

ISSN 1819-7663 (Print)
ISSN 2542-1921 (Online)

ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Новая серия

Серия: Науки о Земле

2024

Том 24

Выпуск 4



IZVESTIYA OF SARATOV UNIVERSITY
EARTH SCIENCES



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»

ИЗВЕСТИЯ

САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Новая серия

Серия Науки о Земле, выпуск 4

Продолжение «Известий Императорского Николаевского Университета» 1910–1918, «Ученых записок СГУ» 1923–1962,
«Известий Саратовского университета. Новая серия» 2001–2004



Научный журнал
2024 Том 24

ISSN 1819-7663 (Print)

ISSN 2542-1921 (Online)

Издается с 2006 года

СОДЕРЖАНИЕ

Научный отдел

География

Преображенский Ю. В., Ключин С. С.

«Зелёные» технологии в обрабатывающей промышленности
российских регионов

222

Раевская М. В., Корнилов А. Г.

Малые водотоки и водоемы как индикаторы
экологических проблем в агроландшафтах
(на примере Белгородской области)

230

Стурман В. И., Логиновская А. Н.

Исследование пространственного распределения
электромагнитных полей промышленной частоты
в центральной части города Саратова

243

Безуглова Н. Н., Суковатов К. Ю.

Влияние циркуляционных факторов на количество
атмосферных осадков холодного сезона
на территории Западной Сибири

250

Данилов В. А., Морозова В. А., Моисеев Д. С.

Применение математико-картографического моделирования
для комплексной оценки оползневой опасности методом анализа иерархий
на территории г. Саратова

259

Степанов А. В.

Оценка влияния физико-географических условий равнинной местности
на полетную видимость

269

Геология

Шелепов Д. А.

Результаты магнитостратиграфического изучения
Нижнесызранской подсвиты (палеоцен)
на севере саратовского Правобережья
(разрезы Гремячка и Ключи-2)

274

Попов Е. В., Лопырев В. А., Сельцер В. Б.

О находке зуба многожаберной акулы (*Neoselachii*, *Hexanchidae*)
в верхнем мелу Саратовского Поволжья

286

Журнал «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия «Науки о Земле»» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Запись о регистрации СМИ ПИ № ФС77-76643 от 26 августа 2019 года
Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (категория К2, специальности: 1.6.1, 1.6.2, 1.6.9, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.18, 1.6.20, 1.6.21). Журнал входит в международную базу данных DOAJ

Подписной индекс издания 36010.
Подписку на печатные издания можно оформить в Интернет-каталоге ГК «Урал-Пресс» (ural-press.ru).
Журнал выходит 4 раза в год.
Цена свободная.
Электронная версия находится в открытом доступе (geo.sgu.ru)

Директор издательства
Бучко Ирина Юрьевна

Редактор
Садыхова Марина Владимировна
Трубникова Татьяна Александровна

Редактор-стилист
Агафонов Андрей Петрович

Верстка
Степанова Наталия Ивановна

Технический редактор
Каргин Игорь Анатольевич

Корректор
Шевякова Виктория Валентиновна

В оформлении издания использованы работы художника Соколова Дмитрия Валерьевича (13.11.1940–20.11.2023)

Адрес учредителя, издателя и издательства (редакции):
410012, Саратов, ул. Астраханская, 83
Тел.: +7(845-2) 51-29-94, 51-45-49, 52-26-89
E-mail: publ@sgu.ru, izdat@sgu.ru

Подписано в печать 22.11.2024.
Подписано в свет 29.11.2024.
Выход в свет 29.11.2024.
Формат 60 × 84 1/8.
Усл. печ. л. 8.4 (9.0).
Тираж 100 экз. Заказ 143-Т.

Отпечатано в типографии
Саратовского университета.
Адрес типографии:
410012, Саратов, Б. Казачья, 112А

© Саратовский университет, 2024



ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Журнал «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле» принимает к публикации на русском языке общетеоретические, методические, дискуссионные, критические статьи, результаты исследований в области наук о Земле, краткие сообщения и рецензии, а также хронику и информацию.

Объем публикуемой статьи не должен превышать 16 страниц, 5 рисунков и 4 таблиц.

Статья должна быть аккуратно оформлена и тщательно отредактирована.

Последовательность предоставления материала:

- на русском языке: индекс УДК, название статьи, инициалы и фамилии авторов, сведения об авторах (ученая степень, должность и место работы, e-mail), аннотация, ключевые слова, текст статьи, благодарности, ссылки на гранты, библиографический список;

- на английском языке: название статьи, инициалы и фамилии авторов, ORCID, место работы (вуз, почтовый адрес), e-mail, аннотация, ключевые слова.

Отдельным файлом приводятся сведения о статье: раздел журнала, УДК, авторы и название статьи (на русском и английском языках); сведения об авторах: фамилия, имя и отчество (полностью), e-mail, телефон (для ответственного за переписку обязательно указать сотовый или домашний). Если название статьи слишком длинное, то для колонтитула следует привести его краткий вариант.

Иллюстрации и таблицы должны быть представлены отдельным файлом в формате jpg, tiff, cdr, bmp, разрешением не меньше 300 dpi. Рисунки должны быть представлены в черно-белом виде.

Все материалы предоставляются как в бумажном, так и электронном виде.

Требования к аннотации и библиографическому списку:

- аннотация должна отражать основную суть публикации; оптимальный объем 500–600 знаков;

- в библиографическом списке должны быть указаны только процитированные в статье работы; ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Более подробная информация о правилах оформления статей, образцы оформления различных источников приведены вместе со стилевым файлом по адресу: www.geo.sgu.ru.

Датой поступления статьи считается дата поступления ее окончательного варианта. Возвращенная на доработку статья должна быть прислана в редакцию не позднее чем через три месяца. Возвращение статьи на доработку не означает, что статья будет опубликована, после переработки она вновь будет рецензироваться.

Материалы, отклоненные редколлегией, не возвращаются.

Адреса для переписки с редколлегией серии: geoizvestiya@yandex.ru; 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, географический факультет, ответственному секретарю журнала «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле».

CONTENTS

Scientific Part

Geography

Preobrazhenskiy Yu. V., Klyukin S. S.

Green technologies in the manufacturing industry in Russian regions 222

Raevskaya M. V., Kornilov A. G.

Small streams and water reservoirs as indicators of environmental problems in agricultural landscapes (on the example of the Belgorod region) 230

Sturman V. I., Loginovskaya A. N.

Research of spatial distribution of electromagnetic fields of industrial frequency in the central part of the city of Saratov 243

Bezuglova N. N., Sukovatov K. Y.

The influence of circulation factors on the quantity of atmospheric precipitation in the cold season in Western Siberia 250

Danilov V. A., Morozova V. A., Moiseev D. S.

Application of Mathematical-Cartographic Modeling for comprehensive landslide hazard assessment using the Analytic Hierarchy Process in the territory of the city of Saratov 259

Stepanov A. V.

Influence assessment of physical and geographical conditions for flat terrain on flight visibility 269

Geology

Shelepov D. A.

Results of magnetostratigraphic study of the Lower Syzran subformation (Paleocene) in the north of the Saratov Right Bank (Gremyachka and Kluchy-2 sections) 274

Popov E. V., Lopyrev V. A., Seltzer V. B.

On a record of cow shark' tooth (Neoselachii, Hexanchidae) from the Upper Cretaceous of Saratov Volga region 286



**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА
«ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. НОВАЯ СЕРИЯ.
СЕРИЯ: НАУКИ О ЗЕМЛЕ»**

Главный редактор

Макаров Владимир Зиновьевич, доктор геогр. наук, профессор (Саратов, Россия)

Заместитель главного редактора

Первушов Евгений Михайлович, доктор геол.-минерал. наук, профессор (Саратов, Россия)

Ответственный секретарь

Преображенский Юрий Владимирович, кандидат геогр. наук, доцент (Саратов, Россия)

Члены редакционной коллегии:

Горбатенко Валентина Петровна, доктор геогр. наук, профессор (Томск, Россия)

Гужиков Андрей Юрьевич, доктор геол.-минерал. наук, профессор (Саратов, Россия)

Диденко Алексей Николаевич, доктор геол.-минерал. наук, член-корреспондент РАН (Хабаровск, Россия)

Дмитриев Руслан Васильевич, доктор геогр. наук (Москва, Россия)

Казанский Алексей Юрьевич, доктор геол.-минерал. наук, профессор (Москва, Россия)

Калинин Николай Александрович, доктор геогр. наук, профессор (Пермь, Россия)

Катровский Александр Петрович, доктор геогр. наук, профессор (Смоленск, Россия)

Коробов Александр Дмитриевич, доктор геол.-минерал. наук, профессор (Саратов, Россия)

Носонов Артур Модестович, доктор геогр. наук, профессор (Саранск, Россия)

Переведенцев Юрий Петрович, доктор геогр. наук, профессор (Казань, Россия)

Семенов Юрий Михайлович, доктор геогр. наук, профессор (Иркутск, Россия)

Хоецян Ашот Владимирович, доктор геогр. наук, профессор (Ереван, Армения)

Чумаченко Алексей Николаевич, доктор геогр. наук, профессор (Саратов, Россия)

Шурыгин Борис Николаевич, доктор геол.-минерал. наук, профессор,
член-корреспондент РАН (Новосибирск, Россия)

**EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL
"IZVESTIYA OF SARATOV UNIVERSITY.
EARTH SCIENCES"**

Editor-in-Chief – Vladimir Z. Makarov (Saratov, Russia)

Deputy Editor-in-Chief – Evgeniy M. Pervushov (Saratov, Russia)

Executive secretary – Yuri V. Preobrazhenskiy (Saratov, Russia)

Members of the Editorial Board:

Valentina P. Gorbatenko (Tomsk, Russia)

Andrey Yu. Guzhikov (Saratov, Russia)

Aleksey N. Didenko (Khabarovsk, Russia)

Ruslan V. Dmitriev (Moscow, Russia)

Aleksei Yu. Kazansky (Moscow, Russia)

Nikolay A. Kalinin (Perm, Russia)

Aleksandr P. Katrovsky (Smolensk, Russia)

Aleksandr D. Korobov (Saratov, Russia)

Artur M. Nosonov (Saransk, Russia)

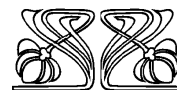
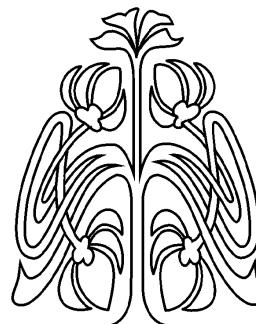
Yurij P. Perevedentsev (Kazan, Russia)

Yuriy M. Semenov (Irkutsk, Russia)

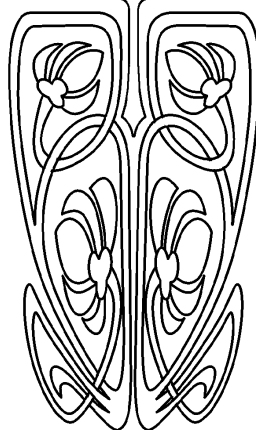
Ashot V. Khoetsyan (Erevan, Armenia)

Aleksey N. Chumachenko (Saratov, Russia)

Boris N. Shurygin (Novosibirsk, Russia)



**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ**





ГЕОГРАФИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 222–229

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 222–229

<https://geo.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-222-229>, EDN: BXUMON

Научная статья

УДК 911

«Зелёные» технологии в обрабатывающей промышленности российских регионов

Ю. В. Преображенский✉, С. С. Клюкин

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Преображенский Юрий Владимирович, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры экономической и социальной географии, topofag@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2774-0554>

Клюкин Сергей Сергеевич, студент 1-го курса магистратуры по направлению «Урбэкология», klyukin.sergej.02@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-5965-1461>

Аннотация. Зелёная трансформация экономики страны является актуальным процессом для развития пространственных общественно-природных систем. Основной вектор такой трансформации встроен в более общий процесс цифровизации экономики. Внедрение зелёных технологий в промышленность российских регионов идёт неравномерно. Это показывает анализ представленности «зелёных» передовых производственных технологий в регионах России. Выявлена недостаточность применения «зелёных» технологий в промышленности и низкое число регионов, генерирующих «зелёные» технологии. Анализируются предпосылки опережающего внедрения «зелёных» технологий в отдельных российских регионах. Показаны регионы-лидеры по внедрению важнейших передовых производственных технологий из «зелёной» группы. Обсуждаются альтернативы зелёной трансформации на основе внедрения природоподобных технологий.

Ключевые слова: зелёная трансформация, передовые производственные технологии, зелёные технологии, зелёная экономика, экологизация производства

Для цитирования: Преображенский Ю. В., Клюкин С. С. «Зелёные» технологии в обрабатывающей промышленности российских регионов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 222–229. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-222-229>, EDN: BXUMON

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Green technologies in the manufacturing industry in Russian regions

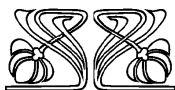
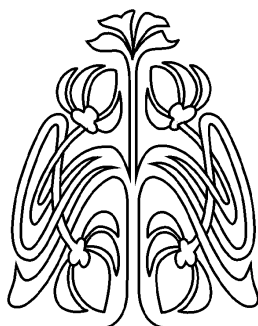
Yu. V. Preobrazhenskiy✉, S. S. Klyukin

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

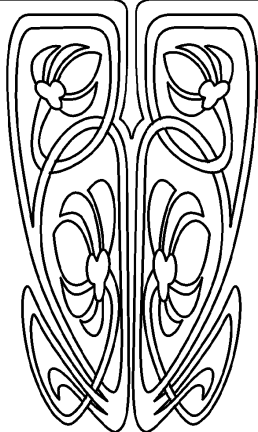
Yuri V. Preobrazhenskiy, topofag@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2774-0554>

Sergey S. Klyukin, klyukin.sergej.02@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-5965-1461>

Abstract. The green transformation of the country's economy is a crucial process for the sustainable development of spatial socio-natural systems. This transformation is closely linked to the broader process of digitalizing the economy. However, the introduction of green technologies into Russian industries is uneven, as shown by the analysis of the representation of advanced green manufacturing technologies in different regions. This analysis has revealed a lack of using green technologies and a low number of regions that generate these technologies. Despite this, there are prerequisites for the successful implementation of green technologies in certain regions of Russia, and leading regions for the adoption of the most significant green production



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





technologies have been alternatives to green transformation through the adoption of nature-based technologies are also discussed.

Keywords: green transformation, advanced production technologies, green technologies, green economy, greening of production

For citation: Preobrazhenskiy Yu. V., Klyukin S. S. Green technologies in the manufacturing industry in Russian regions. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 222–229 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-222-229>, EDN: BXUMON

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Структурные сдвиги в обрабатывающей промышленности страны в последние тридцать лет привели к перестройке экономических систем. Деиндустриализация в целом обеднила, как предпочитают выражаться экономисты, «технологический ландшафт» страны. Наметившийся в последние два года переход к реиндустриализации актуализировал задачи создания и модернизации производств на основе передовых технологий (в том числе «зелёных»). Отметим при этом, что для многих российских регионов прежде всего в азиатской части страны важнейшим приоритетом развития становится баланс между реиндустриализацией и сохранением роли природного резервата [1].

В общей рамке цифровой трансформации и индустрии 4.0 создаются и используются передовые производственные технологии (ППТ), которые представляют собой технологии и технологические процессы (включая необходимое для их реализации оборудование и программное обеспечение), управляемые с помощью компьютера, основанные на микроэлектронике и / или использовании цифровых технологий и используемые при проектировании, производстве или обработке продукции (товаров и услуг), включая организацию соответствующих процессов [2]. Их создание и использование предприятиями является одним из значимых маркеров для оценки уровня инновационного развития регионов. На это обращают внимание многие авторы. В то же время декомпозиция ППТ на отдельные их типы и их частный анализ довольно редко представлены в работах исследователей, что связано, по всей видимости, и с относительно недавним началом публикации подобных сведений.

Нужно отметить, что для российских регионов характерны различия в соотношении разработанных и используемых ППТ: одни регионы являются более выраженными создателями ППТ, другие – реципиентами, получателями и пользователями ППТ. Безусловно, увеличение круга регионов-инноваторов создаст лучшие предпосылки для развития экономики на новом уровне, в том числе и в плане экологизации производства.

В настоящее время «зелёная» повестка находится в сложном процессе трансформации в конкретные программы и реализуемые мероприятия. Это касается в первую очередь России, значение которой для глобальной экономической устойчивости сложно переоценить. Экологически направленное развитие не является чем-то

опосредованным от экономического роста, оно (по крайней мере, в теории) проникает в каждую отрасль и производство. Этот процесс имеет свою географическую специфику в пределах страны, ту или иную степень интенсивности в региональном разрезе.

В данной работе решалась задача анализа территориальных различий в использовании передовых производственных технологий, имеющих «зелёную» направленность, в пределах России. Сравнительно-географический метод, использованный в данном исследовании, был дополнен анализом конкретных примеров ограничений на пути к «зелёному» производству.

Обзор литературы

В Указе Президента Российской Федерации от 13.05.2017 г. № 208 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года» в пункте 17 к основным задачам по реализации обеспечения устойчивого роста реального сектора экономики относится среди прочих следующая: «комплексная модернизация производственно-технологической базы отраслей реального сектора экономики с учётом требований промышленной и экологической безопасности» [3]. Такая давно назревшая задача перехода от традиционной индустриальной экономики, ставящей во главу угла рост объёма выпускаемой продукции без оглядки на экологические последствия, к «зелёной» экономике, которой свойственны приоритеты сбалансированного развития, достаточно тяжело проходит процесс своей реализации. Это наблюдается как в реальности, так и в публикациях. В частности, как отмечает Н. М. Антонова с соавторами, «в Российской Федерации отсутствует концептуальный документ, регламентирующий переход от сырьевой, линейной к «зелёной» (циклической) экономике. Отдельные задачи модернизации экономики содержатся в ряде стратегических документов, однако на сегодняшний день переход на новую циклическую модель экономики в масштабах страны пока не заявлен как приоритет» [4, с. 29].

В самом общем определении «зелёная экономика» – «это хозяйственная деятельность без нанесения ущерба окружающей среде» [5, с. 53]. Принципы «зелёной» трансформации производства подразумевают учёт экологической составляющей на всем производственном цикле (от проектирования до утилизации), в том числе ресурсо- и энергосбережение, минимизация воздействия на окружающую среду.



Ключевые положения перехода к «зелёному» развитию в России обозначены в распоряжении Правительства РФ от 14.07.2021 г. № 1912-р «Об утверждении целей и основных направлений устойчивого (в том числе «зелёного») развития Российской Федерации» [6] и включают сохранение, охрану или улучшение состояния окружающей среды; снижение выбросов и сбросов загрязняющих веществ и (или) предотвращение их влияния на окружающую среду; сокращение выбросов парниковых газов; энергосбережение и повышение эффективности использования ресурсов. Как полагают В. А. Ключева и Н. В. Салиенко, «к данным направлениям целесообразно добавить направление «Формирование зелёной культуры (в том числе и корпоративной) и зелёное образование», подразумевающее формирование осознанного отношения к окружающей среде и к обществу» [7, с. 26].

