке, оползневом склоне и т.д.) до глобального (закключающегося в функционировании межгосударственных наблюдательных сетей и выявлении планетарных закономерностей). И если подходы к применению данных дистанционного зондирования для осуществления детального мониторинга описаны в таких публикациях, как [2–4], то региональный уровень, призванный обеспечить оценку изменений геологической среды территорий комплексного антропогенного освоения, представлен в научных публикациях слабо (в качестве редкого примера таких исследований можно привести мониторинг оползневой активности склонов в районе Большого Сочи, выполняемый специалистами Института физики Земли [5]).

Цели данного исследования – изучение потенциала применения методов ДЗЗ как инструмента регионального инженерно-геологического мониторинга на территории г. Москвы и оценка применимости общедоступных открытых данных для решения этой задачи. В качестве исходных материалов используются данные дистанционного зондирования, применяемые ГБУ «Мосгоргеотрест»

для создания информационной системы «Цифровой двойник г. Москвы».

Оценка изменений в условиях городской застройки ►

Развивая мысль академика В.И. Вернадского [6], можно сказать, что человек уже давно стал крупнейшей геологической силой. На городских территориях хозяйственная деятельность человека – основной фактор формирования и изменения массивов грунтов. В исследовании [7] показано, что объем техногенных грунтов в границах «Старой Москвы» (то есть без учета территорий, присоединенных к Москве в 2012 году, ранее относившихся к Московской области) составляет около 1,95 км³, а их мощность достигает 40 м, в среднем составляя порядка 2 м. В рамках настоящего исследования для изучения масштабов процесса техногенного перемещения грунтовых масс в пределах ТиНАО (Троицкого и Новомосковского новых округов г. Москвы) использовались данные дистанционного зондирования – результаты лидарной съемки высокого разрешения, полученные за период с 2019 по 2022 год, на основе которых были построены цифровые модели рельефа (ЦМР) в растровом формате с размером элементарной ячейки 4×4 м. Имея две и более таких ЦМР, можно провести анализ изменений, произошедших в исследуемый период. Выбор периода време-

ни в рамках этого исследования определялся фактором наличия данных (с 2023 года использование беспилотных летательных аппаратов на территории РФ имеет ограничения).

Для оценки баланса грунтовых масс за указанный период была разработана методика, заключающаяся в выявлении изменений по данным ЦМР. Были выделены участки с отрицательными изменениями рельефа (выемки) и насыпи мощностью не менее 1 м. Это позволило подсчитать суммарные объемы насыпей и выемок в каждом полигоне и оценить их соотношение.

Поскольку результаты любого из методов ДЗЗ могут иметь неточности и «артефакты», необходима тщательная проверка результатов. С помощью сервиса Google Earth Pro по данным спутниковых снимков за исследуемый период была произведена отбраковка таких участков. Несмотря на то что данные были предварительно обработаны, в ряде случаев за насыпи принимались построенные дома, за выемки – снесенные здания, вырубленные леса. Большое количество «артефактов» наблюдалось также вблизи водных объектов.

Результаты оценки показали, что объем насыпей превышает объем выемок в 2,5 раза. Такой дисбаланс обусловлен не только разуплотнением грунтов при выемке из тоннелей и котлованов, но и привозом грунта для пла-

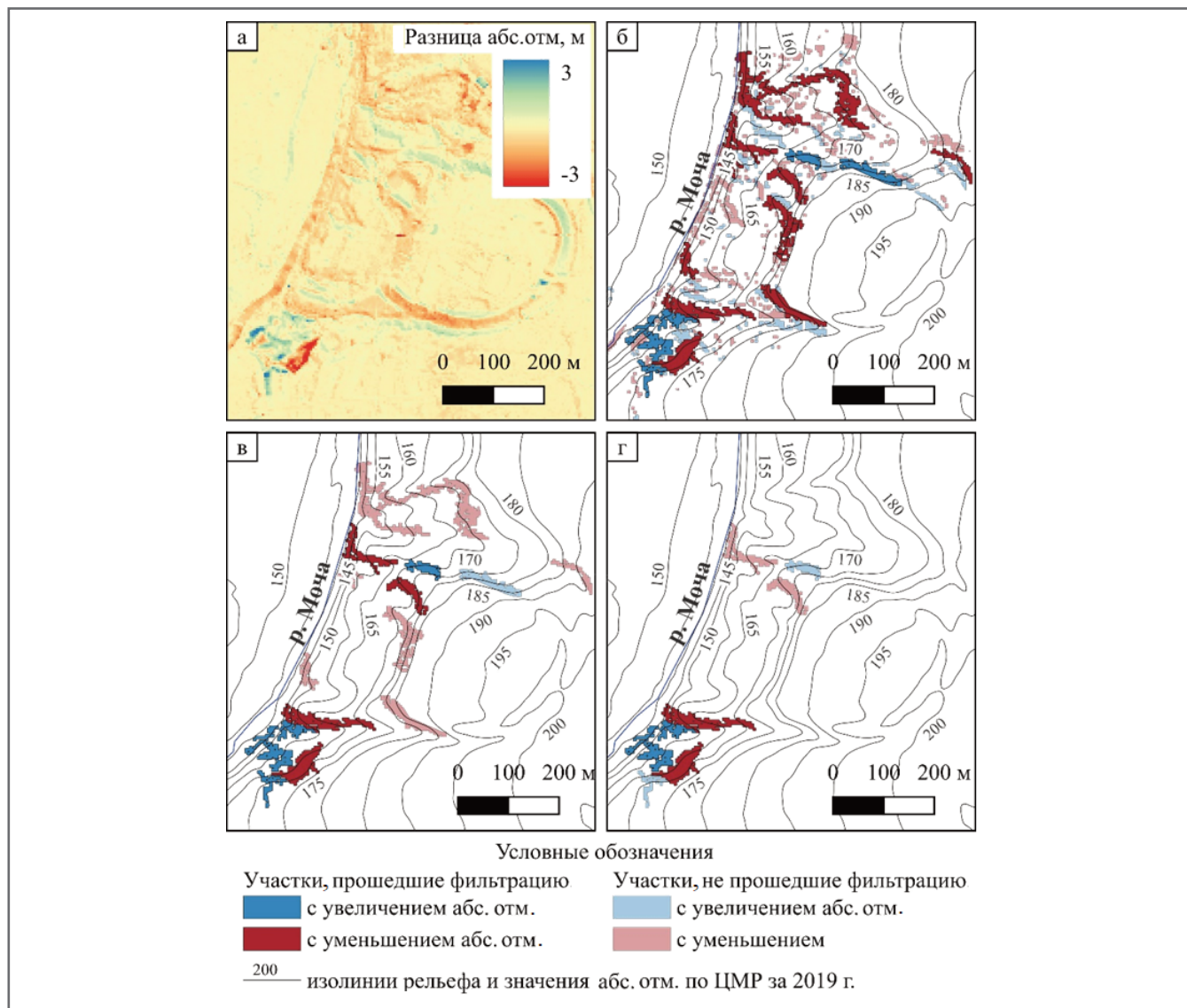


Рис. 2. Демонстрация методики поиска активных оползней по ЦМР: а – растр разности ЦМР за 2022 и 2019 год; б – фильтрация полигонов по площади; в – фильтрация по взаимной удаленности; г – фильтрация по перепаду абсолютных отметок

номерного возведения насыпей и песчаных подушек. Также следует учитывать несанкционированное перемещение земляных масс с территории старой части Москвы и Московской области (рис. 1).

Общий прирост техногенных накоплений грунтов на территории «Новой Москвы» за 2019–2022 годы составил $0,03 \text{ км}^3$, что составляет около 1,5% от объемов, накопленных за многие столетия в границах «Старой Москвы».

Выявление активных оползневых участков

Среди природных факторов, определяющих перемещение масс грунтов, на территории ТиНАО наиболее существенен вклад оползневых процессов. Для поиска *активных оползневых тел* предложен следующий подход. В качестве интересующих участков рассматривались территории, имеющие

уклон не менее 5° , практически лишённые застройки, с захватом буферной зоны 100 м. Они были выбраны при помощи данных единой городской картографической основы (ЕГКО) г. Москвы и открытых веб-карт OpenStreetMap. Площадь исследуемой области составила $20,2 \text{ км}^2$. На основе ЦМР путем попиксельного вычитания были оцифрованы области, абсолютные отметки которых за исследуемый период изменились на 0,5 м и более (рис. 2, а). В результате было выделено 10 103 участка накопления и 10 208 участков уменьшения объема грунта.

Последующая методика исходит из представления об оползневом склоне как об области денудации (участка уменьшения абсолютных отметок), расположенной у бровки, и области аккумуляции (участка увеличения абсолютных отметок), расположенной у подош-

вы. Полигоны площадью менее 1000 м^2 были отфильтрованы (рис. 2, б), в результате чего выборка была сужена до 187 полигонов положительных и 269 полигонов отрицательных изменений рельефа. При дальнейшей обработке были удалены полигоны положительных и отрицательных изменений, находящиеся на расстоянии более 100 м друг от друга (рис. 2, в). В результате было получено 36 полигонов потенциальной аккумуляции и 31 полигон потенциальной денудации. Далее с использованием ЦМР за 2019 год были извлечены абсолютные отметки центров полигонов и оставлены только такие их пары, у которых абсолютные отметки полигона денудации превышают отметки полигона аккумуляции (рис. 2, г).

В результате были получены 13 полигонов потенциальной аккумуляции и 16 полигонов потенциальной денуда-



Рис. 3. Местоположение выявленного участка оползневой активности в районе п. Спортбазы в Троицком административном округе г. Москвы



Рис. 4. Последствия схода оползня в районе п. Спортбазы в Троицком административном округе г. Москвы (фото предоставлено ГПБУ «Мосэкомониторинг»)

Таблица. Статистика изменений рельефа в границах оползневых участков г. Москвы в период с 2006 по 2011–2015 гг. по результатам сопоставления глобальных цифровых моделей ALOS30DEM и FABDEM

Наименование зоны по легенде геологического атласа [9]	Часть склона	Площадь зоны, м ²	Среднее изменение абсолютных отметок, м	Стандартное отклонение
Глубокие оползни в юрских отложениях (активные)	верхняя	286 905	–1,1	5,13
	нижняя	300 019	2,5	5,68
Глубокие оползни в юрских отложениях (неактивные)	верхняя	1 289 615	–1,6	5,83
	нижняя	1 164 178	0,5	5,79
Склоны, потенциально опасные в оползневом отношении	верхняя	282 808	–1,0	5,97
	нижняя	273 352	0,4	5,82

ции, расположенных на 11 участках. На этом этап автоматизированной обработки был завершен, а ручная проверка с использованием ЦМР показала, что единственный оползневой склон,

который был активен в исследуемый период, располагается районе п. Спортбазы (рис. 3, 4).

В рамках исследования выполнялась оценка возможности использования от-

крытых данных для выявления активных оползневых процессов. Была предпринята попытка охарактеризовать изменения рельефа земной поверхности на участках оползневых склонов г. Москвы с применением общедоступных глобальных цифровых моделей местности (ЦММ) и рельефа (ЦМР). Обработывались следующие цифровые модели: CopernicusDEM30 (2011–2015 гг.); ALOS30DEM (2006 г.); SRTM 1 arc-second (февраль 2000 г.); FABDEM (ЦМР на основе ЦММ CopernicusDEM без зданий и растительности). Все эти модели имеют пространственное разрешение в средних широтах порядка 30 м [8].

В качестве источника информации об активных оползневых склонах использовалась карта современных геологических процессов и явлений в составе геологического атласа г. Москвы масштаба 1:10 000 в редакции 2012 года [9]. В легенде к этой карте выделены «глубокие оползни в юрских отложениях, которые разделены на активные и неактивные, а также показаны потенциально оползнеопасные склоны. Активность оползневых склонов на момент выпуска атласа охарактеризована по данным ОАО «Геоцентр-Москва», работам институтов геоэкологии и физики Земли РАН» [9]. Для оценки положения рельефа на начальный момент в качестве референсных моделей использовались ALOS30DEM и SRTM 1 arc-second, поскольку они были выпущены раньше, чем вышеуказанный атлас [9], ЦММ CopernicusDEM30 и ЦМР FABDEM. Отметим, что точность глобальных моделей не позволяет применять методику, описанную ранее для территории «Новой Москвы» с выделением фактических областей сноса и аккумуляции, а лишь дает возможность статистически охарактеризовать характер изменений в нижней и верхней частях оползневого склона. Из всех пар цифровых моделей ожидаемые результаты (уменьшение отметок рельефа в верхней части и увеличение в нижней) были получены при анализе моделей ALOS30DEM и FABDEM (таблица). При этом, учитывая что математическое ожидание величины меньше стандартного отклонения по выборке, можно сделать вывод, что общедоступные глобальные модели рельефа малоприменимы для целей анализа оползневой активности.

Использование данных аэрофотосъемки в видимом и инфракрасном диапазоне ►

Применение данных дистанционного зондирования в оптическом диапазоне (видимом и инфракрасном) потенциаль-

но может стать одним из ключевых инструментов для решения задач инженерно-геологического мониторинга, в том числе с использованием общедоступных данных. При этом с учетом масштаба задач регионального мониторинга и потенциально высокой частоты обновления информации (например, периодичность съемки земной поверхности спутниками LandSat 4–9 равна 16 суткам) целесообразна разработка методологии оперативного отслеживания динамики инженерно-геологических процессов и техногенных изменений с применением компьютерных алгоритмов.

Картирование каких-либо объектов по снимкам сводится к задаче семантической сегментации, то есть к разделению изображения на группы пикселей. В автоматизированном режиме такая задача может решаться с использованием методов машинного обучения и компьютерного зрения. Однако в зависимости от характера идентифицируемого процесса требуется различный набор исходных данных и должны применяться разные подходы к их предобработке. Так, большие возможности для интерпретации открывает наличие ближнего инфракрасного диапазона. На основе его комбинации с другими каналами можно получить набор спектральных индексов, которые будут использоваться для решения задач сегментации изображений и классификации объектов.

Отражающие свойства поверхностей по-разному проявляются в видимом и тепловом или инфракрасном диапазоне. На этом основана теория применения спектральных индексов. Одним из са-

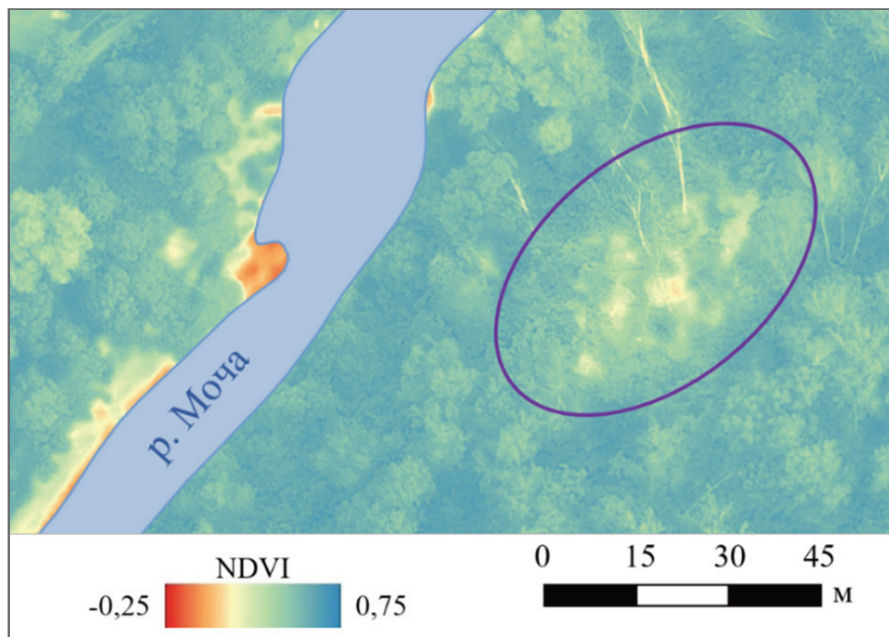


Рис. 5. Карта с отображением величин NDVI, на которой сиреневым овалом обведен участок с деградацией растительности в результате схода оползня в районе п. Спортбазы

мых популярных является нормализованный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI), вычисляемый по формуле [10]:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}, \quad (1)$$

где NIR, Red – интенсивность отраженного света в инфракрасном и красном диапазоне соответственно.

Поскольку здоровые растения благодаря хлорофиллу хорошо поглощают красный свет и отражают ближний инфракрасный, то можно рассчитать соотношение, значения которого будут находиться в диапазоне от минус 1 до плюс 1: для объектов неживой природы

характерны значения от минус 1 до 0, а для растительности – от 0 до плюс 1. В этом свете утерянную значимость приобретает геоботанический метод, основанный на анализе состояния растительности как индикатора подповерхностных геологических условий. Его интеграция с дистанционными технологиями открывает новые возможности для идентификации и оценки динамики геологических процессов. Геоботанический метод предполагает выявление и изучение аномалий в развитии растений, связанных, например, с угнетением корневой системы в результате подтопления, с проявлением наклона стволов деревьев («пьяного леса») и гибели

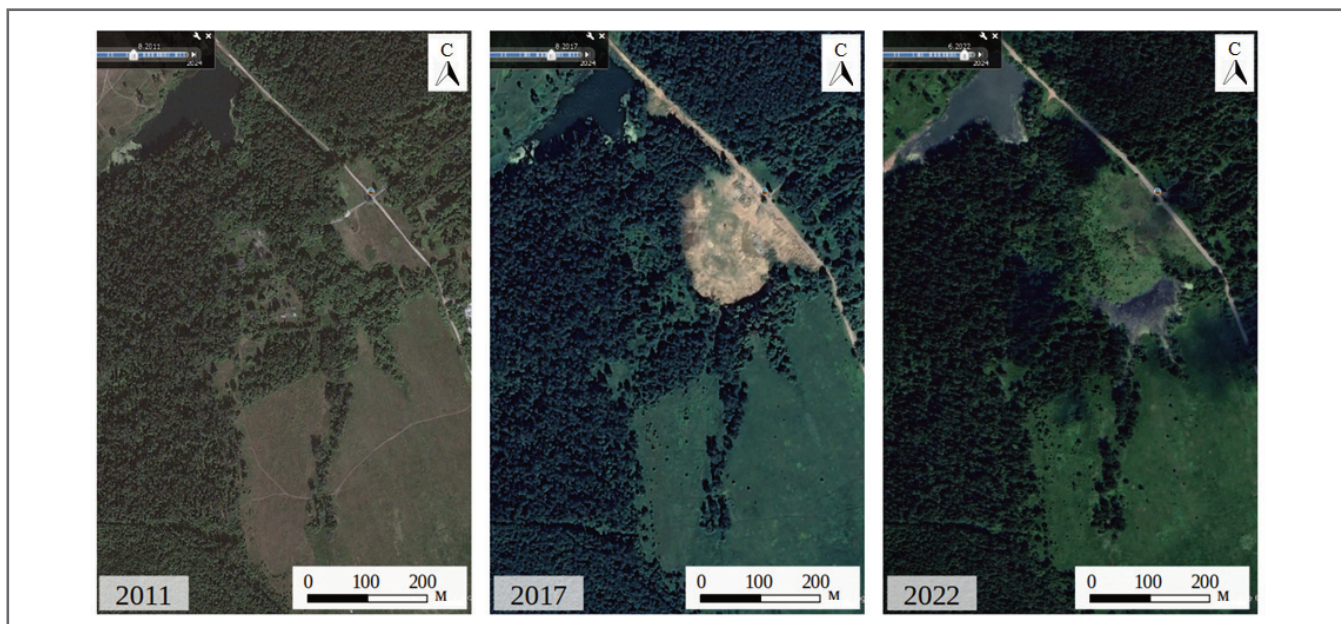


Рис. 6. Пример деградации растительности за счет препятствия движению поверхностных вод, появившегося после возведения насыпи

древостоя в результате действия оползневых процессов (рис. 5, 6).

Для выявления открытой воды в 1996 году был введен нормализованный водный индекс (Normalized Difference Water Index – NDWI [11]), значения которого также лежат в диапазоне от минус 1 до плюс 1: у воды и обводненных объектов – положительные значения, у остальных объектов – отрицательные. Принцип основан на том, что вода поглощает инфракрасный спектр и отражает зеленый, поэтому формула для расчета этого индекса выглядит следующим образом:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}, \quad (2)$$

где Green, NIR – интенсивность отраженного света в зеленом и инфракрасном диапазоне соответственно.

Следует отметить, что застроенная земная поверхность выступает в качестве шума и тоже может иметь положительные значения, поэтому снимки нужно фильтровать от застройки. В остальном же использование этого индекса дает обнадеживающие результаты. На рисунке 7 показан заболоченный участок, который наглядно демонстрирует, что данный индекс является надежным инструментом для распознавания обводненных грунтов и «открытой воды».

Однако, чтобы определять глубину залегания уровня грунтовых вод, необходимую при построении карт подтопления, недостаточно ближнего инфракрасного диапазона. Для этого необходимо наличие теплового канала, а также других диапазонов инфракрасного спектра (коротко- и средневолнового). Примеры таких исследований приведены в работах [12–14].

Выявление площадных вертикальных смещений ►

Рассмотренное выше касалось вопросов перемещений грунта (техногенных или природных). Однако для целей мониторинга осадок земной поверхности точности лидарной съемки недостаточно. Большим потенциалом для выявления участков развития процессов в условиях городской застройки обладают методы спутниковой интерферометрии по данным съемок радиолокаторами с синтезированной апертурой (РЛСА).

Существует две группы интерферометрических методов. Первая (InSAR – радиолокационная интерферометрия с синтезированной апертурой) направлена на определение высот поверхности земли и создания цифровых моделей рельефа (ана-

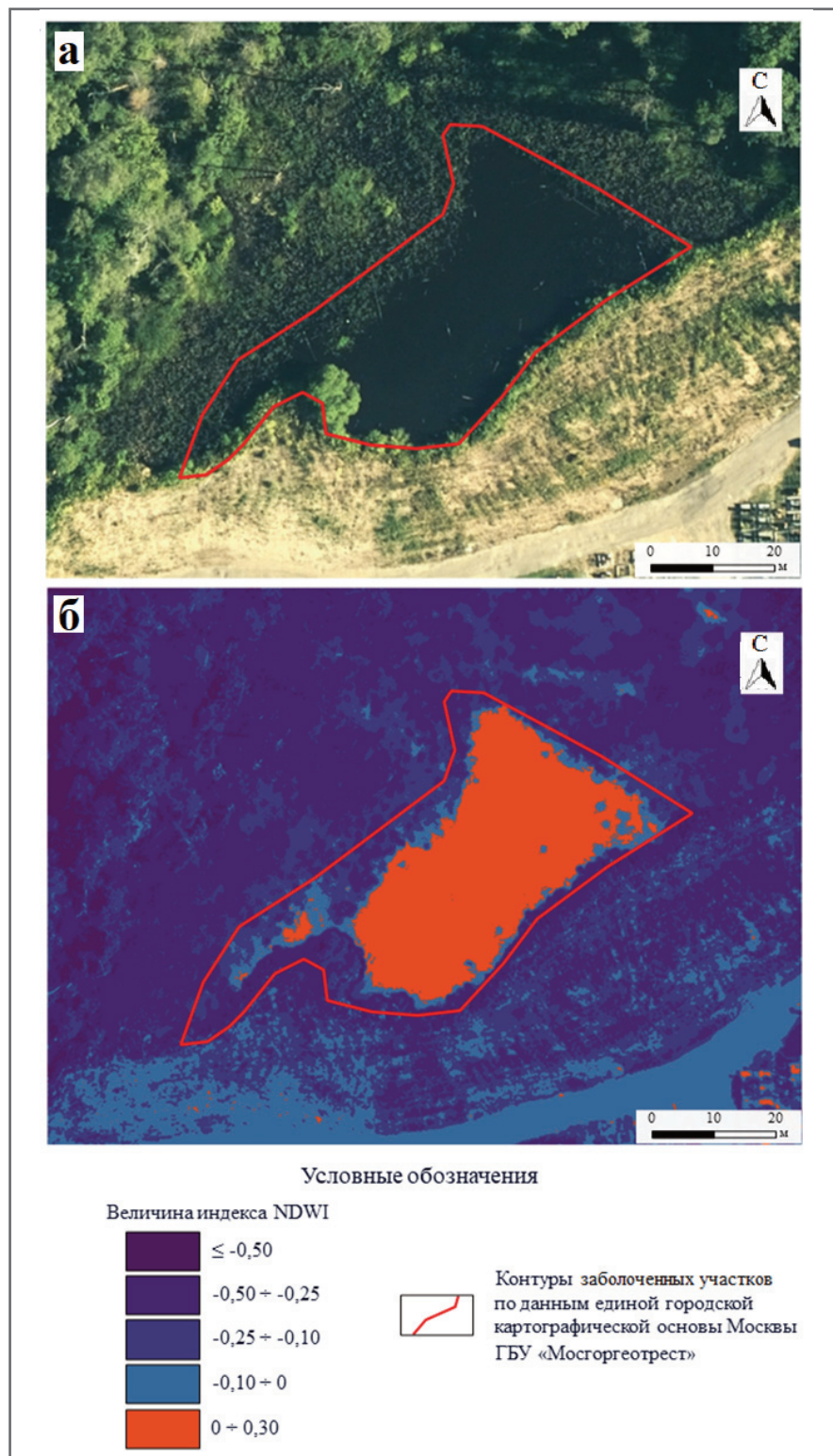


Рис. 7. Идентификация заболоченного участка, расположенного в Ульяновском лесопарке в Новомосковском административном округе (а), по нормализованному водному индексу NDWI (б), рассчитанному по изображению с ближним инфракрасным каналом

логично искусственному созданию стереопар). Вторая (DInSAR – дифференциальная радиолокационная интерферометрия с синтезированной апертурой) включает в себя подходы к оценке изменений высот и выявлению участков проявления деформаций [15]. В последнее время технологии радиолокационной съемки активно разви-

ваются, выводятся на орбиту новые космические аппараты, повышается точность и улучшается пространственное разрешение данных [16], а кроме того, появляется новое программное обеспечение [17] для анализа таких данных.

Наибольший интерес для мониторинга смещений земной поверхности

вызывает разновидность дифференциальной интерферометрии – метод устойчивых отражателей. Его основная идея заключается в том, что расчет смещений выполняется по 15 и более снимкам за разные даты, причем обрабатывается не весь снимок, а пиксели с наименьшей дисперсией амплитуды и наибольшей когерентностью радиолокационного сигнала. Основное ограничение данного метода заключается в том, что из расчетов невозможно получить абсолютные вертикальные и горизонтальные смещения в трехмерном пространстве. Существует ряд подходов, позволяющих решить такую задачу, например использование съемок с различных точек обзора. Но наиболее достоверный способ – организация натурных наблюдений за смещениями для установления корреляционной связи между их вертикальной и горизонтальной составляющими на исследуемой территории. Этот метод хорошо себя зарекомендовал при анализе застроенных территорий, в частности при наблюдении за осадками крупных инженерных сооружений, линейных объектов. Кроме того, он широко применяется для мониторинга таяния ледников, выявления оползневых процессов,

осадок поверхности, вызванных проходкой горных выработок, откачкой нефти и т.д.

Заключение ►

Тема применения данных ДЗЗ для целей мониторинга перемещений грунтов и осадок грунтовых массивов многогранна и перспективна. Показано, что результаты детальной лидарной съемки позволяют выполнять оценку баланса грунтовых масс, выявлять их несанкционированное накопление, отслеживать динамику формирования техногенных массивов и осуществлять мониторинг перемещения оползневых масс.

Применение общедоступных открытых ЦММ и ЦМР для этих целей ограничено их разнородностью, низким разрешением и отсутствием регулярного обновления. Тем не менее можно предположить, что по мере развития технологий и появления актуальных глобальных моделей рельефа комбинирование открытых данных за разные периоды времени с другими видами дистанционных данных в совокупности с применением методов машинного обучения позволят косвенно получать информацию об активности техногенных и природных процессов.

Необходимо помнить о том, что каждый из методов ДЗЗ имеет свои ограничения и свой диапазон применения. Следовательно, наиболее эффективно комплексирование различных методов ДЗЗ (оптической и лидарной съемки, интерферометрии), данных инструментального мониторинга, полевых геологических исследований. Для городских территорий и ответственных объектов целесообразна интеграция с общесистемными ресурсами и цифровыми двойниками городской среды.

Применение интерферометрических замеров для мониторинга осадок земной поверхности – одно из наиболее перспективных направлений, которое авторы планируют развивать в дальнейшем. Одним из возможных вариантов развития этого направления может стать мониторинг деформаций объектов культурного наследия, кровля которых покрыта материалами с высокой отражающей способностью. Добавить еще одно предложение: В качестве практического приложения результатов данного исследования авторы видят обновление карты распространения опасных процессов и явлений, входящей в состав Геологического атласа г. Москвы масштаба 1:10 000 [9] и расширение области картографирования за счет территории ТиНАО. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ►

1. Королев В.А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем /под ред. В.Т. Трофимова. М.: Издательский дом МГУ, 2007. 415 с. ISBN 978-5-98227-268-3.
2. Баборыкин М.Ю., Жидиляева Е.В. Новые подходы в мониторинге опасных геологических процессов на трубопроводах // Геоинфо. 2022. № 9. С. 36–41.
3. Викторов А.С., Георгиевский Б.В., Капралова В.Н., Орлов Т.В., Трапезникова О.Н., Зверев А.В. Опыт дистанционного мониторинга опасных геологических процессов по трассе трубопроводных систем (Восточная Сибирь) // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2018. № 6. С. 50–58. DOI 10.1134/S0869780318050095.
4. Дробинина Е.В., Китаева М.А., Романова Е.Р. Особенности мониторинга опасных инженерно-геологических процессов с применением геоинформационных систем и данных дистанционного зондирования Земли // Вестник Пермского университета. Геология. 2025. Т. 24. № 1. С. 23–31. DOI: 10.17072/psu.geol.24.1.23.
5. Смольянинова Е.И., Михайлов В.О. Мониторинг оползневой активности склонов в районе Большого Сочи за период 2015–2024 гг. по данным РСА-интерферометрии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 1. С. 69–78. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-1-69-78.
6. Вернадский В.И. Несколько слов о ноосфере // Успехи совр. биол. 1944. Т. 18. Вып. 2. С. 113–120.
7. Жидков Р.Ю., Абакумова Н.В., Рекун В.С. Применение комплексного ретроспективного анализа при определении конфигурации массивов техногенных грунтов на примере г. Москвы // Инженерная геология. 2023. Т. 18, № 1. С. 19–34.
8. Данилов В.А., Морозова В.А., Фёдоров А.В., Шлапак П.А. Открытые данные дистанционного зондирования для выявления археологических объектов // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2024. № 3. С. 250–258.
9. Геологический атлас Москвы (в 10 томах). Масштаб 1:10 000. Пояснительная записка. М.: ГУП «Мосгортест», 2010. 57 с.
10. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite) // Proceedings of the 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium (SP-351). Greenbelt, MD, USA, 1973. P. 309–317.
11. McFeeters S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // International Journal of Remote Sensing. 1996. Vol. 17. № 7. P. 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
12. Lendzioch T., Langhammer J., Vlcek L., Minarik R. Mapping the groundwater level and soil moisture of a montane peat bog using UAV monitoring and machine learning // Remote Sensing. 2021. Vol. 13. № 5. ID 907. <https://doi.org/10.3390/rs13050907>.

13. Rohde M.M., Biswas T., Housman I.W., Campbell L.S., Klausmeyer K.R., Howard J.K. A machine learning approach to predict groundwater levels in California reveals ecosystems at risk // *Frontiers in Earth*. 2021. Vol. 9. ID 784499. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.784499>.
14. Staceczny A., Narahari S.C., Vurubindi P., Guptha N.S., Srinivas K. Underground water level prediction in remote sensing images using improved hydro index value with ensemble classifier // *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15. № 8. ID 2015.
15. Woodhouse I.H. Introduction to microwave remote sensing. Boca Raton: CRC press, 2017. 400 p. <https://doi.org/10.1201/9781315272573>.
16. Tsokas A., Rysz M., Pardalos P.M., Dipple K. SAR data applications in Earth observation: an overview // *Expert Systems with Applications*. 2022. Vol. 205. Article 117342. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2022.117342>.
17. Hrysiewicz A., Wang X., Holohan E.P. EZ-InSAR: an easy-to-use open-source toolbox for mapping ground surface deformation using satellite interferometric synthetic aperture radar // *Earth Science Informatics*. 2023. Vol. 16. № 2. P. 1929–1945. DOI: 10.1007/s12145-023-00973-1.

REFERENCES ►

1. Korolev V.A. Monitoring geologicheskikh, litotekhnicheskikh i ehkologo-geologicheskikh sistem [Monitoring of geological, lithotechnical and ecological-geological systems] / pod red. V.T. Trofimova. M.: Izdatel'skii dom MGU, 2007. 415 s. ISBN 978-5-98227-268-3 (in Rus.).
2. Baborykin M.YU., Zhidilyaeva E.V. Novye podkhody v monitoringe opasnykh geologicheskikh protsessov na truboprovodakh [New approaches to monitoring hazardous geological processes on pipelines] // *Geoinfo*. 2022. № 9. S. 36–41 (in Rus.).
3. Viktorov A.S., Georgievskii B.V., Kapralova V.N., Orlov T.V., Trapeznikova O.N., Zverev A.V. Opyt distantsionnogo monitoringa opasnykh geologicheskikh protsessov po trasse truboprovodnykh sistem (Vostochnaya Sibir') [Experience in remote monitoring of hazardous geological processes along the pipeline system routes (Eastern Siberia)] // *Geohkologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2018. № 6. S. 50–58. DOI 10.1134/S0869780318050095 (in Rus.).
4. Drobina E.V., Kitaeva M.A., Romanova E.R. Osobennosti monitoringa opasnykh inzhenerno-geologicheskikh protsessov s primeneniem geoinformatsionnykh sistem i dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Features of monitoring hazardous engineering-geological processes using geoinformation systems and remote sensing data] // *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 2025. T. 24. № 1. S. 23–31. DOI: 10.17072/psu.geol.24.1.23 (in Rus.).
5. Smol'yaninova E.I., Mikhailov V.O. Monitoring opolznevoi aktivnosti sklonov v raione Bol'shogo Sochi za period 2015–2024 gg. po dannym RSA-interferometrii [Monitoring the landslide activity of slopes in the Greater Sochi area for the period of 2015–2024 on the basis of SAR interferometry data] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2025. T. 22. № 1. S. 69–78. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-1-69-78 (in Rus.).
6. Vernadskii V.I. Neskol'ko slov o noosfere [A Few Words about the Noosphere] // *Uspekhi sovr. biol.* 1944. T. 18. Vyp. 2. S. 113–120 (in Rus.).
7. Zhidkov R.Yu., Abakumova N.V., Rekun V.S. Primenenie kompleksnogo retrospektivnogo analiza pri opredelenii konfiguratsii massivov tekhnogennykh gruntov na primere g. Moskvy [Application of comprehensive retrospective analysis in determining the configuration of technogenic soil masses by the example of Moscow] // *Inzhenernaya geologiya*. 2023. T. 18. № 1. S. 19–34 (in Rus.).
8. Danilov V.A., Morozova V.A., Fedorov A.V., Shlapak P.A. Otkrytye dannye distantsionnogo zondirovaniya dlya vyyavleniya arkheologicheskikh ob"ektov [Open remote sensing data for identifying archaeological objects] // *Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Nauki o Zemle*. 2024. № 3. S. 250–258 (in Rus.).
9. Geologicheskii atlas Moskvy (v 10 tomakh). Masshtab 1:10 000. Poyasnitel'naya zapiska [Geological Atlas of Moscow (in 10 volumes). Scale 1:10,000. Explanatory Note]. M.: GUP «Mosgorgeotrest», 2010. 57 s. (in Rus.).
10. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite) // *Proceedings of the 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium (SP-351)*. Greenbelt, MD, USA, 1973. P. 309–317.
11. McFeeters S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // *International Journal of Remote Sensing*. 1996. Vol. 17. № 7. P. 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
12. Lendzioch T., Langhammer J., Vlcek L., Minarik R. Mapping the groundwater level and soil moisture of a montane peat bog using UAV monitoring and machine learning // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. № 5. ID 907. <https://doi.org/10.3390/rs13050907>.
13. Rohde M.M., Biswas T., Housman I.W., Campbell L.S., Klausmeyer K.R., Howard J.K. A machine learning approach to predict groundwater levels in California reveals ecosystems at risk // *Frontiers in Earth*. 2021. Vol. 9. ID 784499. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.784499>.
14. Staceczny A., Narahari S.C., Vurubindi P., Guptha N.S., Srinivas K. Underground water level prediction in remote sensing images using improved hydro index value with ensemble classifier // *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15. № 8. ID 2015.
15. Woodhouse I.H. Introduction to microwave remote sensing. Boca Raton: CRC press, 2017. 400 p. <https://doi.org/10.1201/9781315272573>.
16. Tsokas A., Rysz M., Pardalos P.M., Dipple K. SAR data applications in Earth observation: an overview // *Expert Systems with Applications*. 2022. Vol. 205. Article 117342. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2022.117342>.
17. Hrysiewicz A., Wang X., Holohan E.P. EZ-InSAR: an easy-to-use open-source toolbox for mapping ground surface deformation using satellite interferometric synthetic aperture radar // *Earth Science Informatics*. 2023. Vol. 16. № 2. P. 1929–1945. DOI: 10.1007/s12145-023-00973-1.