В целом эксперты считают, что помимо решения экологических проблем «зелёная» трансформация также имеет ряд положительных экономических эффектов (несмотря на значительные вложения средств, необходимых для внедрения «зелёных» технологий): снижение операционных расходов за счёт сокращения затрат на энергию и материалы путём внедрения энергоэффективных технологий; сокращение издержек на обращение с отходами за счёт уменьшения отходов и технологий рециклинга [7, с. 23]. Принципиально важным для «зелёного» роста является поддержка инвестиций, конкуренции и инноваций, которые будут способствовать устойчивому росту и давать перспективы новым экономическим возможностям [8, с. 22]. Ряд авторов выделяют экологический результат экономической деятельности как важный (и неотделимый) индикатор последней, в том числе рассматривая сохранение и восстановление природных объектов, устранение последствий производственной деятельности, оказывающих негативное влияние на окружающую среду [9, с. 349].

Механизм управленной экономики включает в том числе «...инновационную политику в зелёной экономике – поддержку и оказание помощи со стороны государства малым и средним предприятиям в осуществлении эконоинновационной деятельности в вопросах: консультаций, информации, финансов – предоставление налоговых и прочих льгот, кредитование, прямое финансирование эконоинновационных проектов и др.» [5, с. 55].

Для промышленности большое значение имеют стимулы внедрения зелёных технологий. Можно согласиться с тем, что «зелёный» рост также характеризуется появлением новых экономических возможностей, широким полем для инвестиций и разработки инновационных решений, в конечном счёте позволяющих осуществить структурные сдвиги в экономике [10],

но здесь одним из ключевых условий является массовость перехода промышленных предприятий на зелёные технологии. Внедрение «зелёной» экономики в отрасли промышленности приводит (или должно приводить) к их развитию на основе «зелёных» технологий. Этот процесс требует как рамочных макроэкономических условий, позволяющих предприятиям вести соответствующую «зелёную» политику в рамках инвестиционной деятельности, так и проработанных механизмов управления развитием «зелёной» экономики. Итогом такой модернизации очевидно является снижение техногенного воздействия на окружающую среду. Оценить глубину модернизации возможно среди прочего по используемым ППТ, имеющим экологическую направленность.

Методы исследования

Набор типов ППТ достаточно широк и объединён в несколько групп. К группе «зелёных» технологий относятся несколько типов [11]:

- 1) технологии снижения вредных выбросов в атмосферу (загрязнения воздуха);
- 2) технологии генерации тепловой и / или электроэнергии посредством альтернативных источников (энергии солнца, ветра, биотоплива или геотермальной энергии);
- 3) технологии повторного использования энергии производственных процессов (например, рекуперация отработанного тепла, кинетической энергии движущихся механизмов);
- 4) технологии очистки и / или снижения вредных выбросов в воду (загрязнения воды);
- 5) технологии переработки отходов;
- 6) функционально ориентированное управление электропитанием робототехнических систем и подсистем;
- 7) мониторинг, контроль и диагностика нагрузок робототехнических систем.

С нашей точки зрения, последние две подгруппы в перечне имеют мало отношения к собственно «зелёным» технологиям. В то же время в перечне ППТ присутствуют и другие технологии, имеющие явную экологическую направленность, например, биотехнологии (создание и производственное использование живых организмов, их систем или продуктов их жизнедеятельности для решения технологических и производственных задач, в том числе использование методов биоинформатики и геной инженерии) или формализации стратегии устойчивого развития / планирования экологического менеджмента.

Безусловно важным является динамический аспект подобного анализа, т. е. выявление тенденций в числе используемых «зелёных» ППТ, однако набранная статистика ограничена несколькими годами. В работе [12] нами был предложен коэффициент, фиксирующий отношение используемых ППТ к созданным в регионе,



однако число регионов-создателей «зелёных» технологий очень ограничено, поэтому расчёт подобного коэффициента в данном случае не имеет особого смысла.

Сравнительный метод применялся для оценки региональных различий в доле группы «зелёных» технологий в общем числе используемых ППТ. Были составлены соответствующие карты, позволившие более наглядно определить территориальные закономерности использования обсуждаемых технологий. Благодаря аналитическому методу удалось содержательно дополнить исследование на примере потребности в зелёных технологиях в конкретных регионах.

Результаты

При рассмотрении обеспеченности субъектов РФ ППТ в целом был использован коэффициент, представляющий собой отношение используемых ППТ в целом к общему количеству промышленных предприятий в регионе. Карта (рис. 1) показывает, что в целом использование ППТ в промышленности достаточно ограничено. Сравнительно большее число используемых ППТ приходится на уральские регионы и регионы европейской части страны.

Выделяя пространственные закономерности в интенсивности использования конкретно «зелёных» ППТ на основе карты (рис. 2), отметим повышенное значение последних в индустриальных регионах Урало-Поволжья, в старопромышленных регионах и в Восточной Сибири.

Минимальные значения свойственны регионам Западной Сибири и Дальнего Востока.

Интересно выделить регионы, отличающиеся сравнительно высокой долей ППТ «зелёной» подгруппы (рис. 3). Выделяется Забайкальский край, однако это происходит из-за того, что в обрабатывающей промышленности этого региона в принципе очень мало ППТ, поэтому даже незначительное число зелёных технологий (21) составляет здесь почти одну четверть всех ППТ.

Кроме того, структура зелёных технологий в регионе отличается несбалансированностью: например, отсутствуют технологии снижения вредных выбросов в атмосферу, хотя во многом из-за загрязнения воздуха Забайкальский край из года в год оказывается на последних местах в национальном экологическом рейтинге регионов РФ [14]. Также благодаря небольшой доле «зелёных» ППТ от их общего количества достигается заметная доля «зелёных» технологий в Республике Северная Осетия – Алания.

В другом выделяющемся регионе, Республике Карелия, в 2020 г. в рамках реализации международного проекта КА5041 «Природосберегающие решения в сфере туризма для снижения негативного влияния на окружающую среду» при тесном сотрудничестве с Институтом окружающей среды Финляндии были внедрены технологии регулирования потребления электро- и теплоэнергии. В учебно-оздоровительном центре «Урозера» и гостиничном комплексе «Сегежа» были установлены саморегулируемые греющие электрокабели, которые сами включаются при похолодании и выключаются, когда обогрев

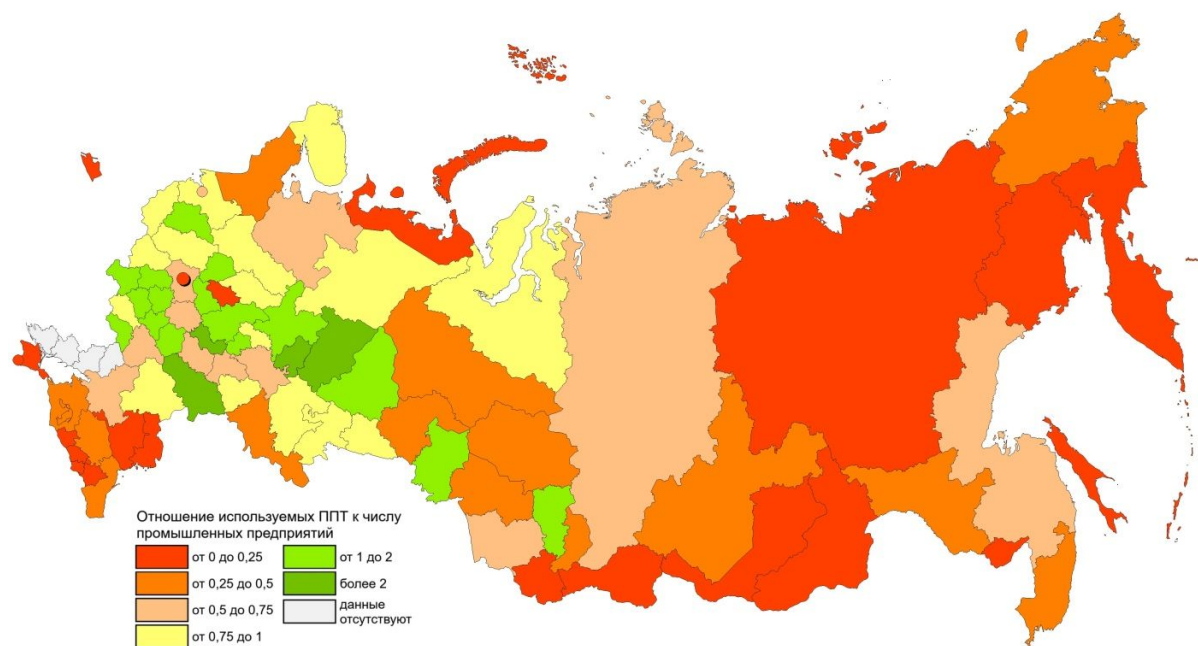


Рис. 1. Отношение используемых ППТ к числу промышленных предприятий по регионам РФ в 2023 г. (сост. по: [13]) (цвет онлайн)

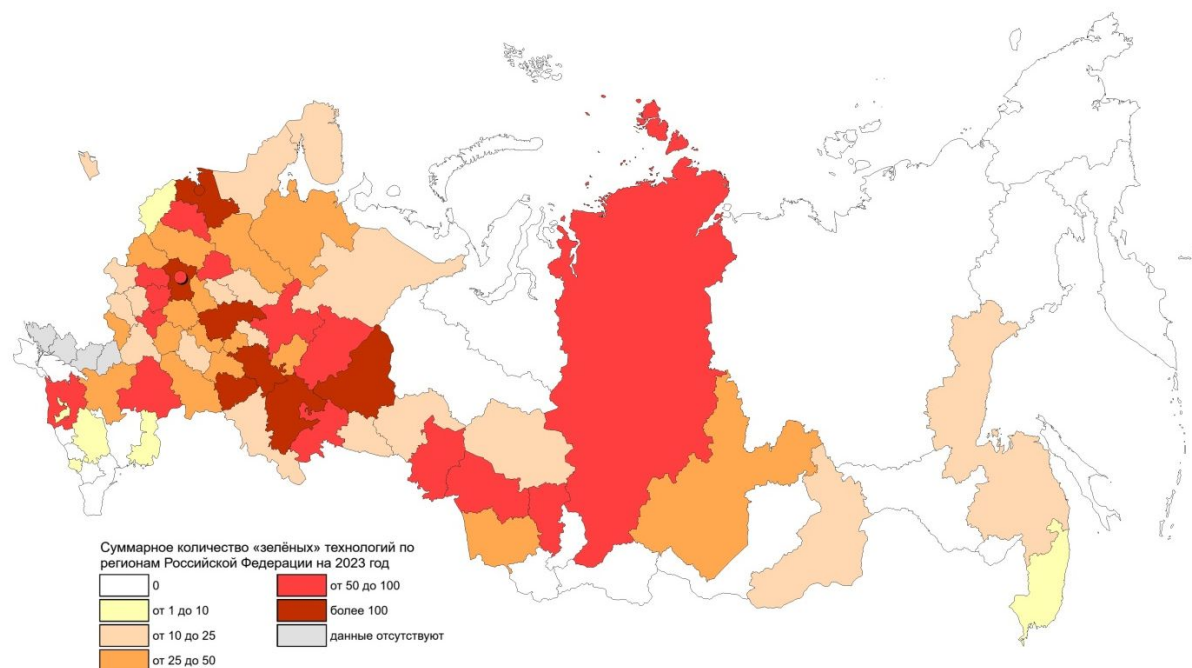


Рис. 2. Общее количество «зелёных» технологий по регионам РФ в 2023 г. (сост. по: [13]) (цвет онлайн)

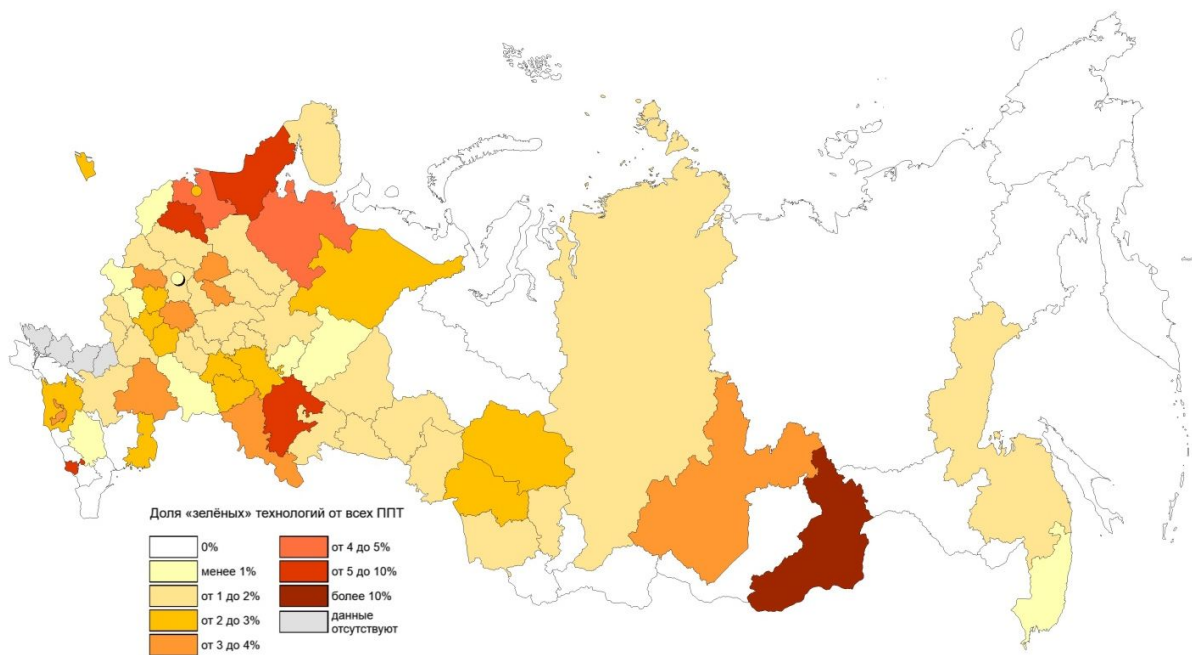


Рис. 3. Доля «зелёных» технологий в сумме ППТ по региону, 2023 г. (сост. по: [13]) (цвет онлайн)

не требуется. Результатом стало снижение затрат на электроэнергию на 600–800 тыс. руб. в год [15].

Относительно высокую долю «зелёных» технологий, среди которых большая часть является технологиями снижения вредных выбросов в атмосферу, в Новгородской области и Республике Башкортостан можно объяснить концентрацией химического производства («Акрон»,

«Башнефть», «Газпром нефтехим Салават», БСК, «Синтез-Каучук», СНХЗ) как серьёзного источника воздействия на окружающую среду в этих двух регионах.

Наибольшее число «зелёных» ППТ представлено в Башкортостане, при этом они составляют достаточно большую долю от общего числа ППТ. Более 200 ППТ рассматриваемого блока используется также в Московской области, бо-

лее 100 – в г. Санкт-Петербург, Ленинградской, Свердловской, Самарской и Нижегородской областях, Республике Татарстан.

Немаловажно отметить, что отдельные типы ППТ экологической направленности представлены только в весьма ограниченном числе российских регионов. Так, биотехнологии (не относящиеся к блоку «зелёных технологий») представлены в Ивановской, Владимирской, Нижегородской (передовики по использованию), Свердловской, Белгородской областях, республиках Башкортостан, Татарстан, Краснодарском крае и г. Москва.

Отдельно были проанализированы такие подгруппы «зелёных» ППТ, как технологии снижения вредных выбросов в атмосферу (загрязнения воздуха) (рис. 4) и технологии снижения вредных выбросов в воду (загрязнения воды) (рис. 5).



Рис. 4. Регионы-лидеры по использованию технологий снижения вредных выбросов в атмосферу (загрязнения воздуха), 2023 г. (сост. по: [13])

В приведённых диаграммах заметно повышенное присутствие в лидерах самых населённых регионов, в том числе трёх приволжских – Нижегородской и Самарской областей и Республики Татарстан. Говоря о последних, следует отметить, что нагрузка на водные ресурсы Волги, в бассейне которой сосредоточено около 45% промышленных предприятий России, в 8 раз

выше, чем в среднем по стране, а объём сбрасываемых в реку сточных вод, с которыми в Волгу ежегодно попадает более 2.5 млн т загрязняющих веществ, составляет 38% от общероссийского [16]. С целью улучшения экологической ситуации в акватории Волги по всей её протяжённости и снижения доли отводимых в реку загрязнённых сточных вод (в том числе промышленных) с декабря 2018 по конец 2024 г. реализуется федеральный проект «Оздоровление Волги». Для достижения этой цели были запланированы модернизация и строительство новых очистных сооружений (180 объектов) на общую сумму 190.68 млрд руб. [16].

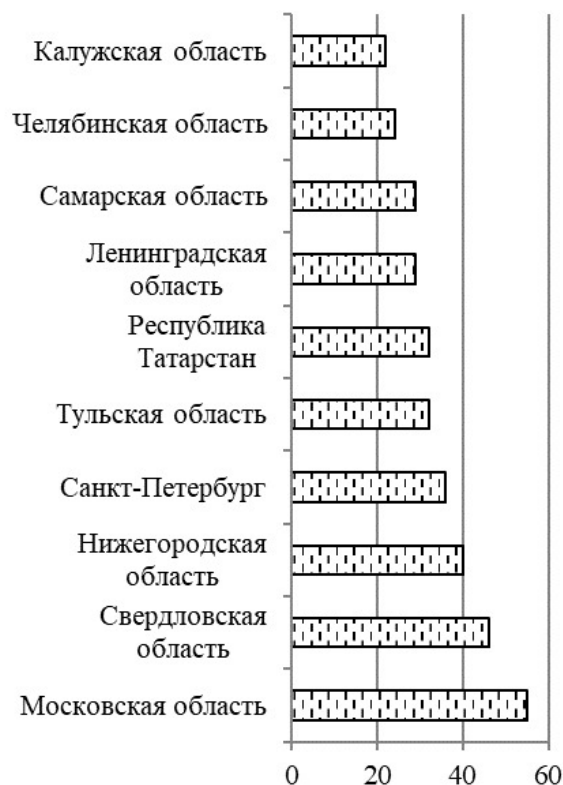


Рис. 5. Регионы-лидеры по использованию технологий очистки и / или снижения вредных выбросов в воду (загрязнения воды), 2023 г. (сост. по: [13])

Уже сейчас можно сделать некоторые выводы о выполнении проекта. Главными проблемами являются несоблюдение экологической очистки, значительное отставание от сроков строительства (более чем на 300 дней), установка небезопасных в эксплуатации и обслуживании объектов, неэффективное использование дорогостоящего оборудования, нехватка квалифицированных специалистов и нецелевое использование бюджетных средств. Известны случаи искажения информации, как, например, в Чувашской Республике, где к очистным сооружениям причислили ливневые канализации. Необходимы



системные шаги по изменению ситуации, заключающиеся в анализе создаваемой инфраструктуры, оценке работоспособности технологий, определении источников для завершения работ и усилении контроля со стороны профильных министерств.

Дальнейшее создание и развитие зелёных технологий остаётся актуальной задачей для поволжских регионов и, в частности, для Саратовской области, которая в плане снижения вредных выбросов и сбросов заметно уступает другим регионам Верхнего и Среднего Поволжья и имеет ряд нерешённых проблем: загрязнение р. Волги и близлежащих рек, эрозия почв, низкий уровень утилизации коммунальных отходов.

На некоторых промышленных предприятиях Саратовской области технологии замкнутого цикла уже используются. Так, например, балаковский филиал «Апатит», производящий удобрения, реализует технологии вторичного использования сточных вод [17]. На базе Балаковского металлургического завода сейчас создаётся металлургический кластер с новым направлением по производству оксида цинка, которое станет первым «зелёным» проектом в России по переработке цинкосодержащих отходов. Точкой роста зелёных технологий может стать индустриальный парк в черте Саратова, работа над созданием которого уже началась. В рамках экспертных и стратегических сессий «Переход к экономике замкнутого цикла: опыт, проблемы и перспективы Саратовской области» и «Зелёная экономика Саратовской области: настоящее – будущее» в 2023–2024 гг. заявлялось о планах открыть первый в области ветропарк и крупнейшую в регионе солнечную электростанцию на 72 мегаватта [17]. При оптимистическом сценарии развития Саратовская область имеет потенциал, чтобы стать одним из лидеров по формированию общероссийских трендов развития «зелёной» экономики.