Организаторы:

Независимый электронный журнал
Геоинфо



geoinfo.ru

II практическая конференция

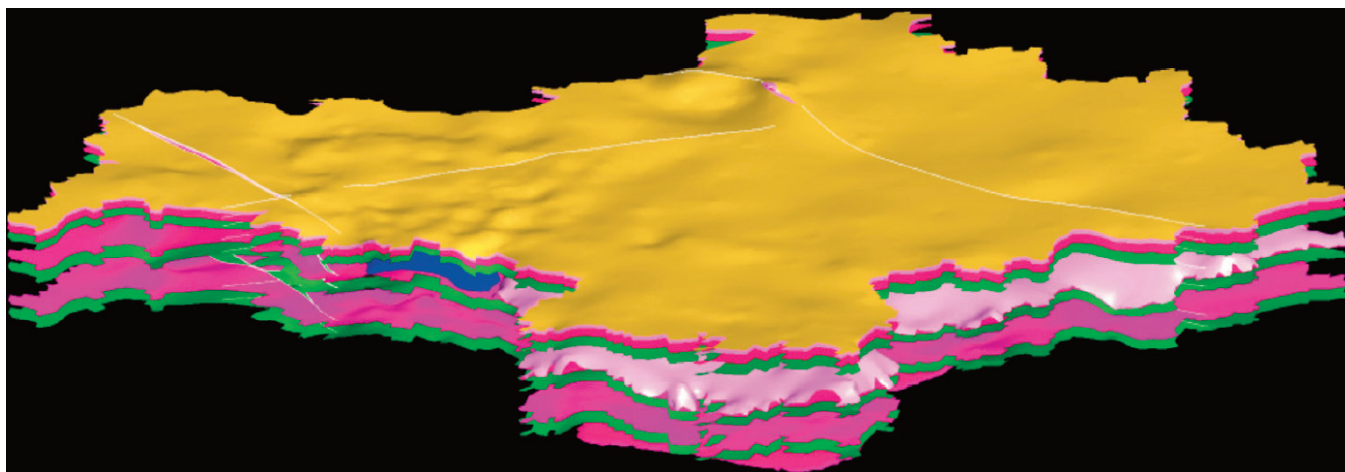
**«АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИЗЫСКАНИЙ И ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

18 ноября 2025 года, Москва



Наша конференция по автоматизации и цифровизации инженерно-геологических изысканий в 2024 году вызвала большой интерес среди специалистов. Участниками мероприятия стали более 100 человек, а хедлайнерами – представители ООО «Газпром нефть». По отзывам слушателей, они получили много новой, полезной и интересной информации, а значительную часть полученных знаний смогут успешно интегрировать в собственную работу. В связи с этим мы приняли решение провести в 2025 году вторую тематическую конференцию. Тем более, что за год с момента проведения первой конференции, мы уверены, будет сделан гигантский шаг вперед в области цифровизации.





ТРЕХМЕРНОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ ТУНЧЖОУ, г. ПЕКИН, КИТАЙ

Принята к публикации 11.08.2025

Опубликована 18.08.2025

Хэ Х.

Пекинский институт геологических исследований, г. Пекин, Китай

Сяо Цз.

Пекинский институт геологических исследований, г. Пекин, Китай
xjz_0812@126.com

Хэ Цз.

Пекинский институт геологических исследований, г. Пекин, Китай
uusresearch@163.com

Вэй Б.

Пекинский институт геологических исследований, г. Пекин, Китай

Ма С.

Факультет компьютерных наук Университета Айдахо, г. Москоу, шт. Айдахо, США

Хуан Ф.

Институт минеральных ресурсов Китайской академии геологических наук, г. Пекин, Китай

Цай С.

Пекинский институт геологических исследований, г. Пекин, Китай

Чжоу Ю.

Пекинский институт геологических исследований, г. Пекин, Китай

Би Цз.

Компания PetroChina Changqing Oilfield (Компания «Нефтяное месторождение "Чунцин" нефтегазовой компании "Петрочайна»»), г. Сиань, Китай

Чжао И.

Пекинский муниципальный институт городского планирования и проектирования, г. Пекин, Китай

Ван Ч.

Пекинский институт геологических исследований, г. Пекин, Китай

Вэй Цз.

Пекинский институт геологических исследований, г. Пекин, Китай

АННОТАЦИЯ

Представляем вниманию читателей немного сокращенный адаптированный перевод статьи китайских специалистов «Трехмерное геологическое моделирование верхней части подземного пространства и его использование на примере исследования в районе Тунчжоу, г. Пекин, Китай» (He et al., 2023), опубликованной в журнале Applied Sciences («Прикладные науки») издательством MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute – «Институт мультидисциплинарных электронных публикаций»). Данная статья находится в открытом доступе на сайте MDPI в соответствии с лицензией CC 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 (He et al., 2023) приведена в конце.

В настоящее время трехмерные (3D) геологические модели необходимы и используются независимо от наличия или отсутствия городской застройки. Основная трудность при построении 3D геологической модели верхней части подземного пространства заключается в определении распределения стратиграфических особенностей. Трудности возникают из-за очень изменчивых свойств и геометрии геологических единиц. Важно найти практичный и эффективный способ построения модели для прикладных целей.

В данном исследовании в качестве примера рассматривается район Тунчжоу г. Пекина. Для построения комплексной 3D геологической модели были использованы данные по 476 скважинам (40 новым и 436 пробуренным ранее) в сочетании с методом вертикальных разрезов.

Структура и результаты анализа позволили решить следующие задачи.

Во-первых, была использована высококачественная информация по новым и прежним инженерно-геологическим скважинам для определения стратиграфических особенностей и построения разрезов.

Во-вторых, полученная в результате геологическая модель территории района Тунчжоу показала множество деталей грунтовой среды до глубины 50 м. Эта модель включила 10 основных слоев, которые были сгруппированы в три циклотемы, представляющие собой циклические последовательности из переслаивающихся глин, пылеватых грунтов, песков и гравия с изменчивым количеством линз.

В-третьих, эта новая модель была использована в качестве инструмента для визуализации изменчивости геологических единиц по глубине и геометрии, а также для характеристики множества свойств (например, модуля всестороннего сжатия, анализируемого в этой статье) каждой выделенной единицы, а затем для оценки геологических условий.

В-четвертых, анализ динамической модели мониторинга на основе полученной 3D модели показал, что выделенные геологические единицы (сложенные преимущественно песком и пылеватой глиной) на глубине 30–40 м со средней вертикальной деформацией 0,97 мм (с июля 2019 года по сентябрь 2020 года) пригодны для подземного строительства в отношении перспектив вертикальной устойчивости.

В будущем планируется дополнительно изучить модели мониторинга на основе 3D модели с учетом времени.

Перевод статьи выполнен при поддержке ГК «ПЕТРОМОДЕЛИНГ» и Алексея Бершова.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

трехмерная геологическая модель; верхняя часть подземного пространства; геотехнические свойства; вертикальные разрезы; городское подземное пространство; пост мониторинга; район Тунчжоу.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Хэ Х., Сяо Цз., Хэ Цз., Вэй Б., Ма С., Хуан Ф., Цай С., Чжоу Ю., Би Цз.; Чжао И., Ван Ч., Вэй Цз. Трехмерное геологическое моделирование верхней части подземного пространства и его использование на примере исследования в районе Тунчжоу, г. Пекин, Китай (пер. с англ.) // Геоинфо. 2025. Т. 7. № 2. С. 80–99. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-80-99.

THREE-DIMENSIONAL GEOLOGICAL MODELING OF THE SHALLOW SUBSURFACE AND ITS APPLICATION: A CASE STUDY IN TONGZHOU DISTRICT, BEIJING, CHINA

Accepted for publication 11.08.2025

Published 18.08.2025

He H.

Beijing Institute of Geological Survey, Beijing, China

Xiao J.

Beijing Institute of Geological Survey, Beijing, China
xjz_0812@126.com

He J.

Beijing Institute of Geological Survey, Beijing, China
uusresearch@163.com

Wei B.

Beijing Institute of Geological Survey, Beijing, China

Ma X.

Department of Computer Science, University of Idaho, Moscow, Idaho, USA

Huang F.

Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, China

Cai X.

Beijing Institute of Geological Survey, Beijing, China

Zhou Yu.

Beijing Institute of Geological Survey, Beijing, China

Bi J.

PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, China

Zhao Yi.

Beijing Municipal Institute of City Planning & Design, Beijing, China

Wang Ch.

Beijing Institute of Geological Survey, Beijing, China

Wei J.

Beijing Institute of Geological Survey, Beijing, China

ABSTRACT

We present a slightly abridged and adapted translation of the paper "Three-dimensional geological modeling of the shallow subsurface and its application: a case study in Tongzhou District, Beijing, China" written by Chinese specialists (He et al., 2023). It was published in 2023 in the journal "Applied Sciences" by the MDPI

(Multidisciplinary Digital Publishing Institute). It is an open access paper under the CC BY 4.0 license 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 (He et al., 2023), which was used for the presented translation, is given in the end.

Three-dimensional (3D) geological models are currently needed and used independently for urban development. The main difficulty in constructing a 3D geological model of a shallow subsurface is to determine the stratigraphic distribution. Highly variable properties and geometries of geological units beneath lead to difficulty. It is key to find a practicable and efficient way to construct a model in practical work. This study takes Tongzhou District (Beijing) as a case; 476 boreholes (40 newly drilled and 436 existing engineering boreholes) were utilized combined with the cross-section method to construct an integrated 3D geological model. The framework and analyses contributed to the following applications.

1. High-quality information from new boreholes and existing engineering boreholes were used to define stratigraphy and build cross-sections.
2. The resulting geological model (up to 50 m beneath Tongzhou area) shows many details of the shallow subsurface. This includes 10 major layers which were grouped into three cyclothems representing cyclic sequences of clay, interbedded silt, sand, and gravel with variable quantities of lenses.
3. The new model was used as a tool to visualize the depth and geometry variations below ground and to characterize a large variety of properties (for example, the compression modulus analyzed in this paper) that each unit contains, and then to evaluate the underground geological conditions.
4. An analysis of a dynamic monitoring model based on the resulting 3D model indicated that the geological units (sand and silty clay) at depths between 30 m and 40 m, with an average vertical deformation of 0.97 mm, from July 2019 to September 2020, are suitable for underground construction, from the perspective of vertical stability in the study area. Monitoring models that take time into consideration based on a 3D framework will be further explored.

The translation of the paper was carried out with the support of the "PETROMODELING" Group of Companies and Aleksey Bershov.

KEYWORDS:

three-dimensional geological model; shallow subsurface; geotechnical properties; cross-sections; urban underground space; monitoring station; Tongzhou District.

FOR CITATION:

He H., Xiao J., He J., Wei B., Ma X., Huang F., Cai X., Zhou Yu., Bi J.; Zhao Yi., Wang Ch., Wei J. *Trehkmernoe geologicheskoe modelirovanie verkhnei chasti podzemnogo prostranstva i ego ispol'zovanie na primere issledovaniya v raione Tunchzhou, g. Pekin, Kitai (per. s angl.)* [Three-dimensional geological modeling of the shallow subsurface and its application: a case study in Tongzhou District, Beijing, China (translated from English into Russian)] // *Geoinfo*. 2025. T. 7. № 2. S. 80–99. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-2-80-99 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

Быстрое освоение городского подземного пространства (ГПП) требует понимания его объемного строения, особенно в верхней части. Его геологическая среда включает дисперсные и скальные грунты, воду и газы [1]. Сложность и изменчивость геологических условий являются важнейшими источниками неопределенностей и потенциальных рисков при будущем строительстве в ГПП. Исследования геологических условий верхней части городского подземного пространства постоянно развивались в течение последних 20 лет [2–6]. Однако детальное определение его литолого-стратиграфического строения по-прежнему остается сложной задачей из-за неоднородности свойств неглубоко залегающих геологических слоев, которые имеют отношение к строительству городской инфраструктуры, в том числе инженерных сетей [7, 8]. Хотя методы геологических и геотехнических исследований позволяют получать подробные данные в отдельных

точках [8], свойства грунтов могут сильно изменяться в вертикальном направлении. Эффективным методом описания изменчивости свойств грунтов в горизонтальном и вертикальном направлениях является трехмерное (3D) геологическое моделирование. Построить 3D геологическую модель для городской территории довольно сложно.

В последние десятилетия 3D геологическое моделирование быстро развивается в качестве эффективного инструмента визуализации ГПП [8–20]. Этот метод может улучшить представление о строении подземной среды [21–26] и описать свойства, которые неоднородно распределены внутри геологических тел [17, 27–29].

Кроме того, для оценки ресурсов [6, 9], изучения геологических условий [30–33] и геотехнических свойств грунтов [7, 10, 34, 35] было построено множество 3D геологических моделей, способствующих пониманию устройства верхней части подземного пространства.

Так, исследователи из Британской геологической службы [2, 5, 12, 36, 37] построили множество 3D геологических моделей всех масштабов (от площадок до городов и до сухопутной и шельфовой частей Великобритании), используя различные программные инструменты и подходы к моделированию [38]. Хоу и др. [9] создали 3D геологическую модель для описания ГПП города Фошань в китайской провинции Гуандун. Йе и др. [33] построили 3D модель осадков грунтов для моделирования смещений системы подземных водоносных горизонтов в центре г. Шанхая (Китай). Хейер и др. [39] разработали 3D геологическую модель для территории г. Самсё (Дания) с высоким разрешением для обновления оценки рисков для свалки Пиллемарк. Андерсон и др. [3] построили комплексную 3D геологическую модель для территории г. Вайле (Дания) в целях поддержки градостроительства путем предоставления карт планирования. Чэнь и др. [40] создали комплекс-

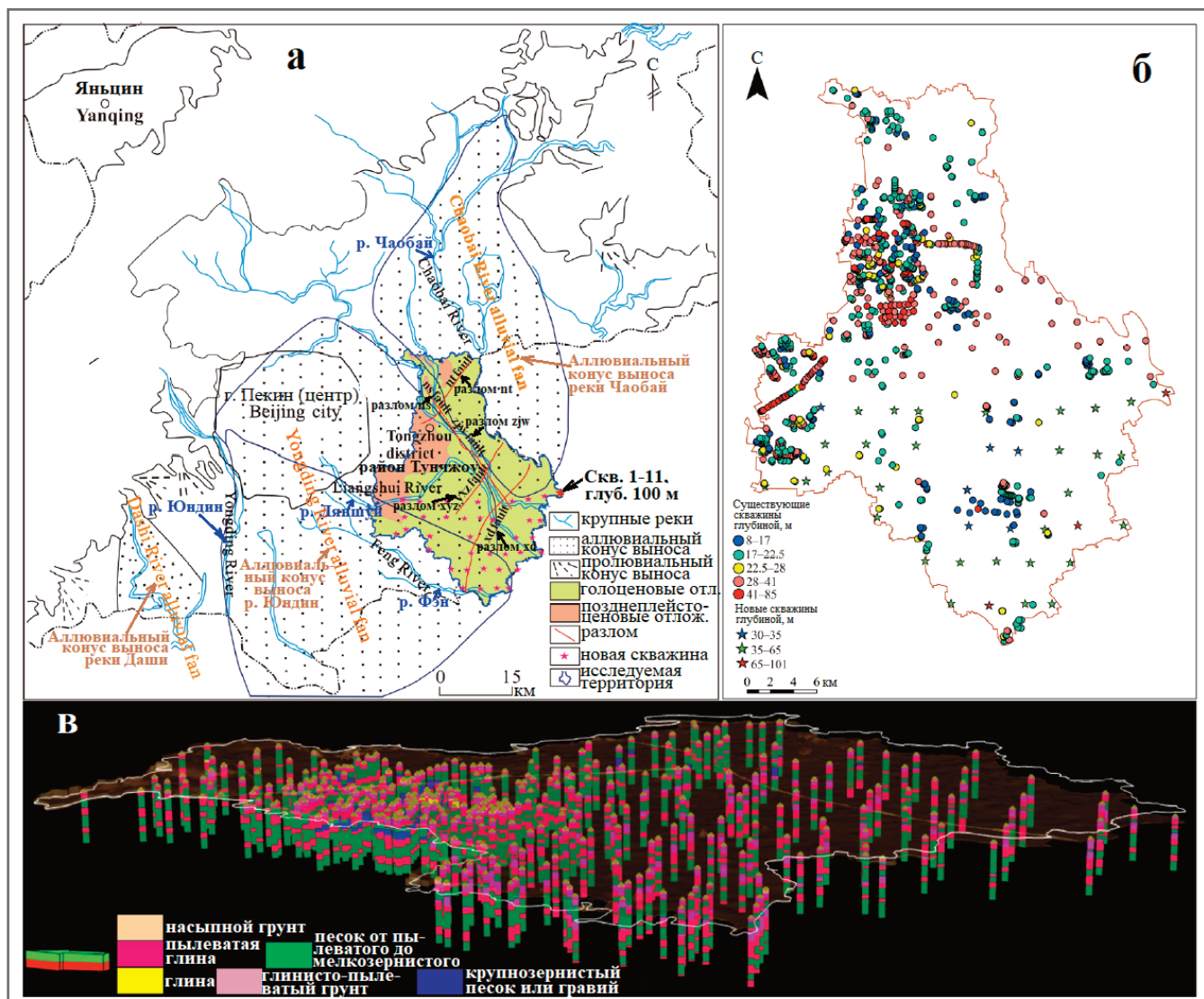


Рис. 1. Карта распределения аллювиальных конусов выноса на территории Пекинской равнины (адаптировано по [41]) (а); распределение ранее существовавших и новых скважин на исследуемой территории (б); скважины на изучаемой территории, выбранные для моделирования (в)

ную 3D модель, разработанную на основе методов многоточечной статистики, для территории эстуария реки Миньцзян (Китай) в целях более точной визуализации геологической среды. В целом, для улучшения понимания геологии в различных масштабах 3D геологические модели используются все чаще.

В настоящее время трехмерные геологические модели необходимы и используются независимо от наличия или отсутствия городской застройки. И все же построение 3D геологической модели для урбанизированной территории по-прежнему является сложной задачей с учетом доступности данных, возможностей использования тех или иных методов для их сбора и сложности геологических условий. Несмотря на то что было опробовано использование различных систем моделирования, лишь в немногих публикациях были представлены планомерные процессы и методы

моделирования в масштабах города при сложной осадочной среде аллювиальных конусов выноса.

Основная цель данного исследования – разработка эффективного и практического процесса 3D геологического моделирования для условий речных отложений на урбанизированной территории и обсудить возможности ее применения. В качестве примера был взят район Тунчжоу г. Пекина, для которого были проанализированы данные по 40 новым инженерно-геологическим скважинам в сочетании с 1506 файлами данных по ранее выполненным изысканиям в целях обобщения информации по литологическим условиям – необходимого этапа реализации метода вертикальных разрезов. Была подробно рассмотрена процедура использования этого метода. И наконец, авторы разработали процесс моделирования и комплексную 3D модель подземного пространства рай-

она Тунчжоу до глубины 50 м. Эта новая модель была использована в качестве инструмента для визуализации изменчивости геологических единиц по глубине и геометрии и для характеристики множества свойств (например, модуля всестороннего сжатия, анализируемого в этой статье) каждой единицы, а затем для оценки геологических условий. Полученные результаты в сочетании с картой изопахит (равных мощностей) каждой геологической единицы, полученной на основе созданной модели, могут улучшить понимание геологических условий ГПП и предоставить ценную информацию для снижения рисков при строительстве в будущем. Еще одним ключевым направлением использования достигнутых результатов является создание динамической модели мониторинга, учитывающей время, однако для ее разработки необходимы дополнительные исследования.

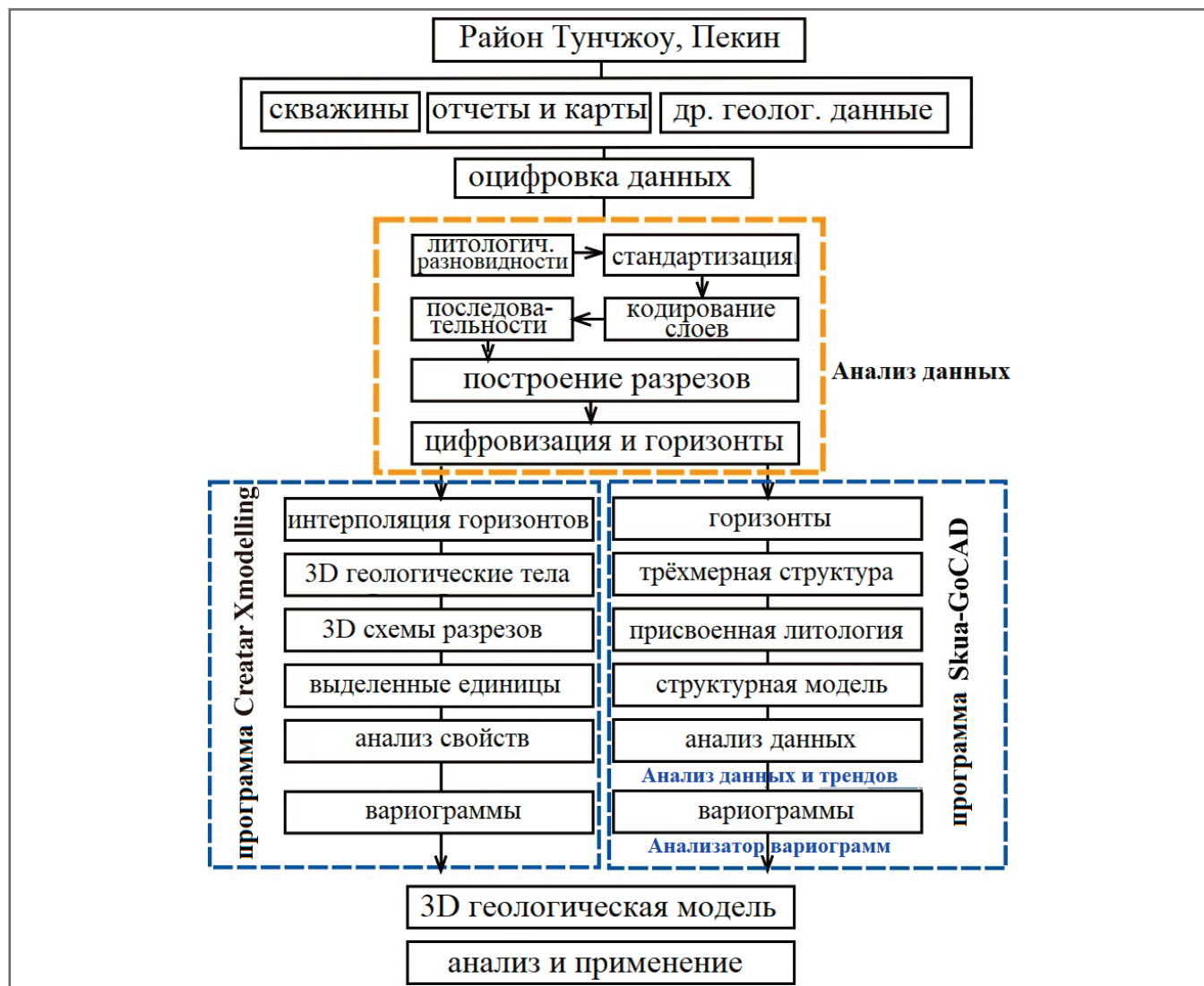


Рис. 2. Процесс моделирования

ЧЕТВЕРТИЧНАЯ ГЕОЛОГИЯ ►

Верхняя часть подземного пространства под Пекинской равниной включает отложения нескольких огромных аллювиальных конусов выноса и осадочных впадин. Район Тунчжоу г. Пекина расположен на юго-востоке Пекинской равнины, причем его рельеф является немного выше на северо-западе и ниже на юго-востоке. На северо-запад текут три реки (Вэньюй, Чаобай и Ляншуй), которые сливаются в юго-восточной части исследуемого района (рис. 1). По всей территории широко распространены четвертичные отложения, которые, как правило, залегают на коренных породах. Под урбанизированной частью голоценовые и позднелейстоценовые отложения залегают на неогеновых толщах и локально — на палеогеновых (в Юго-Восточной впадине). Район Тунчжоу является зоной пересечения двух крупных аллювиальных конусов выноса рек Юндин и Чаобай [41]. Наиболее ранним и крупным является аллювиальный конус выноса ре-

ки Юндин. Его вершина расположена в районе Шицзиншань, простирается он в направлении СЗ-ЮВ, а его литолого-стратиграфическое строение меняется от однослойных структур, сложенных гравием, на западе до многослойных структур, сложенных пылеватыми глинами, глинами, песками и гравием, на востоке [41] (здесь и далее названия грунтов переведены дословно, поскольку они были даны авторами в соответствии с унифицированной системой классификации грунтов USCS, которая является более градуированной и несколько смещенной по сравнению с классификацией по российскому ГОСТ 25100-2020. — *Ред.*).

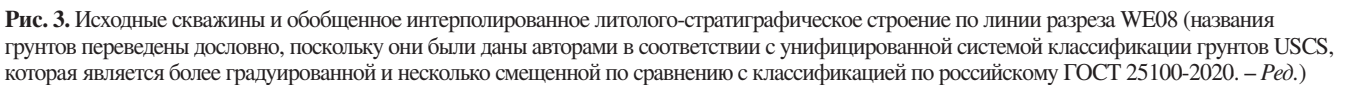
Чаобай, вторая по величине река в г. Пекине, берет начало в горах Яньшань и течет на юг, образуя обширный аллювиально-пролювиальный конус выноса (см. рис. 1). Непрерывное поднятие гор и интенсивное опускание равнин привели к наличию мощных осадков. Максимальная мощность четвертичных отложений наблюдается в юж-

ной части, где она превышает 450 м [42]. Это объясняет большую изменчивость последовательностей напластования по всей этой территории.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ►

Геологические данные ►

В общей сложности для исследуемой территории было собрано 1506 отсканированных файлов с данными исследований по скважинам и с соответствующими геотехническими отчетами. Из них 614 файлов поступили из архивов городского строительства района Тунчжоу, а остальные 892 файла были получены в Институте архитектурных обследований и проектирования района Тунчжоу. Эти скважины по большей части были неглубокими (30 м или менее) и располагались вокруг местных строительных площадок в северной части рассматриваемой территории. Некоторые из них были относительно плохо



В процесс моделирования в качестве важного фактора также были включены разломы. Всего было рассмотрено пять разломов, верхние точки которых располагались не глубже 50 м, – разломы Нанькоу-Суньхэ (ns на рисунке 1, а), Наньюань-Тунсянь (nt), Чжанцзявань (zjw), Сядянь (xd) и Яосиньчжуан (yxz) [43–45]. Данные по разломам были взяты из технического отчета проекта под названием «Исследование основных

В данной работе для построения 3D геологической модели были использованы как явные, так и неявные методы. Моделирование проводилось в программном пакете SKUA-GoCAD, применявшемся как к тем, так и к другим методам, с использованием последовательности операций Structure and Stratigraphy и Reservoir Properties («Структура и стратиграфия» и «Характеристики мощностей и свойств слоев»), а так-

Отсутствие универсальных стандартов для многочисленных источников данных (например, инженерных проектов) и то, что типы грунтов значительно различаются на разных участках (рис. 3), затрудняют унифицирование/стандартизацию данных. Это усугубляется сложностью геологического моделирования. Вертикальные разрезы строятся путем отбора подходящих скважин и комбинирования литологических данных со знаниями по местной геологии, чтобы интерполировать информацию между неравномерно распределенными скважинами.



Рис. 4. Литологическое обобщение на примере скважины 043542-1

Реализация этого метода включает три основных этапа – преобразование данных в цифровую форму, обобщение данных по литологии и соединение выделенных категорий слоев (между скважинами). Рассмотрим эти три этапа.

1. Преобразование данных в цифровую форму. Информация по уже существующим скважинам была оцифрована на основе исходных бумажных копий документов. Сбор данных был выполнен в соответствии с «Нормами оцифровки текстово-графических геологических данных в сканированном виде» (SZ1999001-2000), выпущенными Информационным центром Министерства земель и природных ресурсов Китайской Народной Республики (ICMLR), и с «Техническими требованиями к созданию национально значимой базы данных по геологическим скважинам», составленными Геологической службой Китая (CGS). Для точного

выполнения оцифровки данных необходимо было выполнить следующие шаги:

- проверить исходные бумажные копии документов и новую информацию по скважинам; описать конкретное расположение различных слоев, включая глубину залегания их кровли и подошвы, координаты (x , y , z) и т.д.;
- сравнить каждый случай зафиксированной литологической информации с данными по другим скважинам, расположенным вокруг, особенно в непосредственной близости; если искомый тип грунта, зафиксированный в одной скважине, совпадает с таковым в соседних скважинах на аналогичной глубине, то для искомого слоя следует использовать название этого грунта или рассмотреть возможность его залегания в виде линзы;
- выполнить проверку атрибутивных данных – дополнительную проверку геотехнических параметров, которые по большей части относятся к типам грун-

тов; свойства каждого типа грунта обычно имеют определенный диапазон значений атрибутов, например природное содержание воды в пылеватой глине обычно составляет от 15 до 40%, а предел пластичности этого грунта составляет от 12 до 23%; поэтому величины показателей свойств можно использовать для дополнительной проверки соответствия установленной литологии; зарегистрированные данные, которые показали в той или иной степени ненадежными, были помечены и затем отброшены.

2. Обобщение данных. Зарегистрированная информация по типам грунтов иногда могла быть противоречивой, например в одном отчете был указан суглинок (sub-clay), а в другом – пылеватая глина (silty clay) или песчаная глина (sandy clay); кроме того, были довольно распространены переходные типы грунтов, такие как пылеватый песок

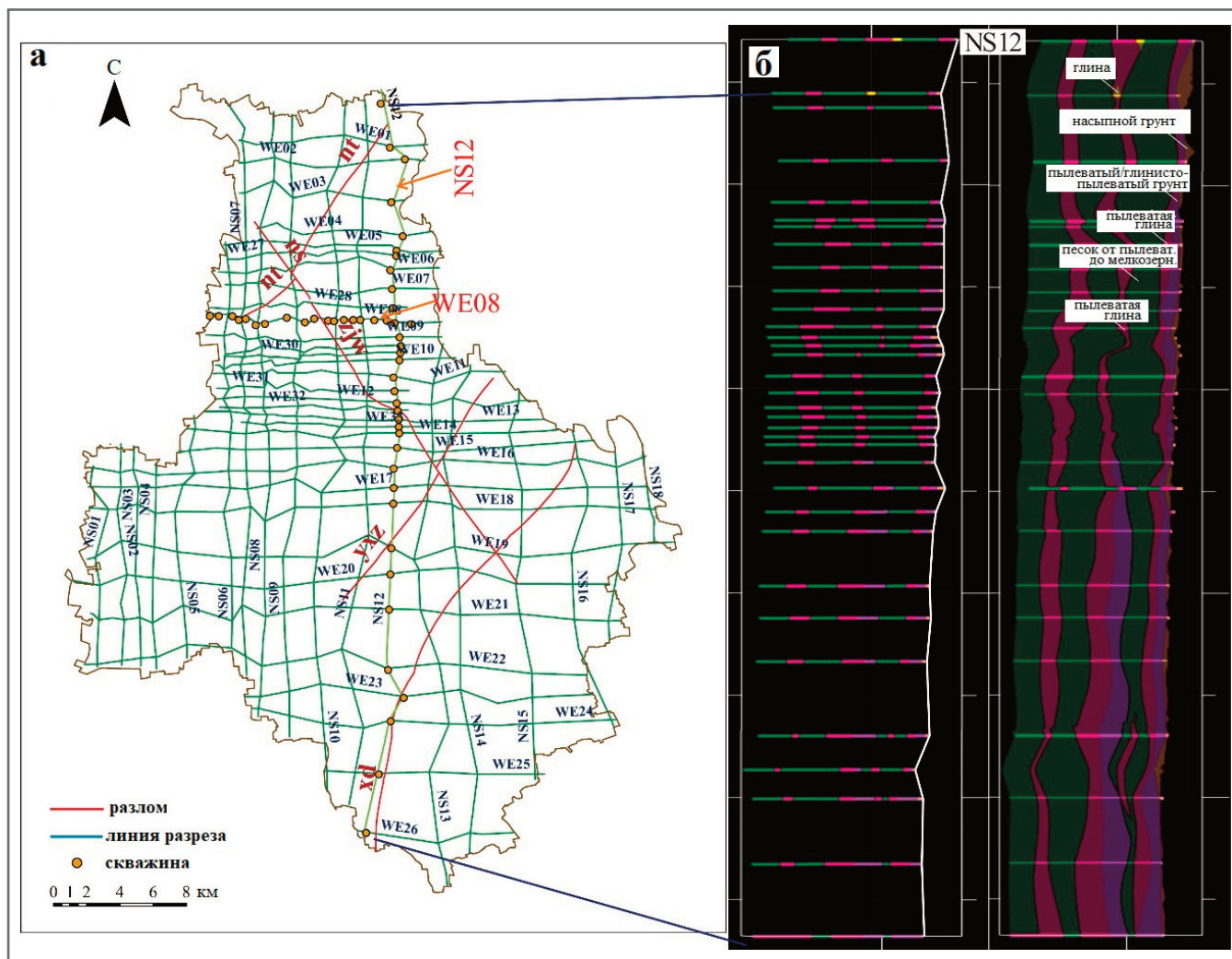


Рис. 5. Линии разрезов, разломы и пример геологических единиц для исследуемой территории: а – линии разрезов и скрытые активные разломы с глубиной верхней точки разлома менее 50 м (разломы Наньюань-Тунсянь (nt), Нанькоу-Суньхэ (ns), Яосиньчжуан (uxz), Чжанцзявань (zjw), Сядянь (xd)); б – геологические единицы, развитые вдоль разреза NS12

(silty sand) частично с пылеватой глиной (silty clay) (см., например, скважины на рисунке 3); поэтому литологическую информацию обобщали до того, как соединять между собой разрезы скважин.

В этом исследовании обобщение привело к выделению в общей сложности шести категорий грунтов, таких как насыпной грунт (artificial ground), глинисто-пылеватый грунт (clayey silt), пылеватая глина (silty clay), песок от пылеватого до мелкозернистого, песок от средне- до крупнозернистого/гравия. Такие типы грунта, как пылеватая глина (silty clay), тяжелая пылеватая глина (heavy silty clay) и суглинок (sub-clay), на основе их описаний были объединены в категорию «пылеватая глина» (silty clay); песчанисто-пылеватый грунт (песчанистый алеврит, sandy silt), пылеватый грунт (silt) и мелкозернистый песок – в категорию «песок от пылеватого до мелкозернистого»; гравелистый песок, крупнозернистый песок, песок от средне- до крупнозернистого и гравий –

в категорию «песок от средне- до крупнозернистого или до гравия».

Затем стратиграфическим слоям были присвоены коды в виде уникальных номеров. Это было сделано путем сопоставления литологических данных по скважинам с известной информацией по региональной стратиграфии и «назначения» слоев в зависимости от мощности и последовательности напластования описанных отложений в каждой скважине. Например, в результате такого обобщения для скважины 043542-1 были «назначены» следующие слои грунта (сверху вниз): насыпной грунт (слой 10), глинисто-пылеватый грунт (слой 22), песок от пылеватого до мелкозернистого (слой 24), глинисто-пылеватый грунт (слой 32), пылеватая глина (слой 33), песок от пылеватого до мелкозернистого (слой 34), пылеватая глина (слой 43), песок от пылеватого до мелкозернистого (слой 44), пылеватая глина (слой 53) и две линзы (cl и fn) (рис. 4).

3. Соединение выделенных категорий слоев. Ключевым шагом в этой процедуре является выбор маркирующего слоя. В качестве типичного маркирующего для исследуемой территории был выбран слой крупнозернистого песка или гравия. Были выбраны следующие принципы соединения слоев в практической работе (они уже применялись при моделировании подземного пространства центральной части г. Пекина [47]).

Соединение основных/главных слоев. Под основным/главным слоем понимается мощная единица, которая широко и непрерывно распространена в пределах рассматриваемой территории. Для изучаемого района между скважинами были соединены слои насыпного грунта, глинисто-пылеватого грунта, пылеватой глины, песка от пылеватого до мелкозернистого и песка от средне- до крупнозернистого или до гравия.