Обсуждение

Сложно не согласиться с утверждением о том, что «необходима поддержка модернизации экономики на пути реализации политики так называемого «двойного выигрыша» (*win-win policy*), связанной с обеспечением как экономической эффективности, так и достижением экологических эффектов – сокращение вредных выбросов, обеспечение неистощительного использования природных ресурсов, развитие малоотходного производства» [8, с. 28]. В то же время достижение описываемой ситуации обоюдно выигрыша имеет ряд ограничений в текущих условиях. Отсутствие применяемых «зелёных» ППТ в ряде российских регионов подтверждает это.

Инновационный процесс в аспекте создания инноваций и их использования в пространственном отношении крайне несимметричен. Так,

только несколько регионов создали в 2023 г. ППТ «зелёной» направленности (таблица).

Авторы осознают, что простое количественное описание представленности в регионах «зелёных» технологий не показывает всей картины; крайне желательным было бы определение критерия достаточности (насыщения) промышленного сектора «зелёными» технологиями. Другими словами: 37 используемых «зелёных» ППТ в Саратовской области это достаточное или крайне низкое значение показателя? Вопрос ожидает своей проработки и обоснования в виде подготовки перечня предельно допустимого числа «зелёных» ППТ и доли предприятий (или доли от объёма произведённой промышленной продукции), использующих данные технологии.

Число созданных ППТ в группе «зелёные» технологии по регионам РФ в 2023 г.

Субъект РФ	Число созданных технологий
Московская область	7
Москва	27
Вологодская область	5
Санкт-Петербург	14
Республика Мордовия	5
Республика Татарстан	7
Пермский край	7
Свердловская область	8

Сост. по: [13].

Нельзя не отметить, что большинство ППТ имеет отношение к цифровизации и развитию робототехники. В перечне не представлены так называемые природоподобные технологии, вошедший в дискурс несколько лет назад [18]. Таким образом, в отношении создания новой индустрии Россия по-прежнему движется в фарватере общемировых тенденций, не претендуя на создание своего сценария зелёного инновационного развития, который отчасти может быть реализован на базе таких (природоподобных) технологий.

Выводы

Процесс реиндустриализации страны может и должен опираться на принципы «зелёного» (безотходного или циркулярного) производства; именно в фазе подъёма промышленности наиболее подходящие условия для инвестиций в «зелёные» технологии. Безусловно, будут наблюдаться существенные региональные различия в общем количестве создаваемых и внедряемых «зелёных» технологий в силу ряда факторов (прежде всего экономико-географического потенциала), однако доля зелёных ППТ должна расти в каждом регионе.

Внедрение «зелёных» технологий в промышленность – только одна из составляющих



«зелёной» экономики, однако она является ключевой составляющей, так или иначе влияющей на всю экологическую повестку общества.

Установленные нами территориальные особенности распространения «зелёных» технологий оказались, с одной стороны, ожидаемыми, поскольку традиционно слабо развитые (в силу своего крайнего положения) в отраслях обрабатывающей промышленности регионы показали самые слабые результаты; с другой стороны, были выявлены регионы, значительно превосходящие прочие по количеству внедрения «зелёных» ППТ. Опыт последних нужно изучать и переносить на соседние регионы.

Рассмотренные экологоориентированные технологии не просто отдают дань зелёной повестке, они являются важным индикатором готовности промышленности страны к развитию на основе последнего технологического уклада, где «зелёные» технологии задают новый уровень эффективности производства уже не в чисто экономическом, но и в более широком, общественно-природном контексте.

Библиографический список

1. Поподько Г. И. Влияние реиндустриализации на приоритеты инклюзивного развития ресурсного региона // Известия Байкальского государственного университета. 2023. Т. 33, № 3. С. 491–499. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2023.33\(3\).491-499](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2023.33(3).491-499), EDN: PVOKCK
2. Передовые производственные технологии URL: [https://14.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Понятия%20и%20определения%20\(Производственные%20технологии\).pdf](https://14.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Понятия%20и%20определения%20(Производственные%20технологии).pdf) (дата обращения: 17.04.2024).
3. Указ Президента Российской Федерации от 13.05.2017 г. № 208 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41921> (дата обращения: 17.04.2024).
4. Антонова Н. М., Круглова Э. В., Ананьева О. В. Экологизация экономики: практические аспекты перехода к «зелёной» (циклической) экономике на региональном уровне // Вестник Екатеринбургского института. 2020. № 1 (49). С. 29–34. EDN: ОАОНУГ
5. Володько О. М. Технологии управления развитием зелёной экономики // Новости науки и технологий. 2021. № 3 (58). С. 53–62. EDN: RWWSNR
6. Об утверждении целей и основных направлений устойчивого (в том числе зелёного) развития Российской Федерации: распоряжение Правительства Российской Федерации от 14 июля 2021 г. № 1912-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/sMdcuCaAX4O5j3Vy3b1GQwCKfa9lszW6.pdf> (дата обращения: 17.04.2024).
7. Ключева В. А., Салиенко Н. В. Актуальные тенденции зелёной трансформации в России и в мире // Социальное предпринимательство и корпоративная социальная ответственность. 2024. Т. 5, № 1. С. 21–36. <https://doi.org/10.18334/social.5.1.120703>, EDN: VKURKN
8. Зелёная экономика и цели устойчивого развития для России: коллективная монография / под науч. ред. С. Н. Бобылёва, П. А. Кирюшина, О. В. Кудрявцевой. М. : Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2019. 284 с. EDN: UJDZTG
9. Борисов В. Н., Почукаева О. В., Балагурова Е. А., Орлова Т. Г., Почукаев К. Г. Развитие экономики России в аспекте зелёного роста на примере промышленно развитых регионов // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2020. № 18. С. 348–364. <https://doi.org/10.47711/2076-318-2020-348-364>, EDN: KXRRBP
10. Терешина М. В., Дегтярева И. Н. «Зелёный рост» и структурные сдвиги в региональной экономике: попытка теоретико-методологического анализа // Теория и практика общественного развития. 2012. № 5. С. 246–248. EDN: PFJLIL
11. Приложение. Группы передовых производственных технологий. URL: https://sudact.ru/law/prikaz-rosstata-ot-29072022-n-538-ob/prilozhenie-n-2/prilozhenie_1/ (дата обращения: 17.04.2024).
12. Преображенский Ю. В. Инновационная динамика и структурные сдвиги в обрабатывающей промышленности субъектов РФ Волго-Уральского макрорегиона // Мир экономики и управления. 2021. Т. 21, № 2. С. 103–118. <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2021-21-2-103-118>, EDN: UCYLCK
13. Число используемых передовых производственных технологий с 2017 г. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58662> (дата обращения: 17.04.2024).
14. Национальный экологический рейтинг. URL: <https://greenpatrol.ru/stranica-dlya-obshchego-reytinga> (дата обращения: 17.04.2024).
15. Зелёные технологии в сфере туризма для снижения негативного воздействия на окружающую среду КА5041. URL: <https://ticrk.ru/mezhdunarodnye-proekt-y-enpi/zelenye-tehnologii-v-sfere-turizma-dlya-snizheniya-negativnogo-vozdeystviya-na-okruzhayushchuyu-sre/> (дата обращения: 17.04.2024).
16. Оздоровление Волги. URL: <https://ecologyofrussia.ru/proekt/ozdorovlenie-volgi/> (дата обращения: 17.04.2024).
17. В Саратовской области начнут работать «зелёные производства». URL: <https://www.admbal.ru/news/v-saratovskoy-oblasti-nachnut-rabotat-zelenye-proizvodstva/> (дата обращения: 17.04.2024).
18. Преображенский Ю. В., Молочко А. В. Природоподобные технологии в экономическом и этнокультурном развитии республики Тыва // Вестник Тверского государственного университета. Серия : География и геоэкология. 2022. № 1 (37). С. 47–57. <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2022-1-47-57>, EDN: XVNXNC

Поступила в редакцию 15.04.2024; одобрена после рецензирования 15.05.2024; принята к публикации 22.05.2024; опубликована 29.11.2024

The article was submitted 15.04.2024; approved after reviewing 15.05.2024; accepted for publication 22.05.2024; published 29.11.2024



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 230–242

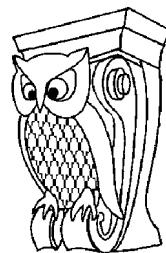
Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 230–242

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-230-242>, EDN: JGPXDC

Научная статья

УДК 556.535.8



Малые водотоки и водоемы как индикаторы экологических проблем в агроландшафтах (на примере Белгородской области)

М. В. Раевская[✉], А. Г. Корнилов

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

Раевская Мария Викторовна, аспирант кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле, karpuhinamv@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-7454-3315>

Корнилов Андрей Геннадьевич, профессор, заведующий кафедрой географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле, доктор географических наук, kornilov@bsu.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9189-8965>

Аннотация. Цель исследования заключалась в изучении малых водных объектов как индикаторов экологических проблем в агроландшафтах Белгородской области на примере четырех сельских территорий. В ходе выполнения исследования выделены и ранжированы группы антропогенных объектов, оказывающих влияние на состояние малых водотоков. Анализ корреляции содержания различных форм биогенных элементов (N, P) в верховьях и средней части водотоков позволяет установить как вклад в экологическую ситуацию типичных для агроландшафтов проблем, так и роль прилегающих городских территорий. Выявлены сельские поселения, водные объекты которых в большей/меньшей степени подвержены нитратному или фосфатному загрязнению, указаны возможные причины. Получен материал для дальнейшего совершенствования индикаторного подхода в прикладных геоэкологических исследованиях.

Ключевые слова: малые водотоки, гидрохимические показатели, агроландшафты, биогенные элементы (N, P), сельские территории

Для цитирования: Раевская М. В., Корнилов А. Г. Малые водотоки и водоемы как индикаторы экологических проблем в агроландшафтах (на примере Белгородской области) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 230–242. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-230-242>, EDN: JGPXDC

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Small streams and water reservoirs as indicators of environmental problems in agricultural landscapes (on the example of the Belgorod region)

M. V. Raevskaya[✉], A. G. Kornilov

Belgorod State University, 85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia

Maria V. Raevskaya, karpuhinamv@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-7454-3315>

Andrey G. Kornilov, kornilov@bsu.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9189-8965>

Abstract. The main object of the article is to show indicator functions of small water bodies (streams, ponds) for 4 rural areas in agricultural landscapes (Belgorod region). In the course of the study the groups of anthropogenic objects with their special impacts are identified and ranked. The correlation between concentrations of chemical forms of biogenic elements (N, P) demonstrates the contribution of typical problems of agricultural landscapes in ecological situation (rural areas) as well as contribution of adjacent urban areas. The results have revealed that some rural areas are particularly susceptible to nitrate or phosphate pollution, possible reasons have been indicated. The approved research methods will be helpful for further improvement of the indicator approach.

Keywords: small streams, hydrochemical characteristics, agricultural landscapes, biogenic elements (N, P), rural areas

For citation: Raevskaya M. V., Kornilov A. G. Small streams and water reservoirs as indicators of environmental problems in agricultural landscapes (on the example of the Belgorod region). *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 230–242 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-230-242>, EDN: JGPXDC

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Состояние гидрографической сети со всем разнообразием элементов в конкретных физико-географических и социально-экономических

условиях – важный показатель экологической ситуации территории.

Можно выделить три направления мониторинговых исследований в агроландшафтах



с учетом выбора особенностей нормирования качества поверхностных вод. Первый подход (агроцентрический) подразумевает выявление экологических проблем, которые влияют на продуктивность агроландшафтов с точки зрения их утилитарных функций. Второй подход (антропоцентрический) связан с ранжированием негативных процессов в агроландшафтах, которые могут сказаться на качестве жизни населения [1]. Следующий подход фокусирует внимание на устойчивости природно-ландшафтной подсистемы и способности ее к самовосстановлению с учетом уровней экологических нагрузок (экоцентрический подход) [2]. Именно в логике последнего подхода малые водные объекты рассматриваются нами как индикаторы состояния окружающей среды.

В зарубежных и отечественных источниках, посвященных экологическим проблемам сельских территорий, чаще всего обсуждается роль сельскохозяйственной нагрузки на водотоки в агроландшафтах (внесение удобрений, пестицидов, увеличение площади пашни) [3].

Однако состояние природных водных объектов в агроландшафтах в современных условиях требует особого внимания в связи со следующими тенденциями: 1) развитие сельскохозяйственной отрасли («масштабирование» перерабатывающих комплексов, корреляция с расширением селитебных пространств и/или транспортной инфраструктуры) [4]; 2) увеличение экологической нагрузки на верховья рек и, в частности, малые водотоки – ключевые элементы зеленого каркаса в условиях изменения климата лесостепных зон; 3) смещение акцентов от антропоцентрического к экологическому нормированию, причем агроэколандшафты позволяют изучать динамику геоэкологической ситуации с учетом как природных, так и антропогенных факторов.

Изучение малых водотоков и водоемов как индикаторов экологических проблем в агроландшафтах Белгородской области, являлось целью исследования, в том числе на основе перечисленных тенденций.

Материал и методика исследования

Малые водотоки, водоемы изучались в Белгородском районе (Ериковское сельское поселение), Губкинском городском округе (Троицкая, Осколецкая сельские территориальные администрации и г. Губкин), Прохоровском районе (Холоднянское сельское поселение) Белгородской области. Координаты точек отбора проб определялись с помощью мобильного приложения CarryMap. Картографическая информация подготовлена с использованием программного обеспечения Google Earth Pro 7.3.6.9750, границы сельских поселений указаны на основании данных поисково-информационной картографической службы Яндекс Карты.

В период с 20 мая по 1 сентября 2024 г. было исследовано 73 пробы из малых водотоков, прудов, родников и колодцев с использованием стандартных методов отбора, консервирования, химического и физико-химического анализа гидрохимических показателей природных вод (потенциометрические и фотоколориметрические методы) на основании действующих в Российской Федерации ГОСТов. Корреляция между рядом показателей определялась графически в программе STATISTICA 10.0.

Используемые в статье сокращения: СП – сельское поселение, СТА – сельская территориальная администрация, ГО – городской округ, ПДКв и ПДКвр – предельно допустимая концентрация вещества для водоемов хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения.

Результаты и их обсуждение

Белгородскую область можно отнести к маловодным регионам Российской Федерации (около 1% площади занимает гидрографическая сеть с ее характерными элементами). Из четырех рассматриваемых в статье территорий наименее водной является Троицкая СТА по причине отсутствия постоянных водотоков. В Ериковском СП основной водоток – р. Ерик (речная система «Ерик – Липовый Донец – Северский Донец – Дон»). Для Осколецкой СТА ключевым водотоком является р. Осколец (речная система «Оскол – Северский Донец – Дон»). По территории Холоднянского СП проходит водораздел между р. Донецкая Сеймица (речная система «Сейм – Десна – Днепр») и р. Корень (речная система «Нежеголь – Северский Донец – Дон»); водные объекты данной территории представлены локальными ручьями и прудами [5].

В табл. 1 приведены объекты и функциональные зоны их расположения, к которым приурочены мониторинговые точки отбора проб в Ериковском СП Белгородского района. Указаны возможные антропогенные источники поступления биогенных элементов.

С использованием полевых и картографических методов исследования выделены следующие функциональные зоны: 1) селитебная зона (собственно населенные пункты с транспортной инфраструктурой); 2) зона сельскохозяйственных угодий (преимущественно пашня, в некоторых случаях элементы приусадебных хозяйств); 3) зеленая зона (урочища различных рангов, в том числе лесопарки, природные луга и т. д.).

Источники загрязнения биогенными элементами разделены на группы в зависимости от возможной площади территории и, соответственно, доли гидрографической сети, подверженных их негативному воздействию: 1) группа I – ярко выраженное влияние на водные объекты сельского поселения (или нескольких поселений в составе более крупной административной



Таблица 1

Объекты и функциональные зоны их расположения с указанием возможных источников загрязнения (Ериковское СП Белгородского района)

№ п/п	Объект и функциональная зона его расположения	Источник загрязнения (I, II, III группы)	Дополнительная информация
Источник-доминанта – очистные сооружения, селитебные стоки г. Строитель (I)			
1	Родник в урочище Маршалкова, зеленая зона	–	Обустроенный, малodeбитный
2	Створ на р. Ерик в урочище Маршалково, зеленая зона	Детский лагерь «Прометей», вольеры с животными (III)	Разветвленная сеть ручьев (исток р. Ерик)
3	Створ ниже хут. Гремучий, зона сельскохозяйственных угодий	Очистные сооружения (I). Животноводческая ферма, с/х склады (II)	Наблюдается интенсивное цветение воды
4	Створ ниже дамбы, зона сельскохозяйственных угодий	Стоянка автотранспорта в рекреационной зоне (III)	Участок с самым быстрым течением
5	Створ на р. Ерик в начале с. Ерик, селитебная зона	Трасса, мост (III)	Участок расчищен, меловое дно
6	Колодец по ул. Ветеранов, селитебная зона	Сельское кладбище, 150 ± 20 м (III)	Обустроенный, неглубокий (2-3 м)
7	Створ на р. Ерик в конце с. Ерик, селитебная зона	Приусадебные участки (огороды), 30 ± 5 м (III)	Обильная водная растительность

единицы); 2) группа II – ошутимое локальное влияние; 3) группа III – возможное локальное влияние с учетом дополнительных факторов (например, погодные условия и ряд других).

Из данных, приведенных в табл. 1, следует, что верховья р. Ерик в Ериковском СП испыты-

вают влияние селитебного стока г. Строитель (группа I). Локальные фермы, диффузный сельскохозяйственный сток с полей, селитебный сток с. Ерик (группы II и III) можно расценивать как типичные источники биогенного загрязнения агроландшафтов.

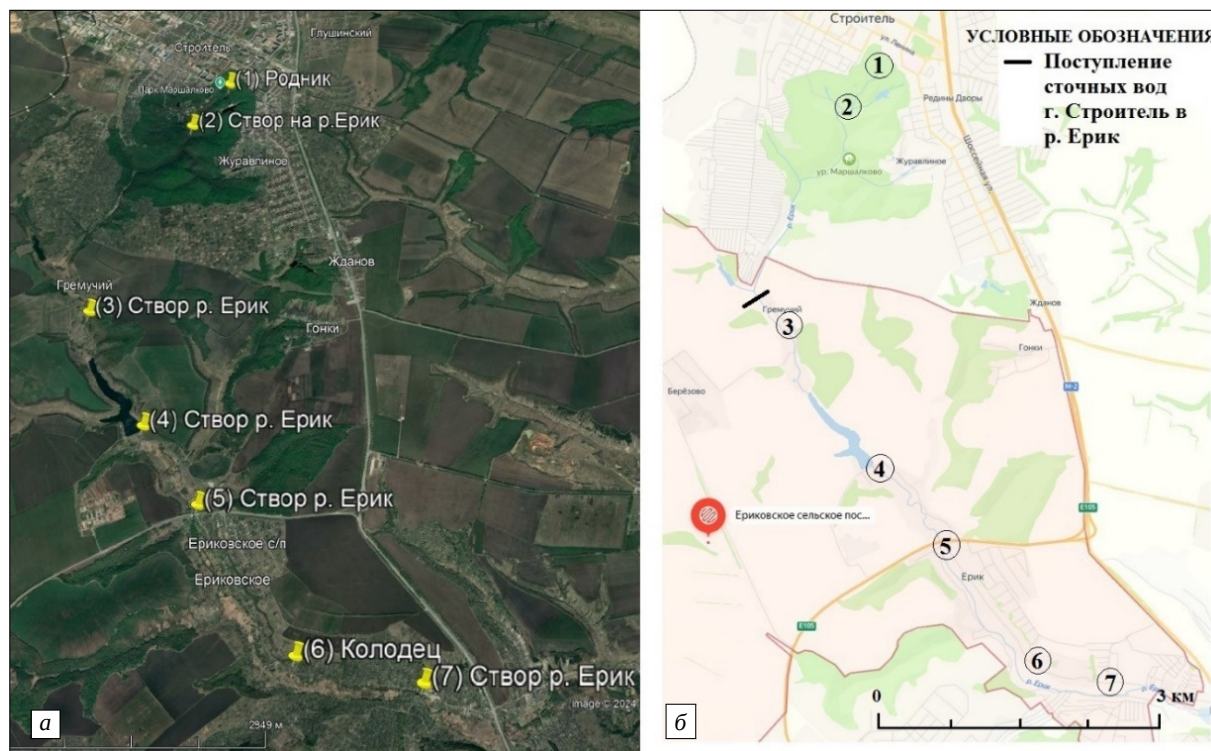


Рис. 1. Космоснимок (а) и картосхема (б) исследуемой территории Ериковского СП Белгородского района (№ 1–7 – места отбора проб) (цвет онлайн)



Из семи мониторинговых точек отбора проб № 2–5 и 7 – створы на р. Ерик, № 1 – родник, который можно считать одним из истоков р. Ерик (входит в региональный перечень ООПТ), № 6 – колодец. На рис. 1 представлены космоснимок и картосхема с указанием данных точек.

В табл. 2 приведены данные по гидрохимическим показателям проб в Ериковском СП. Пробы, отобранные в мае 2024 г., исследовались с помощью тест-комплектов «Крисмас+» на содержание NO_3^- (диапазон методики 0–90 мг/л) и PO_4^{3-} (диапазон методики 0–7,0 мг/л).

На основании данных, приведенных табл. 2, можно сделать вывод, согласно которому из семи точек отбора проб для двух наблюдается превышение ПДКв(NO_3^-) от 1,1 ПДКв до 1,4 ПДКв, причем одна из указанных точек располагается не на территории Ериковского поселения (створ в верховьях р. Ерик, урочище Маршалково, г. Строитель). Результаты, представленные в виде ПДКвр, свидетельствуют о следующем: 1) для 2 точек превышение ПДКвр(NO_3^-) от 1,6 ПДКвр до 2,3 ПДКвр; 2) для 3 точек превышение ПДКвр(NO_2^-) от 1,1 ПДКвр и выше 25 ПДКвр; 3) для 2 точек превышение

Таблица 2

Данные по гидрохимическим показателям проб в Ериковском СП

№ п/п	Дата отбора пробы	Показатель							
		Цвет, градусы	Запах, баллы	Минерализация, мг/л	pH	NO_3^- , мг/л	NO_2^- , мг/л	NH_4^+ , мг/л	PO_4^{3-} , мг/л
	ПДКв	20–30	2–3	1000	6–9	45	3,3	2,6	3,5
	ПДКвр	–	–	–	7–8	40	0,08	0,5	0,2
№ 1. Родник в урочище Маршалкова									
1	26.05.2024	–	–	–	–	5–15	–	–	0–0,2
	27.07.2024	10	0	344	6,93	14,8	< 0,02	< 0,20	0,28
	31.08.2024	10	0	354	6,95	15,2	< 0,02	< 0,20	0,20
№ 2. Створ на р. Ерик в урочище Маршалково									
2	26.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	1	289	7,20	49,4	0,04	0,31	0,18
	31.08.2024	30	2	278	7,28	62,5	0,16	1,05	< 0,10
№ 3. Створ на р. Ерик ниже хут. Гремучий									
3	26.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0,2–0,5
	27.07.2024	20	3	622	7,39	33,7	0,11	0,55	0,24
	31.08.2024	30	2	603	7,30	48,2	0,18	1,10	0,27
№ 4. Створ на р. Ерик ниже дамбы									
4	26.05.2024	–	–	–	–	5–15	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	2	542	7,70	11,8	0,07	0,38	< 0,10
	31.08.2024	30	2	512	7,79	12,2	0,05	< 0,20	< 0,10
№ 5. Створ на р. Ерик в начале с. Ерик									
5	26.05.2024					5–15			0–0,2
	27.07.2024	20	2	522	7,21	9,2	< 0,02	< 0,20	< 0,10
	31.08.2024	20	2	518	7,22	8,7	< 0,02	0,25	< 0,10
№ 6. Колодец по ул. Ветеранов									
6	26.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0,2–0,5
	27.07.2024	20	2	512	7,12	8,2	0,13	0,22	0,45
	31.08.2024	20	1	432	7,04	4,8	0,07	< 0,2	0,33
№ 7. Створ на р. Ерик в конце с. Ерик									
7	26.05.2024	–	–	–	–	0–5	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	3	521	7,18	6,3	< 0,02	< 0,2	0,20
	31.08.2024	30	3	499	6,92	5,8	< 0,02	< 0,2	0,13



ПДКвр(NH_4^+) от 1,1 ПДКвр до 1,2 ПДКвр; 4) для 3 точек превышение ПДКвр(PO_4^{3-}) от 1,2 ПДКвр до 2,3 ПДКвр. Нитратному и фосфатному загрязнению подвержены верховья р. Ерик, устойчивое фосфатное загрязнение наблюдается для колодца на территории с. Ерик. Водные объекты в селитебной зоне собственно Ериковского СП (№ 4–5, 7) испытывают меньшую нагрузку по поступлению биогенных элементов (N, P), нежели зоны сельскохозяйственных угодий и истока реки с прилегающими территориями г. Строитель Яковлевского ГО. Для водных объектов Ериковского СП Белгородского района и верховий р. Ерик (14 проб) корреляция между концентрациями NO_3^- и PO_4^{3-} составила $r = -0,035$ ($p = 0,5965$), между NO_3^- и NO_2^- $r = 0,66$ ($p = 0,0024$), между NO_3^- и NH_4^+ $r = 0,84$ ($p = 0,0001$), между NO_2^- и NH_4^+ $r = 0,85$ ($p = 0,0001$).

В табл. 3 представлены объекты и функциональные зоны их расположения, к которым приурочены точки отбора проб в Холоднянском СП Прохоровского района. Приведены потенциальные источники поступления биогенных элементов.

Как видно из табл. 3, свинокомплекс «БелгоГен» для указанной территории является источником-доминантой (группа I) загрязнения. Согласно общепринятой технологии утилизации отходов животноводческих комплексов органический материал вывозится на прилегающие пашни и подвергается запарке, что сказывается на локальном круговороте биогенных элементов.

Таким образом, влияние свинокомплексов проявляется косвенным путем.

При анализе локальной геоэкологической ситуации в с. Холодное следует учитывать приусадебные хозяйства разведения водоплавающих птиц (группа II), так как, соединяясь с малыми водотоками, искусственные пруды могут являться устойчивыми источниками биогенных элементов для сети малых водотоков. На рис. 2 представлены космоснимок и картосхема с указанием мест отбора проб в Холоднянском СП.

Из 7 мониторинговых точек отбора проб в Холоднянском СП объекты № 1 и 6 – створы на малых водотоках (ручьи), № 3-4 и 7 – проточные пруды, № 2 и 5 – колодцы (согласно опросу местных жителей используются редко). На схеме видно, что свинокомплекс «БелгоГен» располагается между селами Андреевка и Холодное и окружен обширными участками пашни, что может способствовать локализации запашки органических отходов в сельском поселении.

В табл. 4 приведены данные по гидрохимическим показателям проб в Холоднянском СП.

Согласно данным, приведенным в табл. 4, в Холоднянском СП наблюдается превышение ПДКвр(NO_3^-) для 5 мониторинговых точек контроля из 7 (от 1,1 ПДКвр до 14,8 ПДКвр). В наибольшей степени нитратному загрязнению подвержены локальные пруды, малые водотоки и колодцы в черте населенного пункта. Превышение ПДКвр(NO_2^-) и ПДКвр(NH_4^+) отмечено для двух объектов, являющихся колодцами. Превышение ПДКвр(PO_4^{3-}) было выявлено для двух объектов в ходе оценочного тестирования.

Таблица 3

Объекты и функциональные зоны их расположения с указанием возможных источников загрязнения (Холоднянское СП Прохоровского района)

№ п/п	Объект и функциональная зона его расположения	Источник загрязнения (I, II, III группы)	Дополнительная информация
Источник-доминанта загрязнения – свинокомплекс «БелгоГен» (I)			
1	Водоток с. Андреевка (верховья Донецкой Сеймицы), селитебная зона	Зона вывоза мусора, 25 ± 5 (III)	Обильная древесная растительность
2	Колодец в с. Андреевка, селитебная зона	Приусадебные участки (огороды), 15 ± 5 м (III)	Обустроенный, неглубокий (4 м)
3	Пруд в с. Холодное, селитебная зона	Разведение водоплавающих птиц (II)	Обилие бытового мусора
4	Халанский пруд с. Холодное, селитебная зона	Разведение водоплавающих птиц (II)	Наблюдается цветение воды
5	Колодец в с. Холодное, селитебная зона	–	Обустроенный, глубокий (до 8 м)
6	Ручей (граница с. Холодное), зеленая зона	Диффузный сток с полей (II/III)	Обильная водная растительность
7	Пруд в с. Плющины, селитебная зона	–	–

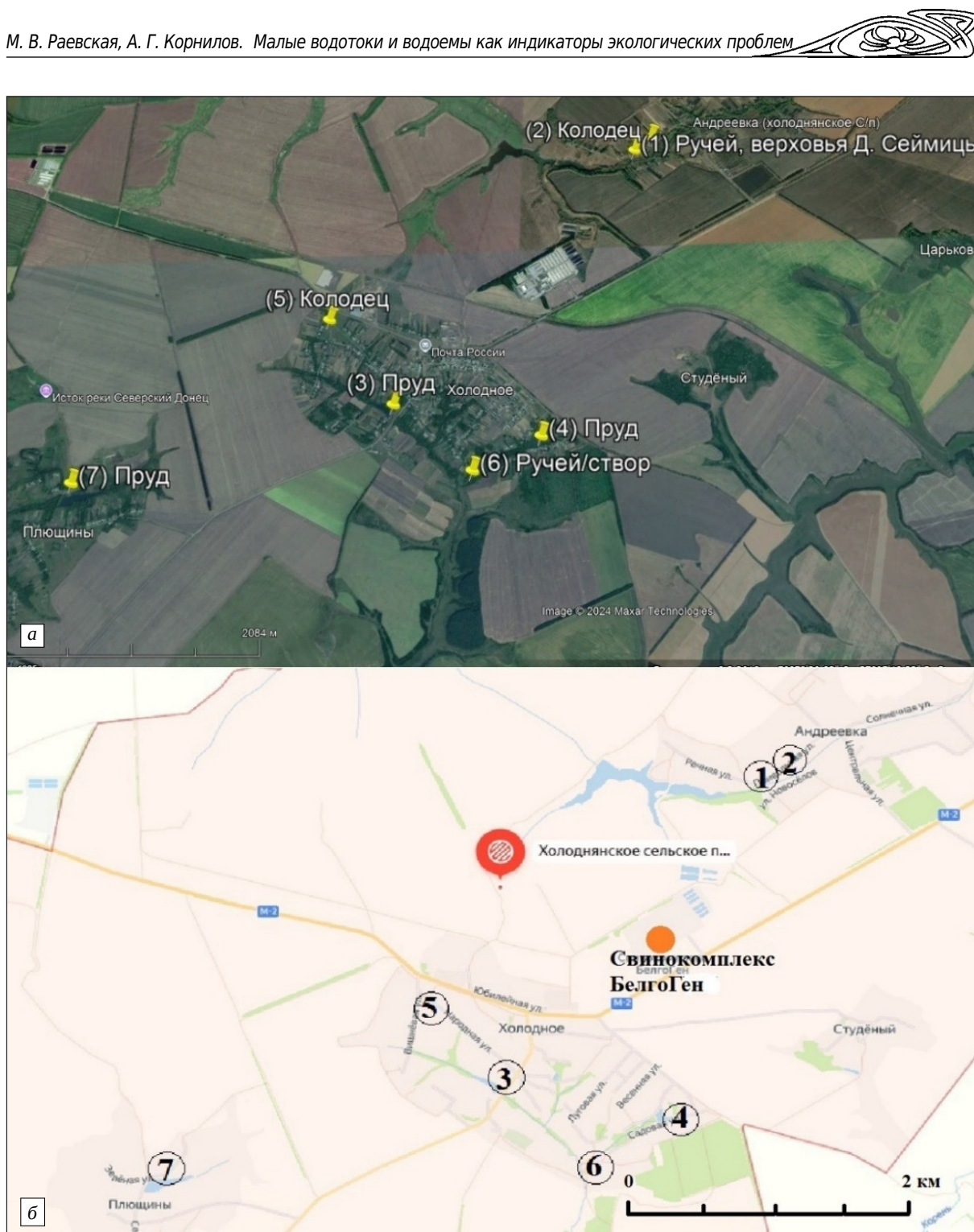


Рис. 2. Космоснимок (а) и картосхема (б) исследуемой территории Холоднянского СП Прохоровского района (№ 1–7 – места отбора проб) (цвет онлайн)

Анализ данных применительно к ПДКвр демонстрирует следующее: 1) для 5 точек превышение $\text{ПДКвр}(\text{NO}_3^-)$ от 1,3 ПДКвр до 16,7 ПДКвр; 2) для 6 точек превышение $\text{ПДКвр}(\text{NO}_2^-)$ от 1,1 ПДКвр и выше 25 ПДКвр; 3) для 4 точек превышение $\text{ПДКвр}(\text{NH}_4^+)$ от 1,1 ПДКвр до 8 ПДКвр; 4) для 2 точек превышение $\text{ПДКвр}(\text{PO}_4^{3-})$ от 1,1 ПДКвр до 2,5 ПДКвр.

Фосфатное загрязнение характерно для локальных прудов, являющихся проточными, и колодцев. Для малых водотоков $\text{ПДКвр}(\text{PO}_4^{3-})$ не превышает установленную норму, однако в мае 2024 г. на этапе выбора объектов в сельских поселениях тест-комплекты показали превышение $\text{ПДКвр}(\text{PO}_4^{3-})$ для малых водотоков примерно в 1,2–1,5 раза.



Таблица 4

Данные по гидрохимическим показателям проб в Холоднянском СП

№ п/п	Дата отбора пробы	Показатель							
		Цвет, градусы	Запах, баллы	Минерализация, мг/л	pH	NO ₃ ⁻ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л
	ПДКв	20–30	2–3	1000	6–9	45	3,3	2,6	3,5
	ПДКвр	–	–	–	7–8	40	0,08	0,5	0,2
№ 1. Водоток по ул. Речная в с. Андреевка									
1	27.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0,5
	28.07.2024	20	3	366	7,22	51,3	0,09	0,56	0,16
	31.08.2024	40	3	359	7,31	66,2	0,15	0,55	0,20
№ 2. Колодец в с. Андреевка									
2	27.05.2024	–	–	–	–	90	–	–	0,5
	28.07.2024	10	3	586	7,02	341	> 2,0	> 4,0	–
	31.08.2024	20	3	591	6,92	668	> 2,0	> 4,0	–
№ 3. Пруд в с. Холодное (ручей за дамбой, выход из пруда)									
3	27.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0–0,2
	28.07.2024	30	2	621	7,08	43	0,05	1,28	< 0,10
	31.08.2024	40	3	633	7,19	79	0,09	1,65	0,15
№ 4. Халанский пруд в с. Холодное									
4	27.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0–0,2
	28.07.2024	30	4	682	7,33	83	0,14	0,93	0,25
	31.08.2024	50	4	733	7,30	87	0,17	0,80	0,22
№ 5. Колодец в с. Холодное									
5	27.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0–0,2
	28.07.2024	20	2	520	7,08	83,2	0,41	0,78	0,50
	31.08.2024	20	2	534	7,14	96,4	0,36	1,10	0,45
№ 6. Ручей Корень (граница с. Холодное)									
6	27.05.2024	–	–	–	–	15	–	–	0,5
	28.07.2024	20	2	382	7,09	28	0,06	0,45	< 0,10
	31.08.2024	40	3	374	7,25	36	0,09	0,40	0,14
№ 7. Пруд в с. Плющины									
7	27.05.2024	–	–	–	–	–	–	–	–
	28.07.2024	20	1	261	7,38	5,8	< 0,02	1,1	< 0,10
	31.08.2024	30	2	275	7,50	5,6	< 0,02	0,7	< 0,10

Для Холоднянского СП Прохоровского района (14 проб) корреляция между концентрациями NO₃⁻ и PO₄³⁻ составила $r = 0,82$ ($p = 0,0004$), между NO₃⁻ и NO₂⁻ $r = 0,76$ ($p = 0,0041$), между NO₃⁻ и NH₄⁺ $r = 0,31$ ($p = 0,0052$), между NO₂⁻ и NH₄⁺ $r = 0,28$ ($p = 0,0560$).

В табл. 5 рассматриваются объекты и функциональные зоны их расположения, с которыми связаны точки отбора проб в Губкинском ГО.

Так как Троицкая СТА является маловодной территорией (отсутствуют регулярные водотоки), то выбор водных объектов для исследования

был затруднен. Опрос населения показал, что на территории пос. Троицкий колодцев немного, они не используются по причине понижения уровня воды и наличия бесперебойного централизованного водоснабжения.

Потенциальными источниками-доминантами загрязнения (группа I) являются свинокомплекс и завод комбикормов, расположенные в границах пос. Троицкий. Как было указано для Холоднянского СП, влияние свинокомплекса проявляется косвенным образом. Для Осколецкой ТСА были выделены возможные источники поступления биогенных элементов, относящи-



Таблица 5

Объекты и функциональные зоны их расположения с указанием возможных источников загрязнения (Губкинский ГО)

№ п/п	Объект и функциональная зона его расположения	Источник загрязнения (I, II, III группы)	Дополнительная информация
Троицкая СТА Губкинского ГО			
Источники-доминанты загрязнения – свинокомплекс и завод комбикормов (I)			
1	Пруд ниже пос. Троицкий, зона сельскохозяйственных угодий	Диффузный сток с полей (II/III)	–
2	Временный водоток у пос. Казацкая Степь, зеленая зона	–	Водоток пересыхает летом
3	Пруд ниже пос. Казацкая Степь, сельскохозяйственные угодья	Диффузный сток с полей (II/III)	–
Осколецкая СТА Губкинского ГО			
1	Родник в с. Петровки (исток р. Осколец), селитебная зона	Локальная живот-новодческая ферма, с/х склады (II)	Обустроенный, среднедебитный,
2	Створ в 45 ± 5 м от родника, селитебная зона		Наблюдается цветение воды
3	Створ на р. Осколец (с. Осколец), селитебная зона	Локальная животноводческая ферма (II)	–
4	Створ на р. Осколец (с. Меловой Брод), зеленая зона	Диффузный сток с полей (II/III)	Влияние прилегающих сельскохозяйственных угодий
5	Створ на р. Осколец (с. Кандаурово), селитебная зона	Диффузный сток с полей (II/III)	
г. Губкин, источник-доминанта загрязнения – селитебный сток г. Губкин (I)			
6	Родник в г. Губкин, селитебная зона	Железнодорожное полотно, 30 ± 5 м (II)	Обустроенный, малodeбитный
7	Створ на р. Осколец (60 ± 5 м от родника № 6), селитебная зона	Район сброса вод ТЭЦ (II)	–
8	Родник в г. Губкин, селитебная зона	Оживленная трасса, 20 ± 5 м (III)	Малodeбитный
9	Створ на р. Осколец (50 ± 5 м от родника № 8), селитебная зона	–	Ведутся работы по расчистке русла

еся к группе II или III (локальные фермы, сельскохозяйственные склады, диффузный сток с полей). На рис. 3, 4 показаны точки отбора проб для водных объектов в Губкинском ГО.