Присвоение кодов слоям и линзам. Код слоя или линзы отражал порядок

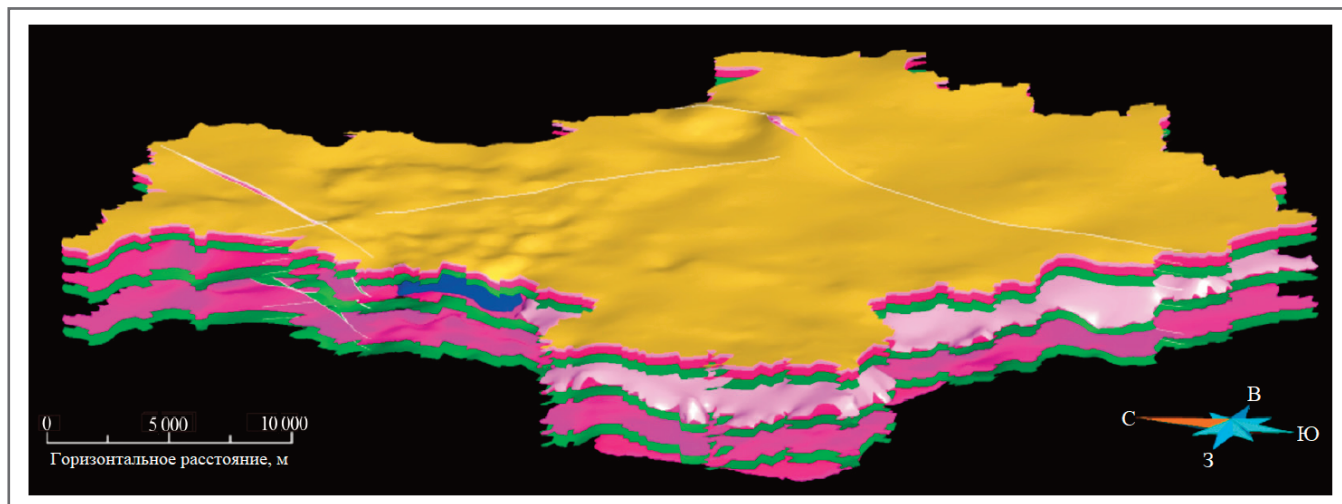


Рис. 6. Трехмерная структурная геологическая модель (модель слоев) для территории района Тунчжоу г. Пекина

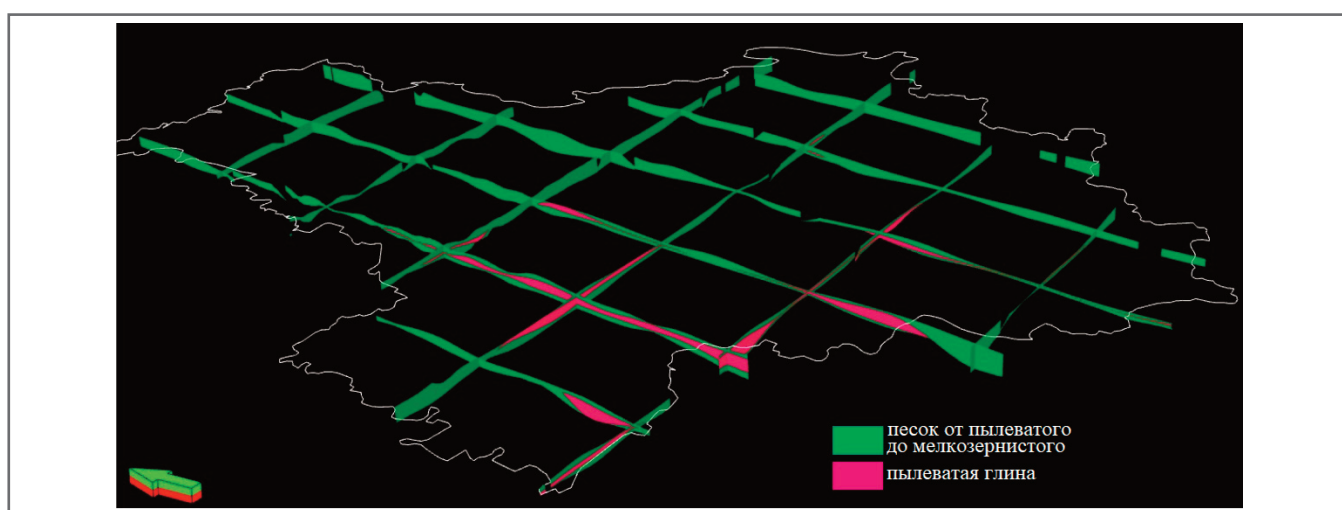


Рис. 7. Распределение верхнего слоя песка от пылеватого до мелкозернистого и включенных в него линз

расположения и тип слагающего его грунта в модели и был уникальным.

Одинаковая в вертикальном направлении последовательность одинаковых слоев, зарегистрированная для разных скважин, расположенных на одной и той же линии вертикального разреза (например, скважин по линии WE08 на рисунке 5), по существу, определяла одну и ту же группу слоев, при условии что уклон между скважинами для нее был небольшим.

Выделение линз. Линзу выделяли, если ее мощность превышала 0,5 м и она выклинивалась с двух концов диаметра скважины или на 1/2 общего расстояния между скважинами. Тонкие слои мощностью менее 0,2 м, но с типичными стратиграфическими особенностями (например в последовательности слоев глин), имевшие значение для моделирования, также сохранялись в модели.

Затем были построены вертикальные разрезы по линиям, которые проходили примерно в ортогональных направлениях

в соответствии с распределением скважин и осадочных фаций (см. рис. 5). Для исследуемой территории был создан «каркас» из 44 разрезов расположенных с шагом 1–3 км (иногда и больше) друг от друга. Из них 26 линий разрезов (от WE1 до WE26) проходили с востока на запад и 18 (от NS01 до NS18) – с севера на юг (см. рис. 5, а). На рисунке 5, б для примера представлен разрез NS12, проходящий с севера на юг через 35 скважин.

Кригинг

При пространственном моделировании применялся обычный (ordinary) кригинг – алгоритм оценки с взвешиванием по расстоянию, при котором используется вариограмма для характеристики изменчивости в пределах рассматриваемой территории и для оптимизации весов, присваиваемых точкам данных [48–50]. Обычный кригинг дает оценку переменной $Z(x)$ в месте, где не было наблюдений, на основе ее средневзвешенного значения по результатам на-

блюдений в соседних местах. Соответствующая теория может быть описана путем рассмотрения внутренней случайной функции, обозначаемой $Z(x_i)$, где x_i представляет собой локацию выборки [51]. Оцененное средневзвешенное значение $Z'(x_0)$, получаемое с помощью предиктора обычного кригинга для неисследованного (без измерений) места, определяется следующим образом:

$$Z'(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i), \quad (1)$$

где $Z(x_i)$ – значение переменной Z в точке выборки x_i ; λ_i – вес, назначенный для каждого значения $Z(x_i)$; n – количество используемых значений.

Чтобы обеспечить несмещенность оценки, сумма весов всех значений при обычном кригинге равна единице:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1. \quad (2)$$

До проведения обычного кригинга должна быть выполнена оценка варио-

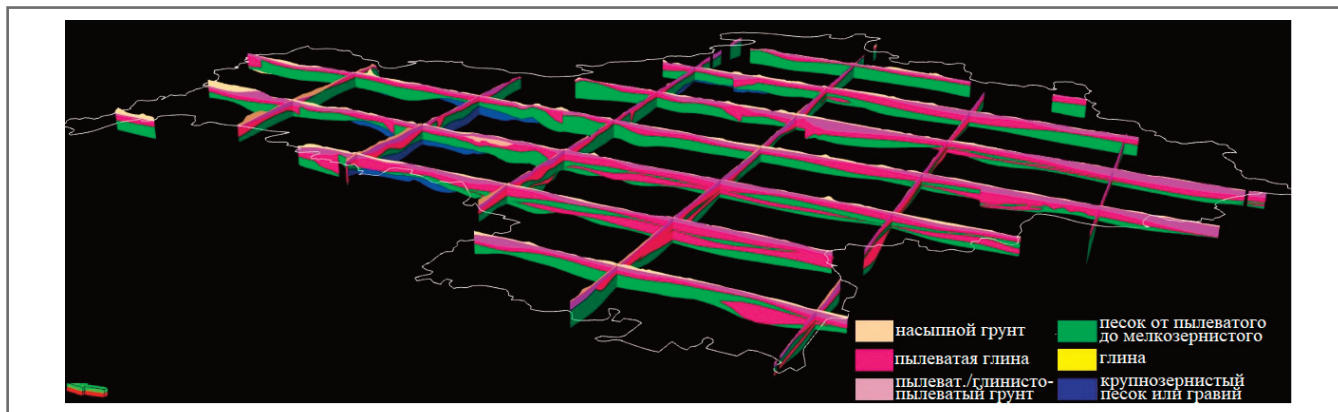


Рис. 8. Схема разрезов для первой циклотемы в пределах исследуемой территории

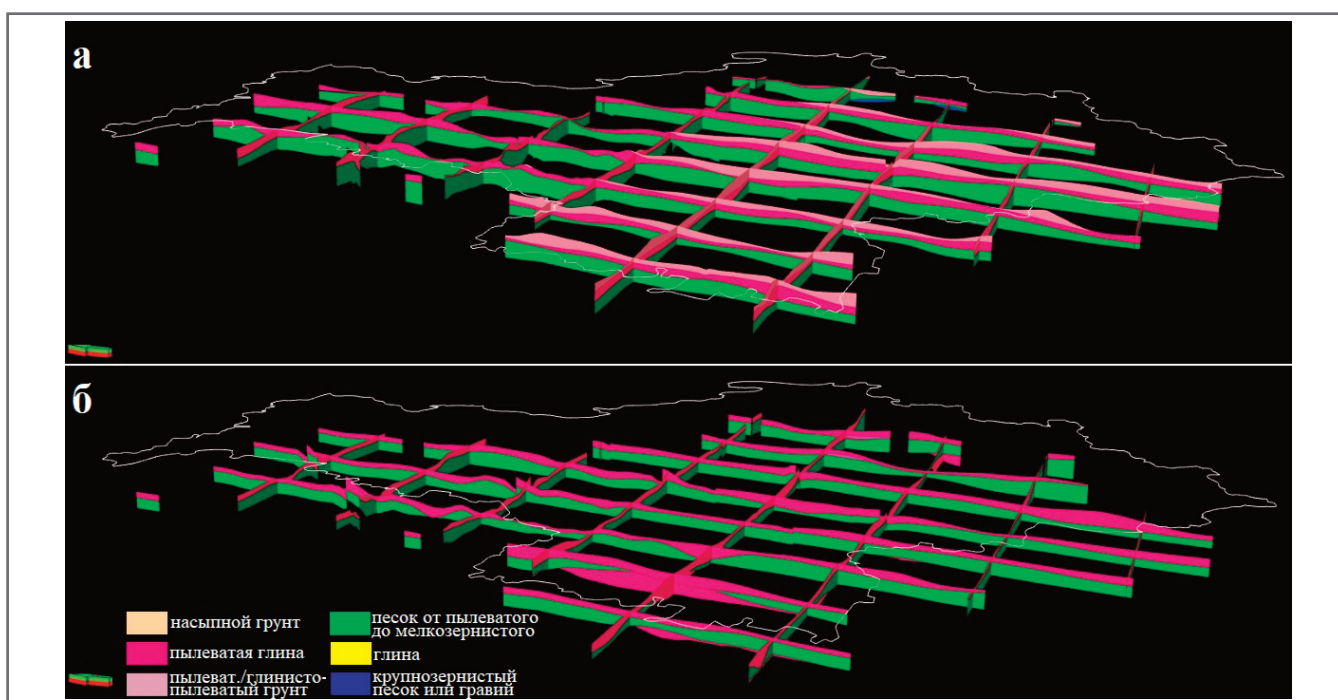


Рис. 9. Распределение и мощность геологических единиц в пределах исследуемой территории в виде схем разрезов для: а – второй циклотемы; б – третьей циклотемы

граммы, описывающей пространственную структуру распределения данных с использованием геостатистической характеристики [49, 53, 54]. Такая вариограмма определяется как $1/2$ ожидаемого квадрата разницы между парами значений в точках $Z(x)$ и $Z(x+h)$, находящихся на расстоянии h друг от друга [55, 56]:

$$r(x, h) = \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2. \quad (3)$$

Получить надежную вариограмму по всей рассматриваемой территории было невозможно из-за большой изменчивости свойств в различных геологических единицах. Поэтому в данном исследовании использовали множество вариограмм, чтобы лучше охарактеризовать неоднородно распределенные свойства путем анализа параметров вариограмм-

мы для каждой единицы по отдельности с помощью инструмента Variogram Analyzer («Анализатор вариограмм») в программном пакете SKUA-GoCAD.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Стратиграфия

Для построения разрезов было выделено шесть категорий грунтов (насыпной грунт, глинисто-пылеватый грунт, глина, пылевая глина, песок от пылеватого до мелкозернистого, песок от средне- до крупнозернистого или до гравия). Для построения 3D структурной модели (модели слоев) были интегрированы данные по 476 скважинам и 44 разрезам. В эту модель вошли 10 стратиграфических границ (маркеров) до глубины 50 м от поверхности земли (рис. 6–9). Сплош-

ность единиц отложений локально прерывалась либо активными разломами, либо эрозионными разломами, либо эрозионными границами.

Отложения в районе Тунчжоу до глубины 50 м были в целом разделены на 10 основных/главных геологических слоев. Затем эти слои были сгруппированы в три циклотемы аллювиальных отложений (см., например, рис. 4). Трехмерная модель показала пространственные структуры, включающие циклические последовательности из переслаивающихся глин, пылеватых грунтов, песков, гравия и линз (см. рис. 7–9). (Далее будут описаны смоделированные слои с названиями, обобщенными так, как было описано ранее. – *Ред.*)

Отложения примерно до глубины 17 м от поверхности (то есть *первая циклотема*) включают слой насыпного

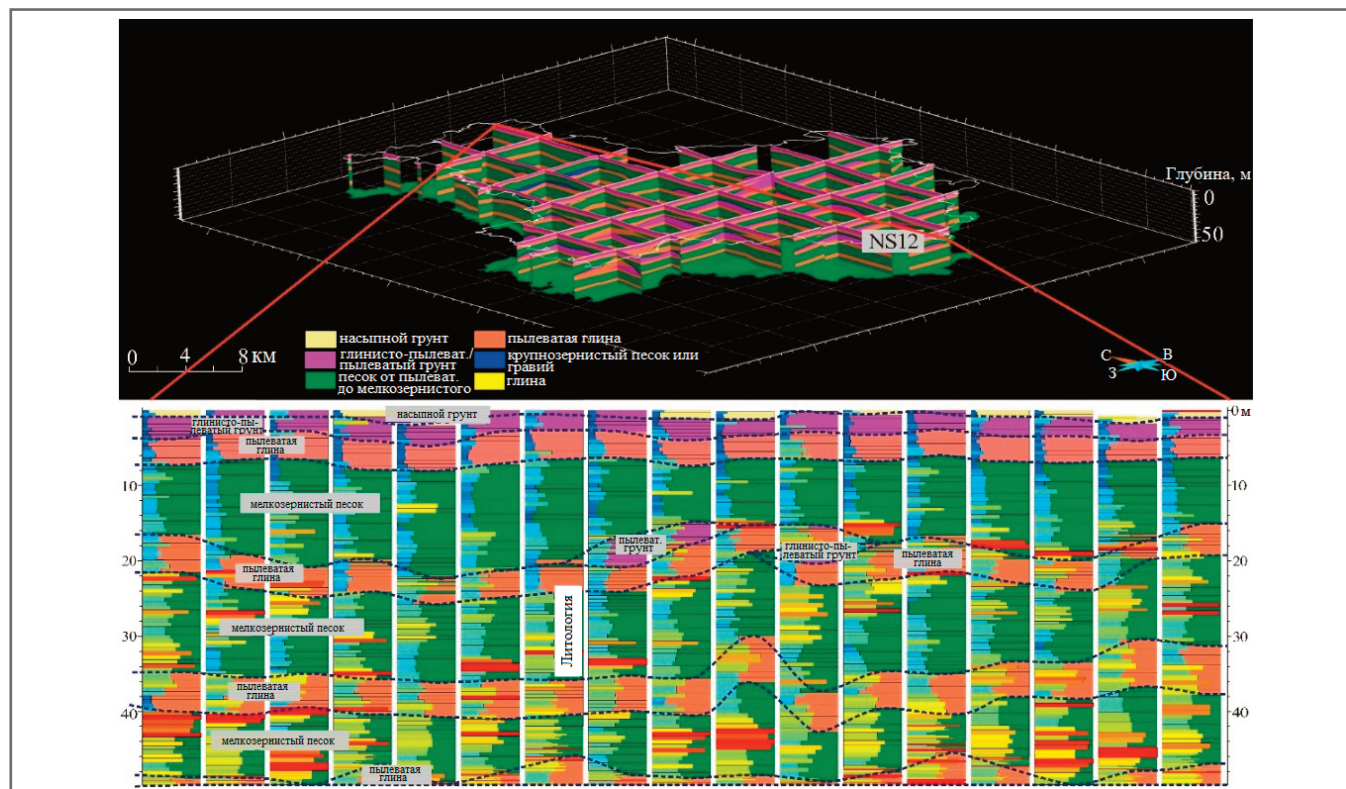


Рис. 10. Распределение слоев на основе построенной 3D геологической модели: а – 3D схема разрезов; б – распределение слоев вдоль разреза NS12

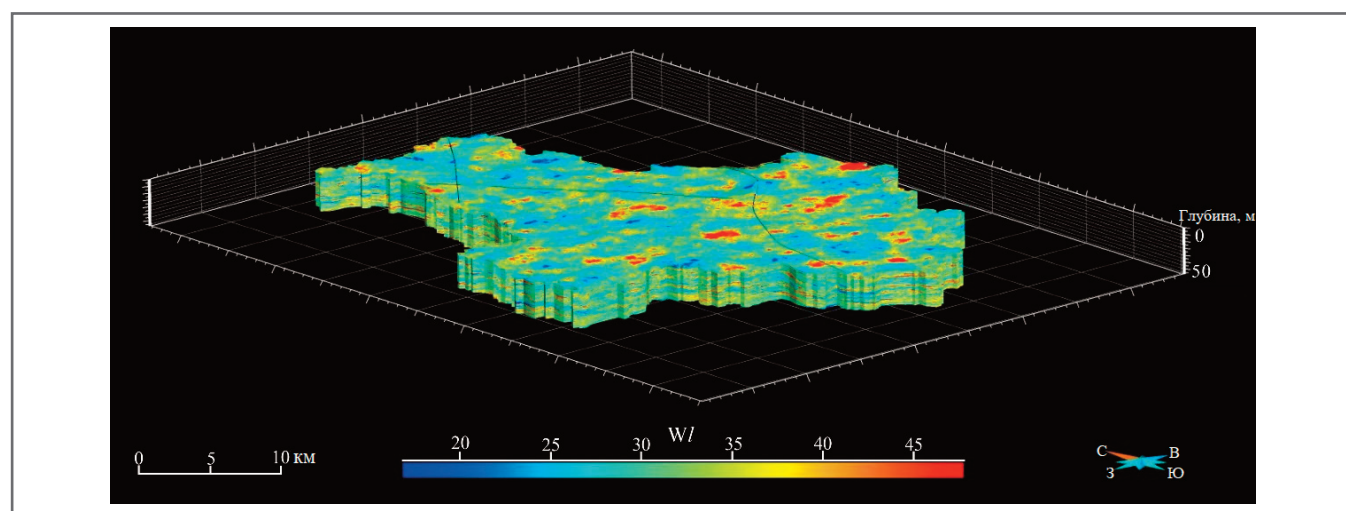


Рис. 11. Распределение значений предела текучести грунтов W_l на основе трехмерной атрибутивной геологической модели для района Тунчжоу г. Пекина

грунта и переслаивающиеся единицы пылеватых грунтов и глин, песков и гравия. Мощность гравия, локально встреченного на севере изучаемой территории, составляет около 3 м, но он отсутствует в центральной и южной частях этого района. Выше гравия по всей территории наблюдается слой пылеватого или мелкозернистого песка мощностью около 9 м, включающего полевой шпат, кварц, слюду, оксиды железа и совсем немного органических материалов. В юго-восточной части имеется прослой пылеватой глины (см. рис. 7). Песок в

некоторых местах перекрывается последовательностью слоев пылеватой и тяжелой пылеватой глины. Выше залегает верхний слой глинисто-пылеватого грунта мощностью до 7 м (в среднем 3 м), содержащий слюду, оксиды железа и бирюзу, а внутри него локально встречаются линзы пылеватой глины. Еще выше по всей площади имеется слой насыпного грунта мощностью 1–2 м (рис. 8).

Вторая циклотема включает единицы глин, пылеватых грунтов и песков (см. рис. 9, а). В нижней части цик-

ла залегает мощный слой песков мелкозернистых и от средне- до крупнозернистых, содержащих незначительное количество органических материалов, а также линзы гравия. Выше по всей площади имеется слой пылеватой глины мощностью около 4,5 м. В южной половине изучаемой территории его перекрывает единица глинисто-пылеватого грунта со средней толщиной около 4 м.

Третья циклотема характеризуется широким распространением по всей исследуемой территории единиц пылева-

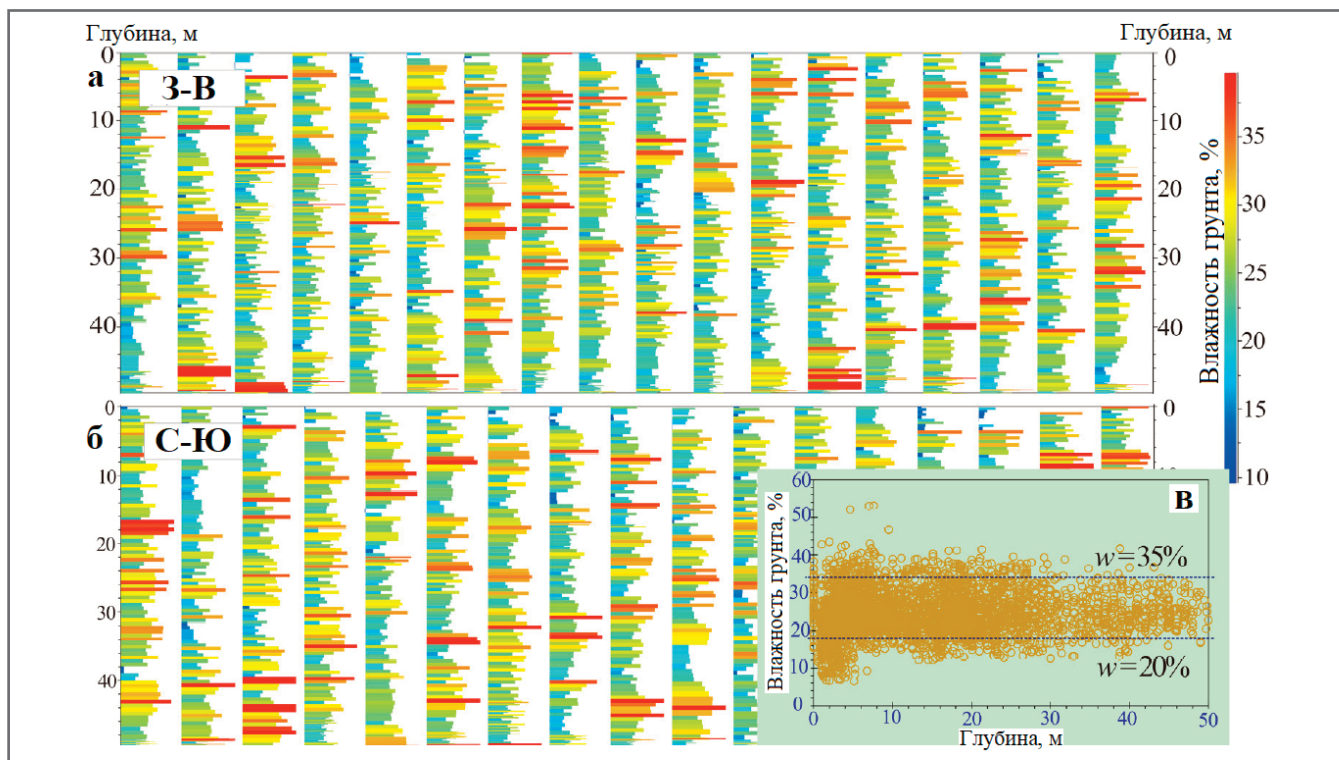


Рис. 12. Влажность грунтов w вдоль разреза WE18 в направлении 3-В (а) и вдоль разреза NS12 в направлении С-Ю (б) на основе 3D модели; результаты всех измерений величин w в зависимости от глубины (в)

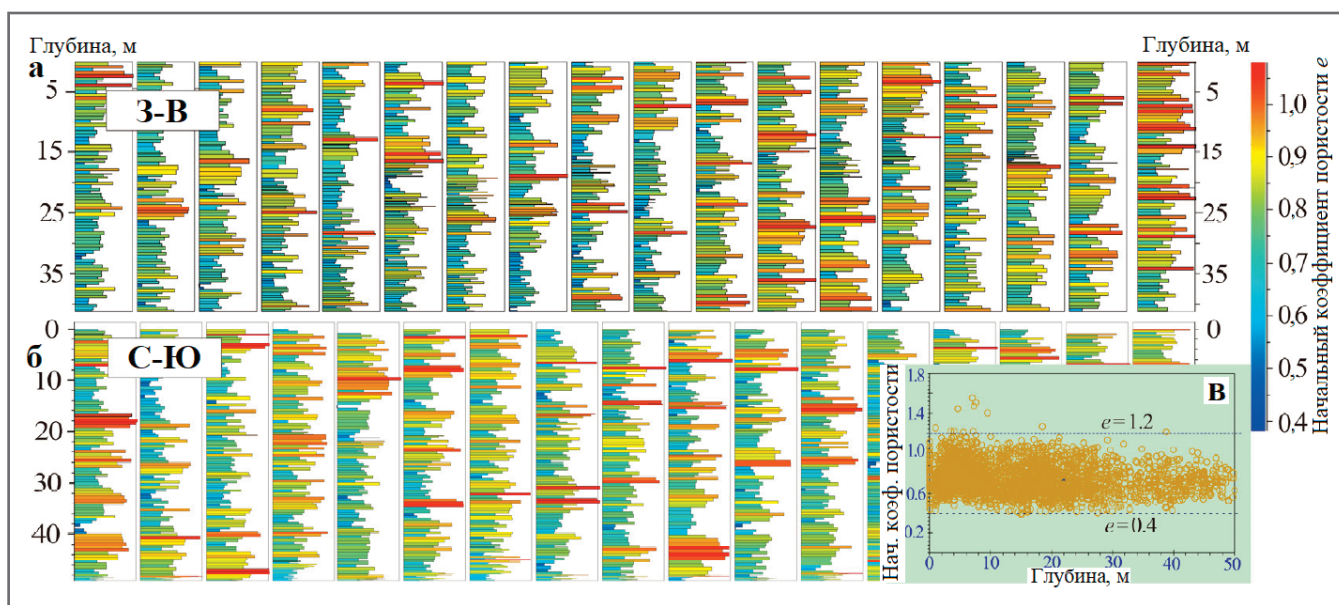


Рис. 13. Начальный коэффициент пористости/пустотности грунтов вдоль разреза WE18, проходящего в направлении 3-В (а), и разреза NS12, проходящего в направлении С-Ю (б); результаты всех измерений величин e в зависимости от глубины (в)

тых глин и мелкозернистых песков (см. рис. 9, б). Первые в основном включают коричневатые или серовато-желтые пылеватые глины от среднеплотных (medium) до плотных/полутвердых (stiff) мощностью от 1 до 10 м (в среднем 4,7 м), часто содержащие слюду, бирюзу, а также оксиды железа и органические материалы. А вторые включают коричнево-желтые или серые мелкозернистые пески, плотные и водонасыщенные, содержащие полевой шпат,

кварц, слюду, а также органические материалы, со средней толщиной около 9,6 м. В этой мощной единице также изредка встречаются линзы гравия, крупнозернистого песка или глинисто-пылеватого грунта. На рисунке 10 показано распределение слоев вдоль разреза NS12.

Трехмерная модель свойств ►

Для построения моделей свойств (таких физических и геотехнических па-

раметров, как природная влажность w (%), начальный коэффициент пористости/пустотности e и модуль всестороннего сжатия E_s) на основе рассмотренной выше 3D структурной модели использовался инструмент Reservoir Properties («Характеристика мощностей и свойств слоев») в программном пакете SKUA-GoCAD. Для примера на рисунке 11 показано распределение значений предела текучести на основе построенной 3D модели свойств.

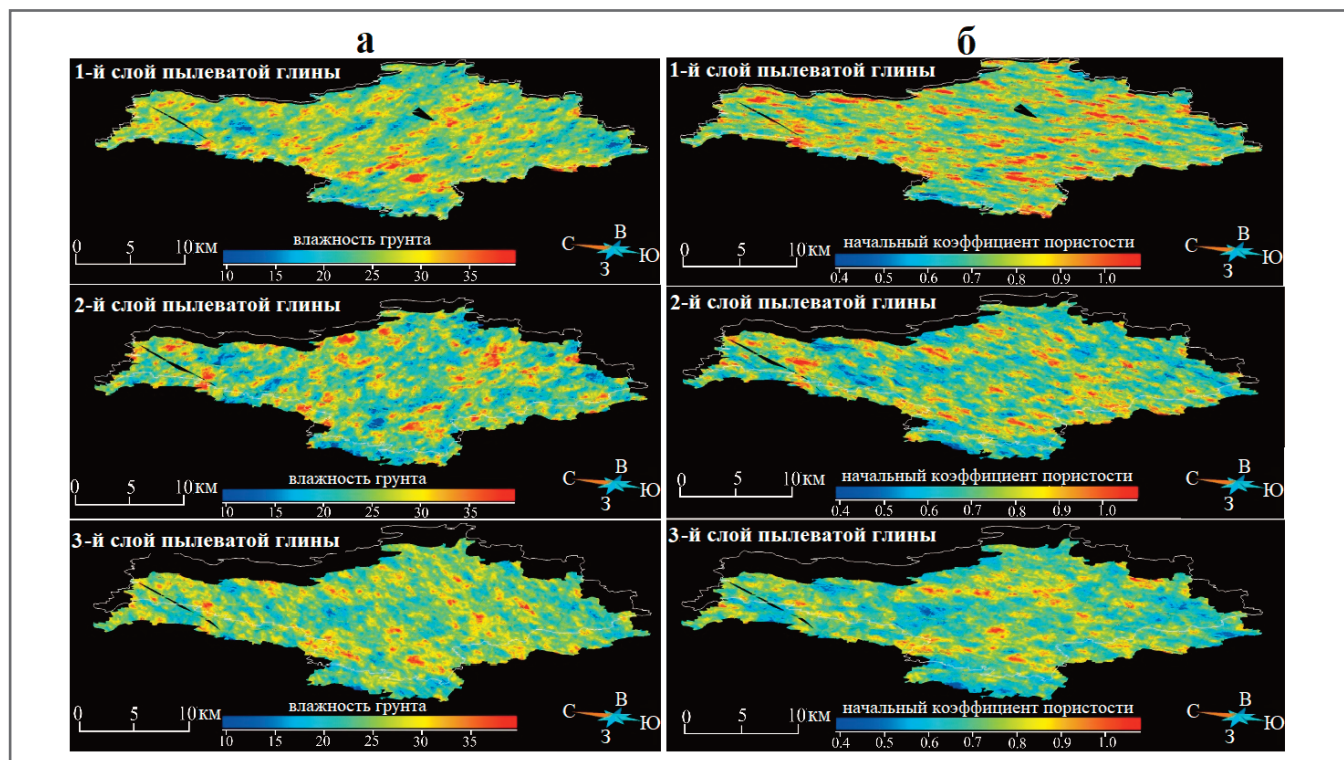


Рис. 14. Распределение влажности грунтов w , % (а) и начального коэффициента пористости/пустотности e (б) для трех слоев пылеватой глины в пределах района Тунчжоу

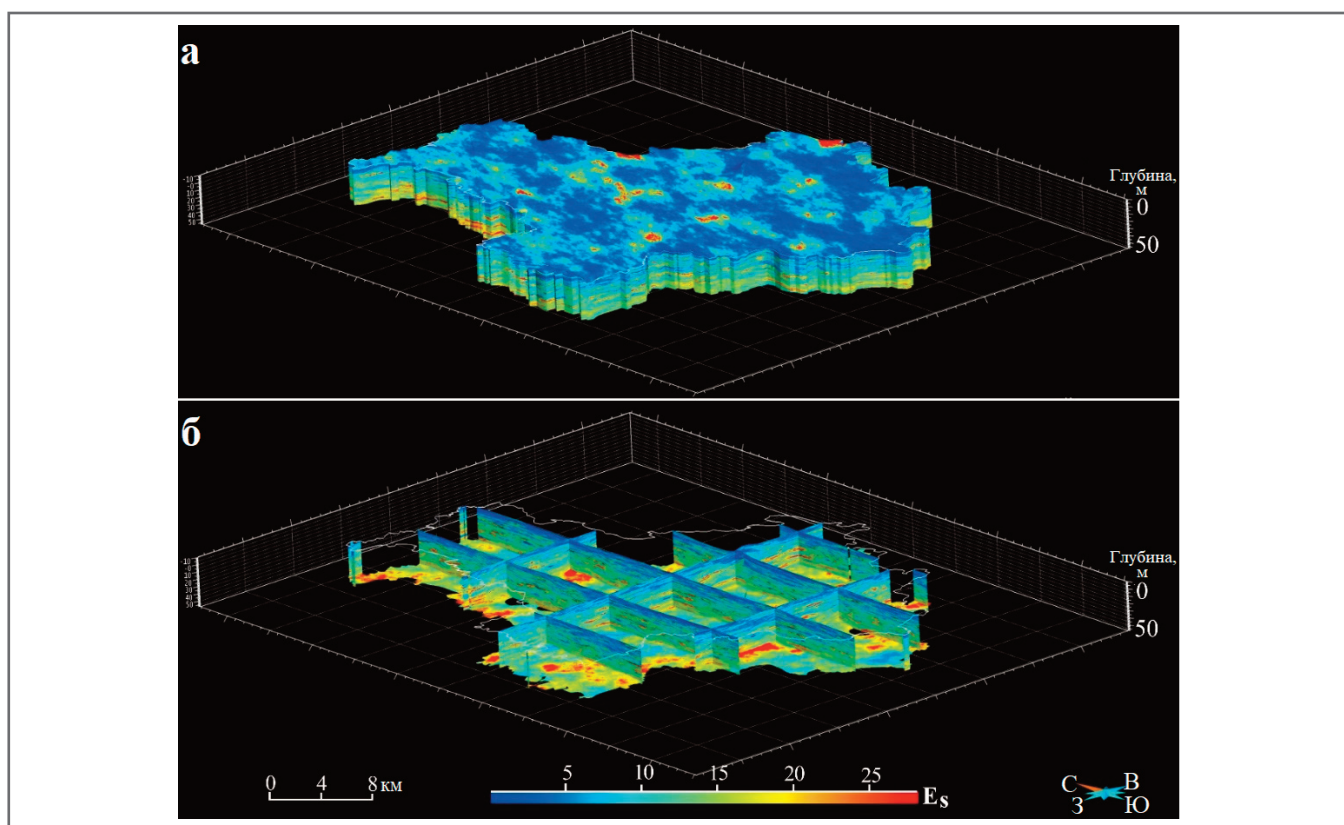


Рис. 15. Распределение величин модуля всестороннего сжатия E_s (модуля объемной упругости) в отложениях района Тунчжоу до глубины 50 м: а – трехмерная модель; б – схема разрезов

Влажность w (%) и начальный коэффициент пористости/пустотности e

Влажность грунтов до глубины 50 м в пределах исследуемой территории (по

результатам лабораторных исследований образцов) варьирует от 6,5 до 53,1% при среднем значении около 24,8% без каких-либо трендов, связанных с глубиной или литологией (рис. 12). На рисун-

ке 12, в показаны все результаты измерений влажности грунтов. Видно, что значения w в основном сосредоточены в диапазоне 20–35%, что соответствует также и тому, что представлено на ри-

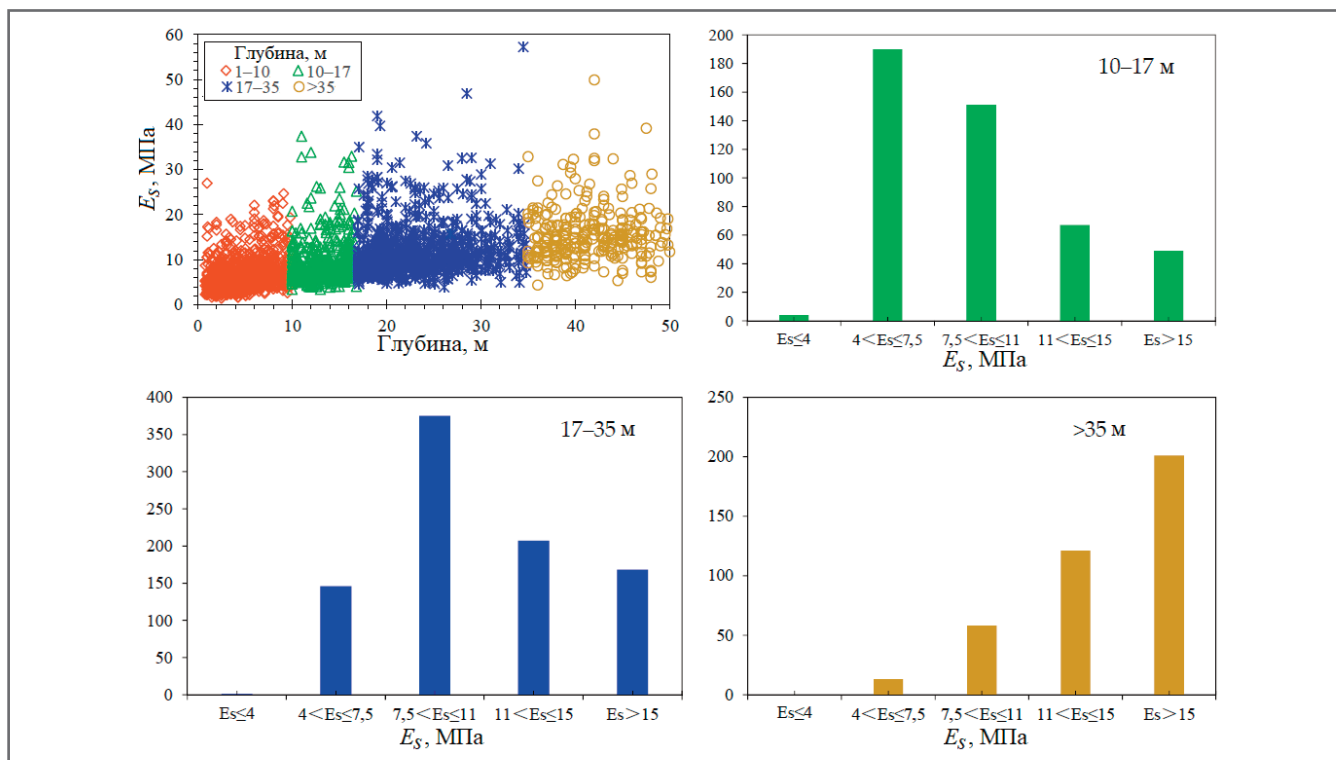


Рис. 16. Диаграммы значений E_s для пылеватой глины в пределах разных интервалов глубины (1–10, 10–17, 17–35 и более 35 м) (Авторы не обозначили вертикальные оси на столбчатых диаграммах – должно быть, это количество измерений. – *Ред.*)

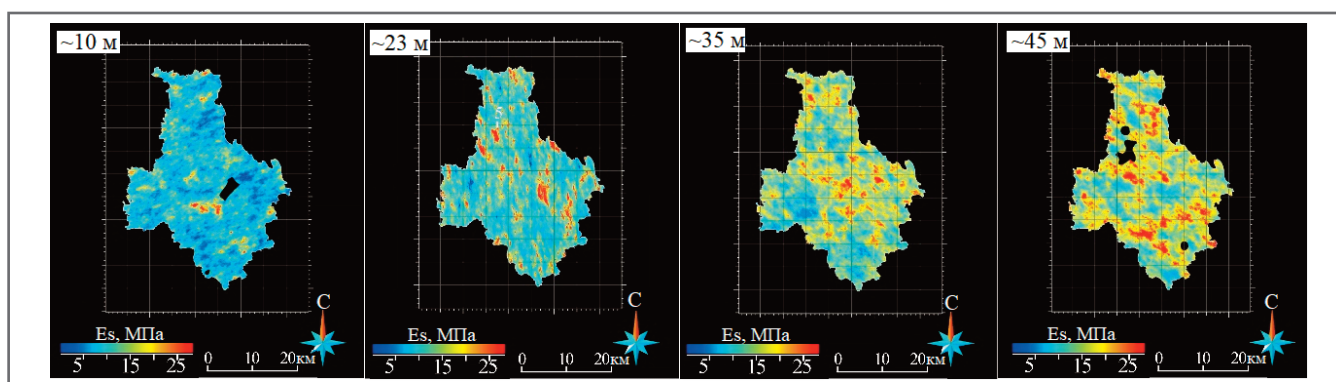


Рис. 17. Распределение величин E_s для пылеватой глины на разной глубине (около 10, 23, 35, 45 м) на основе 3D модели свойств

сунках 12, а, б. А начальный коэффициент пористости/пустотности варьирует по вертикали от 0,4 до 1,2 (рис. 13) при среднем значении около 0,8. На рисунке 14 показано распределение значений w и e для трех единиц пылеватой глины на основе 3D модели свойств. При этом имеется следующий тренд: пылеватая глина на большей глубине характеризуется более низким начальным коэффициентом пористости/пустотности. Тогда как ее влажность во всех трех единицах колеблется в сходных интервалах.