В табл. 6, 7 приведены данные по гидрохимическим показателям проб в Губкинском ГО (Троицкая и Осколецкая СТА, г. Губкин).

По причине повышенной цветности воды фотоколориметрическими методами нельзя было определить концентрации NO_2^- , NH_4^+ и PO_4^{3-} в пробах прудов-отстойников Троицкой СТА.

Из табл. 6 следует, что для проб мониторинговых точек отбора № 1 и № 3 наблюдается несоответствие ПДКв по органолептическим показателям, минерализации. Превышение ПДКв(NO_3^-) изменяется в пределах от 1,1 ПДКв до 1,2 ПДКв.

Согласно данным, приведенным табл. 7, для двух мониторинговых точек наблюдается превышение ПДКв(NO_3^-) в пределах 1,8–1,9 раза. В августе 2024 г. для родника с. Петровка (№ 1), который считается истоком р. Осколец, превы-

шение ПДКв(PO_4^{3-}) составляло 1,9 раза, а для створа (№ 2) на расстоянии 60 ± 5 м от родника – 1,4 раза.

Анализ данных на створах р. Осколец (№ 2–5, 7, 9) применительно к ПДКвр демонстрирует следующее: 1) ПДКвр(NO_3^-), ПДКвр(NO_2^-) не превышают установленные нормативы; 2) только для одного створа (№ 7) в черте г. Губкин наблюдается превышение ПДКвр(NH_4^+) в 1,2 раза; 3) для шести точек превышение ПДКвр(PO_4^{3-}) изменяется от 1,1 ПДКвр до 1,9 ПДКвр.

Для водных объектов Осколецкой СТА и точек отбора проб в г. Губкин (18 проб) корреляция между концентрациями NO_3^- и PO_4^{3-} составила $r = 0,40$ ($p = 0,0108$), между NO_3^- и NO_2^- $r = 0,71$ ($p = 0,0022$), между NO_3^- и NH_4^+ $r = 0,28$ ($p = 0,3226$). Если рассматривать створы № 1–5 (10 проб) только в границах поселения, то корреляция между NO_3^- и PO_4^{3-} составила $r = 0,76$ ($p = 0,0202$).



Рис. 3. Космоснимок (а) и картосхема (б) исследуемой территории Троицкой СТА (№ 1–3 – места отбора проб) (цвет онлайн)

В силу гидрологических особенностей территорий только для Ериковского СП и Осколецкой СТА можно оценить динамику содержания нитратов и фосфатов в водотоках от их верховий вниз по течению (рис. 5).

Для р. Осколец по мере перемещения от истоков (створ № 2) вниз по течению к г. Губкин (створы № 7, 9) наблюдается устойчивое загрязнение фосфатами. Совместное превышение ПДКвр по PO_4^{3-} и NO_3^- наблюдается в черте

города, что объясняется влиянием селитебных стоков, причем створ № 7 располагается в зоне сброса вод ТЭЦ г. Губкин.

Для р. Ерик (см. рис. 5) по мере продвижения от истоков в урочище Маршалково в г. Строитель (створ № 2) вниз по течению к с. Ерик (створы № 5, 7) наблюдается снижение концентраций NO_3^- , что может говорить об интенсивном влиянии на верховья р. Ерик селитебных стоков г. Строитель.



Рис. 4. Космоснимок (а) и картосхема (б) исследуемой территории Осколецкой СТА и г. Губкина (№ 1–9 – места отбора проб) (цвет онлайн)

Таблица 6

Данные по гидрохимическим показателям проб в Троицкой СТА

№ п/п		Дата отбора пробы	Показатель						
			Цвет, градусы	Запах, баллы	Минерализация, мг/л	рН	NO ₃ ⁻ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л
	ПДКв	20–30	2–3	1000	6–9	45	3,3	2,6	3,5
	ПДКвр	–	–	–	7–8	40	0,08	0,5	0,2
№ 1. Пруд-отстойник (ниже пос. Троицкий)									
1	27.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0,5
	28.07.2024	Более 120	3	2530	7,50	56	–	–	–
	31.08.2024		4	2625	7,62	41	–	–	–
№ 2. Временный водоток у пос. Казацкая Степь									
2	В период 27.05.2024–31.08.2024 водоток представлял собой сухое русло								
№ 3. Пруд-отстойник (ниже пос. Казацкая Степь)									
3	27.05.2024	–	–	–	–	50	–	–	0,5–1
	28.07.2024	Более 120	4	2007	7,51	49	–	–	–
	31.08.2024		4	1920	7,44	38	–	–	–



Таблица 7

Данные по гидрохимическим показателям проб в Осколецкой СТА

№ п/п	Дата отбора пробы	Показатель							
		Цвет, градусы	Запах, баллы	Минерализация, мг/л	рН	NO ₃ ⁻ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л
	ПДКв	20–30	2–3	1000	6–9	45	3,3	2,6	3,5
	ПДКвр	–	–	–	7–8	40	0,08	0,5	0,2
№ 1. Родник в с. Петровки (исток р. Осколец)									
1	26.05.2024	–	–	–	–	15–30	–	–	0–0,2
	27.07.2024	0	0	388	6,88	42,8	0,04	0,33	0,14
	31.08.2024	10	0	397	6,90	81,3	0,06	0,40	0,38
№ 2. Створ на р. Осколец (45 ± 5 м от родника после заводи)									
2	26.05.2024	–	–	–	–	15–30	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	1	394	6,90	18,9	< 0,02	0,28	0,18
	31.08.2024	20	2	383	7,03	31,2	0,06	0,35	0,28
№ 3. Створ на р. Осколец (с. Осколец)									
3	26.05.2024	–	–	–	–	0–15	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	1	371	7,10	12,3	< 0,02	0,21	0,16
	31.08.2024	30	1	398	7,05	15,8	0,03	0,27	0,25
№ 4. Створ на р. Осколец (с. Меловой Брод)									
4	26.05.2024	–	–	–	–	0–15	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	1	365	7,18	7,1	< 0,02	0,19	0,18
	31.08.2024	30	2	392	7,14	10,2	< 0,02	0,32	0,22
№ 5. Створ на р. Осколец (с. Кандаурово)									
5	26.05.2024	–	–	–	–	0–15	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	2	374	7,22	8,2	< 0,02	0,23	0,10
	31.08.2024	30	2	387	7,18	13,5	0,06	0,26	0,16
№ 6. Родник в г. Губкин									
6	26.05.2024	–	–	–	–	50–90	–	–	0–0,2
	27.07.2024	0	0	376	7,01	61,6	0,04	0,18	0,20
	31.08.2024	10	0	398	6,86	84,6	0,07	0,30	0,18
№ 7. Створ на р. Осколец (60 ± 5 м от родника № 6)									
7	26.05.2024	–	–	–	–	15	–	–	0,5
	27.07.2024	20	1	344	7,18	18,2	0,03	0,32	0,24
	31.08.2024	30	2	375	7,05	26,3	0,06	0,62	0,26
№ 8. Родник в г. Губкин									
8	26.05.2024	–	–	–	–	30	–	–	0–0,2
	27.07.2024	0	1	371	6,87	20,4	< 0,02	0,11	0,10
	31.08.2024	10	1	379	6,92	23,1	< 0,02	0,14	0,13
№ 9. Створ на р. Осколец (50 ± 5 м от родника № 8)									
9	26.05.2024	–	–	–	–	15–30	–	–	0–0,2
	27.07.2024	20	1	372	7,20	14,3	< 0,02	0,16	0,18
	31.08.2024	30	1	380	7,30	12,9	0,03	0,26	0,22

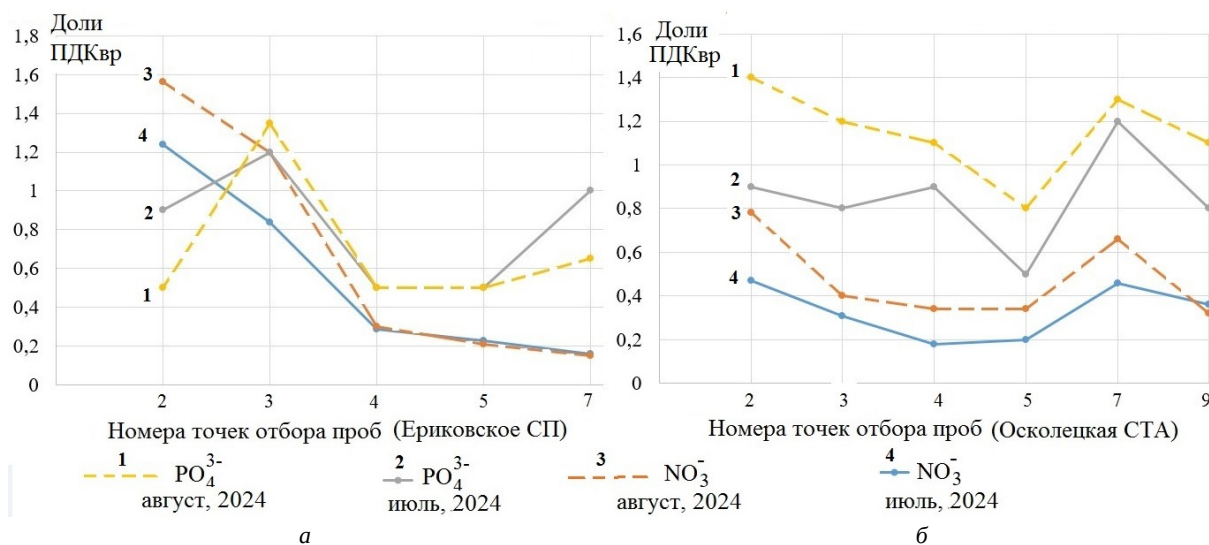


Рис. 5. Доли превышения ПДКвр PO_4^{3-} и NO_3^- для р. Ерик (а) и для р. Осколец (б) (цвет онлайн)

Превышение PO_4^{3-} и NO_3^- наблюдается на участке сброса вод сточных сооружений г. Строитель. Увеличение концентрации PO_4^{3-} на створе № 7 сопряжено с селитебной нагрузкой собственно с. Ерик. Депонирующий потенциал пруда (№ 4) и обильная растительность прибрежной зоны (№ 7) позволяют снизить содержание NO_3^- от истока вниз по течению.

Заключение

Из указанных территорий азотному загрязнению в большей степени подвержено Холоднянское СП (64% проб превышают ПДКвр(NO_3^-)), что обусловлено влиянием свиноводческого комплекса и локальных птицеводческих хозяйств. В Ериковском СП и Осколецкой СТА эти показатели составляют 21% и 22% соответственно. В данных поселениях отсутствуют крупные животноводческие предприятия. Фосфатное загрязнение водных объектов выражено в Осколецкой СТА и составляет 40% проб с превышением ПДКвр(PO_4^{3-}), что объясняется согласованным влиянием диффузного стока с пашни и селитебных стоков. Для Ериковского СП и Холоднянского СП указанные значения составляют 34% и 28%, причем в Ериковском СП диагностируется залповый характер поступления фосфатов.

Наиболее высокие значения корреляции между концентрациями NO_3^- и PO_4^{3-} наблюдаются для Холоднянского СП ($r = 0,82$), а также в границах Оскоleckого СП ($r = 0,76$) до створов в черте пригорода г. Губкин. В первом случае причиной этого является косвенное влияние свиноводческого комплекса как источника-доминанты загрязнения биогенными элементами; во втором – влияние диффузного стока с агроландшафтов экстенсивного типа. Для Ери-

ковского СП отсутствует корреляция NO_3^-/PO_4^{3-} ($r = -0,035$), что говорит о влиянии селитебных стоков (городские очистные сооружения) г. Строитель на верховья р. Ерик. Если рассматривать данные суммарно для всех створов р. Осколец (Оскоleckое СП и г. Губкин), то отмечается незначительная корреляция NO_3^-/PO_4^{3-} ($r = 0,40$), что свидетельствует о существенно сбросов сточных вод, в том числе их залпового характера.

Практически для всех территорий (кроме Троицкой СТА) с июня по август 2024 г. наблюдался рост уровня NO_3^-/PO_4^{3-} загрязнения водных объектов, что объясняется длительным периодом с высокими температурами воздуха и отсутствием осадков на территории Белгородской области. Для водотоков закономерность проявляется в большей степени, чем для водоемов, так как в прудах процессы биоассимиляции протекают интенсивнее. Максимально к засухливому периоду чувствительны родники (верховодка) с позиции наиболее быстрого накопления нитратов.

Помимо традиционного диффузного стока биогенных элементов в агроландшафтах с пашни, для Белгородской области можно выделить:

- косвенное влияние крупных животноводческих комплексов и перерабатывающих предприятий;
- разрастание селитебной зоны за счет пригородов, увеличение объемов селитебных стоков, в том числе интенсификация «транс-территориального переноса» между административными единицами;
- несоблюдение границ водоохранной зоны для малых водотоков (локальные фермы, свалки, приусадебные хозяйства).



Важно отметить, что индикаторная функция водных объектов в агроландшафтах хорошо проявляет себя, если учитывать:

- состояние как малых водотоков, так и сопутствующих им прудов, колодцев, родников в системе;
- корреляционные зависимости между концентрациями различных / типичных видов загрязнителей с опорой на функциональные зоны;
- наличие потенциального источника-доминанты и вклад второстепенных источников точечного и диффузного характера.

Библиографический список

1. Chen J., Wu H., Qian H. Groundwater Nitrate Contamination and Associated Health Risk for the Rural Communities in an Agricultural Area of Ningxia, Northwest China // *Exposure and Health*. 2016. № 8. P. 349–359. <https://doi.org/10.1007/s12403-016-0208-8>
2. Фёдоров А. В., Макаров В. З. К методологии комплексного геоэкологического районирования региона на основе концептуальных моделей современного ландшафтоведения (на примере Саратовской области) // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле*. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 87–96. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-2-87-96>, EDN: WCXPYC
3. Barroso M. F., Ramalhosa M. J., Olhero A., Antão M. C., Pina M. F. Assessment of groundwater contamination in agricultural peri-urban area: An integration approach // *Environmental Earth Science*. 2015. Vol. 73. P. 2881–2894. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3297-3>
4. Корнилов А. Г., Киселев В. В., Курепина В. А., Лопина Е. М., Боровлев А. Э. Биогенное загрязнение водных объектов в сельскохозяйственных районах Белгородской области // *Региональные геосистемы*. 2023. Т. 47, № 1. С. 76–87. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-1-76-87>, EDN: HPMWDV
5. Лисецкий Ф. Н., Буряк Ж. А., Присный А. В., Белеванцев В. Г., Павлюк Я. В., Заздравных Е. А., Дунаев В. А., Белоусова Л. И., Квачев В. Н., Лебедева М. Г., Крымская О. В., Толстомятова О. С., Соловichenko В. Д., Лукин С. В., Полякова Т. А., Королева И. С., Марциневская Л. В., Выродова Ю. Н., Цапков А. Н., Соловьев А. Б. [и др.] Географический атлас Белгородской области: природа, общество, хозяйство / Всероссийская общественная организация «Русское географическое общество» ; Белгородский государственный национальный исследовательский университет ; отв. ред. А. Г. Корнилов. Белгород : КОНСТАНТА, 2018. 200 с. EDN: KQDWZW

Поступила в редакцию 17.08.2024; одобрена после рецензирования 13.09.2024; принята к публикации 27.09.2024; опубликована 29.11.2024

The article was submitted 17.08.2024; approved after reviewing 13.09.2024; accepted for publication 27.09.2024; published 29.11.2024



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 243–249

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 243–249

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-243-249>, EDN: KGJNUC

Научная статья

УДК 504.055(470.44)

Исследование пространственного распределения электромагнитных полей промышленной частоты в центральной части города Саратова



В. И. Стурман[✉], А. Н. Логиновская

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича, Россия, 193232, г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22

Стурман Владимир Ицхакович, доктор географических наук, профессор, профессор кафедры экологической безопасности телекоммуникаций, st@izh.com, <https://orcid.org/0000-0003-2467-9997>

Логиновская Алёна Николаевна, кандидат географических наук, доцент кафедры экологической безопасности телекоммуникаций, aologinovskaja@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3215-0707>

Аннотация. Выполнено картографическое исследование электрических и магнитных полей промышленной частоты в центральной части г. Саратова. Измерения при помощи прибора Gigahertz Solutions ME 3830 В М/Е Analyser выполнены в 177 пункте в пределах застроенных территорий и рекреационных зон. Исследование показало, что напряженность электрических полей и магнитная индукция повсеместно не превышают гигиенических нормативов, но в 15,8% пунктов измерения выявлены превышения ориентировочного безопасного уровня магнитной индукции по данным новейших зарубежных исследований. Показатели напряженности выше 1–3 В/м отмечены в единичных случаях. Показатели магнитной индукции изменяются в более широких пределах, достигая 100–200 нТл в исторической застройке и до 2000 нТл и более в аномалиях, обусловленных воздействием кабелей подземной и воздушной прокладки. Минимальные значения, до 20 нТл, фиксируются в рекреационных зонах. Сильное влияние на показатели оказывает наличие или отсутствие проводов в непосредственной близости от точек измерения. По результатам исследования в программе ArcGIS с использованием метода билинейной интерполяции создана карта интерполяции.

Ключевые слова: электромагнитные поля, электрические поля, напряженность, магнитные поля, магнитная индукция, картографирование, г. Саратов

Для цитирования: Стурман В. И., Логиновская А. Н. Исследование пространственного распределения электромагнитных полей промышленной частоты в центральной части города Саратова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 243–249. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-243-249>, EDN: KGJNUC

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Research of spatial distribution of electromagnetic fields of industrial frequency in the central part of the city of Saratov

V. I. Sturman[✉], A. N. Loginovskaya

The Bonch-Bruevich St. Petersburg State University of Telecommunications, 22, building 1 Bolshevikov Prospect, St. Petersburg 193232, Russia

Vladimir I. Sturman, st@izh.com, <https://orcid.org/0000-0003-2467-9997>

Alyona N. Loginovskaya, aologinovskaja@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3215-0707>

Abstract. The cartographic research of electric and magnetic fields of industrial frequency in the central part of Saratov was performed. Measurements by means of the Gigahertz Solutions ME 3830 В М/Е Analyser were executed in the 177 points within the built-up territories and recreational zones. The research showed that tension of electric fields and magnetic induction everywhere do not exceed hygienic standards, but in 15,8% of measurement points excesses of approximate safe level of magnetic induction were revealed according to the latest foreign researches. Indicators of tension above 1–3 V/m are noted in isolated cases. Magnetic induction indices vary over a wider range, reaching 100–200 nTl in historical buildings and up to 2000 nTl and more in the anomalies caused by the influence of underground cables and air laying. The minimum values up to 20 nTl are fixed in recreational zones. Strong impact on indicators is exerted by the existence or lack of wires in close proximity to measurement points. Based on the study results an interpolation map in the ArcGIS program using the bilinear interpolation method was created.