Модуль всестороннего сжатия E_s

На рисунке 15 показано распределение величин модуля всестороннего сжатия E_s (модуля объемной упругости). Видно, что значения E_s постепенно увеличиваются с глубиной. Для определе-

ния особенностей распределения величин E_s в зависимости от глубины далее будут отдельно рассмотрены различные ее интервалы (0–10, 10–17, 17–35 м и глубже 35 м) на основе локальных особенностей циклических последовательностей отложений, описанных выше.

Для трех единиц пылеватой глины значения E_s варьируют в пределах:

- 2–27 МПа при среднем значении 6,4 МПа на глубине 0–10 м;
- 4–33 МПа при среднем значении 9,6 МПа на глубине 10–17 м;
- 5–47 МПа при среднем значении 11,8 МПа на глубине 17–35 м;
- 6–54 МПа при среднем значении 16,8 МПа на глубине 35–50 м.

Как показано на рисунке 16, слой пылеватой глины на небольшой глубине (0–10 м) с величиной E_s в основном

меньше 7,5 МПа был определен как единица со сжимаемостью от средней до высокой ($E_s=7,5$ в соответствии с документом DBJ 11-501-2009, разработанным Пекинским геотехническим институтом и Пекинским институтом архитектурного проектирования в 2017 г.).

Слой пылеватой глины в интервалах глубины 10–17 и 17–35 м со значениями E_s , обычно сосредоточенными в диапазонах 4–7,5 и 7,5–11 МПа соответственно (см. рис. 16), были определены как единицы со сжимаемостью от средней до высокой и от низкой до средне-низкой соответственно, а слой на глубине 35–50 м – как низкосжимаемая единица. Но все же, как видно из рисунка 17, на котором отражены величины E_s для пылеватой глины на разной глубине, значения E_s пылеватой глины

Таблица 1. Мощность различных геологических единиц, интерпретированная на основе 3D геологической модели и данных по скважинам для изучаемой территории

Геологические единицы (и их номера)		Мощность единицы, м									
		на основе 3D модели						по данным скважин			
		макс.	мин.	сред.	станд. откл.	медиана	дисперсия	макс.	мин.	сред.	станд. откл.
Насыпной грунт		3,00	0	1,31	0,20	1,35	0,04	4,10	0,28	1,12	0,56
Первая циклотема	Глинисто-пылеватый грунт (22)	7,24	0	2,95	0,47	3,04	0,22	10,1	0,4	2,72	1,47
	Пылеватая глина (23)	15,77	0	3,65	0,67	3,75	0,45	10,5	0,3	3,31	1,81
	Песок (24)	40,99	0	9,08	2,77	9,08	7,66	21,1	0,1	6,68	3,96
	Гравий (25)	10,68	0	2,63	1,58	2,44	2,49	11,1	1,0	4,43	2,42
Вторая циклотема	Глинисто-пылеватый грунт (32)	33,38	0	4,25	2,30	3,99	5,30	12,8	0,5	3,92	2,30
	Пылеватая глина (33)	37,45	0	4,49	0,97	4,43	0,94	12,8	0,5	4,66	2,60
	Песок (34)	31,04	0	11,79	1,92	11,97	3,67	23,0	1,5	11,88	3,66
Третья циклотема	Пылеватая глина (43)	23,67	0	4,67	0,78	4,82	0,61	13,9	0,4	5,08	1,82
	Песок (44)	38,42	0	9,61	1,73	9,68	3,00	21,7	0,7	8,90	2,66

в пределах единиц распределены неоднородно.

ПРИМЕНЕНИЕ ►

Информация, интегрированная в построенной 3D модели, стала полезным инструментом для визуализации большой изменчивости геологических единиц по глубине, геометрии и свойствам и, следовательно, для оценки геологических условий, например для оптимизации планирования и проведения подземного строительства в городских районах.

Обычно результаты 3D моделирования подземного пространства используются непосредственно в процессе городского планирования, но также они формируют основу для прикладных моделей [57], например для динамических моделей мониторинга, для получения информации по геотехническим свойствам грунтовой среды. Далее в основном будут обсуждаться варианты использования построенной модели в геологической и геотехнической сферах на основе атрибутов, с помощью которых была параметризована каждая геологическая единица.

Изменчивость по глубине ►

Трехмерная модель, созданная перед проектированием и прокладкой тоннелей и другими связанными с этим работами, может помочь в предсказании глубины залегания наиболее надежных для подземного строительства слоев грунта (таблица 1) – например, может показать возможное распределение песков, оказывающих значительное влия-

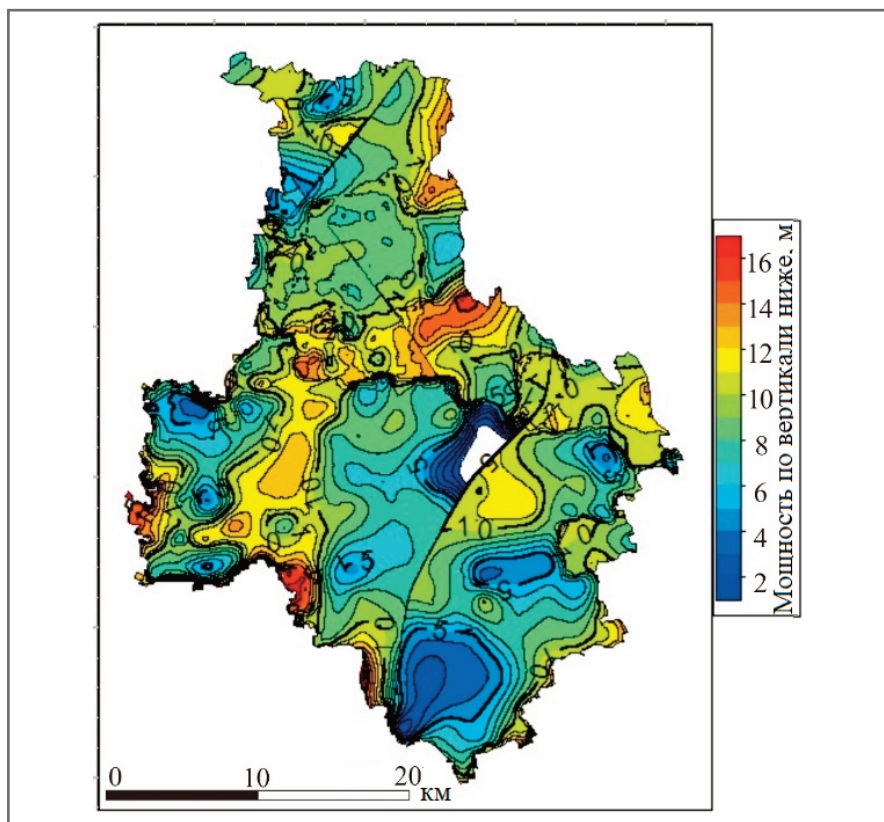


Рис. 18. Карта мощности первой единицы песка (единицы 24), полученная на основе 3D геологической модели для исследуемой территории

ние на количество и движение подземных вод, а также показать распределение стабильных и непрерывных единиц глины, которые важны для выбора расположения тоннелей.

Как указывалось выше, в районе Тунчжоу было выявлено десять основных/главных единиц. Из построенной модели можно экспортировать карты их

мощности – например, карту мощности первого слоя песка (единицы 24), который непрерывен, имеет среднюю мощность около 9 м и широко распространен в районе Тунчжоу (рис. 18).

Кроме того, в качестве одного из геологических показателей для оценки возможности использования городского подземного пространства (его пригодности

сти для строительства) выступает его литолого-стратиграфическое строение. В этом отношении авторы настоящей статьи путем обобщения выделили три типа структур (однослойную, двуслойную и многослойную, см. таблицу 2) при работе над проектом «Стандарт для геологической оценки ресурсов городского подземного пространства в центральной части г. Пекина» (в соответствии с документом DB11/T 1895-2021, разработанным Пекинским институтом геологических исследований в 2022 г.). Затем был рассчитан вес этого показателя с использованием нечеткого математического метода (основанного на нечеткой логике), как это делалось и для других базовых геологических показателей, таких как геотехнические свойства. Однако для других ограничений, например таких как активные разломы, оседание, проседание, разжижение песка, карстовые провалы и т.д., веса определяются с помощью метода анализа иерархий [58]. Такой подход согласуется с моделью для оценки, описанной в работе [59].

По 3D модели подземного пространства исследуемой территории до глубины 50 м было интерпретировано многослойное строение при локальной двуслойности или локальной неоднородности в отдельных интервалах глубины с относительно более низкой точностью количественной оценки, чем для однослойной зоны (см. таблицу 2).

Распределение значений E_s ►

Еще для применения построенной 3D модели важен ее потенциал для характеристики большого количества свойств в пределах выделенных единиц. В оценке городского подземного пространства большую роль играет анализ инженерно-геологических свойств, неоднородно распределенных внутри геологических единиц [6, 9, 61]. В качестве одного из показателей для этой оценки, как уже говорилось, приняты геотехнические свойства. Модуль всестороннего сжатия E_s (модуль объемной упругости) с учетом его влияния на инженерно-геологические условия включен в «Стандарт геологической оценки ресурсов городского подземного пространства в центральной части г. Пекина» (документ DB11/T 1895-2021, разработанный Пекинским институтом геологических исследований в 2022 году). Результаты количественной оценки этого модуля, выполненной авторами настоящей статьи, приведены в таблице 3. Они разделены на три интервала, содержащие от 6 до 10, от 3 до 6 и от 0 до 3 баллов.

Таблица 2. Типы литолого-стратиграфического строения как один из показателей для оценки городского подземного пространства (адаптировано по [59, 60])



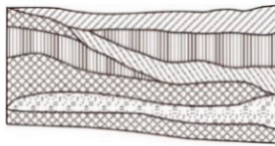
Тип структуры	Иллюстрация для примера	Характеристика
Однослойная		Литологически однородное геологическое тело
Двуслойная		Два основных/главных слоя; в этих единицах локально могут присутствовать линзы; неоднородные литологические особенности и свойства
Многослойная		Переслаивание множества пластов или линз; неоднородные литологические особенности и свойства

Таблица 3. Значения E_s и литолого-стратиграфическое строение, рассматриваемые в качестве критериев оценки пригодности городского подземного пространства для строительства

Оценочный показатель	Количественная оценка в баллах		
	6–10	3–6	0–3
Геологические условия	простые	средние	сложные
Значения E_s , МПа	≥ 15	4–15	≤ 4
Тип литолого-стратиграфического строения	однослойное	двуслойное	многослойное

Примечание: значения E_s и тип литолого-стратиграфического строения (структуры) – это лишь два из всех оценочных показателей в соответствии со «Стандартом геологической оценки ресурсов городского подземного пространства в центральной части г. Пекина» (документ DB11/T 1895-2021, разработанный Пекинским институтом геологических исследований в 2022 году).

Эти интервалы соответствуют простым, средним и сложным геотехническим условиям соответственно. Затем на основе 3D модели свойств по значениям E_s рассчитываются три пространственные зоны. Две единицы пылеватой глины с величинами E_s более 15 интерпретируются как попадающие в интервал 6–10 баллов (рис. 19).

Динамическая модель мониторинга ►

Динамическую модель мониторинга получают путем включения в 3D геологическую модель результатов измерений (например, с помощью распределенных волоконно-оптических систем мониторинга), выполняемых в течение некоего временного интервала. На рисунке 20 показаны деформации сжатия геологических единиц (песка и пылеватой глины) в интервале глубины 30–40 м в течение периода с 18.07.2019 по 22.09.2020. Эти слои демонстрируют

низкую сжимаемость при средней вертикальной деформации 0,97 мм с июля 2019 года по сентябрь 2020 года (по данным ежегодного отчета по мониторингу геологической безопасности ресурсов подземного пространства на посту мониторинга в районе Тунчжоу г. Пекина за 2020 год), что значительно ниже, чем у верхнего слоя пылеватой глины.

На основе приведенных выше данных по E_s и по вариациям мощности можно сделать вывод, что для подземного строительства на исследуемой территории подходящими с точки зрения вертикальной устойчивости представляются единицы песка и пылеватой глины на глубине от 30 до 40 м. Этот вопрос будет дополнительно изучен при продолжающихся исследованиях с использованием 3D геологических моделей в качестве основы для построения модели динамического мониторинга для района Тунчжоу.

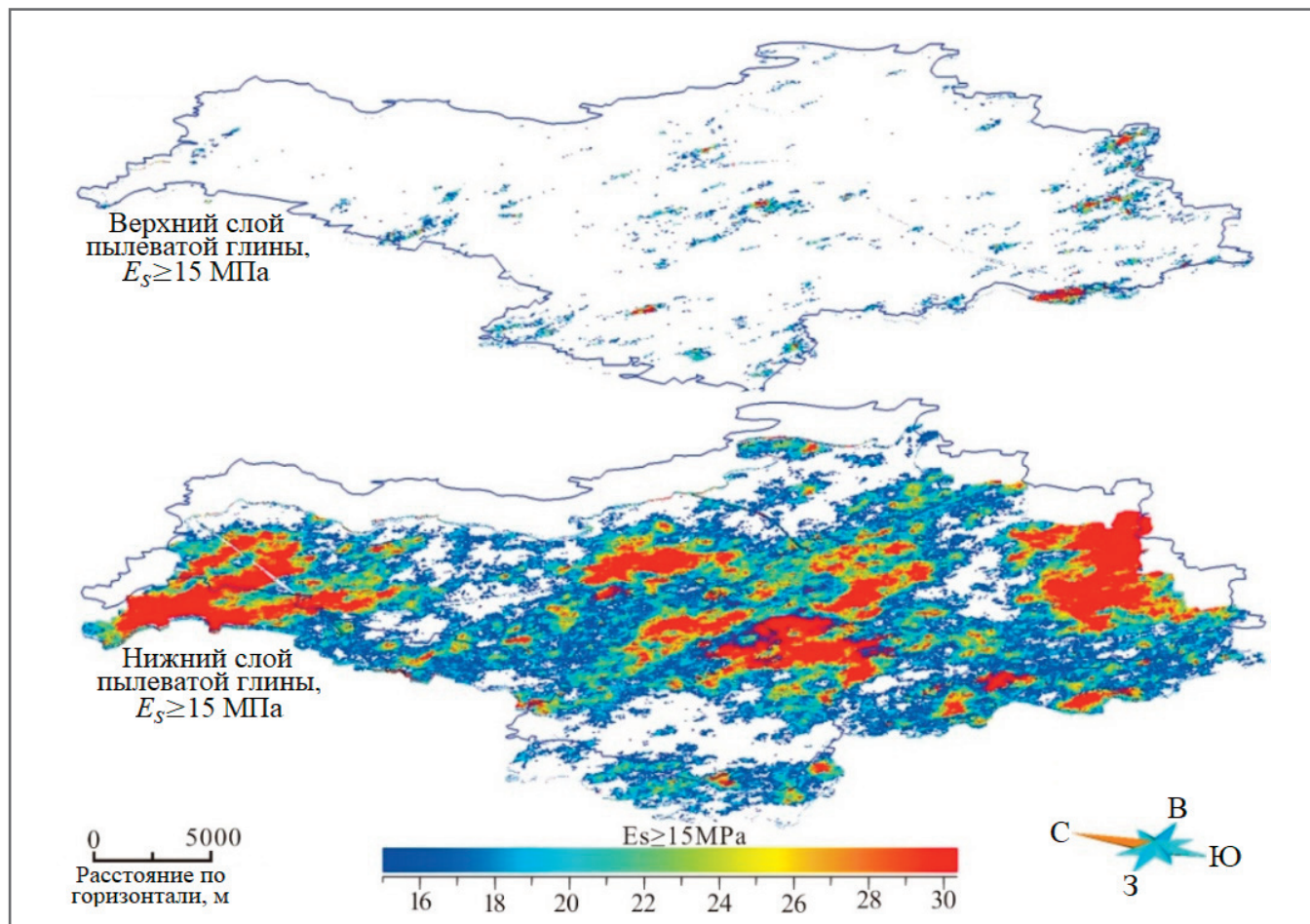


Рис. 19. Распределение значений E_s , превышающих 15, в верхней и нижней единицах пылеватой глины (единицах 23 и 43 соответственно) на основе 3D модели свойств

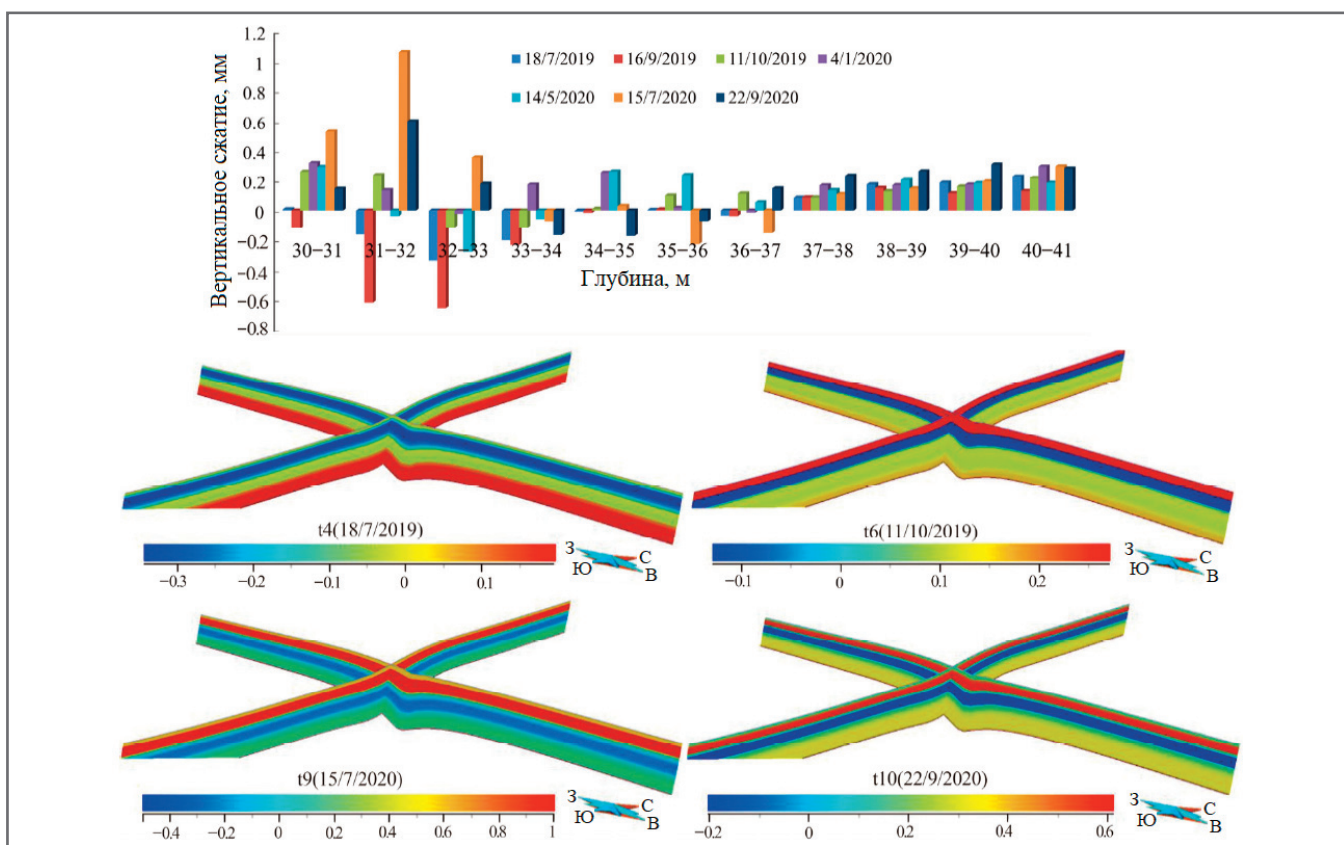


Рис. 20. Данные мониторинга вертикального сжатия и предварительная динамическая модель целевых геологических единиц на одном из постов мониторинга на исследуемой территории

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ►

Основная цель данного исследования состояла в том, чтобы представить эффективную и практичную процедуру 3D геологического моделирования четвертичных осадочных отложений на урбанизированной территории и обсудить ее потенциальное применение. В качестве типичного примера был выбран район Тунчжоу г. Пекина. Чтобы по-новому взглянуть на геологические условия до небольшой глубины, были использованы данные по 476 инженерно-геологическим скважинам (436 старым и 40 новым более глубоким). Затем эти сведения были использованы для 3D геологического моделирования грунтовых условий и оценки пригодности городского подземного пространства для строительства.

Процесс моделирования и анализ, разработанные при этом исследовании, позволили выполнить следующее.

1. Была использована высококачественная информация по старым и новым инженерно-геологическим скважинам для определения литолого-стратиграфического строения грунтовой среды и построения вертикальных разрезов для территории района Тунчжоу г. Пекина;

2. С помощью полученной 3D геологической модели было представлено множество деталей грунтовых условий до глубины 50 м. В модель вошли 10 главных единиц, сгруппированных в три циклотемы (три циклические последовательности переслаивающихся глин, пылеватых грунтов, песков и гравия с переменным количеством линз).

3. Полученная новая модель использовалась в качестве инструмента для визуализации изменчивости выделенных единиц по глубине и геометрии для характеристики большого разнообразия свойств (например, модуля всестороннего сжатия E_s), а затем для оценки геологических условий.

4. Был выполнен анализ динамической модели мониторинга на основе полученной 3D модели. Он показал, что геологические единицы (песка и пылевой глины) на глубине от 30 до 40 м со средней вертикальной деформацией 0,97 мм с июля 2019 года по сентябрь 2020 года подходят для подземного строительства на рассматриваемой территории с точки зрения вертикальной устойчивости. Этот вопрос будет дополнительно изучен при продолжающихся исследованиях с использованием построенной 3D геоло-

гической модели в качестве основы для динамической модели мониторинга подземного пространства территории района Тунчжоу. ■

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке проекта «Трёхмерное моделирование городских подземных ресурсов и окружающей среды в районе Тунчжоу г. Пекина» (0747-1761SITCN070).

Авторы хотели бы поблагодарить своих коллег из Пекинского института геологических исследований за помощь и поддержку, редактора и рецензентов за конструктивные предложения и замечания, а также Чжао Гао (Chao Gao) за ценное обсуждение.

Примечание издательства MDPI: заявления, мнения и данные, содержащиеся во всех публикациях, принадлежат исключительно их авторам, а не издательству MDPI и/или его редакторам; издательство MDPI и/или его редакторы снимают с себя ответственность за любой ущерб, нанесенный людям или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в публикациях.

ИСТОЧНИК ДЛЯ ПЕРЕВОДА ►

(SOURCE FOR THE TRANSLATION) ►

He H., Xiao J., He J., Wei B., Ma X., Huang F., Cai X., Zhou Y., Bi J., Zhao Y., Wang Ch., Wei J. Three-dimensional geological modeling of the shallow subsurface and its application: a case study in Tongzhou District, Beijing, China // Applied Sciences. MDPI, 2023. Vol. 13. Article 1932. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13031932>, URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/3/1932>

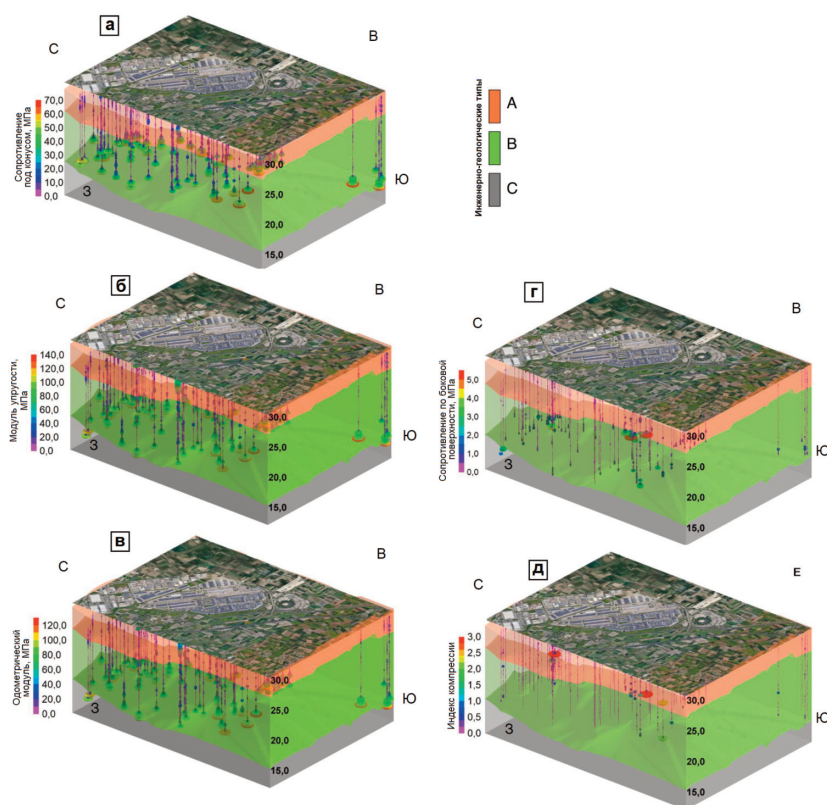
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОЙ СТАТЬИ ►

(REFERENCES USED BY THE AUTHORS OF THE TRANSLATED PAPER) ►

- Wang C.S., Zhou C.H., Peng J.B., Fan J., Zhu H.H., Li X.Z., Cheng G.H., Dai C.S., Xu N.X. A discussion on high-quality development and sustainable utilization of China's urban underground space in the new era. // Earth Sci. Front. 2019. Vol. 26. P. 1–8 (in Chinese with English abstract).
- Aldiss D.T., Black M.G., Entwisle D.C., Page D.P., Terrington R.L. Benefits of a 3D geological model for major tunnelling works: An example from Farringdon, east-central London, UK // Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol. 2012. Vol. 45. P. 405–414 [CrossRef].
- Andersen T.R., Poulsen S.E., Pagola M.A., Medhus A.B. Geophysical mapping and 3D geological modelling to support urban planning: A case study from Vejle, Denmark // J. Appl. Geophys. 2020. Vol. 180. Article 104130 [CrossRef].
- Costa A.L., Sousa R.L., Einstein H.H. Probabilistic 3D alignment optimization of underground transport infrastructure integrating GIS-based subsurface characterization // Tunn. Undergr. Space Technol. 2017. Vol. 72. P. 233–241 [CrossRef].
- Culshaw M.G. From concept towards reality: Developing the attributed 3D geological model of the shallow subsurface // Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol. 2005. Vol. 38. P. 231–284 [CrossRef].
- Zhou D.K., Li X.Z., Wang Q., Wang R., Wang T.D., Gu Q., Xin Y.X. GIS-based urban underground space resources evaluation toward three-dimensional land planning: A case study in Nantong, China // Tunn. Undergr. Space Technol. 2019. Vol. 84. P. 1–10 [CrossRef].
- Dong M., Neukum C., Hu H., Azzam R. Real 3D geotechnical modeling in engineering geology: A case study from the inner city of Aachen, Germany // Bull. Eng. Geol. Environ. 2015. Vol. 74. P. 281–300 [CrossRef].
- Maio R.D., Paola C.D., Forte G., Piegari E., Urciuoli G. An integrated geological, geotechnical and geophysical approach to identify predisposing factors for landslide occurrence // Eng. Geol. 2020. Vol. 267. Article 105473 [CrossRef].

9. Hou W., Yang L., Deng D., Ye J., Clarke K., Yang Z., Zhuang W., Liu J., Huang J. Assessing quality of urban underground spaces by coupling 3D geological models: The case study of Foshan city, South China // *Comput. Geosci.* 2016. Vol. 89. P. 1–11 [CrossRef].
10. Rienzo F.D., Oreste P., Pelizza S. Subsurface geological-geotechnical modelling to sustain underground civil planning // *Eng. Geol.* 2008. Vol. 96. P. 187–204 [CrossRef].
11. Rienzo F.D., Oreste P., Pelizza S. 3D GIS Supporting Underground Urbanisation in the City of Turin (Italy) // *Geotech. Geol. Eng.* 2009. Vol. 27. P. 539–547 [CrossRef].
12. Royse K.R., Rutter H.K., Entwisle D.C. Property attribution of 3D geological models in the Thames Gateway, London: New ways of visualising geoscientific information // *Bull. Eng. Geol. Environ.* 2008. Vol. 68. P. 1–16 [CrossRef].
13. Breunig M. An approach to the integration of spatial data and systems for a 3D geo-information system // *Comput. Geosci.* 1999. Vol. 25. P. 39–48 [CrossRef].
14. Lemon A.M., Jones N.L. Building solid models from boreholes and user-defined cross-sections // *Comput. Geosci.* 2003. Vol. 29. P. 547–555 [CrossRef].
15. Wu Q., Xu H., Zou X.K. An effective method for 3D geological modeling with multi-source data integration // *Comput. Geosci.* 2005. Vol. 31. P. 35–43 [CrossRef].
16. McCormack K., Arnaud E., Parker B.L. Using a Multiple Variogram Approach to Improve the Accuracy of Subsurface Geological Models // *Can. J. Earth Sci.* 2017. Vol. 55. P. 786–801 [CrossRef].
17. Touch S., Likitlersuang S., Pipatpongsa T. 3D geological modelling and geotechnical characteristics of Phnom Penh subsoils in Cambodia // *Eng. Geol.* 2014. Vol. 178. P. 58–69 [CrossRef].
18. Turner A.K. Challenges and trends for geological modelling and visualisation // *Bull. Eng. Geol. Environ.* 2006. Vol. 65. P. 109–127. [CrossRef].
19. Zhang F., Zhu H.H., Ning M.X. Modeling method of 3D strata suitable for massive data // *Chin. J. Rock Mech. Eng.* 2006. Vol. 25. P. 3305–3310 (in Chinese with English abstract).
20. Zhu L.F., Zhang C.J., Li M.J., Pan X., Sun J.Z. Building 3D solid models of sedimentary stratigraphic systems from borehole data: An automatic method and case studies // *Eng. Geol.* 2012. Vol. 127. P. 1–13 [CrossRef].
21. Caumon G., Gray G., Antoine C., Titeux M.-O. Three-Dimensional Implicit Stratigraphic Model Building From Remote Sensing Data on Tetrahedral Meshes: Theory and Application to a Regional Model of La Popa Basin, NE Mexico // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2013. Vol. 51. P. 1613–1621 [CrossRef].
22. Caumon G., Collon-Drouaillet P., Veslud C.L.C.D., Viseur S., Sausse J. Surface-Based 3D Modeling of Geological Structures // *Math. Geosci.* 2009. Vol. 41. P. 927–945 [CrossRef].
23. Frank T., Tertois A.L., Mallet J.L. 3D-reconstruction of complex geological interfaces from irregularly distributed and noisy point data // *Comput. Geosci.* 2007. Vol. 33. P. 932–943 [CrossRef].
24. Jorgensen F., Høyer A.-S., Sandersen P.B.E., He X.L., Foged N. Combining 3D geological modelling techniques to address variations in geology, data type and density – an example from Southern Denmark // *Comput. Geosci.* 2015. Vol. 81. P. 53–63 [CrossRef].
25. Pellerin J., Levy B., Caumon G., Botella A. Automatic surface remeshing of 3D structural models at specified resolution: A method based on Voronoi diagrams // *Comput. Geosci.* 2014. Vol. 62. P. 103–116. [CrossRef].
26. Wang Z.G., Qu H.G., Wu Z.X., Yang H.J., Du Q.L. Formal representation of 3D structural geological models // *Comput. Geosci.* 2016. Vol. 90. P. 10–23 [CrossRef].
27. Gallerini G., Donatis M. 3D modeling using geognostic data: The case of the low valley of Foglia river (Italy) // *Comput. Geosci.* 2009. Vol. 35. P. 146–164 [CrossRef].
28. Travelletti J., Malet J.P. Characterization of the 3D geometry of flow-like landslides: A methodology based on the integration of heterogeneous multi-source data // *Eng. Geol.* 2012. Vol. 128. P. 30–48 [CrossRef].
29. Zhu L.F., Li M.J., Li C.L., Shang J.G., Chen G.L., Zhang B., Wang X.F. Coupled modeling between geological structure fields and property parameter fields in 3D engineering geological space // *Eng. Geol.* 2013. Vol. 167. P. 105–116 [CrossRef].
30. Collon P., Steckiewicz-Laurent W., Pellerin J., Laurent G., Caumon G., Reichart G., Vaute L. 3D geomodelling combining implicit surfaces and Voronoi-based remeshing: A case study in the Lorraine Coal Basin (France) // *Comput. Geosci.* 2015. Vol. 77. P. 29–43 [CrossRef].
31. Price S.J., Terrington R.L., Busby J., Bricker S., Berry T. 3D ground-use optimisation for sustainable urban development planning: A case-study from Earls Court, London, UK // *Tunn. Undergr. Space Technol.* 2018. Vol. 81. P. 144–164 [CrossRef].
32. Rodriguez A.A., Kuhlmann U., Marshall P. 3D modelling of the Excavation Damaged Zone using a Marked Point Process technique // *Geomech. Energy Environ.* 2018. Vol. 17. P. 29–46 [CrossRef].
33. Ye S., Luo Y., Wu J., Yan X., Wang H., Jiao X., Teatini P. Three-dimensional numerical modeling of land subsidence in Shanghai, China // *Hydrogeol. J.* 2016. Vol. 24. P. 695–709 [CrossRef].
34. May M.E., Dlala M., Chenini I. Urban geological mapping: Geotechnical data analysis for rational development planning // *Eng. Geol.* 2010. Vol. 116. P. 129–138 [CrossRef].
35. Rohmer O., Bertrand E., Mercerat E.D., Regnier J., Alvarez M. Combining borehole log-stratigraphies and ambient vibration data to build a 3D Model of the Lower Var Valley, Nice (France) // *Eng. Geol.* 2020. Vol. 270. Article 105588 [CrossRef].

36. Burke H., Mathers S.J., Williamson J.P., Thorpe S., Ford J., Terrington R.L. The London Basin Superficial and Bedrock LithoFrame 50 Model. Nottingham, UK: British Geological Survey, 2014.
37. Ford J.R., Burke H., Royse K.R., Mathers S.J. The 3D Geology of London and the Thames Gateway: A Modern Approach to Geological Surveying and Its Relevance in the Urban Environment. Nottingham, UK: British Geological Survey, 2008.
38. MacCormack K.E., Berg R.C., Kessler H., Russell H.A.J., Thorleifson L.H. 2019 Synopsis of Current Three-Dimensional Geological Mapping and Modeling in Geological Survey Organizations: AER/AGS Special Report 112; Edmonton, AB, Canada: Alberta Energy Regulator, Alberta Geological Survey, 2019.
39. Hoyer A.S., Klint K.E.S., Fiandaca G., Maurya P.K., Christiansen A.V., Balbarini N., Bjerg P.L., Hansen T.B., Miller I. Development of a high-resolution 3D geological model for landfill leachate risk assessment // Eng. Geol. 2019. Vol. 249. P. 45–59 [CrossRef].
40. Chen Q., Liu G., Ma X., Li X., He Z. 3D stochastic modeling framework for Quaternary sediments using multiple-point statistics: A case study in Minjiang Estuary area, Southeast China // Comput. Geosci. 2019. Vol. 136. Article 104404 [CrossRef].
41. Cai X.M., Luan Y.B., Guo G.X., Liang Y.N. 3D Quaternary geological structure of Beijing plain // Geol. China 2009. Vol. 36. P. 1021–1029 (in Chinese with English abstract).
42. Zhi C., Chen H., Li P., Ma C., Zhang J., Zhang C., Wang C., Yue X. Spatial distribution of arsenic along groundwater flow path in Chaobai River alluvial-proluvial fan, North China Plain // Environ. Earth Sci. 2019. Vol. 78. Article 259 [CrossRef].
43. Che Z. A study of the fault activity in the capital circle // North China Earthq. Sci. 1993. Vol. 11. P. 23–34.
44. Jiang W.L., Hou Z.H., Xie X. Research on paleoearthquakes in Jiuxian trenches across Nankou-Sunhe fault zone in Changping County of Beijing plain // Sci. China. 2002. Vol. 45. P. 160–173 [CrossRef].
45. Zhang S.M., Wang D.D., Liu X.D., Zhang G.H., Zhao J.X., Luo M.H., Ren J.J., Wang R.; Zhang Y. Using borehole core analysis to reveal Late Quaternary paleoearthquakes along the Nankou-Sunhe Fault, Beijing // Sci. China. Ser D. Earth Sci. 2008. Vol. 51. P. 1154–1168 [CrossRef].
46. Huang M., Ninic J., Zhang Q. BIM, machine learning and computer vision techniques in underground construction: Current status and future perspectives // Tunn. Undergr. Space Technol. 2021. Vol. 108. Article 103677 [CrossRef].
47. He H.H., Jing H., Xiao J.Z., Zhou Y.X., Liu Y., Li C. 3D geological modeling and engineering properties of shallow superficial deposits: A case study in Beijing, China // Tunn. Undergr. Space Technol. 2020. Vol. 100. Article 103390 [CrossRef].
48. Michel D., Roger A. Geostatistical Ore Reserve Estimation. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Scientific Pub. Co., 1977.
49. Isaaks E.H., Srivastava R.H. An Introduction to Applied Geostatistics. New York, NY, USA: Oxford University Press, 1989.
50. Krige D.G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand // J. South Afr. Inst. Min. Metall. 1952. Vol. 52. P. 119–139.
51. Triantafyllis J., Odeh I., Mcbratney A.B. Five Geostatistical Models to Predict Soil Salinity from Electromagnetic Induction Data Across Irrigated Cotton // Soil Sci. Soc. Am. J. 2001. Vol. 65. P. 869–878 [CrossRef].
52. Lloyd C.D., Atkinson P.M. Assessing uncertainty in estimates with ordinary and indicator kriging // Comput. Geosci. 2001. Vol. 27. P. 929–937 [CrossRef].
53. Kravchenko A.N. Influence of Spatial Structure on Accuracy of Interpolation Methods // Soil Sci. Soc. Am. J. 2003. Vol. 67. P. 1564–1571 [CrossRef].
54. Zimmerman D.L., Zimmerman M.B. A Comparison of Spatial Semivariogram Estimators and Corresponding Ordinary Kriging Predictors // Technometrics. 1991. Vol. 33. P. 77–91 [CrossRef].
55. Liu D., Wang Z., Zhang B., Song K., Duan H. Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in croplands of the black soil region, Northeast China // Agric. Ecosyst. Environ. 2006. Vol. 113. P. 73–81 [CrossRef].
56. Webster R., Oliver M.A. Geostatistics for Environmental Scientists (Second Edition). Chichester, UK: Wiley, 2008.
57. Schokker J., Sandersen P., Beer H.D., Eriksson I., Kallio H., Kearsey T., Pfeleiderer S., Seither A. 3D Urban Subsurface Modelling and Visualisation – A Review of Good Practices and Techniques to Ensure Optimal Use of Geological Information in Urban Planning: COST (European Cooperation in Science and Technology) Sub-Urban WG2 Report. 2017. Available online: https://www.google.com.hk/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi9suvtxPH8AhVfr1YBHSDnDOIQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F317304360_3D_urban_subsurface_modelling_and_visualisation_-_a_review_of_good_practices_and_techniques_to_ensure_optimal_use_of_geological_information_in_urban_planning&usg=AOvVaw2M8yqT1ejj3boaKZ6frxeT (accessed on 26 January 2023).
58. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process // Int. J. Serv. Sci. 2008. Vol. 1. P. 83–98 [CrossRef].
59. He J., Zhou Y.X., Zheng G.S., Wang J.M., Liu Y. Research on the Geological Suitability Evaluation System of Underground Space Resource Utilization in Beijing // Chin. J. Undergr. Space Eng. 2020. Vol. 16. P. 955–966 (in Chinese with English abstract).
60. He J., He H.H., Zheng G.S., Liu Y., Zhou Y.X., Xiao J.Z., Wang C.J. 3D geological modelling of superficial deposits in Beijing City // Geol. China. 2019. Vol. 46. P. 244–254 (in Chinese with English abstract).
61. Thierry P., Prunier-Leparmentier A.-M., Lembezat C., Vanoudheusden E., Vernoux J.-F. 3D geological modelling at urban scale and mapping of ground movement susceptibility from gypsum dissolution: The Paris example (France) // Eng. Geol. 2009. Vol. 105. P. 51–64 [CrossRef].



ТРЕХМЕРНОЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ГЕОТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА В РАМКАХ ПРАВИЛ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛОГИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В ДОЛИНЕ НОЛА (ЮЖНАЯ ИТАЛИЯ)

Принята к публикации 11.08.2025

Опубликована 18.08.2025

ПЕТРОНЕ П.

Факультет наук о Земле, окружающей среде и ресурсах
Неаполитанского университета имени Фридриха II,
г. Неаполь, Италия

АЛЛОККА В.

Факультет наук о Земле, окружающей среде и ресурсах
Неаполитанского университета имени Фридриха II,
г. Неаполь, Италия

ФУСКО Ф.

Факультет гражданского строительства и инженерной
защиты окружающей среды Миланского политехнического
университета, г. Милан, Италия

ИНКОНТРИ П.

Факультет наук о Земле, окружающей среде и ресурсах
Неаполитанского университета имени Фридриха II,
г. Неаполь, Италия

ДЕ ВИТА П.

Факультет наук о Земле, окружающей среде и ресурсах
Неаполитанского университета имени Фридриха II,
г. Неаполь, Италия
padevita@unina.it

АННОТАЦИЯ

Предлагаем вниманию читателей адаптированный перевод статьи итальянских специалистов «Трёхмерное инженерно-геологическое моделирование и геотехническая характеристика в рамках правил геотехнического проектирования на примере площадки строительства логистического комплекса в долине Нола (Южная Италия)» (Petrone et al., 2023). Она была опубликована в 2023 году в рецензируемом научном журнале *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* («Журнал по инженерной геологии и окружающей среде»), который выпускается издательством Springer Science+Business Media от имени Международной ассоциации инженерной геологии и окружающей среды. Указанная работа находится в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0, которая позволяет распространять, переводить, адаптировать и дополнять ее при условии указания типов изменений и ссылок на

первоисточник и лицензию. В нашем случае полная ссылка на источник для перевода (Petrone et al., 2023) и лицензию открытого доступа приведена в конце.

При проектировании и строительстве зданий и другой инфраструктуры важным этапом для оптимизации затрат на строительство и минимизации рисков, связанных с непредвиденными грунтовыми условиями, является разработка надежной/достоверной трехмерной инженерно-геологической модели. Моделирование грунтовых условий (ground conditions) представляет собой сложную задачу, особенно в случаях геологических единиц (units) со сложной геометрией и пространственно изменчивыми геотехническими свойствами. В этом отношении для определения инженерно-геологических единиц обычно применяются комбинированные геологические и геотехнические критерии.

Эти концепции учтены в действующих правилах геотехнического проектирования, прописанных в Еврокоде 7, и в разработанных на их основе национальных нормативных документах, например в итальянских «Строительных нормах и правилах» (Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC)). Однако, несмотря на такую развитую нормативную базу, нет обстоятельных методических рекомендаций по 3D инженерно-геологическому моделированию и геотехнической характеристике площадок будущего строительства.

В представленной работе рассматривается случай исследования весьма гетерогенной и гетеропической пирокластическо-аллювиальной стратиграфической обстановки равнины Нола (административная область Кампания, Южная Италия), характерной для площадки планируемого строительства логистического комплекса коммуны Нола. Использованные подходы основывались на анализе большого массива стратиграфических, лабораторных и полевых геотехнических данных, собранных для проектирования указанного объекта, с помощью инженерно-геологического моделирования в специализированном программном комплексе с расширенными возможностями для пространственного моделирования геологической и геотехнической информации, а также ее визуализации.

Полученные результаты показали, что представленный процесс работы, в том числе анализ статистической изменчивости геотехнических свойств и определение репрезентативных значений геотехнических параметров, потенциально может рассматриваться как методологический подход, соответствующий действующим (в Италии. – Ред.) правилам геотехнического проектирования и фундаментальным принципам инженерно-геологического моделирования и картирования.

Перевод статьи выполнен при поддержке ГК «ПЕТРОМОДЕЛИНГ» и Алексея Бершова.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

трехмерное моделирование; сложные грунтовые условия; геотехническое проектирование; строительство; гражданские инженерные сооружения; инженерно-геологическая единица; инженерно-геологический тип; трехмерная инженерно-геологическая модель.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Петроне П., Аллокка В., Фуско Ф., Инконтри П., Де Вита П. Трехмерное инженерно-геологическое моделирование и геотехническая характеристика в рамках правил геотехнического проектирования на примере площадки строительства логистического комплекса в долине Нола (Южная Италия) // Геоинфо. 2025. Т. 7. № 2. С. 100–118. DOI:10.58339/2949-0677-2024-7-2-100-118.

ENGINEERING GEOLOGICAL 3D MODELING AND GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION IN THE FRAMEWORK OF TECHNICAL RULES FOR GEOTECHNICAL DESIGN: THE CASE STUDY OF THE NOLA'S LOGISTIC PLANT (SOUTHERN ITALY)

Accepted for publication 11.08.2025

Published 18.08.2025

PETRONE P.

Department of Earth, Environmental and Resources Sciences (DiSTAR), Federico II University of Naples, Naples, Italy

ALLOCCA V.

Department of Earth, Environmental and Resources Sciences (DiSTAR), Federico II University of Naples, Naples, Italy

FUSCO F.

Department of Civil and Environmental Engineering, Politecnico Di Milano, Milan, Italy

INCONTRI P.

Department of Earth, Environmental and Resources Sciences (DiSTAR), Federico II University of Naples, Naples, Italy

DE VITA P.

Department of Earth, Environmental and Resources Sciences (DiSTAR), Federico II University of Naples, Naples, Italy
padevita@unina.it

ABSTRACT

We present an adapted translation of the paper “Engineering geological 3D modeling and geotechnical characterization in the framework of technical rules for geotechnical design: the case study of the Nola's logistic

plant (Southern Italy)” by Italian specialists (Petrone et al., 2023). It was published in 2023 in the peer-reviewed journal “Bulletin of Engineering Geology and the Environment” by the Springer Science+Business Media publishing company. It is an open access article under the CC BY 4.0 license that allows it to be distributed, translated, adapted, and supplemented, provided that the types of changes are noted, the original source and the license are referred to. In our case, the full reference to the original paper (Petrone et al., 2023) used for the presented translation and to the open access license are given in the end.

In the design and construction of buildings and infrastructures, the reconstruction of a reliable 3D engineering geological model is an essential step to optimize costs of the construction and limit risks from failure or damage due to unforeseen ground conditions. The modeling of ground conditions is a challenging issue to be tackled especially in the case of geological units with complex geometries and spatially variable geotechnical properties. In such a direction, coupled geological and geotechnical criteria are usually adopted to define engineering geological units.

These concepts are considered by the current technical rules for geotechnical design such as the Eurocode 7 and by the national regulations which have followed it, known in Italy as “Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC)”. Notwithstanding this advanced regulatory framework, no comprehensive indications on methodological approaches were given for the 3D engineering geological modeling and geotechnical characterization of a design and construction site.

In this paper, the case study of the highly heterogeneous and heteropic pyroclastic-alluvial stratigraphic setting of the Nola plain (Campania, Southern Italy) characterizing the site of the Nola’s logistic plant is dealt with. The approaches are based on the engineering geological modeling analysis of a high number of stratigraphic, laboratory and in situ geotechnical data, collected for the design of the plant, and the use of a specialized modeling software providing advanced capabilities in spatial modeling of geological and geotechnical information, as well as in their visual representation.

The results obtained, including also the analysis of statistical variability of geotechnical properties and the identification of representative geotechnical values, can be potentially considered a methodological approach, consistent with the current technical rules for geotechnical design as well as with fundamental concepts of engineering geological modeling and mapping.

The translation of the paper was carried out with the support of the “PETROMODELING” Group of Companies and Aleksey Bershov.

KEYWORDS:

3D modeling; complex ground conditions; geotechnical design; construction; civil engineering works; engineering geological unit; engineering geological type; 3D engineering geological model.

FOR CITATION:

Petrone P., Allocca V., Fusco F., Incontri P., De Vita P. Trekhmernoe inzhenerno-geologicheskoe modelirovanie i geotekhnicheskaya kharakteristika v ramkakh pravil geotekhnicheskogo proektirovaniya na primere ploshchadki stroitel'stva logisticheskogo kompleksa v doline Nola (Yuzhnaya Italiya) [Engineering geological 3D modeling and geotechnical characterization in the framework of technical rules for geotechnical design: the case study of the Nola’s logistic plant (Southern Italy)] // Geoinfo. 2024. T. 7. № 2. S. 100–118. DOI:10.58339/2949-0677-2024-7-2-100-118 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

Для проектирования и строительства гражданских инженерных сооружений фундаментальным этапом для оптимизации затрат и минимизации соответствующих рисков является трехмерное инженерно-геологическое моделирование, включающее распознавание геологических материалов, характеристику их физико-механических свойств и воссоздание трехмерной геометрии. В этом отношении литологические/стратиграфические характеристики и неперекрывающиеся геотехнические свойства позволяют идентифицировать инженерно-геологические единицы (units), которые рассматриваются как специализированная категория геологических единиц с однородными литологическими/стратиграфическими и инженерными свойствами [1]. Эти единицы используются для картирования и применимы при проектировании, строительстве и экс-

плуатации гражданских сооружений. Кроме того, полагается, что выделение инженерно-геологических единиц позволяет строить не только инженерно-геологические карты, но и 3D модели грунтовых оснований (subsoil). В частности, инженерно-геологическое картирование стало чрезвычайно актуальным после предложения номенклатуры инженерно-геологических единиц [1], которая была принята аналогично номенклатуре литостратиграфических единиц [2] как зависящая от масштаба анализа. В результате были установлены различные типы инженерно-геологических единиц – от качественных до количественных – в зависимости от вида исследований, которые необходимо проводить с учетом масштаба изысканий и представления данных [3].

В ходе дальнейшего развития концепций Фукс [4], следуя идеям Терцаги [5], подчеркнул важность геотехники

в сфере геологии, применяемой в гражданском строительстве, отметив отсутствие на классических геологических картах количественной информации по геотехническим свойствам дисперсных и скальных грунтов, таким как прочность на сдвиг, проницаемость и сжимаемость. Соответственно, инженерно-геологическое картирование сильнее фокусировалось на выделении инженерно-геологических единиц, характеризующихся однородными литостратиграфическими и геотехническими свойствами, геометрические границы которых соответствуют изменениям их геотехнических особенностей.

Дальнейший прогресс в определении инженерно-геологических моделей (ИГМ) был достигнут Международной ассоциацией по инженерной геологии (МАИГ/IAEG) и Комиссией по окружающей среде C25 [6], которые выделили концептуальные, наблюдательные

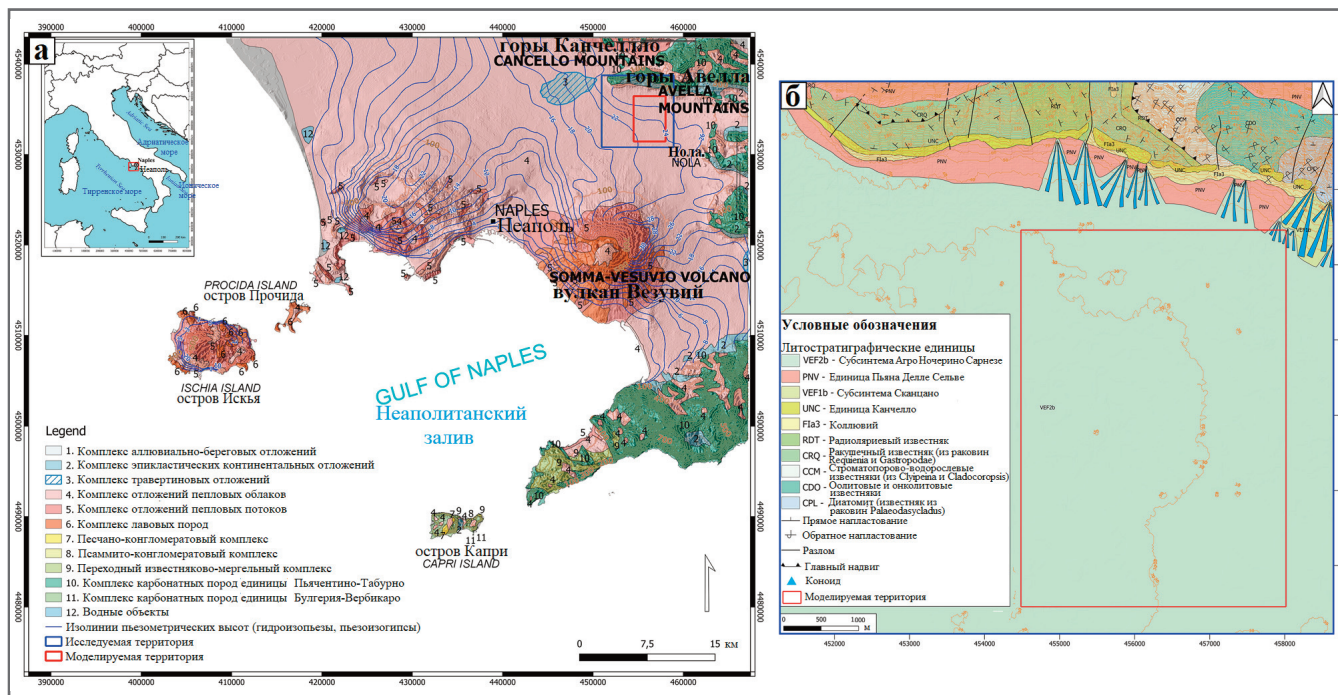


Рис. 1. Фрагменты: а – гидрогеологической карты Южной Италии масштаба 1:250000 (по [46] с изменениями); б – геологической карты Италии масштаба 1:50000 (с изменениями с сайта итальянского Высшего института охраны окружающей среды и исследований – ISPRA)

и аналитические ИГМ с указанием областей их применения.

Концепции инженерно-геологических единиц (units) и 3D моделирования грунтовых оснований полностью соответствуют требованиям Еврокода 1997 года (EN 1997-1:2004 [7]) и национальным нормативным документам, разработанным на его основе. К последним относятся итальянские «Строительные нормы и правила» (“Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC)”), принятые в 2008 и 2018 годах [8], в которых прописаны правила планирования геотехнических изысканий и обработки их результатов. В рамках этих документов создание 3D инженерно-геологических моделей стало важным инструментом познания, дающим больше возможностей для наглядного отображения пространственной изменчивости инженерно-геологических свойств грунтового основания (subsoil) [6, 9, 10]. Поэтому в последние годы в области трехмерного геологического моделирования был достигнут значительный прогресс.

Алан и Норман [11] для построения объемных моделей предложили метод горизонтов (Horizons Method). Некоторые исследователи разработали программное обеспечение для 3D геологического моделирования с использованием платформ/программ для создания 3D графики, таких как OpenGL [12] и GOCAD [13]. Кроме того, Британская геологическая служба (BGS) создала трехмерные геологические модели в

широком диапазоне масштабов с помощью 3D геоинформационной системы [14–17]. На базе Генеральной инспекции карьеров Франции (The General Inspectorate of Quarries of France) была разработана многослойная 3D геологическая модель территории г. Парижа [18]. Также была предложена разработка 3D геологических моделей, чтобы показать распределение и объемы пригодных для добычи полезных ископаемых, приуроченных к четвертичным отложениям на юго-западе Германии [19], а также залежей угля на западе Греции [20]. Некоторые авторы [21–23] улучшили управление данными и плагины для 3D геомоделирования территории столицы Китая.

В более поздних исследованиях инженерно-геологические модели создавались на основе данных бурения, геотехнических или геофизических изысканий с использованием пакетов программ для 3D моделирования, например Leapfrog [24, 25]. Достигнутый прогресс в вычислительной скорости, в сборе и оцифровке увеличивающегося количества геологических и геотехнических данных привел к улучшению их трехмерного представления, что способствовало более точной оценке соответствующих опасностей и неопределенностей при градостроительном планировании [16, 26–30]. Это позволило перейти от концептуальной модели к реалистичной [31] путем объединения/интеграции пространственной ин-

формации с показателями физических и геотехнических свойств, которые должны быть оценены с помощью статистических подходов.

И наконец, Бейнс с сотрудниками [32] занимались вопросом неопределенностей в инженерно-геологической модели, рассматривая ее как комплекс взаимосвязанных концептуальных моделей и данных наблюдений, которые характеризуются соответственно эпистемической (обусловленной ограниченностью знаний, сведений, возможностей модели) и алеаторной (связанной со случайными вариациями в процессах или явлениях) неопределенностью [33, 34]. При этом чем больше объем данных наблюдений, тем выше точность модели. На точность также влияет структура данных, которая определяет алгоритм моделирования и визуализацию результатов [35].

В процессе данного исследования 3D геологические и инженерно-геологические модели создавались в программе *RockWorks* (разработанной компанией *RockWare Inc.*) на основе обширной базы литологических и геотехнических данных, полученных при детальном стратиграфическом и геотехническом изыскании, выполненных для проекта “C.I.S. – Interporto Campano – Vulcano Buono”. В соответствии с Еврокодом 1997 года была проведена статистическая оценка геотехнических свойств инженерно-геологических единиц на основе результатов полевых и лабораторных испытаний.

Сложная геометрия пирокластическо-аллювиальных отложений исследуемой территории и их пространственно изменчивые геотехнические характеристики, включая очень плохие свойства торфяных линз, определили сложность задачи данной работы, заключавшейся в разработке ориентировочного подхода к геотехническому проектированию гражданских инженерных сооружений при сложных грунтовых условиях, который должен соответствовать действующим техническим регламентам по геотехническому проектированию.

ОПИСАНИЕ ИЗУЧАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ ►

Геологические и геоморфологические особенности равнины Нола ►

Равнина Нола находится в северо-восточном секторе Кампанской равнины, примерно в 16 км к северу от вулкана Везувий, к северу от гор Канчелло и к востоку от гор Авелла (рис. 1). Геолого-структурная обстановка исследуемой территории сформировалась вследствие работы генетических механизмов Кампанской равнины, которые определялись сильными взаимодействиями между вулканическими, тектоническими и седиментационными процессами и явлениями, происходившими в четвертичный период [36–40].

Кампанская равнина представляет собой широкую полуграбенную структуру [41], образованную системами нормальных разломов, протягивающихся в направлениях СВ-ЮЗ, СЗ-ЮВ и В-З, которые образовывались с позднего плиоцена [36] до раннего плейстоцена [42] и опустили Апеннинскую горную цепь со стороны тирренского побережья. Анализ мощных толщ аллювиальных и пирокластических отложений, заполняющих эту геологическую структуру, выполненный на основе бурения глубоких скважин, позволил отнести их формирование ко времени от среднего-позднего плейстоцена до голоцена [36, 38, 43–47].

С геоморфологической точки зрения исследуемая территория расположена в верхней части долины Реджи-Ланьи, которая в целом характеризуется искусственной дренажной сетью, построенной между 1610 и 1616 годами для освоения территории и борьбы с разливами реки Клянио. Эта долина окружена горными хребтами, образованными мезокайнозойскими карбонатными породами [48, 49]. Перепады

высот там в целом очень невелики, что характеризует рельеф как субравнинный с крутизной поверхности менее 2% при наклоне в юго-западном направлении.

Из-за равнинной морфологии и ограниченного дренажа эта территория когда-то характеризовалась болотистой средой, которая способствовала образованию органических отложений, таких как торф и палеопочвы, переслаивающихся с аллювиальными и пирокластическими отложениями, образовавшимися при извержениях вулкана Везувий и вулканов района Флегрейские поля за последние 10 тыс. лет [50, 51]. Кроме того, другие исследования (например, [52]) показали, что формированию болотистой среды способствовали также лахары, обломочные и селевые потоки и повторяющиеся наводнения.

Основные геологические особенности этой территории можно разделить на две группы. В первую входят коренные мезозойские литостратиграфические единицы карбонатной платформенной формации, образующие горы Канчелло и Авелла, которые граничат с исследуемой территорией на севере и на востоке. Вторая группа включает четвертичные отложения, образованные переходными (от морских к континентальным) фациями, связанными с положительными гляциоэвстатическими колебаниями, которые происходили в течение среднего-верхнего плейстоцена, и пирокластические отложения пеплопадов и пепловых потоков [53, 54], возникших в результате интенсивной вулканической деятельности 116 тыс. лет назад (кампанский серый туф, [55]) и 15 тыс. лет назад (неаполитанский желтый туф, [56]).

На исследуемой территории эти отложения включают детритово-коллювиальную единицу (PNV) *Пиано-делле-Сельве* и детритовую единицу *Гьяе Карбонатике ди Туфино* (VEF2b2). Первая представляет собой пирокластическо-аллювиальный комплекс, образованный супесчано-гравийными отложениями. С геотехнической точки зрения эти отложения, как правило, характеризуются низкими коэффициентами пористости/пустотности, что приводит к соответствующему оседанию при увеличении вертикальной нагрузки. А вторая единица состоит из аллювиальных известняковых гравийно-галечных отложений с полигенным песчаным заполнителем. По физико-механическим свойствам эти отложения можно охарактеризовать как в различной степени

водонасыщенные грунты со значительной величиной модуля упругости [57].

Инженерно-геологические проблемы исследуемой территории ►

В конце 1970 года один из участков равнины Нола был выбран в качестве площадки для строительства логистического и коммерческого района, образованного следующими тремя сооружениями с различными и взаимодополняющими функциями:

- одним из ведущих в Европе распределительных центров торговой платформы B2B (Business-to-Business) «Чентро Ингрессо Звилуппо», то есть «Центр развития оптовой торговли» (Centro Ingresso Sviluppo – CIS);
- международной логистической платформой, связанной с ведущими мировыми транспортными узлами, «Интерпорто Кампано» (Interporto Campano);
- многофункциональным центром торговли, отдыха и развлечений «Вулкано Буоно» (Vulcano Buono).

«Интерпорто Кампано» (<https://www.interportocampano.it>) – это одна из важнейших логистических платформ в Европе, которая предлагает транспортную систему, интегрированную с железнодорожными, автомобильными и морскими линиями, для предоставления услуг по хранению, управлению и распределению товаров. Это мультимодальная система сооружений (связанная с использованием различных видов транспорта в одной перевозке), занимающая разные площадки (рис. 2) и включающая ряд сервисов для всей охватываемой ею территории (здания, склады, путепроводы, железнодорожную станцию и различную инфраструктуру). Для проектирования и строительства этой системы было выполнено множество геологических и геотехнических исследований, позволивших распознать сложную стратиграфическую и литологическую природу, а также физико-механические характеристики грунтов, прямо или косвенно имеющих отношение к строительству. Анализ стратиграфических данных, полученных в результате бурения с непрерывным отбором образцов керна, показал, что верхние 4 м грунта состоят из чередующихся песчанистых пылеватых грунтов (sandy silts) и пылеватых песков (silty sands), относящихся к группе ML (низкопластичным пылеватым грунтам) по унифицированной системе классификации грунтов USCS (Unified Soil Classifi-

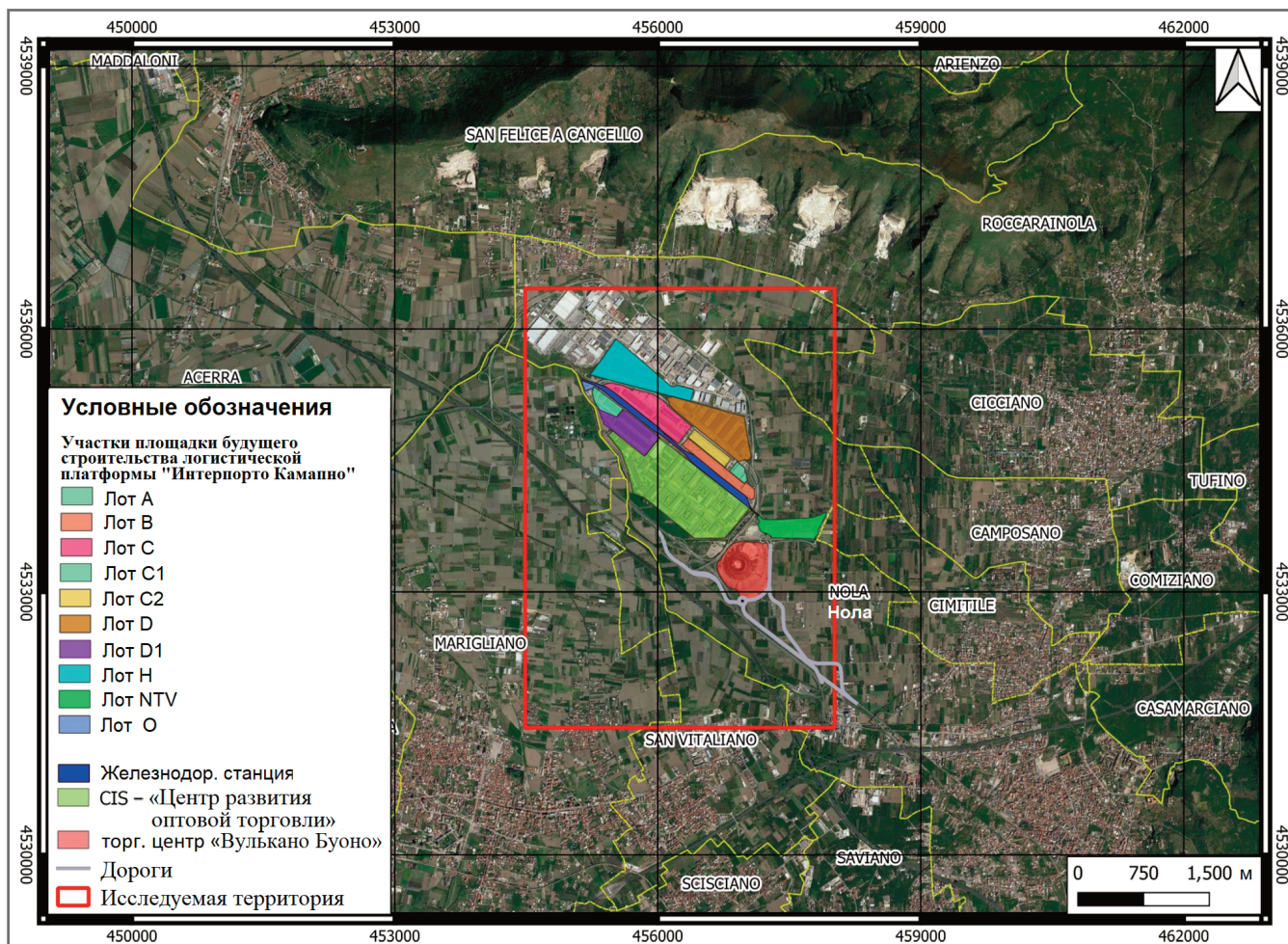


Рис. 2. Карта логистического комплекса «Интерпорто Кампано» с указанием конкретных подзон, на которые он разделен в соответствии с логистической деятельностью

cation System). А глубже всего залегают литоидные и псевдолитоидные туфы.

Проведенные на этой территории геотехнические исследования и лабораторные испытания позволили отобрать образцы грунта ненарушенного сложения и охарактеризовать их геотехнические свойства. Кроме того, серия таких испытаний, как стандартное динамическое зондирование методом SPT и статическое зондирование методом СРТ, выявила очень сложную геотехническую обстановку. Наличие сильносжимаемых органических грунтов и их неравномерное пространственное распределение, характеризующееся линзовидной геометрией, были признаны основными геотехническими проблемами, поскольку потенциально они могут вызывать неравномерные осадки сооружений. По этой причине на определенных площадках (лотах NTV, O и C на рисунке 2) были проведены геотехнические исследования, направленные на содействие консолидации этих отложений путем создания искусственной нагрузки от насыпных грунтов, равной нагрузке от возводимых сооружений. Такая

практика привела к осадкам величиной от 0,7 до 15,9 см.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ►

Построение 3D инженерно-геологических моделей ►

В представленной работе выполнено количественное представление грунтового основания (subsoil) на основе геологических и геотехнических исследований с высокой детализацией оценки литологических и геотехнических свойств (рис. 3). Благодаря масштабу анализа (>1:5000) выделенные инженерно-геологические единицы (units) соответствуют максимальному уровню детализации и считаются инженерно геологическими типами (engineering geological types) [1]. Инженерно-геологические свойства были определены с помощью лабораторных испытаний и полевых измерений, а также проанализированы с использованием статистических методов в соответствии с рекомендациями Еврокода (1997 г.).

С использованием программы *RockWorks* были построены геологическая и инженерно-геологическая модели исследованной территории. Данный инструмент позволяет обрабатывать разнородные данные (литологические, стратиграфические, геофизические, геохимические, гидрогеологические, геотехнические) и применять различные методы интерполяции для создания 3D моделей – построение перекрывающихся регулярных сеток (regular mesh surfaces) для создания сеточной модели (grid model) или воксельных матриц для создания объемных моделей (solid model).

Организация собранных данных и создание базы данных ►

На основе стратиграфических и геотехнических данных была реконструирована геологическая модель изучаемой территории (рис. 4). Наборы этих данных включают результаты:

- бурения 41 скважины с непрерывным отбором образцов керна;



Рис. 3. Блок-схема использованного методологического подхода

- 107 стандартных пенетрационных испытаний (динамического зондирования методом SPT);
- 93 испытаний на внедрение конуса (статического зондирования методом CPT);
- 73 лабораторных испытаний образцов грунта ненарушенного сложения, отобранных в ходе изысканий.

Первым этапом работ стала геопространственная привязка мест расположения скважин и выполнения испытаний методом CPT (в международной системе координат UTM WGS84). Высотные отметки были получены по доступной цифровой модели рельефа на основе лидарной съемки из базы геоданных Неаполитанского городского метрополитена (Citta Metropolitana di Napoli) (<http://sit.cittametropolitana.na.it/lidar.html>).