Keywords: electromagnetic fields, electric fields, tension, magnetic fields, magnetic induction, mapping, Saratov

For citation: Sturman V. I., Loginovskaya A. N. Research of spatial distribution of electromagnetic fields of industrial frequency in the central part of the city of Saratov. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 243–249 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-243-249>, EDN: KGJNUC

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



Введение

Электромагнитные поля (ЭМП), превышающие уровни, обусловленные их естественными источниками (для ЭМП промышленной частоты природный фон отсутствует), – весьма актуальный на сегодня специфический и слабо изученный вид загрязнения окружающей среды. Известно [1], что формируемые одним источником электрические и магнитные поля существуют только вместе, причем первые практически полностью определяются действительным напряжением (не всегда соответствующим номинальному), а вторые сильно зависят от текущей нагрузки электроприбора или линии электрооборудования.

Медико-биологические последствия воздействия ЭМП, включая нарушения обмена веществ, функционирования сердечно-сосудистой, эндокринной, иммунной и репродуктивной систем, исследуются на протяжении многих десятилетий [2–5]. Однако, несмотря на длительную историю исследования и большое число публикаций, изученность проблемы остается недостаточной, о чем свидетельствуют огромные различия гигиенических нормативов ЭМП – до 3–4 порядков по разным странам. В частности, для считавшихся ранее малоопасными низкочастотных магнитных полей по результатам многочисленных исследований (например, исследования в Бельгии [6] и Италии [7], выявившие статистически значимый рост риска развития лейкемии у детей, подверженных воздействию магнитных полей высоковольтных линий) определен ориентировочный безопасный уровень магнитной индукции 0,2–0,4 микротесла (мкТл) [8, 9]. Это на порядок ниже установленных в России нормативов [10] и на 3 порядка ниже безопасного уровня согласно рекомендаций Всемирной организации здравоохранения, Международной комиссии по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP) [11] и Консультативного совета Европейского союза [12]. Постепенный переход к нормативам указанного уровня рассматривается как перспективная цель для стран Европейского Союза [13], причем в Швеции такой переход уже состоялся.

С учетом социально-экономических реалий при решении вопросов о введении в действие тех или иных гигиенических нормативов учитываются не только результаты опытов с лабораторными животными (сказываются, в частности, трудностями переноса на человека выводов, сделанных по результатам изучения реакций биологических объектов с иным строением тела и физиологией), но также результаты исследований реального распространения в окружающей среде и в том числе в урбанизированной среде ЭМП с теми или иными характеристиками, и количества жителей, подверженных их воздействию [14]. Одно из исследований такого рода было выполнено нами в пределах центральной части г. Саратова. В Саратове в рамках выполненных ранее

исследований [15, 16] была выполнена инвентаризация источников ЭМП (высоковольтные линии, объекты электротранспорта, передающие радиотехнические объекты) и их зон влияния, определяемых расчетным путем и/или по данным санитарных паспортов; создана ГИС, содержащая соответствующие сведения. Имеется пример картографирования зоны влияния радиопередающих устройств [17]. Картографирование ЭМП промышленной частоты на основе инструментальных данных, судя по опубликованным материалам [15–17], ранее не выполнялось.

Материалы и методы

Измерения показателей ЭМП промышленной частоты 50 Гц в Саратове были выполнены в июле–августе 2024 г. при помощи прибора Gigahertz Solutions ME 3830 В М/Е Analyser (Safe Living Technologies, Inc. (Канада); страна-производитель Германия). Данный прибор позволяет измерять напряженность электрического поля в пределах от 1 до 2000 В/м и магнитную индукцию от 1 до 2000 нТл. За исключением отдельных точек, для измерений в центральной части г. Саратова этого оказалось достаточно. Согласно МР 4.3.0177-20. 4.3 [18], измерения выполнялись на уровне 1,8 м от поверхности земли и при наличии повышенных значений дополнялись измерениями у поверхности земли. Поскольку датчик магнитного поля в составе прибора имеет одну координатную ось, при определении значений магнитной индукции выбиралось положение прибора, обеспечивающее совпадение указанной оси датчика и направления полного вектора магнитного поля, что фиксировалось по максимальному для данной точки значению. Это значение и принималось за результат. Для удобства определения средних характеристик по типам застройки измерения выполнялись по возможности на однородно застроенных участках. Вблизи заброшенных зданий и строений измерения не выполнялись. Измерения были выполнены в 177 точках на территории, ограниченной берегом Волги, улицей Б. Горная, железной дорогой, улицами Рабочая, Хользунова и ПККиО им. М. Горького.

Анализ пространственного распределения ЭМП промышленной частоты в центральной части г. Саратова выполнялся с помощью программного продукта ArcGis [19]. Создана цифровая карта магнитной индукции с интерполяцией раstra методом обратно взвешенных расстояний в пределах границ территории исследования. При использовании данного метода значение показателя в некоторой точке получается как средневзвешенная сумма значений в исходных точках. Весовые характеристики значений принимаются обратно пропорциональными расстоянию: чем дальше исходная точка удалена, тем меньше её вес при оценке [20].



При построении карты распределения значений магнитной индукции в интерполяцию включались точки, значения в которых отличались от средних для данного типа использования территории и застройки не более чем на двойную величину среднего квадратического отклонения. Точки с превышениями этих величин обозначены на карте значками и характеризуются ниже отдельно как аномальные, а при интерполяции для них принимались средние значения по соответствующему типу использования территории и застройки.

Результаты и их обсуждение

Превышений действующих нормативов электрических и магнитных полей промышленной частоты в рамках исследования не зафиксировано. Однако с учетом изложенных выше новейших данных о воздействиях магнитных полей и тенденций в области их нормирования это не может рассматриваться как гарантия электромагнитной безопасности.

Электрические поля. В пределах изученной территории г. Саратова отсутствуют воздушные высоковольтные линии электропередачи – наиболее мощные источники ЭМП на урбанизированных территориях, вблизи которых значения напряженности могут достигать десятков кВ/м [1]. Соответственно, источниками электрических полей в центральной части г. Саратова являются только локальные сети электроснабжения, электроприборы и оборудование различного назначения. Поэтому значения напряженности повсеместно были значительно ниже предельно допустимого уровня – 1000 В/м для территорий жилой застройки, согласно СанПиН 1.2.3685-21 [10]. Наибольшие измеренные значения составляют 56 В/м на пересечении улиц Московская и Университетская и 48 В/м на пересечении улиц Московская и Астраханская, что примерно в 20 раз ниже допустимого уровня. В подавляющем большинстве случаев напряженность была значительно ниже, от 1 до 3 В/м, что находится на уровне погрешности измерения и может рассматриваться как техногенный фон.

Магнитные поля обладают более высокой проникающей способностью [3] и вследствие этого их уровни не могут быть оценены как однозначно безопасные. Средняя для изученной территории величина магнитной индукции составила 114 нТл; при этом значения, превышающие 200 нТл, зафиксированы в 15,8% точек. Если сравнивать с другими городами [21], то это один из наиболее высоких показателей.

Распределение значений магнитной индукции показано на созданной по материалам настоящего исследования карте (рис. 1).

Как видно из рис. 1, наибольшие значения магнитной индукции свойственны участкам улиц с исторической застройкой, а наименьшие –

рекреационным зонам. Поскольку историческая застройка в центральной части Саратова представлена широко, но при этом мозаично чередуется с более современной, пространственное распределение показателей имеет довольно сложный характер.

В г. Саратове, как и в изученных ранее городах [21], показатели магнитной индукции зависят от характера застройки и других форм использования земель. Другим фактором, роль которого непосредственно выявлялась в процессе измерений и оказалась весьма существенной, является наличие или отсутствие проводов и кабелей в непосредственной близости от точки измерения. Понятно, что не каждый провод находится под высокой нагрузкой, но на уровне средних значений роль воздушных линий электропередачи вполне очевидна. Роль типа использования и застройки земель выявляется «при прочих равных», т. е. при исключении влияния проводов как очевидного и значимого источника ЭМП. Соответствующие средние значения и показатели изменчивости представлены в табл. 1. Из нее следует, что наибольшие средние значения магнитной индукции свойственны рынкам и исторической застройке, а наименьшие – зонам рекреации. В остальных типах застройки значения магнитной индукции находятся между указанными крайностями, а дифференциация выражена в меньшей степени.

Максимальные значения магнитной индукции в исторических центрах городов широко распространены как в России, так и зарубежной Европе [22]. Общей причиной является нагрузка на сети от современных электроприборов, во многих случаях не соответствующая электропроводке, созданной десятилетия назад, «в стесненных условиях», когда изначальная конструкция сооружений вообще не предусматривала электроснабжения. Кроме того, в исторических центрах городов широко распространены заведения общественного питания с мощным электрооборудованием для готовки и подогрева, холодильниками и кондиционерами, располагаются медицинские центры с оборудованием, создающим значительные нагрузки. Саратов также не является исключением.

Аномальные значения магнитной индукции. Из табл. 1 также видно, что во всех типах застройки и использования земель показатели магнитной индукции характеризуются высокой изменчивостью, и при исключении аномальных значений средние характеристики существенно снижаются. Причиной аномалий могут быть:

- кабели подземной прокладки, выявляемые по существенному увеличению показателей вблизи поверхности земли;
- провода и кабели воздушной прокладки, роль которых выявляется по существенному снижению показателей при удалении от них;

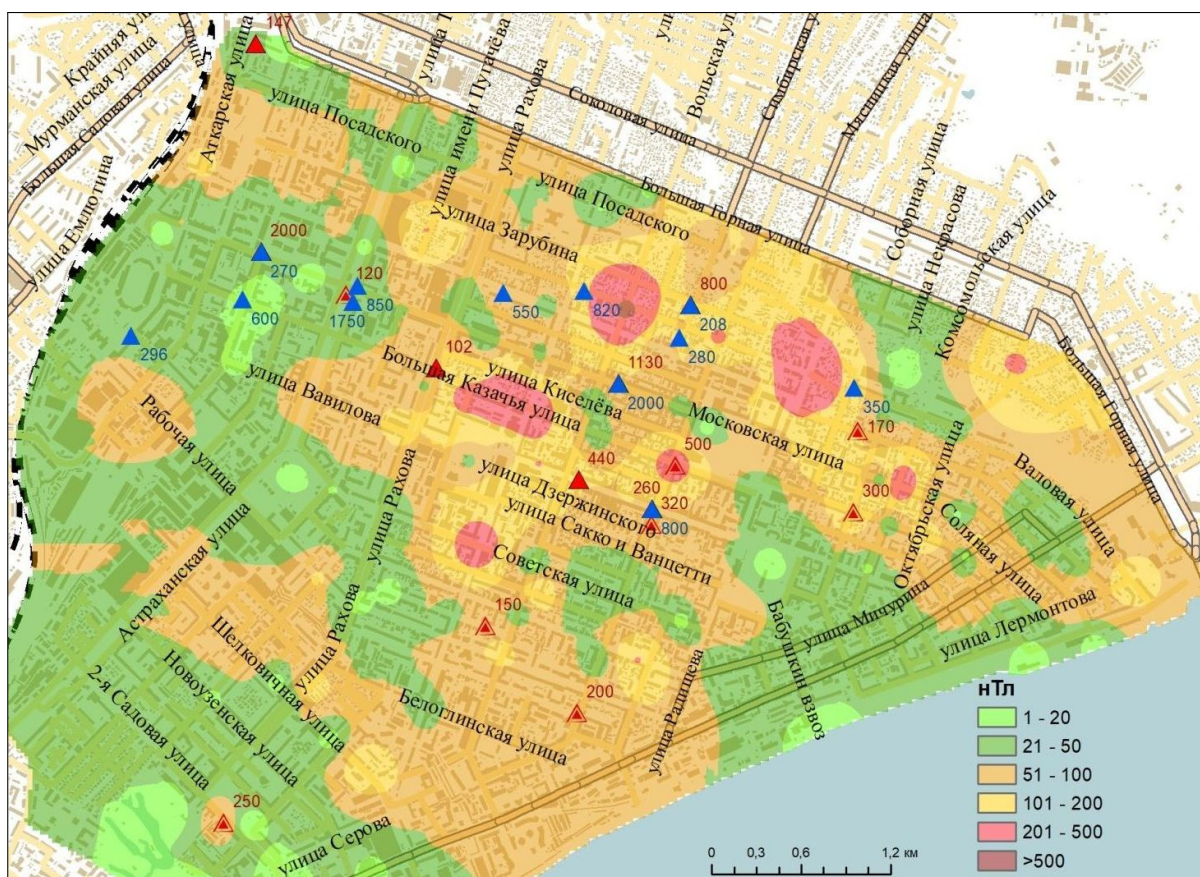


Рис. 1. Схематическая карта распределения значений магнитной индукции в центральной части г. Саратова, нТл: ▲ – воздушная аномалия, ▲ – грунтовая аномалия по 2δ пределу, ▲ – грунтовая аномалия по 3δ пределу (цвет онлайн)

Таблица 1

Распределение показателей магнитной индукции по территориям г. Саратова с разным характером использования и застройки и в зависимости от наличия или отсутствия в непосредственной близости от точки измерения электрических проводов и/или кабелей

Тип застройки, наличие / отсутствие проводов	Число измерений	Среднее значение, нТл	Среднее квадр. отклонение (δ)	Коэф. вариации, %	Среднее значение при исключении аномалий по 3δ и 2δ пределам, нТл
Историческая	59	177	222	125	145
В том числе с проводами	35	256	250	97,7	202
В том числе без проводов	24	61	55	90,2	49
Среднеэтажная 1930–1950-х гг. («сталинки»)	15	62	64	103	48
В том числе с проводами	3	126			
В том числе без проводов	12	46	39	84,8	31
Среднеэтажная 1950–1960-х гг. («хрущевки»)	22	45	31	68,9	41
В том числе с проводами	3	80			
В том числе без проводов	19	40	30	75,0	34
Многоэтажная 1970–1980-х гг. («брежневки»)	29	77	119	155	40
В том числе с проводами	7	194			
В том числе без проводов	22	39	57	146	27
Многоэтажная последних лет	22	58	65	112	43
В том числе с проводами	6	99			
В том числе без проводов	16	43	66	153	27
Рекреационная	16	18	24	133	11
Рынки	3	177			
Всего с проводами	54	245	299	122	207
Всего без проводов	93	43	57	133	34

Примечание. Разница между общим числом точек измерения (177) и суммой по типам использования земель и застройки (166) образовалась за счет точек с неопределенным (смешанным) характером застройки.



Таблица 2

Сведения о выявленных аномальных значениях магнитной индукции, нТл

Места измерений	Измеренные значения, нТл	Характер использования и застройки	Наиболее вероятный источник	Дополнительная информация
Челюскинцев, 84	95	Историческая	Подземный кабель	На асфальте до 170
Горького, 29	260**	Среднеэтажная 1930–1950-х гг. («сталинки»)	То же	На асфальте до 800
Столыпина, 36	440	Историческая	»	На асфальте более 2000
Б. Казачья – Горького	270	То же	»	На асфальте до 500
Московская, 93	1330**	»	»	На асфальте более 2000
Кутякова, 65	550**	Многоэтажная 1970–1980-х гг. («брежневки»)	Провода	На асфальте менее 100
Посадского, 156	85	Историческая	Подземный кабель	На асфальте до 300
Зарубина, 51	208*	Многоэтажная последних лет	То же	На асфальте до 800
Симбирская, 3/5	280**	То же	Провода, электро-оборудование	То же
Радищева, 40	350	Историческая	То же	На асфальте до 550
Кузнечная, 28/42	350*	Многоэтажная 1970–1980-х гг. («брежневки»)	Провода	На асфальте до 200
Первомайская, 37/45	140	То же	Подземный кабель	На асфальте до 300
Первомайская – Некрасова	160	Историческая	То же	То же
Бахметьевская, 6	77	Среднеэтажная 1950–1960-х гг. («хрущевки»)	»	На асфальте до 200
Горького, 28	87	Среднеэтажная 1930–1950-х гг. («сталинки»)	»	На асфальте до 320
Ульяновская, 6/12	68	Многоэтажная последних лет	»	На асфальте до 150
Гоголя, 65	820*	Историческая	Провода	На асфальте до 200
2-я Садовая, 23 а	93	Многоэтажная последних лет	Подземный кабель	На асфальте до 250
Астраханская – Зарубина, бульвар	41	Рекреационная	То же	На асфальте до 120
Астраханская - Московская	850**	Среднеэтажная 1930–1950-х гг. («сталинки»)	То же	На асфальте более 2000
Астраханская, 153 а	1750**	Трамвайный парк	Провода	На асфальте до 200
Университетская, 59	270*	Среднеэтажная 1930–1950-х гг. («сталинки»)	Подземный кабель	На асфальте более 2000
Университетская – Б. Казачья	600*	Историческая	Провода	На асфальте до 150
Слонова – Аткарская	296*	Многоэтажная 1970–1980-х гг. («брежневки»)	То же	На асфальте до 100

Примечание. * – аномалия по 2δ пределу; ** – аномалия по 3δ пределу.



- неустановленные при измерениях факторы, которыми с наибольшей вероятностью могут быть мощные электроприборы и оборудование в близрасположенных зданиях.

Соответственно, аномалии могут быть подразделены на воздушные и грунтовые. Те и другие не включались в интерполяцию при построении карты. Сведения об аномалиях представлены в табл. 2; расположение аномалий и их типы показаны на рис. 1.

В сравнении с другими городами [21] г. Саратов характеризуется высоким уровнем распространения аномальных значений – 13,6%. Вероятно, причина этого – в отсутствии в центральной части города высоковольтных линий.

Выводы

Действующие в настоящее время гигиенические нормативы уровней напряженности электрического поля промышленной частоты и магнитной индукции в центральной части г. Саратова соблюдаются повсеместно. Однако значения магнитной индукции выше 0,2–0,4 мкТл (ориентировочный безопасный уровень по данным новейших зарубежных исследований) встречаются в 15,8% точек измерения, т. е. имеют существенное распространение преимущественно в пределах территорий исторической застройки. Наиболее существенным фактором формирования повышенных уровней магнитных полей являются воздушные линии электрооборудования, проложенные в разные годы и не всегда соответствующие нагрузкам от современного электрооборудования и бытовой техники. Статистически аномальные значения магнитной индукции отмечены в 13,6% точек измерения. Такая распространённость аномалий позволила на примере г. Саратова выделить два их типа – аномалии с воздушными и грунтовыми источниками. Пространственное распределение показателей магнитной индукции и расположение аномалий показано на карте, созданной по результатам исследования.