На втором этапе были созданы два набора данных, относящихся к стратиграфической и геотехнической информации, полученной в результате бурения и испытаний CPT соответственно. На основе множества доступных данных были разработаны три разных типа 3D моделей грунтового основания (subsoil) – литологическая, геотехническая и инженерно-геологическая. Литологическая модель создавалась с использованием результатов непосредственных наблюдений в ходе стратиграфических исследований при бурении скважин. Эти данные были импортированы и обработаны в системе управления данными

ми бурения (*borehole data manager*) соответствующего программного обеспечения с помощью инструмента *lithology* («литология»), связанного с таблицей *lithology type* («литологический тип»), определяющей репрезентативное ключевое слово (*keyword*), то есть литологический маркер, и значение *G* (*G value*) для каждого наблюдаемого литологического типа. *Ключевое слово*, или *литологический маркер*, представляет собой краткое однозначное название, присваиваемое литологии после пересмотра классификационных терминов. Сначала использовалось классификационное название на основе именно гранулометрического состава [58]. А потом применение унифицированной системы классификации грунтов USCS позволило присвоить каждому литологическому типу название, а также буквенно-цифровое (*symbol*) и графическое (*pattern*) обозначения. *Значения G* представляют собой целые числа, используемые для отображения литологических типов в интерполированных литологических моделях.

Для оценки параметров сжимаемости (*compressibility parameters*), которые применялись при создании геотехнических моделей, использовались результаты полевых и лабораторных геотехнических испытаний. При этом рассматривалось несколько эмпирических формул, известных из геотехнической научной литературы. Эти формулы ос-

новывались на результатах испытаний песчаных и пылеватых грунтов, аналогичных исследуемым, методами SPT и CPT. Для создания инженерно-геологических моделей с высоким разрешением применялось непрерывное определение параметров по вертикали с помощью испытаний CPT. Поэтому геотехнические параметры, полученные при испытаниях SPT, не использовались для создания инженерно-геологической модели, хотя они применялись для валидации значений, полученных при испытаниях CPT. Таким образом, параметрами, сохраненными во вкладке P-Data («точечные данные») базы данных/модуля Borehole Manager («Управление данными по скважинам») программы Rockworks и использованными для построения геотехнических моделей (с шагом по глубине 0,2 м), были сопротивление под конусом и по боковой поверхности зонда. Кроме того, с помощью эмпирических формул были получены модуль упругости, одометрический модуль деформации и индекс компрессии (*compression index*).

Модуль упругости E оценивался как среднее значение результатов вычислений по приведенным ниже эмпирическим формулам.

1. *Формула Де Бира* [59], основанная на корреляционной связи между модулем упругости *E* и сопротивлением под конусом зонда (q_c) с эмпирическим

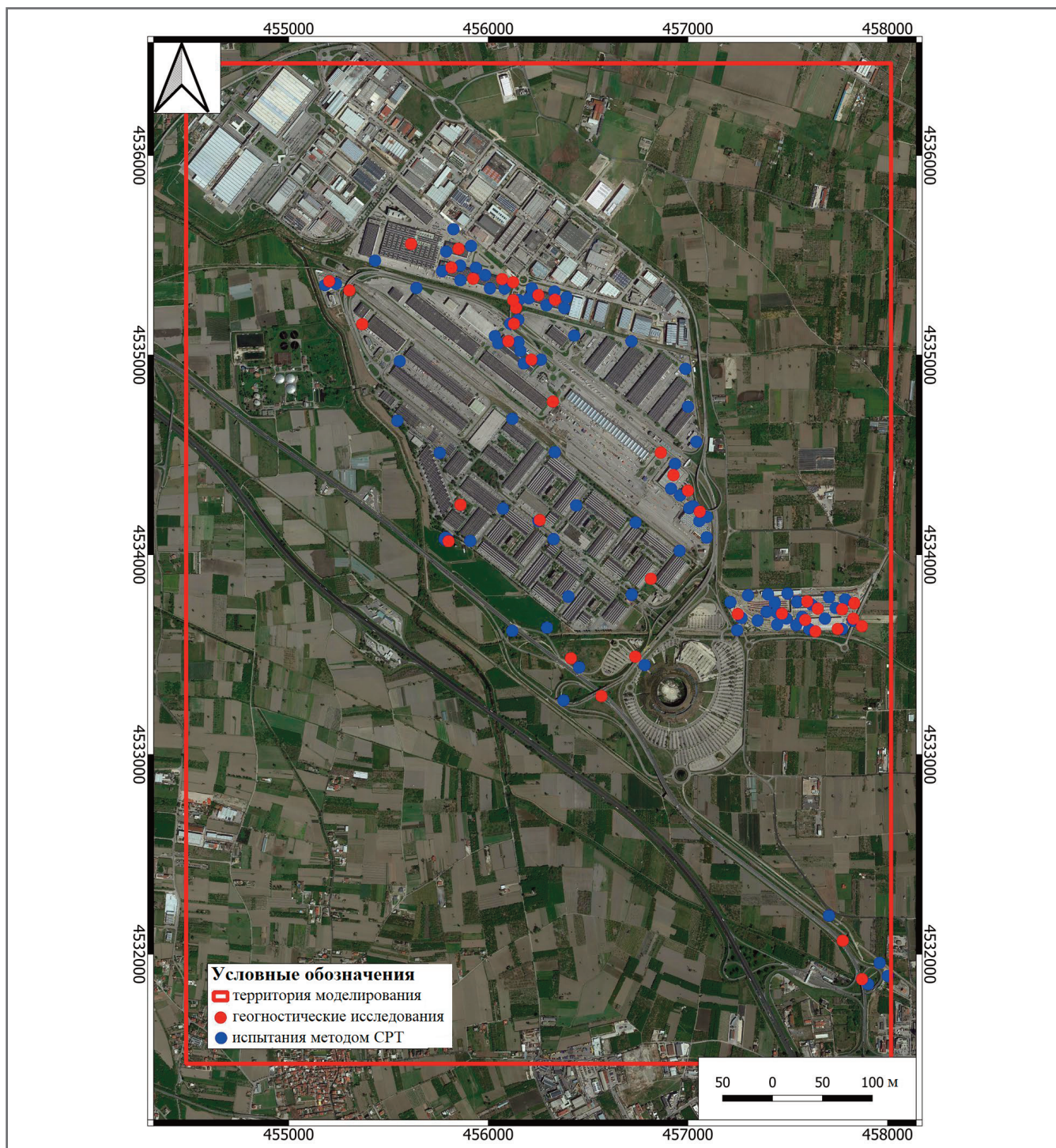


Рис. 4. Карта территории моделирования с указанием мест расположения скважин и проведения статического зондирования методом СРТ

коэффициентом α , значение которого назначается на основе характера испытанного грунта [60]:

$$E = \alpha \cdot q_c \text{ (МПа)}. \quad (1)$$

2. Формула Шмертмана [61, 62], по которой модуль напрямую коррелирует с сопротивлением под конусом с постоянным коэффициентом 2,5:

$$E = 2,5 \cdot q_c \text{ (кг/см}^2\text{)}. \quad (2)$$

3. Формула Феллиуса [63]:

$$E = \alpha \cdot q_t \cdot C_n \text{ (кПа)}, \quad (3)$$

где q_t – скорректированное сопротивление под конусом зонда ($q_t = q_c + u_2 - (1 - a)$); q_c – измеренное сопротивление под конусом; u_2 – поровое давление, измеренное у основания конуса (между конусом и муфтой трения); a – отношение площади поперечного сечения основания конуса к площади поперечного сечения внутренней части зонда, связанной с конусом, на которой закреплены датчики конуса; α – эмпирический коэффициент, назначенный «Ка-

надским руководством по фундаментостроению» [60].

Одометрический модуль деформации M оценивался по уравнению Санглерата [64], применимому для пылеватых (silts) и пылеватых песчаных (silty sands) грунтов:

$$M \text{ (МПа)} = q_c \cdot \alpha_m, \quad (4)$$

где константа α_m зависит от литологического типа и назначается на основе системы классификации грунтов USCS.

И наконец, Урми и Ансари [65] предложили оригинальное решение для получения значения индекса компрессии C_c (compression index) в соответствии со следующими корреляционными зависимостями:

$$C_c = 0,24 e^{-0,19 q_{cl}}, \quad (5)$$

$$C_c = 0,2336 - 0,0333 q_{cl}, \quad (6)$$

где q_{cl} – сопротивление под конусом зонда.

Для выделения и описания инженерно-геологических единиц (units), то есть инженерно-геологических типов (types) [1], были выполнены интеграция и интерпретация литологических и геотехнических данных.

Размеры модели ►

Размеры модели были предварительно установлены с учетом граничных координат и расстояний между соседними узлами (шага узлов сетки), которые определяют плотность моделей, а именно их детализацию и время, необходимое для обработки данных. Площадь моделируемой территории составила примерно $17,5 \times 10^6 \text{ м}^2$ (см. рис 4).

Для достижения баланса между разрешением модели и временем обработки были установлены шаги узлов сетки по осям X и Y , равные половине среднего расстояния между скважинами, а шаг по оси Z был соотнесен с шагом отбора образцов из керна в соответствии с рекомендациями по моделированию в программном комплексе *Rockworks* (см. сайт его разработчика – компании RockWare: <https://www.rockware.com>). В данном исследовании для всех рассматриваемых моделей изначально был установлен шаг по осям X и Y величиной 500 м на основе среднего расстояния между инженерно-геологическими скважинами, которое составляло примерно 1000 м. Однако для улучшения пространственного разрешения шаг был уменьшен до 100 м. Это сочли приемлемым компромиссом между разрешением и временем обработки, которое в результате оказалось в три раза больше, чем при разрешении в 500 м. А для вертикальной оси Z были отдельно протестированы разные значения шага и общей высоты сетки. В итоге сделали выбор в пользу более хорошего разрешения по высоте, что было обусловлено следующими факторами:

а) разными значениями глубины скважин, которые превышали таковые при испытаниях СРТ;

б) шагом сетки по оси Z величиной 0,1 м, который был меньше шага изменений при испытаниях СРТ (составлявшего 0,2 м).

В итоге в соответствии с заданными параметрами объем литологической модели, полученной по обработанным результатам изысканий (бурения), получился примерно $745,7 \times 10^6 \text{ м}^3$, а объем геотехнических моделей, построенных по результатам испытаний методом СРТ, составил около $420,0 \times 10^6 \text{ м}^3$.

Создание 3D моделей ►

Для 3D моделирования грунтового основания использовались различные алгоритмы интерполяции. Выбор наиболее подходящего метода интерполяции основывался на типе создаваемой модели и обоснованности полученных результатов.

Литологическая модель была создана с использованием данных по литологии, полученных непосредственно в результате бурения скважин, и алгоритма интерполяции путем блендинга литологических данных (литоблендинга), который является единственным доступным методом для литологического моделирования латеральных литологических переходов – гетеропических фаций и геологических тел с линзовидной геометрией. Литоблендинг (lithoblen ding) – это алгоритм, который экстраполирует литологические типы по результатам исследований скважин в объемную блочную модель («смешивает» литологические данные). Он строит литозоны вокруг каждой скважины, которые могут резко обрываться при встрече с литологической зоной соседней скважины. Если конкретнее, данный алгоритм функционирует как геопространственный метод ближайшего соседа, предназначенный исключительно для литологического моделирования.

После построения трехмерной модели использованное программное обеспечение позволило извлекать разрезы и 3D схемы разрезов (fence diagrams) с помощью соответствующих инструментов – *Lithology Section* («Литологический разрез») и *Lithology Fence Diagram* («3D схема литологических разрезов»).

Для создания трехмерных моделей также использовались значения *геотехнических параметров* – сопротивлений под конусом и по боковой поверхности зонда, полученных при испытаниях СРТ, а также модуля упругости, одометрического модуля деформации и индекса компрессии, рассчитанных по эмпирическим формулам. Для построения

3D моделей геотехнических параметров наиболее подходящим по сравнению с другими доступными для объемного моделирования методами (триангуляцией и кригингом) экспертами был признан *метод обратных расстояний с учетом анизотропии* (inverse distance anisotropic interpolation method). Этот метод основан на направленном поиске, что может улучшить интерполяцию значений вокселей между кластерами точек данных и может быть полезным для моделирования данных по скважинам в слоистых отложениях.

И наконец, для построения поверхностей раздела (границ) между перекрывающимися (overlapping) инженерно-геологическими единицами был применен алгоритм кригинга (kriging).

С помощью комбинированной интерпретации литологических и геотехнических моделей в конечном итоге была создана *инженерно-геологическая модель*, показывающая обобщенное (synthetic) подразделение грунтового основания (subsoil) на слои, соответствующие определенным инженерно-геологическим типам (types) [1].

Статистическая характеристика геотехнических свойств ►

Согласно Еврокоду-1997 геотехнические свойства инженерно-геологических единиц (units) описываются *характеристическими значениями* (characteristic values), установленными с учетом статистического разброса, которые можно считать применимыми к проектированию гражданских сооружений, взаимодействующих с их грунтовыми основаниями (и тогда называть «проектными характеристическими значениями геотехнических параметров»; см. рис. 3).

В отношении прочности на сдвиг или сжимаемости характеристическое значение – это величина с приемлемо высокой вероятностью превышения, что подразумевает низкую вероятность непревышения и, следовательно, принятие низкого уровня риска. До введения Еврокода-1997 не существовало руководств, которые бы предоставляли информацию о том, как определять характеристические значения геотехнических параметров для использования на стадии проектирования. В связи с этим различные авторы обсуждали правильный подход. Например, Симпсон и др. [66] отметили сложность признания однозначно подходящего метода для определения характеристических значений, поскольку степень неопределенности конкретного геотехниче-

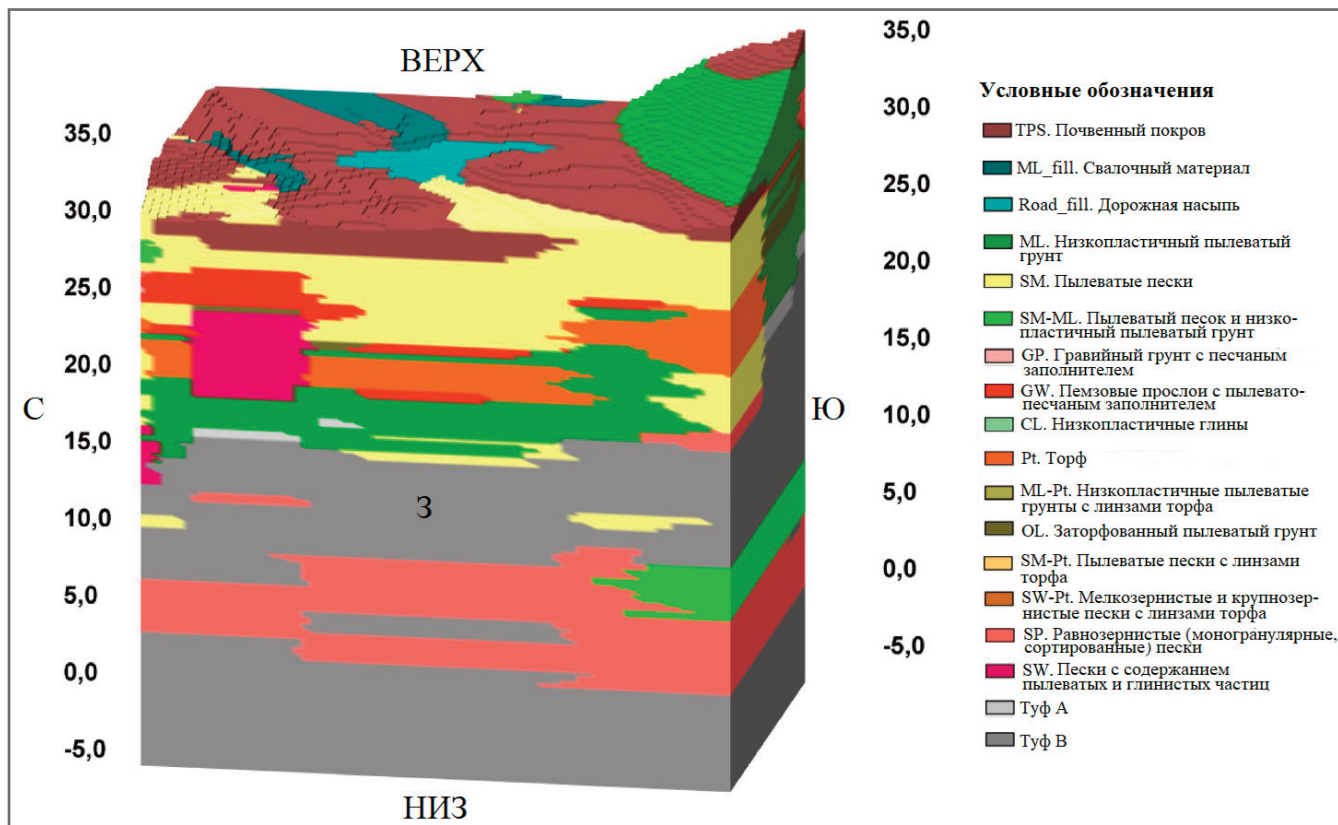


Рис. 5. Литологическая модель с классификацией по системе USGS

ского параметра значительно варьирует в зависимости от локальных геологических условий. Они пришли к выводу, что среднее значение не подходит в качестве характеристического и рекомендовали учитывать наихудшие условия, которые могут встретиться или возникнуть, хотя этот подход и может быть чрезвычайно консервативным. В 1981 году в «Датском своде правил по фундаментостроению» [67] также было констатировано, что характеристические значения параметров прочности и деформируемости грунта должны устанавливаться путем консервативной оценки на основе результатов соответствующих измерений, предоставляя проектировщику выбор уровня консервативности этой оценки.

И наконец, в Еврокоде 7 представлены рекомендации по планированию геотехнических исследований и использованию их результатов с констатацией того, что характеристические значения геотехнических параметров могут быть определены с помощью статистических методов обработки данных лабораторных и полевых испытаний. Кроме того, выбор репрезентативного значения должен основываться не только на чисто статистическом анализе результатов, но и на мнении проектировщика в связи с решаемой им инженерной задачей.

В этом исследовании использовались статистические процедуры для на-

хождения репрезентативных значений пяти инженерно-геологических параметров, которые были определены для характеристики инженерно-геологических типов: сопротивления под конусом и по боковой поверхности зонда при испытаниях методом СРТ, модуля упругости, одометрического модуля и индекса компрессии, полученных с помощью эмпирических формул на основе результатов СРТ.

Этот подход основывался на частотном анализе, результаты которого были представлены с использованием 25, 50 и 75-го перцентилей, показанных в виде диаграмм рахмах типа «ящиков с усами» (box plots) (указанные перцентили представляют собой значения рассматриваемой случайной величины, которые она не превышает с вероятностями соответственно 25, 50 и 75%; иначе говоря, 25, 50 и 75% значений этой величины находятся ниже соответствующих перцентилей. – *Ped.*).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

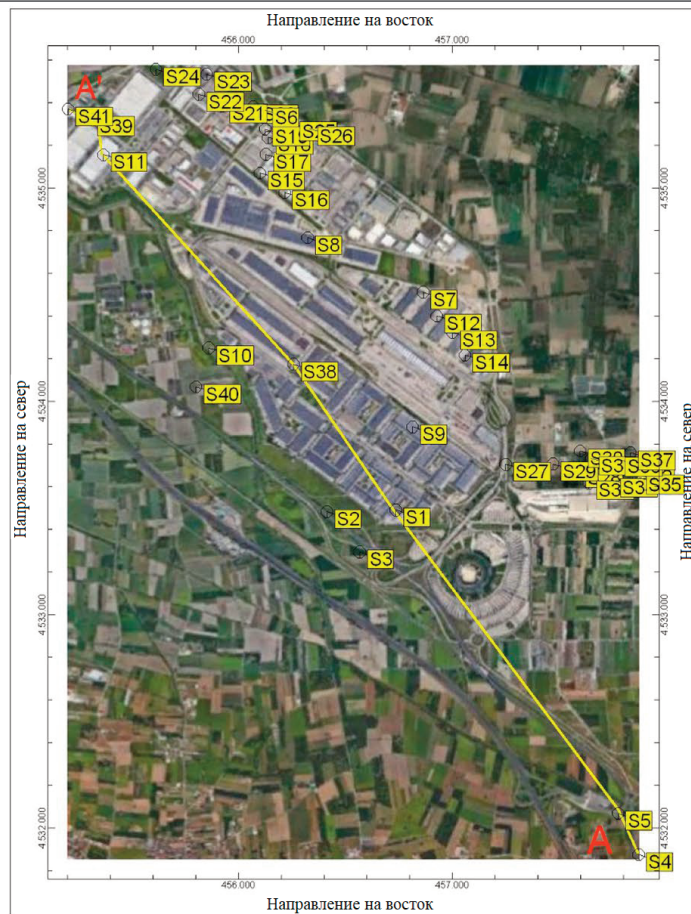
Здесь будут представлены и обсуждены результаты процесса моделирования (3D модели и 2D изображения будут показаны с увеличением вертикального масштаба в 100 раз для улучшения визуализации тонких слоев грунта).

Литологическая модель

Трехмерная литологическая модель (рис. 5) показывает распределение литологических типов, непосредственно наблюдавшихся по скважинам, выделяя латеральные переходы, обусловленные гетеропическими фациями, и наличие геологических тел линзовидной формы. Исследуемая территория в основном характеризуется чередованием низкопластичных пылеватых грунтов (ML) и пылеватых песков (SM) с торфяными линзами (Pt) и редкими слоями крупнозернистых грунтов (GP, GW, SP, SW). В более глубокой зоне залегает туфовая формация с горизонтальными и вертикальными разрывами сплошности, что определяет взаимное проникновение (клинообразное переслаивание) с рыхлыми пирокластическими песчаными отложениями (SM, SP).

Из 3D литологической модели был получен ряд двумерных изображений исследуемого грунтового основания (subsoil). Например, на рисунке 6 показан разрез A-A' (от точки изысканий S4 на юго-востоке рассматриваемой территории до точки изысканий S41).

Кроме того, была построена серия 3D схем разрезов (fence diagrams) для всего грунтового массива исследуемой территории. Ориентация таких схем может выбираться вручную или по умолчанию при помощи инструментов, ко-



Разрез A-A'

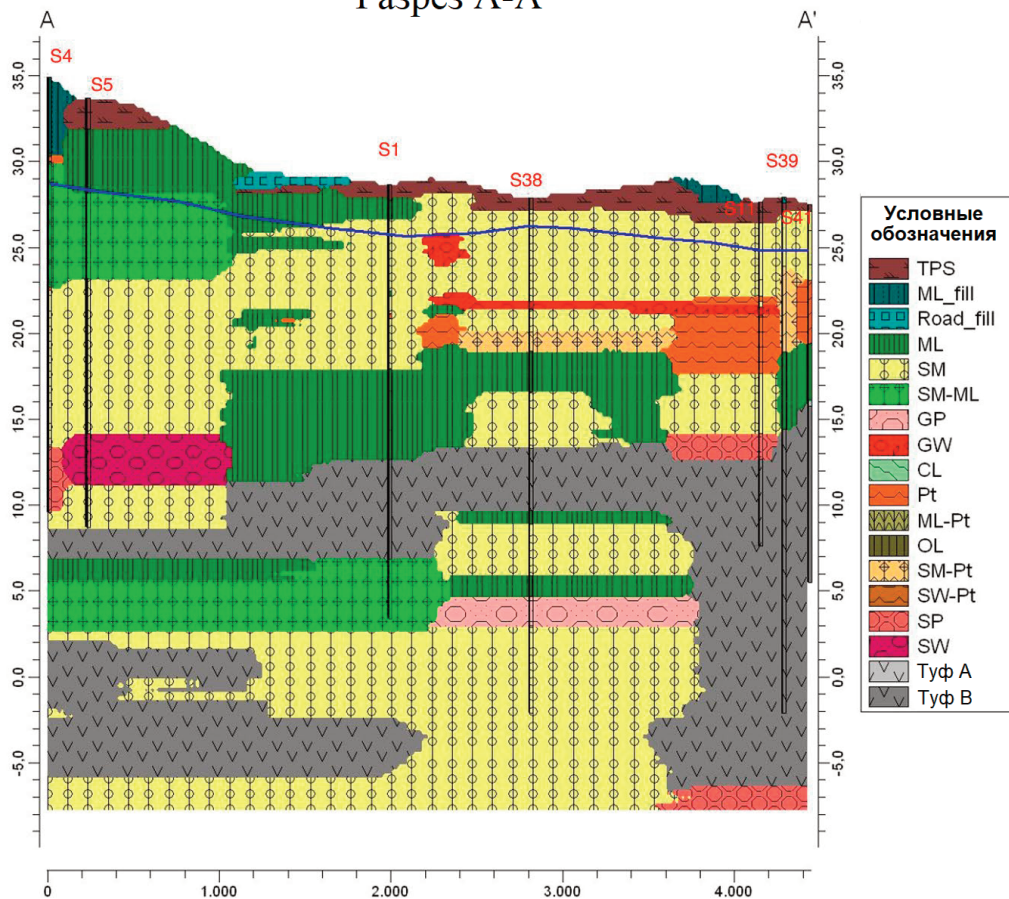


Рис. 6. Линия разреза A-A' на карте исследуемой территории и сам разрез A-A' с классификацией по системе USGS (пояснения к обозначениям по системе USGS для данного случая см. в легенде на рисунке 5)

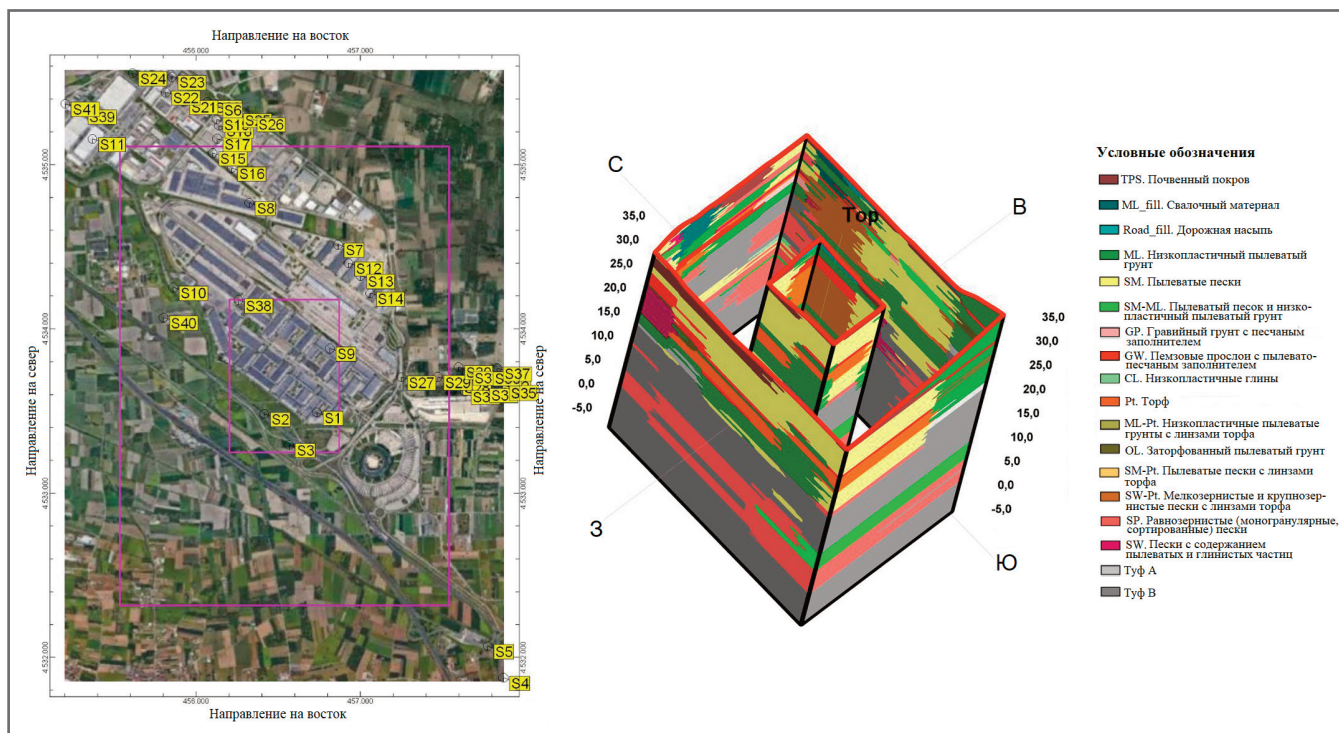


Рис. 7. Линии разрезов (фиолетового цвета) на карте исследуемой территории и концентрическая 3D схема этих разрезов с классификацией по системе USGS

торые позволяют работать с разными 3D моделями. На рисунке 7 показана 3D схема разрезов, воспроизведенная с помощью одного из этих инструментов.

Геотехническая модель ►

Было построено пять геотехнических моделей, показывающих пространственную изменчивость сопротивления под конусом и по боковой поверхности зонда, измеренных методом СРТ, а также геотехнических параметров, полученных с помощью эмпирических формул (модуля упругости, одометрического модуля и индекса компрессии). Для каждого из этих параметров была построена 3D модель с графическим представлением их значений с помощью цветовых шкал от более «теплых» цветов (со стороны красного), обозначающих более высокие значения, до более «холодных» цветов (со стороны фиолетового), обозначающих более низкие значения (например, рис. 8).

К базовой модели были добавлены точечные данные, приуроченные к конкретным глубинам стволов скважин, из вкладки *P-Data* («точные данные») базы данных *Borehole Manager* («Управление данными по скважинам») программы *Rockworks* – в виде ряда перекрывающихся цветных дисков, которые показываются в соответствии с шагом выборки точечных данных (который в рассматриваемом случае составляет

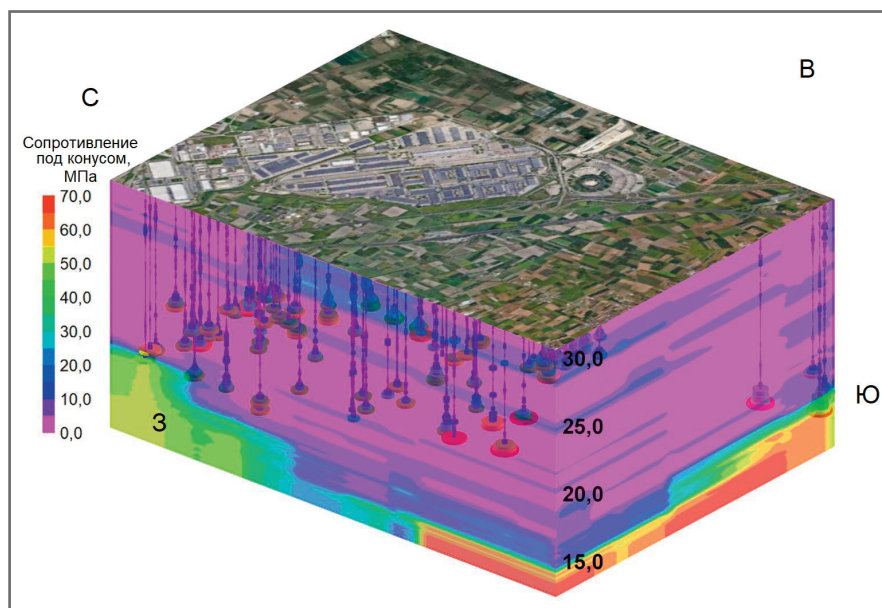


Рис. 8. 3D модель сопротивления под конусом зонда по результатам испытаний методом СРТ

0,2 м). Их размеры (диаметр) и цвета отражают значения параметров.

Анализ трехмерных моделей сопротивления под конусом, модуля упругости и одометрического модуля позволил прийти к выводу, что до глубины 4–5 м залегают грунты со значительными показателями геотехнических свойств. Однако глубже наблюдалось их общее ухудшение из-за чередования слоев с плохими соответствующими параметрами. И наконец, модели показали заметное улучшение геотехнических свойств на самой большой исследованной глу-

бине – начиная с высотной отметки около 15 м над уровнем моря, где были самые высокие значения сопротивления под конусом (примерно 70 МПа), модуля упругости (около 140 МПа) и одометрического модуля деформации (примерно 122 МПа).

По 3D моделям сопротивления под конусом, сопротивления по боковой поверхности зонда и индекса компрессии можно судить о меньшей пространственной изменчивости величин этих параметров и о постепенном их увеличении до глубины, соответствующей

отметкам около 20–25 м над уровнем моря. При этом на разных глубинах видны высокие значения индекса компрессии из-за наличия слоев сильно сжимаемых органических грунтов (рис. 9).

Инженерно-геологическая модель

Совместная интерпретация 3D геотехнических моделей с литологической позволила выделить инженерно-геологические единицы (units), относящиеся к категории *инженерно-геологических типов* (по классификации ЮНЕСКО и МАИГ 1976 года [1]), и на этой основе осуществить построение инженерно-геологической модели (рис. 10). Далее рассмотрим выделенные инженерно-геологические типы для исследуемой территории.

1. *Инженерно-геологический тип А* включает малосжимаемые пылевые грунты, относящиеся к группе ML по системе классификации USCS. Эти грунты главным образом являются нормально уплотненными (NC – normally consolidated) и лишь локально – переуплотненными (OC – overconsolidated). Их пуццолановая природа способствует формированию сцепления зерен благодаря процессам слабой кристаллизации, таким как цеолитизация. Анализ геотехнических свойств показал, что данная единица (unit/type) в целом хорошо подходит для устройства фундаментов с малыми осадками (выделенный инженерно-геологический тип А соответствует инженерно-геологическому эле-

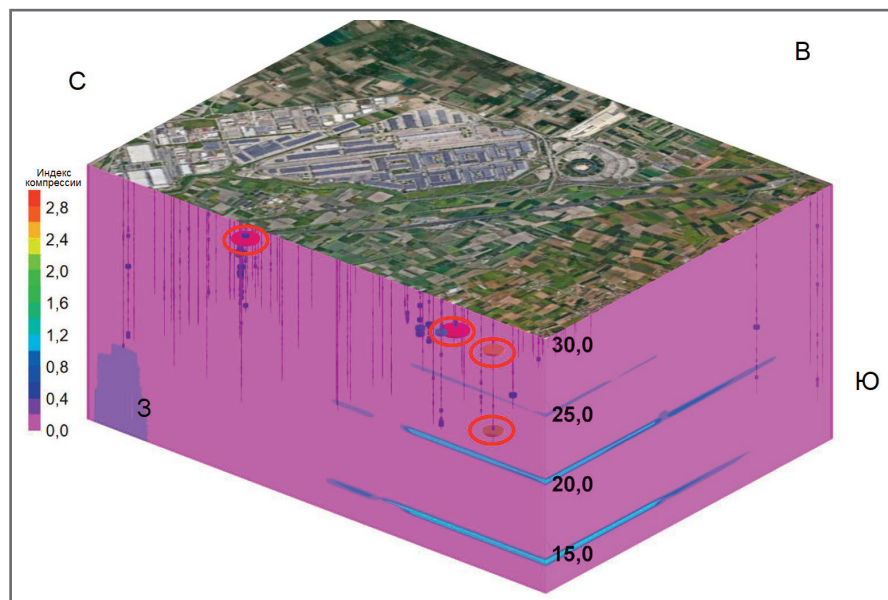


Рис. 9. 3D модель индекса компрессии. Слои с высокой сжимаемостью обведены красным

менту по современным российским стандартам. – Ped.).

2. *Инженерно-геологический тип В* включает сильносжимаемые пылевые грунты от слабоуплотненных до нормально уплотненных (NC) и торф (MH-peat), для которых характерна требующая внимания изменчивость физических и геотехнических свойств. Характерной особенностью данной единицы (unit/type) является наличие линзовидных торфяных отложений, которые повышают сжимаемость всей единицы в целом, что обуславливает ее низкое геотехническое качество, то есть ограниченную пригодность для устройства

фундаментов и значительные величины ожидаемых осадков (выделенный инженерно-геологический тип В не соответствует инженерно-геологическому элементу по современным российским стандартам. – Ped.).