Библиографический список

1. Довбыш В. Н., Маслов М. Ю., Сподобаев Ю. М. Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем : монография. Самара : ООО «ИПК «Содружество», 2009. 198 с. EDN: TXJKZX
2. Яковлева М. И. Физиологические механизмы действия электромагнитных полей. Л. : Медицина, 1973. 175 с.
3. Тихонов М. Н., Довгуша В. В., Довгуша Л. В. Механизм влияния естественных и техногенных электромагнитных полей на безопасность жизнедеятельности // Экологическая экспертиза. 2013. № 6. С. 48–65. EDN: RQBHGR
4. Rifai A. B., Hakami M. A. Health Hazards of Electromagnetic Radiation // Journal of Biosciences and

- Medicines. 2014. Vol. 2. P. 1–12. <http://dx.doi.org/10.4236/jbm.2014.28001>
5. Electric and magnetic fields // Cancer Causes & Control. 1996. Vol. 7 (Suppl 1). P. S49–S54. <https://doi.org/10.1007/BF02352733>
6. Brabant C., Geerinck A., Beaudart C., Tirelli E., Geuzaine C., Bruyère O. Exposure to magnetic fields and childhood leukemia: A systematic review and meta-analysis of case-control and cohort studies // Rev Environ Health. 2022. Mar 15. Vol. 38, № 2. P. 229–253. <https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0112>, PMID: 35302721
7. Malagoli C., Malavolti M., Wise L. A., Balboni E., Fabbi S., Teggi S., Palazzi G., Cellini M., Poli M., Zanichelli P., Notari B., Cherubini A., Vinceti M., Filippini T. Residential exposure to magnetic fields from high-voltage power lines and risk of childhood leukemia // Environmental Research. 2023. Vol. 232. Article number 116320. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116320>
8. Muller B. Electromog. Hausgemachtes Problem // Bild Wiss. 1996. № 4. P. 12–14.
9. Opinion on Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF), Radio Frequency Fields (RF) and Microwave Radiation on human health // Expressed at the 27th CSTE plenary meeting. Brussels, October 30, 2001. URL: http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/sct/documents/out128_en.pdf (дата обращения: 16.08.2024).
10. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: 1.2. Общие вопросы. Гигиена, токсикология, санитария: санитарные правила и нормы: СанПиН 1.2.3685-21 / Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. М. : Роспотребнадзор, 2022. 667 с.
11. ICNIRP, «Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz)» // Health Physics. 2010. Vol. 99, № 6. P. 818–836.
12. Directive 2004/40/ EC of the European Parliament and of the Council «The Minimum Health and Safety Requirements Regarding the Exposure of Workers to the Risks Arising from Physical Agents (Electromagnetic Fields)» // Official Journal of the European Union. 2004. L184. Vol. 30, № 4. P. 1–9.
13. National precautionary policies on magnetic fields from power lines in Belgium, France, Germany, the Netherlands and the United Kingdom // RIVM Report 2017–0118. The National Institute for Public Health and the Environment. 56 p. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2017-0118>.
14. Прокофьева А. С., Григорьев О. А. Оценка численности населения, проживающего вблизи воздушных линий электропередачи, по критерию экспозиции магнитным полем промышленной частоты (на примере Московского региона) // Всероссийская конференция «Актуальные проблемы радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений» (Москва, 12–13 ноября 2019 г.). М., 2019. С. 109–110.
15. Макаров В. З., Пролеткин И. В., Чумаченко А. Н. Электромагнитное излучение в г. Саратове // Санитарный врач. 2011. № 5. С. 64–65. EDN: PONANT



16. Макаров В. З., Новаковский Б. А., Чумаченко А. Н. Эколого-географическое картографирование городов. М. : Научный мир, 2002. 196 с. EDN: WIFKBD
17. Жуков В. Т., Новаковский Б. А., Чумаченко А. Н. Компьютерное геоэкологическое картографирование М. : Научный мир, 1999. 128 с.
18. Методика измерения электромагнитных полей промышленной частоты 50 Гц на селитебной территории: 4.3. методы контроля, физические факторы: метеорологические рекомендации МР 4.3.0177-20. М. : Роспотребнадзор, 2021. 6 с.
19. Esri – GIS Mapping Software, Solutions, Services, Map Apps, and Data. URL: <http://www.esri.com/> (дата обращения: 08.08.2024).
20. Самсонов Т. Е. Пространственная статистика и моделирование на языке R. Онлайн-курс. М. : Географический факультет МГУ, 2023. URL: <https://tsamsonov.github.io/r-spatstat-course/> (дата обращения: 29.07.2024).
21. Стурман В. И. Электромагнитные поля промышленной частоты в центральной части Астрахани, в сравнении с другими городами России // Куражские чтения : материалы III Международной научно-практической конференции (Астрахань, 16–17 мая 2024 г.). Астрахань, 2024. С. 168–172.
22. Стурман В. И., Логиновская А. Н. Техногенные электромагнитные поля на городских территориях и подходы к их картографированию // Известия РАН. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 2. С. 255–267. <https://doi.org/10.31857/S2587556622020091>, EDN: HVQNYJ

Поступила в редакцию 10.08.2024; одобрена после рецензирования 14.09.2024;
принята к публикации 27.09.2024; опубликована 29.11.2024

The article was submitted 10.08.2024; approved after reviewing 14.09.2024;
accepted for publication 27.09.2024; published 29.11.2024



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 250–258

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 250–258

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-250-258>, EDN: KINGQS

Научная статья

УДК 551.513.7:515.582:515.583

Влияние циркуляционных факторов на количество атмосферных осадков холодного сезона на территории Западной Сибири



Н. Н. Безуглова[✉], К. Ю. Суковатов

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской Академии Наук (ИВЭП СО РАН), Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1

Безуглова Надежда Николаевна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории физики атмосферно-гидросферных процессов, bezuglovan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1985-9352>

Суковатов Константин Юрьевич, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории физики атмосферно-гидросферных процессов, skonstantiny@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3763-6291>

Аннотация. *Введение.* Работа посвящена анализу влияния разных состояний циркумполярного вихря на локальные особенности полей геопотенциала, которые, в свою очередь, определяют изменчивость осадков холодного сезона на исследуемой территории Западной Сибири. *Данные и методы.* Выполнен статистический анализ временных рядов среднесезонных значений количества атмосферных осадков холодного сезона, полученных по данным 33 метеостанций, расположенных в пределах выбранной координатной области. Для анализа распределения гидрометеорологических полей, соответствующих различным состояниям циркумполярного вихря, построены композитные пространственные распределения, соответствующие десяти наиболее характерным годам для обеих фаз телеконнекционного индекса POL. *Результаты и обсуждение.* Установлена статистически значимая связь между количеством атмосферных осадков холодного сезона (ноябрь–март) на исследуемой территории и состоянием циркумполярного вихря. Показано, что в условиях отрицательной фазы индекса POL количество атмосферных осадков холодного сезона больше, чем в условиях положительной фазы этого индекса. *Выводы.* По результатам работы сделаны выводы о том, что в условиях слабого циркумполярного вихря и развитых меридиональных процессов (отрицательная фаза POL) на исследуемой территории количество атмосферных осадков холодного сезона больше, чем в условиях сильного (положительная фаза POL) циркумполярного вихря и активных широтных процессов.

Ключевые слова: атмосферные осадки холодного сезона, циркумполярный вихрь, интенсивность межширотного обмена, Западная Сибирь, региональные климатические изменения

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ FUFZ-2021-0004 «Оценка сезонных особенностей атмосферного поступления и последующего распределения загрязняющих веществ на водосборной площади ключевых участков бассейна Оби в зависимости от природно-климатических условий».

Для цитирования: Безуглова Н. Н., Суковатов К. Ю. Влияние циркуляционных факторов на количество атмосферных осадков холодного сезона на территории Западной Сибири // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 250–258. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-250-258>, EDN: KINGQS

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

The influence of circulation factors on the quantity of atmospheric precipitation in the cold season in Western Siberia

N. N. Bezuglova[✉], K. Y. Sukovатов

The Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IWEP SB RAS), 1 Molodezhnaya St., Barnaul 656038, Russia

Nadezhda N. Bezuglova, bezuglovan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1985-9352>

Konstantin Y. Sukovатов, skonstantiny@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3763-6291>

Abstract. Introduction. The work is devoted to the analysis of the influence of different states of the circumpolar vortex on local features of the geopotential fields, which, in turn, determine the variability of cold season precipitation for the studied territory of Western Siberia. **Data and Methods.** A statistical analysis of time series of seasonally average values of the precipitation amount in the cold season was performed, obtained from 33 meteorological stations located within the selected coordinate area. To analyze the distribution of hydrometeorological fields corresponding to different states of the circumpolar vortex, composite spatial distributions corresponding to the ten most typical years for both phases of the POL teleconnection index were constructed. **Results and Discussion.** A statistically significant relationship was established between the amount of precipitation in the cold season (November–March) on the studied territory and the state of the circumpolar vortex. It was shown that under the conditions of the negative phase of the POL index, the amount of precipitation in the cold season is greater than under the conditions of the positive phase of this index. **Conclusions.** Based on the results of the work, it was concluded that under conditions of a weak



circumpolar vortex and developed meridional processes (negative phase of POL) in the studied area, the amount of atmospheric precipitation in the cold season is greater than under conditions of a strong (positive phase of POL) circumpolar vortex and active latitudinal processes.

Keywords: cold season precipitation, circumpolar vortex, intensity of interlatitudinal exchange, Western Siberia, regional climate change

Acknowledgements: The study was carried out with the financial support of the project of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FUFZ-2021-0004 "Assessment of seasonal features of atmospheric input and subsequent distribution of pollutants in the catchment area of key areas of the Ob basin depending on natural and climatic conditions".

For citation: Bezuglova N. N., Sukovatov K. Y. The influence of circulation factors on the quantity of atmospheric precipitation in the cold season in Western Siberia. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 250–258 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-250-258>, EDN: KIHGQS

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Пространственно-временная изменчивость климатических параметров обусловлена множеством факторов, среди которых существенное значение имеет атмосферная циркуляция. Авторами ряда научных работ установлена телекорреляционная (удаленная) связь между глобальной циркуляцией и региональными климатическими изменениями [1].

Результаты ряда исследований указывают на существование определенных взаимосвязей между состоянием циркумполярного вихря и значениями метеопараметров, в том числе и атмосферных осадков, для внутриконтинентальной территории Евразии [2, 3].

Авторы работы [3] пришли к выводу, что влияние полярного вихря на режим атмосферных осадков в осенне-зимний сезон на территории Ирана минимально, однако выводы базируются на анализе данных небольшого количества метеостанций. В работе [2] показано, что в мае в условиях преобладания положительной фазы POL (Polar/Eurasia) увеличивается повторяемость блокирующих процессов в районе Северной Атлантики/Европы и Северо-Восточной Азии. В то же время наблюдается уменьшение повторяемости процессов блокирования в районе Уральских гор. В этих условиях в Западной Сибири и Азиатской части субарктического региона наблюдается увеличение количества атмосферных осадков, а в Европе и в районе озера Байкал – их уменьшение. В условиях отрицательной фазы индекса POL в мае наблюдается активизация процессов блокирования для всего Евразийского континента. В результате основной перенос воздушных масс смещается севернее 50° с. ш., в этой ситуации наблюдается уменьшение количества осадков в субарктическом Азиатском регионе, а также в районе пустыни Гоби, увеличение количества атмосферных осадков наблюдается в бассейне р. Хуанхэ в Китае.

В настоящей работе выполнен анализ связи пространственно-временной изменчивости количества атмосферных осадков холодного сезона для исследуемой территории Западной Сибири в зависимости от состояния циркумполярного вихря и интенсивности межширотного

обмена между полярными и средними широтами (фазы индекса POL).

Исследуемая территория

Исследуемая территория представляет собой равнинную область Западной Сибири, ограниченную координатами 53–63° с. ш., 75–85° в. д. На юге исследуемая область начинается в центральной равнинной части Алтайского Края, на севере – заканчивается территорией Большого Васюганского болота.

Данные и методы

Для исследуемой территории выполнен статистический анализ временных рядов среднемесячных значений атмосферных осадков для холодного сезона (ноябрь–март), полученных по данным метеостанций, а также данным реанализа и сеточных массивов данных. В работе анализировались данные за период с ноября 1966 г. по март 2024 г. Для обеспечения однородности рядов осадков использованы данные метеостанций с 1966 г., поскольку после 1966 г. существенных изменений в методиках измерений количества атмосферных осадков на сети гидрометеорологических станций не было [4]. В рассматриваемой координатной области расположены 45 метеостанций с временными рядами наблюдений продолжительностью от 40 лет. Из общего числа метеостанций были исключены те, у которых ряды наблюдений заканчивались в середине 1990-х гг. или начале 2000-х, а также содержали большое количество непрерывных пропусков, таких метеостанций было 12 (2 из них приходились на территорию Казахстана). Данные по оставшимся 33 метеостанциям использовались для построения временных рядов количества атмосферных осадков холодного сезона. Эти временные ряды стали основой для дальнейшего анализа.

Помимо временных рядов для отдельных метеостанций в работе были проанализированы ряды количества атмосферных осадков холодного сезона, усредненные по площади всей исследуемой области. Эти временные ряды были построены на основе сеточных массивов данных (GPCC [5], CRUTS [6], GHCN [7]) и данных ре-



анализа (ERA5 [8], NCEP/NCAR [9]), поскольку такие комбинированные выборки представлены для сеточных областей и удобны для усреднения значений выборок по площади.

Временные ряды атмосферных осадков холодного сезона были разделены на две выборки в зависимости от знака фазы индекса POL. Для проверки гипотезы о сравнении средних значений двух выборок использовали критерий Стьюдента, а также непараметрические критерии Краскела–Уоллиса и Манна–Уитни.

Согласно методологии [10] телеконнекционный индекс POL определяется с использованием метода эмпирических ортогональных функций (EOF), который применяется к данным о поле геопотенциала для поверхности 500 ГПа. Циркумполярный вихрь параметризуется индексом POL [10]. По данным Центра прогнозирования климата Национальной службы погоды США [11] телеконнекционный индекс POL (Polar/Eurasia) проявляется в виде статистически значимой компоненты разложения поля геопотенциала методом EOF во все сезоны года. Его положительной фазе соответствуют отрицательные аномалии геопотенциала над полярной областью и положительные аномалии геопотенциала над Северным Китаем и Монголией. Проявление телеконнекционного индекса Polar/Eurasia чаще всего связывают с положительными аномалиями атмосферных осадков в полярной области севернее Скандинавии.

Телеконнекционный индекс POL определяет соотношение между состоянием Арктического полярного вихря и характером среднеширотной циркуляции атмосферы для Азиатской части Евразийского континента. В холодный сезон, как правило, определяется двумя центрами низкого давления (циклоническими центрами): один из них расположен над Карским морем, а другой – в среднеширотной области Восточной Азии [10].

Для характеристики состояния гидрометеорологических полей и режима увлажнения исследуемой территории использовались данные реанализа ERA5 о геопотенциале, компонентах скорости ветра для изобарической поверхности 850 гПа и количестве атмосферных осадков.

В качестве характеристики степени меридиональности атмосферных процессов используется индекс меридиональности MCI, предложенный в работе [12]:

$$MCI = \frac{v \cdot |v|}{v^2 + u^2},$$

где v и u – зональная и меридиональная компоненты скорости воздушного потока.

Индекс меридиональности MCI принимает значения в диапазоне от -1 до 1 для северного

и южного направлений ветров соответственно. Граничные значения индекса соответствуют исключительно меридиональным процессам, промежуточные значения реализуются при наличии также широтных процессов. Чем больше по абсолютной величине значение индекса, тем больше величина меридиональной составляющей скорости ветра. Направление с юга на север считается положительным для меридиональной компоненты скорости ветра, с запада на восток – для зональной компоненты скорости. В настоящей работе индекс меридиональности MCI был рассчитан на основе среднемесячных значений зональной и меридиональной компонент скорости ветра для изобарической поверхности 850 ГПа по данным реанализа ERA5 за период с 1966 по 2024 гг.

Для анализа конфигурации барических полей и их влияния на режим увлажнения исследуемой территории в зависимости от состояния циркумполярного вихря были построены пространственные распределения аномалий геопотенциала, линий тока поля скоростей для уровня 850 гПа и аномалий количества атмосферных осадков холодного сезона. Пространственные распределения комбинированных выборок были построены для ситуаций с сильно выраженными условиями преобладания положительной (годы: 1967, 1968, 1975, 1978, 1992, 1993, 1996, 2003, 2015, 2019) и отрицательной (годы: 1999, 2000, 2001, 2010, 2012, 2013, 2016, 2018, 2021, 2024) фаз телеконнекционного индекса POL. Аналогичные пространственные распределения были построены для индекса меридиональности (в статье не приведены).

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведены результаты статистического анализа с использованием критериев о неравенстве средних двух выборок для атмосферных осадков холодного сезона по данным 33 метеостанций для исследуемой координатной области $53\text{--}63^\circ$ с. ш, $75\text{--}85^\circ$ в. д.

Анализ результатов проверки статистических гипотез показал, что в условиях преобладания отрицательной фазы индекса POL количество атмосферных осадков холодного сезона больше, чем в условиях преобладания положительной фазы этого индекса. В итоге по 18 метеостанциям из 33 были получены статистически значимые результаты по всем трем критериям с уровнем значимости не ниже 0.90. По 5 метеостанциям из 33 статистически значимые результаты были получены по двум критериям из трех. По 6 станциям из 33 по одному критерию из трех. По 4 метеостанциям из 33 не удалось получить статистически значимые результаты. В целом результаты проверки статистических гипотез для рядов атмосферных



Таблица 1

Результаты проверки статистических гипотез о неравенстве средних значений двух выборок на основе трех статистических критериев

Метеостанция	Осадки_POL (положит. фаза)	Осадки_POL (отрицат. фаза)	<i>t</i> prob	<i>U</i> prob	<i>H</i> prob
Бакчар (2022)*	0,76	0,82	0,34	0,1	0,19
Барабинск (2022)	0,63	0,76	0,04	0,02	0,05
Барнаул (2024)	0,78	1,03	0,06	0,04	0,07
Чаны (2024)**	0,77	1,07	0,155	0,008	0,014
Чулым (2018)	0,73	1,09	0,09	0,003	0,006
Каргасок (2024)	0,82	1,12	0,04	0,01	0,02
Карасюк (2024)	0,55	0,98	0,03	0,001	0,002
Кочки (2024)	0,73	1,03	0,04	0,01	0,02
Камень-на-Оби (2019)	0,52	0,65	0,09	0,03	0,05
Колпашево (2024)**	0,88	0,98	0,16	0,03	0,07
Колывань (2024)**	0,99	1,37	0,17	0,008	0,016
Красноозерск (2018)	0,86	1,31	0,09	0,007	0,013
Кресченка (2024)*	0,96	1,17	0,33	0,07	0,14
Купино (2024)	0,63	0,99	0,06	0,001	0,003
Кустовка (2024)	0,88	1,23	0,096	0,027	0,052
Маслянино (2024)**	1,02	1,35	0,14	0,018	0,03
Майск (2024)	0,99	1,51	0,04	0,008	0,016
Напас (2024)*	1,06	1,14	0,23	0,09	0,17
Ордынское (2024)	0,89	1,22	0,07	0,007	0,01
Пудино (2024)*	0,79	0,9	0,16	0,09	0,18
Северное (2024)	0,72	0,8	0,27	0,12	0,23
Средний Васюган (2024)*	0,96	1,02	0,36	0,07	0,13
Татарск (2024)*	0,62	0,72	0,13	0,08	0,16
Тогучин (2024)	0,81	1,22	0,01	0,001	0,002
Здвинск (2024)	0,74	1,18	0,06	0,002	0,003
Александровское (2024)**	0,78	0,85	0,13	0,03	0,07
Баево (2024)	0,65	0,94	0,06	0,003	0,005
Болотное (2019)	0,81	1,12	0,004	0,003	0,006
Ларьяк (2024)	1,03	1,07	0,43	0,23	0,45
Огурцово (2019)	0,72	0,92	0,01	0,02	0,03
Ребриха (2019)	0,68	0,73	0,54	0,20	0,38
Томск (2019)	1,06	1,31	0,01	0,004	0,007
Ванзыл-Кынак (2024)	1,17	1,21	0,57	0,19	0,37

Примечание. Курсивом указаны названия метеостанций, для которых не удалось получить статистически значимые результаты; жирным шрифтом выделены результаты с уровнем значимости критерия, превышающем пороговое значение 0.1; * – статистически значимые результаты получены для одного критерия из трех; ** – статистически значимые результаты получены для двух критериев из трех; без пометок — статистически значимые результаты получены для всех трех критериев.