3. *Инженерно-геологический тип С* включает мелкозернистые пепловые туфы от полулитойдных до литойдных с пространственно изменчивыми мощностью и степенью спекания/«сваривания» (welding). Базальный туфовый горизонт (horizon) везде перекрыт выветрелым грунтом, называемым «капеллаччо» («старой потреманной шляпой»). Низкая степень сжимаемости этого туфа

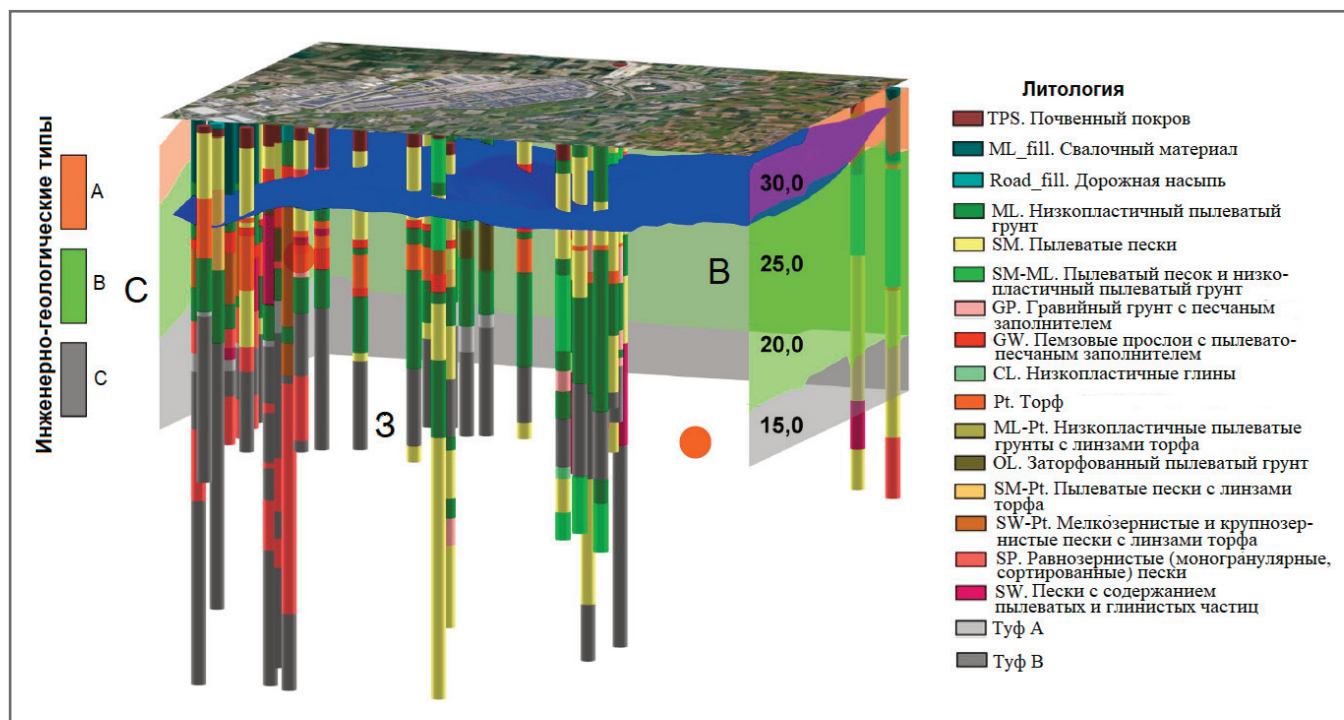


Рис. 10. Инженерно-геологические единицы/типы и литологические колонки с указанием классификации USCS

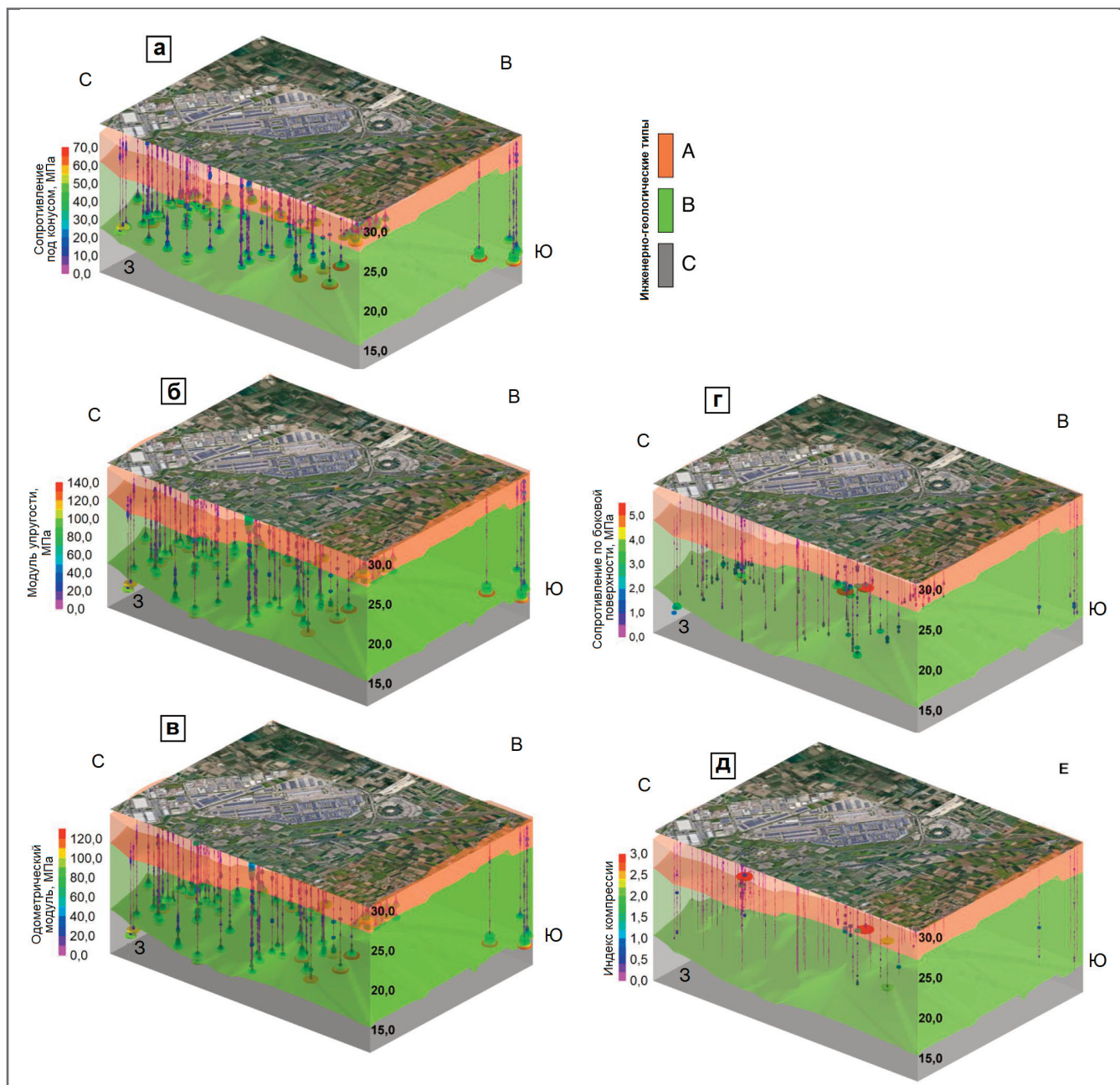


Рис. 11. Инженерно-геологическая модель, объединенная со следующими геотехническими моделями: а – сопротивления под конусом зонда; б – модуля упругости; в – одометрического модуля деформации; г – сопротивления по боковой поверхности зонда, д – индекса компрессии

подтверждается высокими значениями сопротивления под конусом, модуля упругости и одометрического модуля. Его кровля определяется по глубине отказа при статическом зондировании методом СРТ. Благодаря хорошим геотехническим характеристикам этот горизонт можно считать опорным (коренным) для строительства будущих глубоких фундаментов с пренебрежимо малыми ожидаемыми осадками (выделенный инженерно-геологический тип С не совсем соответствует инженерно-геологическому элементу по современным российским стандартам. – *Ред.*).

Хорошие геотехнические свойства инженерно-геологического типа А, зале-

гающего на меньшей глубине, вероятно, обусловлены степенью переуплотнения, вызванного понижением уровня грунтовых вод (УГВ) либо из-за мелиоративных мероприятий на рассматриваемой территории, либо из-за чрезмерной эксплуатации подземных вод для сельскохозяйственных нужд. Теперь УГВ преимущественно совпадает с подошвой инженерно-геологического типа А.

Еще один существенный фактор, определяющий различия в геотехническом поведении типов А и В – наличие сильносжимаемых торфяных отложений в инженерно-геологическом типе В. Из представленных ранее в статье 2D и 3D литологических моделей видно, что

торфяные отложения имеют весьма изменчивую мощность. Их неравномерное залегание может привести к значительным неравномерным осадкам, как показали другие случаи, имевшие место на рассматриваемой территории при чрезмерных нагрузках на эти грунты.

На рисунках 11, а–д, где инженерно-геологическая модель грунтового основания (subsoil) объединена с каждой из геотехнических моделей, видна высокая степень соответствия между пространственными изменениями геотехнических параметров и инженерно-геологической моделью. Поэтому, учитывая средние значения показателей геотехнических свойств, можно охарактери-

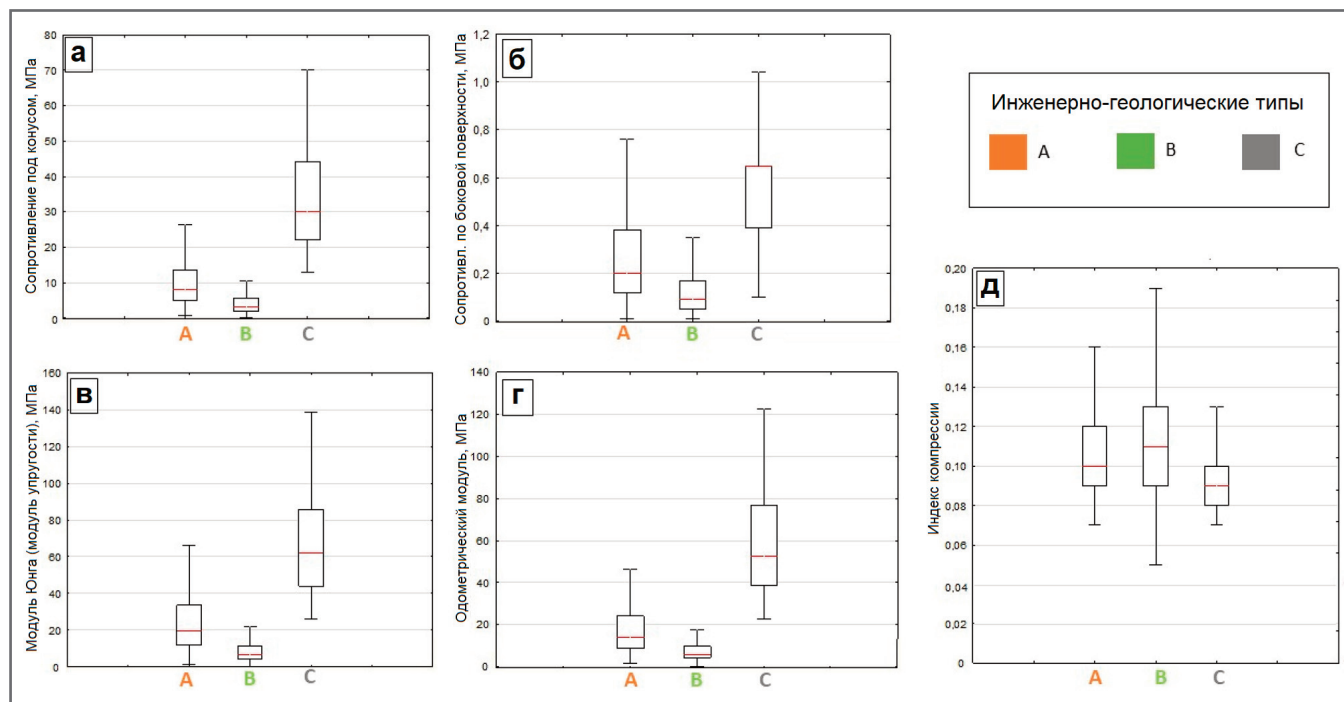


Рис. 12. Диаграммы размаха типа «ящичков с усами» (box plots) для трех инженерно-геологических единиц/типов (units/types) для таких показателей, как: а – сопротивление под конусом зонда; б – сопротивление по боковой поверхности зонда; в – модуль упругости (Юнга); г – одометрический модуль деформации; д – индекс компрессии

Таблица. Значения процентилей геотехнических характеристик, рассчитанные для трех инженерно-геологических единиц/типов А, В, С

Процентиль, %-й	Сопротивление под конусом, МПа			Сопротивление по боковой поверхности, МПа			Модуль упругости (Юнга), МПа			Одометрический модуль деформации, МПа			Индекс компрессии		
	А	В	С	А	В	С	А	В	С	А	В	С	А	В	С
5	2,09	1,02	14,1	0,06	0,05	0,2	4,5	2,4	31,1	4,3	2,7	24,9	0,08	0,09	0,07
25	5	2	22	0,12	0,06	0,39	11,8	4,1	44	8,8	4,2	35,5	0,09	0,09	0,08
50	8	3,2	30	0,2	0,09	0,65	19,8	6,7	62,3	14	5,9	52,5	0,1	0,11	0,09
75	13,7	5,5	44	0,38	0,17	0,65	33,6	11,3	85,6	24	9,6	77	0,12	0,13	0,1
95	27,8	21,5	59,8	1,3	2,6	3,2	67,4	41,12	116,6	48	34,6	104,3	0,3	1,9	0,3

зовать выделенные инженерно-геологические типы следующим образом.

1. *Инженерно-геологический тип А* (малосжимаемые пылеватые грунты – ML) характеризуется значениями от средних до высоких для сопротивления под конусом (8 МПа), модуля упругости (19,8 МПа) и одометрического модуля (14 МПа) и при этом низким индексом компрессии (0,1).

2. *Инженерно-геологический тип В* (сильносжимаемые пылеватые грунты и торф – MH-peat) имеет весьма изменчивые значения сопротивления под конусом (3,2 МПа), модуля упругости (6,7 МПа), одометрического модуля (5,9 МПа), индекса компрессии (0,12) и характеризуется высокими уровнями

сжимаемости (вероятно, также из-за торфяных линз).

3. *Инженерно-геологический тип С* (полулитоидный туф) демонстрирует самые высокие значения сопротивления под конусом зонда (30 МПа), сопротивления по боковой поверхности зонда (0,65 МПа), модуля упругости (62,3 МПа) и одометрического модуля (52,5 МПа), что также подтверждается низкими индексами компрессии (0,07).

Статистическая характеристика геотехнических свойств ►

Инженерно-геологические единицы/типы (units/types) были геотехнически охарактеризованы с помощью стати-

стического анализа основных свойств, который проводился с использованием диаграмм размаха типа «ящичков с усами» (box plots). Для каждой инженерно-геологической единицы была рассчитана диаграмма размаха для каждого показателя геотехнических свойств, а затем было проведено их попарное сравнение (рис. 12, а–д), что выявило согласованность с тем, что было описано ранее по поводу их значений. То есть тип С – это единственная инженерно-геологическая единица с более высокими показателями геотехнических свойств, так как сопротивление под конусом, сопротивление по боковой поверхности, модуль упругости и одометрический модуль достигают там самых

больших значений, а индекс компрессии – наименьших. Напротив, тип В характеризуется самыми плохими геотехническими свойствами, поскольку первые четыре параметра из вышеупомянутых имеют тенденцию к распределению в сторону самых низких значений, а индекс компрессии – в сторону самых больших в соответствии с более высокой сжимаемостью этих грунтов.

Статистический анализ показателей геотехнических свойств для каждой инженерно-геологической единицы (unit/type) базировался на расчетах 5, 25, 50, 75 и 95-го перцентилей (см. таблицу). Как известно из практики геотехнического проектирования, выбор используемых перцентилей зависит от решаемой задачи и объема грунта, вовлеченного в деформации под действием антропогенных нагрузок (строительства). Репрезентативное значение геотехнического параметра можно обоснованно и осторожно оценить, принимая во внимание величины этого параметра, варьирующие от более низких значений (5-го перцентиль) в случае малого объема вовлеченных в деформирование грунтов до медианных значений (50-го перцентиль) в случае большого объема вовлеченных в деформирование грунтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ►

Методы, использованные в данном исследовании, и полученные результаты направлены на разработку комплексного (с системным сочетанием методов моделирования и анализа) методологического подхода для трехмерного инженерно-геологического моделирования и геотехнической характеристики площадок будущего строительства, характеризующихся сложными стратиграфическими условиями, гетерогенными и гетеропическими отложениями. Задумывалось, что этот подход должен соответствовать как концепциям инженерно-геологического моделирования и картирования, так и действующим техническим регламентам в области геотехнического проектирования, включая Еврокод 7 (Eurocode 7), а также национальным нормативным документам, принятым на его основе, таким как итальянские «Строительные нормы и правила» (Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC)). В этом отношении равнина Нола представляет собой характерный пример того, как сложная стратиграфическая обстановка, характеризую-

щаяся гетерогенными и гетеропическими отложениями, определяет сложные грунтовые условия и может влиять на геотехническое проектирование, что требует применения надлежащих подходов к инженерно-геологическому моделированию и характеристике грунтового основания.

Из трехмерных представлений литологических, стратиграфических и геотехнических условий, рассмотренных в данной работе, следует, что пирокластико-аллювиальные отложения, формирующие грунтовую среду территории долины Нола, преимущественно состоят из чередования песчаных пылеватых грунтов (sandy silts) и пылеватых песков (silty sands) с линзами торфа. Присутствие органических грунтов, характеризующихся высокой сжимаемостью (торфа. – *Ped.*), в сочетании с их резко изменчивым пространственным распределением, представляет собой критически важный фактор, который надо учитывать при проектировании фундаментов, чтобы избежать неравномерных осадков. Очень сложная стратиграфическая «архитектура» и изменчивые геотехнические свойства отложений позволили на максимально детальном уровне, соответствующем имеющимся данным, выделить разные инженерно-геологические единицы/типы (units/types) (авторы статьи приравнивают выделенные ими единицы (units) к типам (types) по рекомендациям 1976 года; возможно, они не пишут сразу про типы вместо единиц из-за понимания того, что они не так уж и однородны по своему состоянию, учитывая наличие линз торфа, литологическое разнообразие и разброс свойств в выделенных типах А, В и С. – *Ped.*).

В этом отношении построение 3D моделей может рассматриваться как важный подход к уточнению инженерно-геологического описания площадки, которое будет использоваться для выявления задач проектирования, связанных с грунтовым основанием с плохими геотехническими характеристиками.

Анализ и интерпретация литологических и геотехнических особенностей исследуемой территории позволили разработать инженерно-геологическую модель, в результате чего были выделены три инженерно-геологические единицы/типа (units/types) в детальном масштабе (>1:5000), которые различались по своим геотехническим характеристикам. В частности, инже-

нерно-геологический тип В с геотехнической точки зрения является более проблематичным из-за присутствия сильносжимаемых органических материалов, относящихся к органическим грунтам (OL) или торфам (Pt) по системе классификации USCS. Трудно-прогнозируемое пространственное распределение этих материалов связано с тем, что они имеют форму линз с различными толщиной и глубиной залегания. Присутствие таких грунтов может привести к неравномерным осадкам фундаментов, как это уже случалось при строительстве, ранее проводившемся на этой территории. Помимо точной оценки пространственной геометрии этих отложений, еще одним важным моментом является присвоение характеристических значений геотехнических параметров каждой инженерно-геологической единицы (unit), которая будет использоваться на этапе проектирования.

И наконец, предлагаемый подход – это не просто использование программного обеспечения для 3D моделирования на основе стратиграфических и геотехнических данных, поскольку он последовательно включается в концептуальную схему действий при инженерно-геологическом моделировании и картировании, основанную на определении инженерно-геологических единиц (units) [1]. В этом смысле данная статья потенциально представляет собой рекомендацию по применению технических регламентов по геотехническому проектированию, связывающих геологию и геотехнику. **и**

Финансирование открытого доступа данной статьи было предоставлено Неаполитанским университетом имени Фридриха II (UNINA – Università degli Studi di Napoli Federico II) в рамках соглашения издателя и подкомиссии Ассоциации ректоров итальянских университетов, занимающейся такими соглашениями (CRUI-CARE). Проведение исследования финансировалось в рамках проекта по программе PRIN (Progetti di Rilevante Interesse Nazionale – «Проекты, представляющие значительный национальный интерес») 2017 года под названием «НАСУЩНОЕ – городская геология и геологические опасности: инженерная геология для более безопасных, устойчивых и умных городов» («URGENT – URban Geology and geohazards: Engineering geology for safer, resilient and smart cities»).

ИСТОЧНИК ДЛЯ ПЕРЕВОДА ►

(SOURCE FOR THE TRANSLATION) ►

Petrone P., Allocca V., Fusco F., Incontri P., De Vita P. Engineering geological 3D modeling and geotechnical characterization in the framework of technical rules for geotechnical design: the case study of the Nola's logistic plant (Southern Italy) // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2023. Vol. 82. Article 12 (by CC BY 4.0 license: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10064-022-03017-y>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОЙ СТАТЬИ ►

(REFERENCES USED BY THE AUTHORS OF THE TRANSLATED PAPER) ►

1. UNESCO, IAEG. Engineering geological maps: a guide to their preparation // *Earth Sci Ser Paris*. 1976. Vol. 15. P. 1–79.
2. ISSC – International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS International Commission on Stratigraphy. *International Stratigraphic guide*. New York: John Wiley & Sons Inc., 1976. 220 p. ISBN-10:0471367435.
3. Gonzalez de Vallejo L.I., Ferrer M. *Geological Engineering*. CRC Press/Balkema Leiden, 2011. 700 p. ISBN-10:0415413524.
4. Fookes P.G. Geology for engineers: the geological model, prediction and performance // *Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol.* 1997. Vol. 30. P. 293–424. <https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1997.030.P4.02>.
5. Terzaghi K. Rock defects and loads on tunnel supports // Proctor R.V., White T.L. (eds.). *Rock tunneling with steel supports*. 1946. Vol. 1. Youngstown, OH: Commercial Shearing and Stamping Company. P. 17–99.
6. Parry S., Baynes F.J., Culshaw M.G., Eggers M., Keaton J.F., Lentfer K., Novotny J., Paul D. Engineering geological models: an introduction: IAEG commission 25 // *Bull. Eng. Geol. Environ.* 2014. Vol. 73. P. 689–706. <https://doi.org/10.1007/s10064-014-0576-x>.
7. CEN. EN 1997-1:2004: Eurocode 7: Geotechnical Design – Part 1: General Rules. Brussels European Committee for Standardization, 2004.
8. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni. D.M. 14 gennaio 2008 // *Gazzetta Ufficiale*. 2008. № 29. February 4.
9. Kolat C., Ulusay R., LutfiSuzen M. Development of geotechnical microzonation model for Yenisehir (Bursa, Turkey) located at a seismically active region // *Eng. Geol.* 2012. Vol. 127. P. 36–53. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.12.014>.
10. Donghee K., Kyu-Sun K., Seongkwon K., Youngmin C., Woojin L. Assessment of geotechnical variability of Songdo silty clay // *Eng. Geol.* 2012. Vol. 133–134. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.02.009>.
11. Alan M.L., Norman L.J. Building solid models from boreholes and user-defined cross-sections // *Comput. Geosci.* 2003. Vol. 29. P. 547–555. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(03\)00051-7](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(03)00051-7).
12. Zhang S.S., Liu Z.H. 3D visualization of geological structure based on multi-layer DEM surface modeling // *J. Geomat.* 2003. Vol. 28. № 3. P. 14–15.
13. Douglas P., Mary C., Bruce T., Hugo O., Donald A.M. Alpine-scale 3D geospatial modeling: applying new techniques to old problems // *Geosph.* 2007. Vol. 3. P. 527–549. <https://doi.org/10.1130/GES00093.1>.
14. Lelliott M., Bridge D., Kessler H., Price S., Seymour K. The application of 3D geological modeling to aquifer recharge assessments in an urban environment // *Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol.* 2006. Vol. 39. P. 293–302. <https://doi.org/10.1144/1470-9236/05-027>.
15. Lelliott M., Cave M., Wealthall G. A structured approach to the measurement of uncertainty in 3D geological models // *Quat. J. Eng. Geol. Hydrogeol.* 2009. Vol. 42. P. 95–106. <https://doi.org/10.1144/1470-9236/07-081>.
16. Robins N., Davies J., Dumbleton S. Groundwater flow in the south Wales coalfield: historical data informing 3D modeling // *Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol.* 2008. Vol. 41. P. 477–486. <https://doi.org/10.1144/1470-9236/07-055>.
17. Royse K.R., Rutter H.K., Entwisle D.C. Property attribution of 3D geological models in the Thames Gateway, London: new ways of visualising geoscientific information // *Bull. Eng. Geol. Environ.* 2009. Vol. 68. P. 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10064-008-0171-0>.
18. Thierry P., Prunier-Leparentier A., Lembezat C., Vanoudheusden E., Vernous J. 3D geological modeling at urban scale and mapping of ground movement susceptibility from gypsum dissolution: the Paris example (France) // *Eng. Geol.* 2009. Vol. 105. P. 51–64. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.12.010>.
19. Kostic B., Suess M., Aigner T. Three-dimensional sedimentary architecture of Quaternary sand and gravel resources: a case study of economic sedimentology (SW Germany) // *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)*. 2007. Vol. 96. P. 743–767. <https://doi.org/10.1007/s00531-006-0120-8>.
20. Krassakis P., Pyrgaki K., Gemeni V., Roumpou C., Louloudis G., Koukouzas N. GIS-based subsurface analysis and 3D geological modeling as a tool for combined conventional mining and in-situ coal conversion: the case of Kardias Lignite Mine // *Western Greece Mining*. 2022. Vol. 2. P. 297–314. <https://doi.org/10.3390/mining2020016>.
21. Dong M. 3D geological modeling and its applications to zoning mapping of construction suitable sites in Shunyi developing district, Beijing: master's thesis. Beijing: Chinese University of Geosciences, 2008.
22. Apel M. From 3D geo-modeling systems towards 3D geoscience information systems: data model, query functionality and data management // *Comput. Geosci.* 2006. Vol. 32. P. 222–229. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.06.016>.
23. Choi Y., Yoon S.Y., Park H.D. Tunneling analyst: a 3D GIS extension for rock mass classification and fault zone analysis in tunneling // *Comput. Geosci.* 2009. Vol. 35. № 6. P. 1322–1333. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.05.002>.

24. Rose G., Kirk P., Gibbons C., Lander A. Three dimensional geological models in ground engineering: when to use, how to build and review, benefits and potential pitfalls // *Australian Geomechanics*. 2018. Vol. 53. № 3. P. 79–88.
25. Whiteman B.D. 3D ground modelling: geotechnical investigation for dolphin replacement and jetty strengthening at Cape Lambert A (CLA) // *Good grounds for the future: NZGS Symposium*. Dunedin, 2021.
26. Kessler H., Mathers S., Sobisch H.G. The capture and dissemination of integrated 3D geospatial knowledge at the British Geological Survey using GSI3D software and methodology. *Comput Geosci*. 200935. P. 1311–1321. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.04.005>.
27. Marache A., Breyse D., Piette C., Thierry P. Geotechnical modeling at the city scale using statistical and geostatistical tools: the Pessac case (France) // *Eng. Geol.* 2009. Vol. 107. № 34. P. 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.04.003>.
28. Royse K.R. Combining numerical and cognitive 3D modelling approaches in order to determine the structure of the chalk in the London Basin // *Comput. Geosci*. 2010. Vol. 36. P. 500–511. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2009.10.001>.
29. De Beer J., Price S.J., Ford J.R. 3D modelling of geological and anthropogenic deposits at the World Heritage Site of Bryggen in Bergen, Norway // *Quat. Int.* 2012. Vol. 251. P. 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.06.015>.
30. De Beer J., Matthiesen H., Christensson A. Quantification and visualization of in situ degradation at the World Heritage Site Bryggen in Bergen, Norway // *Conserv. Manag. Archaeol. Sites*. 2012. Vol. 1. P. 215–227. <https://doi.org/10.1179/1350503312Z.000000000018>.
31. Culshaw M.G. From concept towards reality: developing the attributed 3D geological model of the shallow subsurface // *J. Eng. Geol. Hydrogeol.* 2005. Vol. 38. P. 231–284. <https://doi.org/10.1144/1470-9236/04-072>.
32. Baynes F.J., Parry S., Novotny J.N. Engineering geological models, projects and geotechnical risk // *Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol.* 2020. Vol. 54. <https://doi.org/10.1144/qjegh2020-080>.
33. Bowden R.A. Building confidence in geological models // *Geological Society, London, Special Publications*. 2004. Vol. 239. P. 157–173. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2004.239.01.11>.
34. Lee E.M. Landslide risk assessment: the challenge of communicating uncertainty to decision makers // *Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol.* 2016. Vol. 49. P. 21–35. <https://doi.org/10.1144/qjegh2015-066>.
35. Wang L., Zheng Z., Zhu H. Construction and application of 3D model of engineering geology // *International Conference on Applications and Techniques in Cyber Intelligence (ATCI 2021)*. 2021. Vol. 2. P. 512–518. https://doi.org/10.1007/978-3-030-79197-1_75.
36. Ippolito F., Ortolani F., Russo M. Struttura marginale tirrenica dell'Appennino campano: reinterpretazione di dati di antiche ricerche di idrocarburi // *Mem. Soc. Geol. It.* 1973. Vol. 12. P. 227–249.
37. Ortolani F., Aprile F. Principali caratteristiche stratigrafiche e strutturali dei depositi superficiali della Piana Campana // *Boll. Soc. Geol. It.* 1985. Vol. 104. P. 195–206.
38. Brancaccio L., Cinque A., Romano P., Roskopf C., Russo F., Santangelo N. L'evoluzione delle pianure costiere della Campania: geomorfologia e neotettonica // *Mem. Soc. Geol. It.* 1995. Vol. 53. P. 313–336.
39. Romano P., Santo A., Voltaggio M. L'evoluzione geomorfologica della pianura del Fiume Volturno (Campania) durante il tardo Quaternario (Pleistocene medio-superiore-Olocene) // *Il Quaternario*. 1994. Vol. 7. P. 41–56.
40. Aprile F., Sbrana A., Toccacel R.M. Il ruolo dei depositi piroclastici nell'analisi cronostratigrafica dei terreni quaternari del sottosuolo della Piana Campana (Italia meridionale) // *Il Quaternario*. 2004. Vol. 17. P. 547–554.
41. Milia A., Torrente M.M. Tectonics and stratigraphic architecture of a peri-Tyrrhenian half-graben (Bay of Naples, Italy) // *Tectonophysics*. 1999. Vol. 315. P. 301–318. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00280-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00280-2).
42. Cinque A., Alinaghi H.H., Laureti L., Russo F. Osservazioni preliminari sull'evoluzione geomorfologica della piana del Sarno (Campania, Appennino Meridionale) // *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 1987. Vol. 10. P. 161–174.
43. D'Erasmo. Studio geologico dei pozzi profondi della Campania // *Boll. Soc. Nat.* 1931. Vol. 4. P. 15–143.
44. Aprile F., Ortolani F. Nuovi dati sulla struttura profonda della Piana Campana a Sud Est del Fiume Volturno // *Boll. Soc. Geol. It.* 1978. Vol. 97. P. 591–608.
45. Brancaccio L., Cinque A., Romano P., Roskopf C., Russo F., Santangelo N., Santo A. Geomorphology and neotectonics evolution of a sector of the Tyrrhenian flank of the southern Apennines (Region of Naples, Italy) // *Z. Geomorph. N. F.* 1991. Vol. 82. P. 47–58.
46. Torrente M.M., Milia A., Bellucci F., Rolandi G. Extensional tectonics in the Campania Volcanic Zone (eastern Tyrrhenian Sea, Italy): new insights into the relationship between faulting and ignimbrite eruptions // *Ital. J. Geosci. (Boll. Soc. Geol. It.)*. 2010. Vol. 129. P. 297–315. <https://doi.org/10.3301/IJG.2010.07>.
47. De Vita P., Allocca V., Celico F., Fabbrocino S., Mattia C., Monacelli G., Musilli I., Piscopo V., Scalise A.R., Summa G., et al. Hydrogeology of continental southern Italy // *J. Maps*. 2018. Vol. 14. P. 230–241. <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1454352>.
48. Pescatore T., Ortolani F. Schema tettonico dell'Appennino campano-lucano // *Boll. Soc. Geol. It.* 1973. Vol. 92. P. 453–472.
49. Pescatore T., Sgroso I. I rapporti tra la piattaforma campano-lucana e la piattaforma abruzzese-campana nel Casertano // *Ital. J. Geosci.* 1973. Vol. 92. № 4. P. 925–938.
50. Di Vito M.A., Isaia R., Orsi G., Southon J., D'Antonio M., De Vita S., Pappalardo L., Piochi M. Volcanism and deformation since 12.000 years at the Campi Flegrei caldera (Italy) // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 1999. Vol. 91. P. 221–246. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(99\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(99)00037-2).
51. Santacroce R., Cioni R., Marinelli P., Sbrana A., Sulpizio R., Zanchetta G., Donahue D.J., Joron J.J. Age and whole rock-glass compositions of proximal pyroclastic from the major explosive eruptions of Somma-Vesuvius: a review as a tool for distal tephrostratigraphy // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2008. Vol. 177. P. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.06.009>.

52. Di Vito M.A., De Vita S. Il Somma Vesuvio: storia eruttiva e impatto delle sue eruzioni sul territorio // Miscellanea INGV. Roma, 2013. Vol. 18. P. 14–21.
53. Putignano M.L., Ruberti D., Tescione M., Vigliotti M. Evoluzione tardo quaternaria del margine casertano della Piana Campana (Italia meridionale) // Boll. Soc. Geol. Ital. 2007. Vol. 126. № 1. P. 11–24.
54. Santangelo N., Ciampo G., Di Donato V., Esposito P., Petrosino P., Romano P., Russo Ermolli E., Santo A., Toscano F., Villa I. Late Quaternary buried lagoons in the northern Campania plain (southern Italy): evolution of a coastal system under the influence of volcano-tectonics and eustatism // Ital. J. Geosci. (boll. Soc. Geol. It.). 2010. Vol. 129. № 1. P. 156–175. <https://doi.org/10.3301/IJG.2009.12>.
55. De Vivo B., Rolandi G., Gans P.B., Calvert A., Bohrsen W.A., Spera F.J., Belkin H.E. New constraints on the pyroclastic eruptive history of the Campanian volcanic Plain (Italy) // Mineral. Petrol. 2001. Vol. 73. P. 47–65.
56. Deino A.L., Orsi G., De Vita S., Piochi M. The age of the Neapolitan Yellow Tuff caldera-forming eruption (Campi Flegrei caldera – Italy) assessed by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2004. Vol. 133. P. 157–170. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(03\)00396-2](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(03)00396-2).
57. Carrara E., Iacobucci F., Pinna E., Rapolla A. Gravity and magnetic survey of the campanian volcanic area, Southern Italy // Boll. Geof. Teor. Appl. 1973. Vol. 57. P. 39–51.
58. AGI – Associazione Geotecnica Italiana/ Nomenclatura geotecnica e classificazione delle terre // Geotecnica. Roma: Associazione Geotecnica Italiana, 1963. P. 275–286.
59. De Beer E. Bearing capacity and settlement of shallow foundations on sands // Proc. Symp. on Bearing capacity and settlement of foundations, Duke University, Durham, 1965. P. 15–33.
60. Canadian Geotechnical Society. Canadian Foundation Engineering Manual, 3rd edn. Richmond: Canadian Geotechnical Society, 1992.
61. Schmertmann J.H. Static cone to compute static settlement over sand // J. Soil Mech. Found. Div. 1970. Vol. 96. № 3. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001418>.
62. Schmertmann J.H. Use the SPT to measure dynamic soil properties? – Yes, but...! // Dynamic Geotech. Testing Am. Soc. for Testing and Materials SPT. 1978. Vol. 654. P. 341–355. <https://doi.org/10.1520/STP35685S>.
63. Fellenius B.H. Results from long-term measurement in piles of drag load and downdrag // Canadian Geotechnical Journal. 2006. Vol. 43. № 4. P. 409–430.
64. Sanglerat G. The penetrometer and soil exploration: interpretation of penetration diagrams theory and practice // Developments in geotechnical engineering, 2nd edn. Amsterdam: Elsevier, 1972.
65. Urmi Z.A., Ansary M.A. Interpretation of compressibility characteristics for coastal soil of Bangladesh // Proceedings on International Conference on Disaster Risk Management, Dhaka, Bangladesh, 2019.
66. Simpson B., Pappin J.W., Croft D.D. Approach to limit state calculations in geotechnics // Ground Engng. 1981. Vol. 14. P. 21–28.
67. Danish Geotechnical Institute. Danish Code of Practice for Foundation Engineering // DGI Bulletin. 1978. Vol. 32. P. 52. ISBN: 87-7451-032-0.



Telegram-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

<https://t.me/geoinfonews>

Организаторы:

Независимый электронный журнал
Геоинфо



geoinfo.ru

II практическая конференция

**«АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИЗЫСКАНИЙ И ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

18 ноября 2025 года, Москва



Наша конференция по автоматизации и цифровизации инженерно-геологических изысканий в 2024 году вызвала большой интерес среди специалистов. Участниками мероприятия стали более 100 человек, а хедлайнерами – представители ООО «Газпром нефть». По отзывам слушателей, они получили много новой, полезной и интересной информации, а значительную часть полученных знаний смогут успешно интегрировать в собственную работу. В связи с этим мы приняли решение провести в 2025 году вторую тематическую конференцию. Тем более, что за год с момента проведения первой конференции, мы уверены, будет сделан гигантский шаг вперед в области цифровизации.





Источник фото: ru.freepik.com/popular-photos

ЗАПРЕТНЫЕ ЗОНЫ: КАК БУДЕТ ПРОВОДИТЬСЯ СТРОИТЕЛЬСТВО ВБЛИЗИ ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРЫ И КАК ЕМУ МОГУТ ПОМЕШАТЬ ГРАДОЗАЩИТНИКИ

ДЬЯЧЕНКО ЛЮДМИЛА

Специальный корреспондент

АННОТАЦИЯ

Новая редакция «Положения о зонах охраны объектов культурного наследия», вступившая в силу 1 марта этого года, установила новые правила изысканий, строительства и хозяйственной деятельности вблизи памятников культуры. Стало больше не только запретов, но и свобод, не только конкретного, но и непонятного.

Эксперт в области градостроительного законодательства, технического регулирования и цифровизации строительства в Санкт-Петербурге Елена Чеготова рассказала на вебинаре «Статус зон охраны объектов культурного наследия с 01.03.2025», организованном ООО ЦДК «Форум Скиллс», почему был принят этот документ, как теперь проектировать и строить вблизи исторических мест.

В этой статье мы кратко изложим информацию, которую узнали на вебинаре и из открытых источников. Расскажем, почему для строительных, ремонтных работ или иной хозяйственной деятельности близ памятника культуры следует заранее собрать как можно больше доказательств того, что в данном месте это возможно. Рассмотрим необходимость понимания интересов градозащитников и ценности их деятельности, ибо их активность может стать причиной остановки стройки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

объекты культурного наследия; памятники истории и культуры; охранная зона; объединенная охранная зона; особый охранный режим; историко-культурная экспертиза; правоприменительная практика; градозащитники.

PROHIBITED ZONES: HOW CONSTRUCTION WILL BE CARRIED OUT NEAR CULTURAL SITES, AND HOW CULTURAL HERITAGE ADVOCATES CAN INTERFERE IT

D'YACHENKO LYUDMILA

Special correspondent

ABSTRACT

The new version of the "Regulations on cultural heritage site protection zones", which came into force on the 1st of March in this year, established new rules for surveys, construction and economic activities near cultural monuments. Now, there are not only more prohibitions, but also more freedoms, not only specific things, but also unclear ones.

Elena Chegotova, an expert in urban planning legislation, technical regulation and digitalization of construction in St. Petersburg, told at the webinar "The status of cultural heritage site protection zones starting with 01.03.2025", which was organized by "Business Communications Center Forum Skills" LLC, why this document was adopted, how to design and build objects near historical sites now.

In this article, we will briefly outline the information that we learned at the webinar and from some open sources. We will tell you why it is necessary to collect as much evidence as possible to prove that it is possible to carry out construction, repair work or other economic activity near a cultural monument before those work. We will consider the need to understand the interests of cultural heritage advocates and the value of their activities, because the latter may cause the construction to be stopped.

KEYWORDS:

cultural heritage sites; historical and cultural monuments; protected zone; combined protected zone; special protection regime; historical-cultural expertise; law enforcement practice; cultural heritage advocates.

СПРАВКА ►

Согласно федеральному закону «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации», территория вокруг культурного объекта может быть наделена определенным статусом.

- В охранной зоне объекта культурного наследия (или в объединенной охранной зоне для нескольких объектов или природного ландшафта) должны соблюдаться определенные правила застройки и хозяйственной деятельности.
- В зоне регулирования застройки и хозяйственной деятельности имеются ограничения по землепользованию, строительству, реконструкции существующих зданий и сооружений.
- В зоне охраняемого природного ландшафта хозяйственная деятельность не должна мешать сохранению и регенерации местной природы, куда входят водоемы, долины рек, леса, открытые пространства, которые композиционно связаны с объектами культурного наследия.

ПОЧЕМУ ДОКУМЕНТ БЫЛ ПРЕДСКАЗУЕМЫМ ►

В том, что «Положение о зонах охраны объектов культурного наследия» из-

менилось (в соответствии с постановлением Правительства РФ от 27 декабря 2024 года) и его новая версия вступила в силу 1 марта 2025 года, ничего неожиданного нет.

Как рассказала Елена Чеготова, эксперт в области градостроительного законодательства, технического регулирования и цифровизации строительства в Санкт-Петербурге, этот документ был изменен в рамках реформы нормативно-правовых актов – «регуляторной гильотины» – согласно федеральному закону от 31.07.2020 № 247-ФЗ «Об обязательных требованиях в Российской Федерации». Постепенно пересматривается все, что вступило в силу до 1 января 2020 года и создает избыточную административную нагрузку на хозяйствующих субъектов.

Обновленные документы, накопленные за полгода, вступают в силу два раза в год – 1 сентября или 1 марта, причем не ранее чем через 90 дней после опубликования. Обновленное «Положение о зонах охраны объектов культурного наследия», прошедшее через процедуру «регуляторной гильотины», введено в действие 1 марта, потому что подошла его очередь.

Хотя этот документ и изменился, приоритет государства остался прежним – защита объектов культурного наследия от повреждения, изменения облика и интерьера, нарушения установленного порядка использования, незаконного перемещения. Отменены дублирующие требования и нормы, целесообразность отмены которых подтверждена правоприменительной практикой минувших лет.

Публичное обсуждение проекта положения проводилось на федеральном портале проектов нормативных правовых актов с 24 мая по 14 июня 2024 года, независимая антикоррупционная экспертиза – с 24 по 30 мая 2024 года на том же ресурсе.

Документ стал более конкретным. «Хотя в нем есть моменты, которые законодателю надо было бы разъяснить, но прежде конкретики было еще меньше. Наверное, потому что те, кто охраняет объекты и создает нормативные акты в сфере культуры, – люди творческие», – пошутила Елена Чеготова.

Изменились основания для установления объединенной охранной зоны. Ранее говорилось о сохранности объектов культурного наследия в их исто-

рической среде, но не пояснялось, что такое историческая среда. Теперь речь идет о сохранности двух и более объектов при наличии композиционных или видовых связей между ними. Здесь много оценочного. Теперь надо смотреть, по какому пути пойдет правоприменительная практика. Скорее всего, в спорных ситуациях участники будут отталкиваться от архитектуры сооружений, доказывая культурно-историческую связь между ними.

Прежде возникал вопрос, на какой срок установлена охранная зона. Теперь законодатель уточнил – бессрочно. Вероятно, это следует понимать как время, пока существует объект культурного наследия. Конечно, историческое сооружение можно уничтожить, особенно если оно сильно кому-то мешает, но ответственности при этом не избежать и поэтому лучше не эпатировать общественность и правоохранительные органы.

КОГДА НЕ ТРЕБУЕТСЯ УСТАНОВЛЕНИЕ ОХРАННОЙ ЗОНЫ ►

Следующее нововведение – определен перечень объектов, для которых установление охранных зон не требуется.

В этом списке оказались археологические памятники, полностью скрытые в земле или под водой, мемориальные квартиры и отдельные помещения. В последнем случае предметами охраны остаются интерьеры, конструктивно-планировочные и архитектурные решения, а дом, в котором располагается такая квартира, не охраняется. Снести его нельзя, но на его ремонт нет никаких ограничений и не требуются дополнительные согласования.

Вокруг произведений монументального искусства, если для них не требуется разрешение на строительство, также не будет охранных зон. «Этот момент вызывает недоумение: что же такого можно понастроить, чтобы было произведение монументального искусства и не было зоны охраны? Наверное, законодатель добавил эту норму на перспективу, а не для применения здесь и сейчас», – прокомментировала Елена Чеготова.

Однако не снимаются ранее установленные ограничения вокруг общепризнанных памятников монументального искусства. Например, «Медный всадник» находится в объединенной охранной зоне, а «Родина-мать зовёт!» – в составе ансамбля.

Не устанавливаются зоны охраны также вокруг достопримечательных мест,

памятников в границах достопримечательных мест, мемориальных некрополей и захоронений в границах некрополей.

Достопримечательными именуется те места, где произошли значимые исторические события, например Куликовская битва. Для памятников и ансамблей, расположенных в границах достопримечательных мест, установление охранных зон нецелесообразно, поскольку на этих территориях и так действуют специальные градостроительные регламенты. Для таких случаев отменено двойное регулирование (с сохранением охранного статуса самой территории достопримечательного места).

Раньше бывали случаи, когда пытались заморозить строительство под тем предлогом, что оно проводится в границах достопримечательного места. Теперь ценность культурных объектов на таких территориях должна быть доказана. Охранные зоны допускается уменьшать, опираясь на архивные, библиографические материалы.

Границы охранный зоны не могут пересекаться с объектами незавершенного строительства, за исключением линейных объектов. Возможно, эта законодательная поправка появилась для того, чтобы завершить уже существующие стройки.

КАК МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ►

Законодатели отреагировали на разномыслие нынешнего прорывного технического прогресса и запретили все, что может навредить культурным объектам.

Появился запрет на установку в охранных зонах базовых станций сотовой связи, башенных и антенно-мачтовых конструкций, телевизионных и радиоантенн, мешающих визуальному восприятию объектов культурного наследия в их исторической среде. Исключение может быть сделано только для оборудования, необходимого для обслуживания памятников.

В границах охранный зоны нельзя уничтожать ценные зеленые насаждения, размещать отходы производства, склады ядохимикатов, любые объекты, вокруг которых нужны санитарные зоны.

Большой интерес вызывает вопрос о том, кто вправе инициировать создание охранный зоны. «Заявителями могут стать правообладатели объектов, общественники, граждане, с которыми заключены договоры о комплексном развитии территорий. На региональном

уровне допускается ограничение такого круга лиц. На мой взгляд, это очень важное уточнение», – прокомментировала Елена Чеготова.

Если зона охраны установлена, изменения должны быть отражены в правилах землепользования и застройки данной территории в течение пяти дней, чтобы все заинтересованные лица узнали об этом.

КОГДА НЕОБХОДИМА ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНАЯ ЭКСПЕРТИЗА ►

Если планируется строительство или ремонт вблизи археологических объектов, то для разрешения на проведение некоторых работ может потребоваться историко-культурная экспертиза. В данном случае постановление правительства, которым утверждена новая редакция положения об охранных зонах, действует в паре с постановлением правительства РФ № 2418 от 20 декабря 2023 года «Об особенностях порядка определения наличия или отсутствия объектов, обладающих признаками объекта археологического наследия, на территориях, подлежащих воздействию изыскательских, земляных, строительных, мелиоративных, хозяйственных работ, указанных в статье 30 федерального закона «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» работ по использованию лесов и других работ».

Только после историко-культурной экспертизы выдается разрешение на земляные работы, в том числе в Москве, Санкт-Петербурге и Севастополе, с заглублением в грунт более чем на 0,5 м, или на глубину, превышающую мощность техногенных грунтов.

Экспертиза не требуется, если земляные работы связаны:

- с реконструкцией и капитальным ремонтом автомобильных дорог первой и второй категорий в границах их полос отвода;
- с прокладкой инженерных коммуникаций в существующих каналах, тоннелях, коммуникационных коллекторах;
- с выполнением задач в границах существующих фундаментов и опор зданий и сооружений.

Никаких исключений не существует для работ, связанных с применением взрывных технологий, тяжелых ударных механизмов массой более 10 т. Сюда же относятся все другие работы, выполнение которых ограничено законодательством РФ из-за риска повреждения объ-

ектов археологического наследия, находящихся под водой или под землей.

Перечень работ, для которых требуется или не требуется историко-культурная экспертиза, может расширяться, отметила Елена Чеготова.

КАК МОГУТ ПОВЛИЯТЬ НА СТРОЙКУ ЗАЩИТНИКИ ПАМЯТНИКОВ ►

Правоприменительная практика по поводу новой версии «Положения о зонах охраны объектов культурного наследия» с участием строительных компаний еще не наработана, зато градозащитники уже имеют опыт борьбы с этим документом.

Например, активисты проекта ВО-ОПИК «Консервация» нашли широкую поддержку в СМИ, направили обращения в различные федеральные структуры. Они готовы отстаивать свою позицию в суде и призывают других неравнодушных граждан тоже написать в правительство, президенту и выразить свое несогласие, потребовать отмены документа.

Градозащитники считают, что данное положение изменено в угоду застройщикам и что теперь жилые комплексы могут вырасти, например, на Куликовом поле и возле братских могил, что будут брошены на произвол судьбы древние наскальные изображе-

ния на берегах Онежского озера и Белого моря. Активисты выступают за спасение архитектурного наследия России и консервацию всех старинных сооружений.

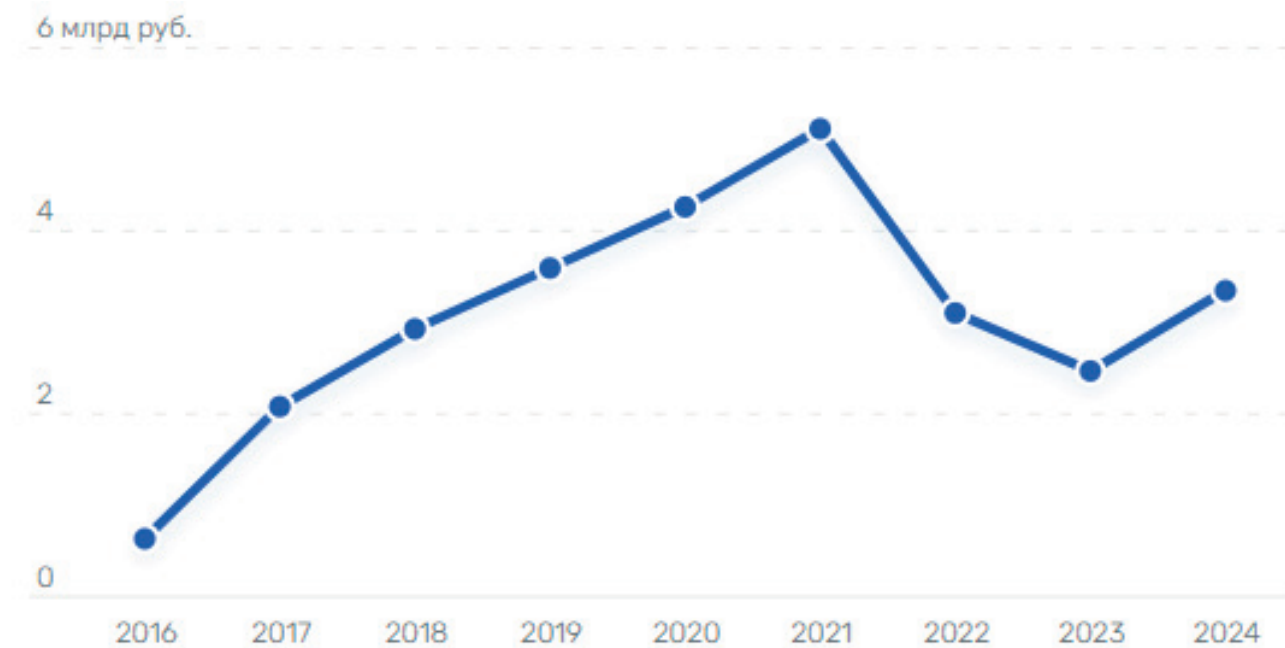
Проектно-изыскательским и строительным компаниям, которым предстоит работы близ памятников культуры, стоит учитывать этот момент. Ведь можно соблюсти все законы и столкнуться с нестигаемыми градозащитниками. Дешевле и перспективней заранее собрать материалы и иметь как можно больше доказательств того, что в данном месте можно строить, ремонтировать, заниматься иной хозяйственной деятельностью. **И**

Независимый электронный журнал ГеоИнфо

С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
выходит в формате *PDF.
4 выпуска в 2025 году.



WWW.GEOINFO.RU



Источник изображения: Rusprofile.ru

ФЕДОР ЗЕПАЛОВ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ERP – ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКОГО БИЗНЕСА

АННОТАЦИЯ

Срыв сроков бурения, перерасход бюджета, недостаточно квалифицированные кадры и непрозрачность прибыли подразделений – главные угрозы для проектно-изыскательского бизнеса, способные превратить успешную организацию в банкрота с отрицательной репутацией. Кроме того, большинству руководителей очевидно, что в последние годы рентабельность проектно-изыскательских работ (ПИР) порой измеряется первыми процентами оборота. Поэтому цена ошибки, ведущей к тому, что заказчик не примет и не оплатит работу, очень высока. И здесь на помощь приходят специальные ERP-системы – комплексные программы для управления всеми бизнес-процессами компании, которые позволяют считать деньги и оптимизировать расходы. Для проектно-изыскательской сферы из таких систем есть, например, программный комплекс WebGeo ERP, который может стать вспомогательным инструментом как для топ-менеджеров, так и для рядовых сотрудников. Именно это программное обеспечение несколько лет используется в ООО «ТПР», оборот которого за 2024 год составил 3,3 млрд рублей. О том, как это помогает в работе, мы поговорили с первым заместителем генерального директора этой компании Федором Зепаловым.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

управление бизнес-процессами; контроль ресурсов бизнеса; системы ERP; программный комплекс WebGeo ERP; контроль процессов; управление качеством; управление эффективностью; управление затратами; управление человеческими ресурсами.

FEDOR ZEPALOV: USING ERP SYSTEMS IS AN INDISPENSABLE COMPONENT OF THE DESIGN AND SURVEY BUSINESS

ABSTRACT

Drilling deadlines missed, budget overruns, insufficiently qualified personnel and lack of transparency of business units' profits are the main threats to the design and survey business, which can turn a successful organization into a bankrupt with a negative reputation. In addition, it is obvious to most managers that, in recent years, the profitability of design and survey work has sometimes been measured by first percents of turnover. Because of this, the cost of a mistake leading to the fact that the customer will not accept and pay for the work is very high. And here, special ERP systems come to the rescue. They are comprehensive programs for managing all business processes in a company, which enable you to count money and optimize costs. For the design and survey field, these systems include, for example, the WebGeo ERP software package, which can become an auxiliary tool for both top managers and ordinary employees. It is this software that has been used for several years by TPR LLC that had the turnover of 3.3 billion rubles in 2024. We talked to Fedor Zepalov, the first deputy general director of this company, about how this helps in the work.

KEYWORDS:

business process management; business resource control; ERP systems; WebGeo ERP software package; process control; quality management; efficiency management; cost management; human resource management.

Ред.: *С какими проблемами, решение которых требует привлечения специализированного программного обеспечения, сталкиваются проектно-изыскательские компании и в частности ООО «ТПР»? Что такое системы ERP и что, по-Вашему, они дают бизнесу?*

Ф.З.: Проектно-изыскательские компании, как и любой другой бизнес, живут на стыке трех составляющих – идеи, реальных данных и воли к реализации этой самой идеи. И именно реальных данных в нашей отрасли хронический дефицит. Между тем всегда, в любой момент времени, нужно четко понимать, что происходит на каждом этапе, как развивается проект, достаточно ли времени и средств. Во-вторых, важно оперативно реагировать на отклонения, будь то срыв сроков или перерасход бюджета, иначе работа легко уходит в минус, а соблазн «нарисовать», например, часть результатов инженерно-геологических изысканий возрастает. В-третьих, необходим прозрачный учет: кто из сотрудников или подразделений создает прибыль, а кто в данный момент дотационен. Без такого контроля невозможно принять взвешенное решение о премиях, штрафах или перераспределении ресурсов. Именно здесь и становится востребованным специализированное программное обеспечение. Вы спрашиваете, что такое ERP-системы. Эта аббревиатура расширяется как Enter-

prise Resource Planning, что в переводе означает «планирование ресурсов предприятия». Имеется в виду управление всеми бизнес-ресурсами в компании. Парадокс в том, что немало руководителей и владельцев смутно представляют себе, как на самом деле работает их предприятие. Внедрив комплексную программу ERP, они внезапно видят на графиках, откуда идет прибыль, а где проект «течет». То есть ERP-система – это прежде всего инструмент собственника и топ-менеджера, помогающий в планировании и контроле ресурсов бизнеса в целом. Но если система «растет» снизу вверх и корректно выстроена, она становится помощником и для рядовых сотрудников. Для нас таким инструментом стал программный комплекс WebGeo ERP. С его помощью, с одной стороны, мы управляем ресурсами, качеством и эффективностью работ, а с другой – наши полевые специалисты быстрее обрабатывают данные и доводят их до проектного решения.

Ред.: *Как это работает, например, в части инженерно-геологических изысканий?*

Ф.З.: Здесь решающее значение имеет оперативная проверка качества полевых материалов: заказчик должен мгновенно увидеть, устроил его результат или нужно что-то переделать, не теряя ни дня. Кроме того, требования клиента нередко меняются в ходе развития проекта, поэтому удобно, когда

единая система автоматизирует все взаимодействия и соблюдение регламентов. WebGeo ERP, например, с помощью искусственного интеллекта автоматически раскладывает снимки по скважинам, выявляет дубликаты и потенциальные подмены, тем самым отсекая любые попытки фальсификации. В-третьих, мы обязаны выполнять жесткий контроль и управление затратами: обороты в инженерной геологии велики, а ошибка всего в несколько процентов способна «съесть» бюджет целого направления, скажем инженерно-гидрометеорологического. А если изыскатель уходит в минус, он просто перестает выполнять убыточные работы. Следовательно, что? Снова риск фальсификаций.

Наконец, нам нужен сквозной контроль процессов – от выезда буровой на точку и выдачи задания бригаде до готового отчета. И по-настоящему болезненной темой является борьба за кадры: сегодня важно точно видеть, какой специалист приносит прибыль, сколько средств мы зарабатываем и какую долю можно направить ему в виде повышения зарплаты или премии. Конкурировать нам приходится с геологоразведочными компаниями, особенно обслуживающими нефтегазовый бизнес, а там оплата труда ощутимо выше. И все эти проблемы решает одна цифровая платформа, позволяя в режиме реального времени управлять качеством, деньгами и человеческими ресурсами.

Ред.: ООО «ТПР» – огромная организация с оборотом в несколько миллиардов рублей. А для небольшой изыскательской компании, может быть, хватит и программы Microsoft Excel?

Ф.З.: Дело вовсе не в обороте, а в количестве буровых, одновременно работающих на объектах, будь то собственные установки или техника субподрядчиков. Три буровыми, наверное, еще можно управлять вручную. Как только у вас выходит четвертая, ручное управление может рассыпаться в один миг. Кроме того, приходится вводить строгие регламенты: кто выдает задания, как фиксируется каждый метр, какие фотографии прикладываются. Нужна система, которая мгновенно собирает и структурирует полевые данные. Скажем, скальные породы бурятся медленно, информации приходит меньше и кажется, что контролировать процесс легко; но переходите на суглинок – и вы тонете в потоке цифр, если под рукой только Excel. Я испытал это на проекте строительства железнодорожной магистрали «Северный широтный ход»: люди тратили время не на аналитику, а на бесконечную сверку таблиц – и в какой-то момент я понял, что мы «слепы» на объекте, не контролируем ни сроки, ни деньги.

Ред.: Как я понимаю, вы в ТПР не так давно начали использовать специализированное программное обеспечение. Чем вы пользовались раньше?

Ф.З.: Раньше все сводилось в Excel: папки, листы, ручной ввод – сколько пробурено, сколько часов, какая себестоимость. Буровики сами считали, сколько заработали, по метрам, а не по справочнику базовых цен. И когда одному доставались легкие суглинки, а другому – «дорогой» скальный грунт, вспыхивали конфликты. Нам нужно было убрать субъективность и прозрачно показать, кто и за что получает деньги. В том числе и поэтому мы решили внедрить у себя ERP-систему.

Ред.: Вы говорите, что оборот не важен, а важно, например, количество буровых. Но стоимость такой программы, наверное, сопоставима с зарплатой сотрудника?

Ф.З.: На практике не сопоставима. Самая простая лицензия стоит порядка 30 тысяч рублей в месяц. Теперь представим, что мы бурим на Байкало-Амурской магистрали, где метр об-

ходится в среднем в 9,5 тысяч рублей, или в любом другом регионе России, где он обходится примерно в 7 тысяч рублей. Стандартная скважина – десятиметровая. Во-первых, переделка даже одной из двух таких скважин уносит минимум 95 тысяч рублей прямых затрат, если буровая еще стоит на точке и готова к тому, чтобы ее оперативно перебурили. Но к моменту проверки материалов бурения техника, как правило, уже далеко – и эти деньги просто сгорают. Добавьте к этому жесткие требования крупных заказчиков: они легко не принимают объем работ, который не соответствует техническому заданию, и не оплачивают его. Поэтому сейчас самая дорогая статья – это риски. А современное программное обеспечение окупает себя буквально одной предотвращенной ошибкой.

Ред.: Как именно вы решаете у себя вопрос с фальсификациями?

Ф.З.: У наших заказчиков нулевая толерантность не только к фальсификациям, но и к обычному браку. Соответственно, у нас к субподрядчикам такое же отношение. В WebGeo ERP у каждой скважины в системе есть иконки, показывающие наличие фото- и видеофиксации – общего плана, выкладки керна и еще двух десятков обязательных кадров. Алгоритмы автоматически сортируют фотографии, проверяют геотеги и сразу сигнализируют, если кто-то попытается подменить в материалах одну скважину другой. Кроме того, координаты снимков выводятся на карту. Если из-за разницы в терминологии и возникающей из-за этого путаницы с координатами буровая подъехала к неправильному пикету, мы видим это и мгновенно исправляем ошибку, пока она не стала дорогостоящей.

Ред.: Но при этом заполнение дневников идет вручную? Это целесообразно?

Ф.З.: Безусловно. Во-первых, буровой мастер обязан расписаться сам: подпись – это персональная ответственность, и она должна оставаться «живой», а не электронной от кого-то за него. Во-вторых, параллельно мы используем аудиодневник: геолог диктует данные, система благодаря искусственному интеллекту сразу формирует колонку – и камеральная обработка ускоряется в разы. Таким образом, я получаю и бумажный журнал с подписью исполнителя, и цифро-

вой файл, который моментально попадает в модель грунтов – и ни один метр не теряется.

Ред.: А как это передается в лабораторию?

Ф.З.: Процесс полностью оцифрован: мы формируем электронную «Ведомость отбора грунта», где уже «зашиты» все ключевые поля – объект, проект, сооружение, номер скважины, глубина и способ отбора бразцов, монолитность, тип грунта. Система сразу же, по заданным алгоритмам, распределяет образцы по подходящим лабораториям: часть уходит на испытания в многопрофильные лаборатории, часть – в узкоспециализированные, где для того или иного конкретного метода есть необходимое оборудование. Информация по всем образцам сводится в единую базу; отсюда же в один клик формируется заявка, которая автоматически отправляется в лабораторию. Далее мы через WebGeo ERP отслеживаем каждый шаг: кто принял образец, какой у него статус, не истекает ли допустимый срок хранения по ГОСТу. Тем самым исключаем риск того, что материал станет непригодным для испытаний.

Ред.: Дайте, пожалуйста, свое резюме по экономическому эффекту.

Ф.З.: Экономика – это основа бизнеса. Если ты «не видишь деньги», ты не управляешь процессом. Поэтому, во-первых, мы считаем затраты и по собственным бригадам, и по каждому подрядчику. В систему WebGeo ERP для каждого подрядчика занесены его расценки на бурение по категориям буримости, диаметрам, обсадке с учетом сметных нормативов справочника базовых цен. Во-вторых, на каждую скважину фиксируем фактические расходы – и система мгновенно показывает рентабельность этой скважины. Картина получается очень тонкая: одни скважины уходят в минус, другие вытягивают объект в плюс, а разброс – всего в несколько тысяч или в первые десятки тысяч рублей. Ошибись на этапе планирования – и вся экономика полетит. Наконец, благодаря той же системе WebGeo ERP мы видим эти цифры в режиме онлайн, принимаем решения сразу и, главное, демонстрируем прозрачность заказчику. Именно поэтому репутация ТПР как ответственного партнера и подрядчика сегодня на рынке очень высока – и этим мы по-настоящему гордимся. **и**

Организаторы:

Независимый электронный журнал
Геоинфо



geoinfo.ru

II практическая конференция

**«АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИЗЫСКАНИЙ И ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

18 ноября 2025 года, Москва



Наша конференция по автоматизации и цифровизации инженерно-геологических изысканий в 2024 году вызвала большой интерес среди специалистов. Участниками мероприятия стали более 100 человек, а хедлайнерами – представители ООО «Газпром нефть». По отзывам слушателей, они получили много новой, полезной и интересной информации, а значительную часть полученных знаний смогут успешно интегрировать в собственную работу. В связи с этим мы приняли решение провести в 2025 году вторую тематическую конференцию. Тем более, что за год с момента проведения первой конференции, мы уверены, будет сделан гигантский шаг вперед в области цифровизации.





ЧТО ВЛИЯЕТ НА КАЧЕСТВО И ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ

**ТРОФИМОВ ВИКТОР
АЛЕКСАНДРОВИЧ**

Начальник грунтовой лаборатории
АНО «Испытательный центр
«НОРТЕСТ»

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена проблеме достоверности лабораторных испытаний грунтов при инженерно-геологических изысканиях. Автор анализирует масштабы фальсификаций (до 80% «нарисованных» отчетов), выделяет критические этапы процесса начиная с отбора образцов и заканчивая выдачей результатов лабораторных испытаний и предлагает пять практических инструментов контроля их качества.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

инженерно-геологические изыскания; грунтовая лаборатория; лабораторные испытания грунтов; фальсификации результатов испытаний; достоверность результатов испытаний.

WHAT INFLUENCES THE QUALITY AND RELIABILITY OF SOIL LABORATORY TEST RESULTS

**TROFIMOV VIKTOR
ALEKSANDROVICH**

Head of the soil laboratory,
"Testing center "NORTEST" autonomous
non-profit organization

ABSTRACT

The paper is devoted to the problem of reliability of laboratory soil tests during engineering-geological surveys. The author analyzes the scale of falsifications (up to 80% of "drawn" reports), identifies the critical stages of the process from sampling to issuing laboratory test results, and proposes five practical tools for quality control of the results.

KEYWORDS:

engineering-geological surveys; soil laboratory; soil laboratory tests; test results falsification; test results reliability.

ВВЕДЕНИЕ ►

Проблемы достоверности результатов лабораторных испытаний грунтов при выполнении инженерно-геологических изысканий волнуют специалистов уже много лет. На то есть несколько причин. Это прежде всего высокий процент фальсификаций при лабораторных испытаниях, а также непонимание заказчиком или даже самим исполнителем значения результатов работы, проводимой грунтовой лабораторией, и процессов, ведущих к получению этих результатов. Поэтому нередко возникает недоверие к представляемым данным лабораторных испытаний.

ПРОБЛЕМА ФАЛЬСИФИКАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ►

Фальсификация результатов лабораторных испытаний грунтов – одна из основных проблем при выполнении инженерно-геологических изысканий. Согласно официальным данным СРО «Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве», почти 80% отчетов являются «нарисованными». Это говорит о серьезных проблемах в сфере контроля качества изысканий и несет существенные риски для строительной индустрии.

Иными словами, 8 из 10 отчетов лабораторий являются формальными – и добросовестные изыскатели сталкиваются с проблемой корректной интерпретации своих полевых данных, что приводит к ухудшению качества инженерно-геологических изысканий, а также к увеличению сроков их выполнения.

Контролировать качество лабораторных испытаний сложно, потому что у заказчиков и исполнителей часто нет нужных специалистов. А сотрудники, не разбирающиеся в данном вопросе,

но исполняющие роль супервайзеров, лишь мешают работе лаборатории, снижая качество испытаний и замедляя выдачу результатов.

ЧТО ВЛИЯЕТ НА КАЧЕСТВО И ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ►

Разберемся, какие факторы влияют на качество и достоверность результатов испытаний в грунтовой лаборатории, какие основные ошибки часто встречаются и как минимизировать фальсификации.

Процесс, ведущий к представлению готовых результатов лабораторных испытаний, включает несколько этапов, каждый из которых влияет на их качество:

- 1) отбор образцов грунта;
- 2) упаковка и транспортировка образцов;
- 3) подготовка к испытаниям;
- 4) проведение испытаний;
- 5) обработка и выдача результатов испытаний.

Рассмотрим эти этапы подробнее.

1. Отбор образцов грунта

Образцы могут быть нарушенного или ненарушенного (природного, естественного) сложения. На сленге многих геологов их иногда называют «нарушкой» и «монолитами» соответственно.

Отбор образцов при выполнении инженерно-геологических изысканий в основном проводится при бурении скважин с последующим извлечением образцов керна из колонковой трубы. Важно знать, что, только выполняя колонковое бурение, можно получить образцы ненарушенного сложения, необходимые для определения физико-

механических свойств грунтов. При данном типе бурения механическое воздействие на грунт, оказывающийся внутри колонковой трубы, минимально по сравнению с другими типами. Бурение шнеком для этого категорически не подходит, хотя и выглядит более привлекательным с точки зрения цены и скорости.

Немаловажным фактором, влияющим на качество образцов, является также применение промывочной жидкости при бурении, которое неприемлемо для целей определения физических и физико-механических свойств грунта, так как при этом меняется его природное состояние (например, влажность, плотность и консистенция).

2. Упаковка и транспортировка образцов

Упаковка монолитов происходит путем оборачивания их стрейч-пленкой. Обязательно должна быть указана ориентация монолита. Его верх можно пометить на пленке крестиком или приклеить туда этикетку. В лаборатории при загрузке в прибор важно знать, где верхняя часть, а где нижняя. При несоблюдении этого условия получаемые параметры физико-механических свойств будут некорректными.

К образцам же нарушенного сложения требований меньше, поскольку по ним определяются только физические свойства. Упаковывают их в два пакета и кладут в лабораторный бокс с закрытой крышкой, что необходимо для сохранения естественной влажности.

После отбора образцов грунта ненарушенного и нарушенного сложения их необходимо упаковать в ящик или термос, заполненные опилками. Заказчики

часто привозят образцы в мешках, что в корне неверно, так как во время перевозки они могут подвергаться резким динамическим и температурным воздействиям, а при дальнейшем перемещении мешки бьются об пол, углы и т.д., в результате чего хорошо отобранные монолиты при транспортировке превращаются в образцы нарушенного сложения, которые уже нельзя использовать для физико-механических испытаний грунтов.

В ящик также должна вкладываться ведомость приемки-передачи образцов с указанием номера скважины, глубины отбора, вида грунта.

3. Подготовка к испытаниям

При поступлении образцов в грунтовую лабораторию ее сотрудник проверяет наличие ведомости. Если она отсутствует, лаборатория не имеет права принимать образцы. В ведомости должна быть подпись того, кто передает их. После этого сотрудник проверяет состояние образцов и заносит соответствующие данные в журнал приемки. Далее он относит грунты в хранилище или в холодильники, в которых поддерживается температура 2–10 °С и влажность 70–80%.

Более подробно правила отбора, хранения и транспортировки образцов грунта описаны в ГОСТ 12071-2014.

4. Проведение испытаний

Если все вышеперечисленные условия соблюдены, лаборатория приступает к работе. Важно подчеркнуть желательность аккредитованности лаборатории в Федеральной службе по аккредитации или с помощью другой независимой стороны из группы экспертов (обязательная аккредитация не предусмотрена, но заказчики часто ее требуют). Аккредитованная лаборатория соответствует строгим требованиям и имеет комплект документов в соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17025-2019.

Согласно ГОСТ 30416-2012 в помещении лаборатории должны быть созданы определенные температурные условия (22 °С плюс-минус 2 °С). Оборудование, на котором проводятся испытания, должно быть исправно и поверено в срок, установленный производителем. Все поверки должны быть актуальны на момент проведения исследований.

Во время работы сотрудники лаборатории ведут журналы испытаний, форма и содержание которых прописаны в ГОСТах. Формат журналов может быть

как бумажным, так и электронным. Они должны быть подписаны руководителем лаборатории и исполнителями, которые допущены к проведению испытаний, а их страницы должны быть пронумерованы.

5. Обработка и выдача результатов испытаний

Для обработки исходных данных грунтовые лаборатории в основном используют программы EngGeo или Microsoft Excel. После получения конечных результатов испытаний оформляются протоколы и ведомости согласно ГОСТ 58973-2020.

Обязательно надо сохранять журналы испытаний, протоколы и ведомости в архиве лаборатории. Срок их хранения регламентирован приказом Федерального архивного агентства от 28 декабря 2021 года № 142 и составляет 5 лет.

СОВЕТЫ ЗАКАЗЧИКУ ►

Как заказчику определить, выдает ли лаборатория достоверные или фальсифицированные данные? Предлагаем пять надежных способов. Лаборатория должна предоставить:

- 1) ведомость акта приемки-передачи образцов с подписями двух сторон;
- 2) документы по актуальным поверкам приборов со ссылками на федеральный государственный информационный ресурс/реестр (ФГИС) Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (<https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4>);
- 3) журналы испытаний с исходными данными (в бумажном или электронном виде);
- 4) исходные данные, полученные с использованием механических приборов;
- 5) фотоотчет по проведению механических испытаний: фотографии загрузки

зона прибора образцами и фотографии, полученные при завершении испытаний (с указанием геолокации и времени фотографирования в каждом случае).

При выполнении этих условий можно минимизировать или даже полностью исключить подделку и «рисование» результатов испытаний. Кроме того, для проверки данных, предоставляемых грунтовой лабораторией, рекомендуем обращаться к квалифицированным специалистам, обладающим опытом и знанием нормативных документов.

Будем честными и обратим внимание на то, что при соблюдении этих требований к лабораториям испытания будут обходиться заказчику дороже, так как реальные испытания более затратны, чем «нарисованные». К тому же при фотофиксации процессов время проведения испытаний увеличивается примерно на 10%. Но по факту настроенный процесс фотографирования и прописывания фотографий занимает полдня. Зато вы будете уверены, что испытания действительно были проведены, а не придуманы лабораторией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ►

Как видим, на качество итогов лабораторных испытаний грунтов влияет множество факторов – от отбора образцов до обработки исходных данных испытаний. Поэтому соблюдение всех перечисленных в статье условий позволяет увеличить качество и точность предоставляемых конечных результатов.

Выбирайте надежных партнеров и не стесняйтесь запрашивать материалы у грунтовой лаборатории, чтобы быть уверенными в том, что испытания грунтов реально проводятся и вы получаете подлинные данные для вашей дальнейшей работы. **И**