Таблица 2

Результаты проверки статистических гипотез о неравенстве средних значений двух выборок для временных рядов количества осадков холодного сезона средних по площади исследуемой территории

Массив	Осадки_POL (положит. фаза)	Осадки_POL (отрицат. фаза)	<i>t</i> prob	<i>U</i> prob	<i>H</i> Prob
ERA5	1.10	1.12	0.73	0.20	0.39
NCEP/NCAR**	1.11	1.21	0.13	0.04	0.08
GPCC	0.76	0.87	0.04	0.02	0.03
CRUTS**	0.86	0.94	0.12	0.03	0.06
GHCN**	0.026	0.087	0.31	0.05	0.10

Примечание. Курсивом указано название массива, для которого не удалось получить статистически значимые результаты; жирным шрифтом выделены результаты с уровнем значимости критерия, превышающем пороговое значение 0.1; ** – статистически значимые результаты получены для двух критериев из трех; без пометок – статистически значимые результаты получены для всех трех критериев.



осадков холодного сезона по данным метеостанций можно считать удовлетворительными.

Помимо анализа временных рядов для отдельных метеостанций выполнен статистический анализ временных рядов количества осадков холодного сезона, усредненных по площади исследуемой области. Результаты этого анализа представлены в табл. 2. Всего было использовано два массива данных реанализа ERA5 и NCEP/NCAR (интенсивности количества атмосферных осадков холодного сезона мм/день) и три сеточных массива данных GPCC (1966–2024 гг.) и CRUTS (1966–2022 гг.) (интенсивности количества атмосферных осадков холодного сезона мм/день), GHCN (1966–2015 гг.) (аномалии количества осадков холодного сезона). В результате проверки статистических гипотез для средних по территории рядов были получены аналогичные результаты. В условиях преобладания отрицательной фазы индекса POL количество атмосферных осадков холодного сезона больше, чем в условиях преобладания положительной фазы этого индекса. По данным реанализа ERA5 этот результат оказался статистически не значим на основе всех трех критериев. По данным реанализа NCEP/NCAR этот результат статистически значим на основании двух критериев из трех. По данным сеточных массивов результаты получились лучше. Для массива GPCC результат статистически значим для всех трех критериев. Для двух других массивов CRUTS, GHCN результаты статистически значимы по двум критериям из трех. Таким образом, для большинства проанализированных временных рядов количества атмосферных осадков холодного сезона средних по площади исследуемой территории получены статистически значимые результаты с уровнем значимости не ниже 0,90.

Также следует отметить тот факт, что в большинстве случаев именно при использовании критерия Стьюдента чаще получаются статистически не значимые результаты. Можно предположить, что на результаты проверки статистических гипотез с использованием критерия Стьюдента влияет тот факт, что распределение осадков отличается от нормального [13, 14]. На результаты проверки статистических гипотез с использованием непараметрических критериев этот факт не влияет.

В целом на основе данных метеостанций, а также данных реанализа и сеточных массивов были получены результаты, которые позволяют говорить о существующей закономерности как о достоверном статистически значимом явлении.

Анализ межгодовых изменений индекса POL показал, что за последние два десятилетия в зимнем сезоне в 90% случаев фаза индекса POL была отрицательной. В условиях преобладания

отрицательной фазы индекса POL околполярный вихрь ослаблен и, как правило, в высоких и средних широтах усиливается меридиональность. Этот результат подтверждается данными Гидрометцентра РФ. Анализ ежемесячных обзоров особенностей атмосферной циркуляции Гидрометцентра РФ показал, что в средней тропосфере в последнее десятилетие в Северном полушарии в целом и в отдельных регионах наблюдалось увеличение повторяемости меридиональных атмосферных процессов. Особенно явно усиление межширотного обмена проявилось на территории Урала, Сибири и Дальнего Востока [15].

Полученные результаты согласуются с данными Центра прогнозирования климата Национальной службы погоды США о наличии низкочастотных колебаний во временном ряду индекса POL. По данным этого центра в 1955–1961 гг. преобладала отрицательная фаза индекса POL, за которой следовал временной интервал 1964/65–1969/70 гг. преобладания положительной фазы индекса POL. Аналогичные периоды устойчивого преобладания положительной или отрицательной фазы наблюдались также в 1980–1990-е гг. [11].

Далее проанализируем структуру гидрометеорологических полей в зависимости от знака фазы индекса POL и рассмотрим наблюдаемые различия и их возможное влияние на количество атмосферных осадков холодного сезона на исследуемой территории.

На рис. 1 представлено пространственное распределение аномалий геопотенциала и линий тока поля скоростей на уровне 850 гПа для части территории Северной Евразии. Значения аномалий геопотенциала представлены цветовой шкалой: нулевым и отрицательным аномалиям соответствуют оттенки синего цвета, увеличению положительных значений аномалий соответствует переход от бирюзового к оттенкам красного цвета. Линии тока, характеризующие направление движения воздушных масс, обозначены тонкими линиями со стрелочками. По оси X отложена долгота, по оси Y – широта области построения. Исследуемая область выделена красным прямоугольником.

Пространственные распределения построены для 10 наиболее характерных лет с наибольшими по абсолютной величине значениями индекса POL для обеих фаз индекса. Анализ пространственного распределения аномалий геопотенциала на уровне 850 гПа показал, что в области построения положение очагов положительных и отрицательных аномалий геопотенциала, а также конфигурация линий тока различаются в зависимости от знака фазы индекса POL.

При отрицательной фазе индекса POL один из центров околполярного вихря наблюдается

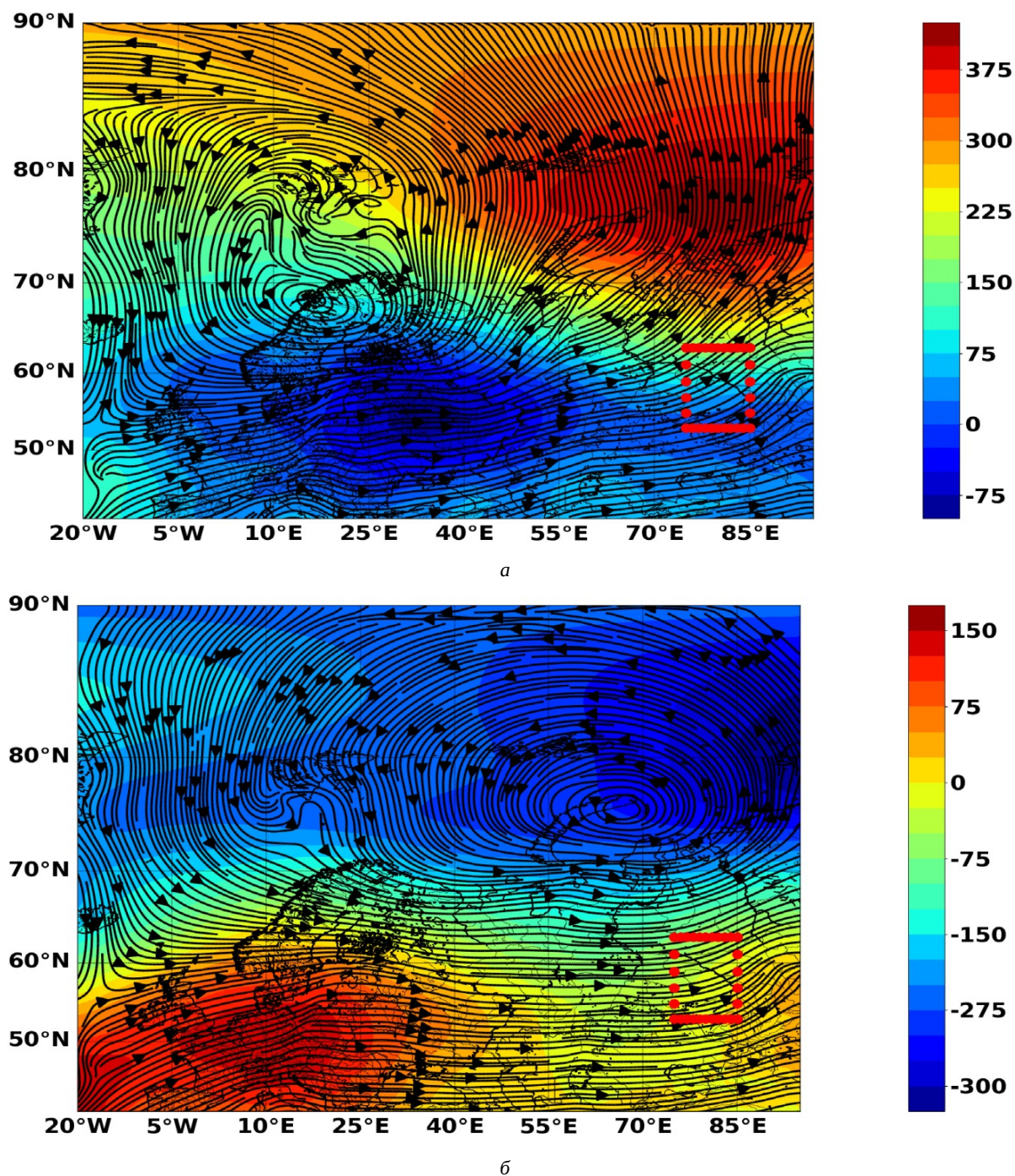


Рис. 1. Пространственное распределение аномалий геопотенциала (базовый период 1961–1990 гг.) и линий тока поля скоростей для поверхности 850 гПа – отрицательная (а) и положительная (б) фаза индекса POL (10 лет с наибольшими по абсолютной величине значениями индекса) (цвет онлайн)

над акваторией Норвежского моря и побережьем Скандинавии. Распределение линий тока свидетельствует об активных меридиональных процессах в высоких широтах (севернее 60° параллели): над побережьем Евразии и околополярными районами преобладают южные потоки, над районами Атлантики – северные. В средних

широтах (40–60° с. ш.) меридиональность проявляется в Азиатской части континента, тогда как над территорией Европы и Европейской частью России (ЕЧР) преобладает зональный (широтный) перенос.

Область положительных аномалий занимает практически всю приполярную территорию,

что свидетельствует о повышенном фоне давления и ослаблении полярного вихря. Диапазон изменения значений аномалий геопотенциала составлял от 0 до 160 ($\text{м}^2/\text{с}^2$). Очаг максимальных положительных значений находится над восточной частью Карского моря и п-овом Таймыр. Область отрицательных аномалий геопотенциала занимает восточную часть Атлантики и Европейскую часть континента, очаг наибольших по абсолютной величине отрицательных значений располагается над центральными районами ЕЧР. Над исследуемой территорией наблюдались положительные аномалии геопотенциала и воздушные потоки с преобладающим юго-западным направлением.

При положительной фазе индекса POL центр циркумполярного вихря находился над северо-восточной частью Карского моря. Высотная фронтальная зона, ограничивающая циркумполярный вихрь, располагается севернее 60° с. ш. Конфигурация линий тока указывает на преобладание зонального переноса.

Область высоких широт находится под влиянием отрицательных аномалий геопотенциала, что свидетельствует о глубоком (активном) околополярном вихре. Значения аномалий геопотенциала изменялись от 0 до -72 ($\text{м}^2/\text{с}^2$).

В средних широтах преобладают положительные аномалии геопотенциала. Область максимальных положительных значений располагается над югом Западной Европы, юго-западными районами ЕЧР. Над средними широтами Урала, Западной Сибири наблюдаются нулевые и слабо положительные аномалии геопотенциала. Над исследуемой территорией преобладали нулевые аномалии геопотенциала и западные потоки.

Полученные результаты согласуются с данными Центра прогнозирования климата Национальной службы погоды США, по результатам исследований которого в период 1950–2000 гг. при положительной фазе индекса POL коэффициент корреляции между аномалиями геопотенциала и значениями индекса POL составлял $+0,3$ [11].

На рис. 2 приведено пространственное распределение аномалий количества атмосферных осадков холодного сезона (ноябрь–март) по данным реанализа ERA5 для исследуемой территории для ситуаций отрицательной и положительной фаз телеконнекционного индекса POL. Треугольниками отмечены те метеостанции, для которых получены статистически значимые результаты по всем трем критериям. Кругами отмечены метеостанции, для которых результаты статистически значимы по двум критериям из трех. Квадратами отмечены метеостанции, для которых статистически значимые результаты получены по одному критерию из трех. Звездами отмечены метеостанции, для которых не удалось получить статистически значимые результаты.

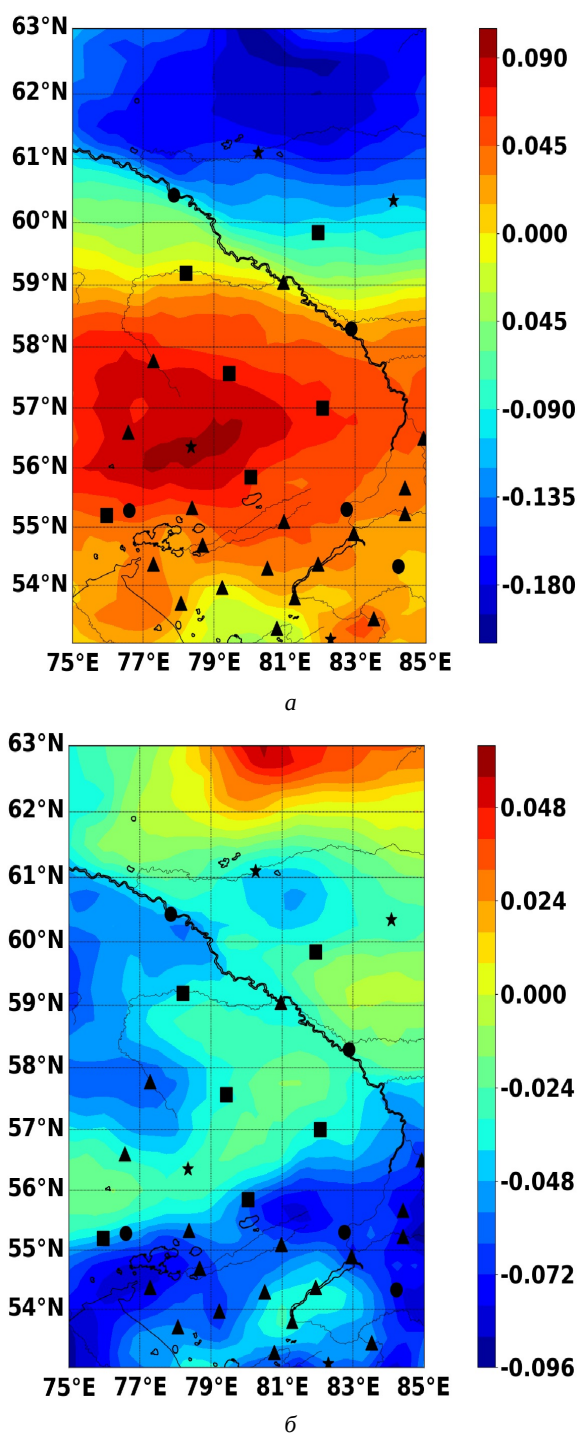


Рис. 2. Пространственное распределение аномалий количества атмосферных осадков холодного сезона (базовый период 1961–1990 гг.) по данным реанализа ERA5 для отрицательной (а) и положительной (б) фазы индекса POL (треугольник – 3 из 3, круг – 2 из 3, квадрат – 1 из 3, звезда – 0 из 3) (цвет онлайн)

При отрицательной фазе индекса POL на исследуемой территории положительные аномалии атмосферных осадков наблюдались в области средних широт, т. е. на юге и в центральной части исследуемой области. Отрицательные



аномалии атмосферных осадков наблюдались в северных широтах, т. е. в северной части исследуемой области. Как правило, аномалии атмосферных осадков и геопотенциала имеют противоположные знаки.

При положительной фазе индекса POL в северной части исследуемой территории наблюдались положительные аномалии осадков и отрицательные аномалии геопотенциала. В средних широтах аномалии осадков отрицательны, а аномалии геопотенциала близки к нулю.

Таким образом, положительные аномалии атмосферных осадков в основном наблюдались в области высоких широт, что соответствует расположению высотной фронтальной зоны (а следовательно, перемещению циклонов) по северным районам Евразии.

В условиях положительной фазы индекса POL пространственное распределение индекса меридиональности MCI (графики не приведены) характеризуется только положительными значениями. В условиях преобладания отрицательной фазы индекса POL пространственное распределение индекса меридиональности MCI характеризуется преимущественно положительными и нулевыми значениями, но наблюдаются локальные области отрицательных значений индекса меридиональности в центральной и северной областях исследуемой территории. То есть локально индекс меридиональности меняет свой знак, что также свидетельствует об активизации меридиональных процессов.

Выводы

Установлена статистически значимая связь между количеством атмосферных осадков холодного сезона (ноябрь–март) и фазой телеконнекционного индекса POL для исследуемой территории.

На основе статистического анализа данных метеостанций, сеточных массивов данных и реанализов установлено, что для исследуемой территории в условиях отрицательной фазы телеконнекционного индекса POL количество атмосферных осадков холодного сезона больше, чем в условиях положительной фазы этого индекса.

Показано, что для исследуемой территории существуют различия в конфигурации гидрометеорологических полей для случаев сильной положительной и отрицательной фаз телеконнекционного индекса POL (абсолютные значения индекса больше 0.5).

Установлено, что в условиях отрицательной фазы индекса POL на исследуемой территории в холодном сезоне наблюдались отрицательные аномалии геопотенциала, положительные аномалии осадков, преобладали юго-западные воздушные потоки. Можно предположить, что

ослабление циркумполярного вихря, распространение высотной ложбины вглубь континента способствовало перемещению атлантических циклонов на территорию Западной Сибири и увеличению количества осадков холодного сезона на исследуемой территории.

При положительной фазе индекса POL на исследуемой территории преобладали нулевые и слабо положительные аномалии геопотенциала, отрицательные аномалии осадков, зональные потоки.

В условиях усиления околополярного вихря шторм-трек располагается в высоких широтах, и циклоны смещаются в основном по северным траекториям, поэтому в средних широтах количество осадков меньше, чем при отрицательной фазе индекса POL.

Библиографический список

1. Gao T., Yu J., Paek H. Impacts of four northern-hemisphere teleconnection patterns on atmospheric circulations over Eurasia and the Pacific // *Theoretical and Applied Climatology*. 2016. Vol. 129. P. 815–831. <https://doi.org/10.1007/S00704-016-1801-2>
2. Gao N., Bueh C., Xie Z., Gong Y. A Novel Identification of the Polar/Eurasia Pattern and Its Weather Impact in May // *Journal of Meteorological Research*. 2019. Vol. 33. P. 810–825. <https://doi.org/10.1007/s13351-019-9023-z>
3. Mirhashemi H., Hasanvand Z. The effect of teleconnection patterns on monthly rainfall in Khorramabad and Kermanshah stations // *Water and Soil Management and Modeling*. 2023. Vol. 3, iss. 4. P. 133–151. <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11702.1159>
4. Золина О. Г., Булыгина О. Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2016. Т. 1. С. 84–103. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2016-1-84-103>, EDN: WBFQYV
5. База данных GPCC. URL: <https://www.dwd.de/EN/ourservices/gpcc/gpcc.html> (дата обращения: 23.04.2024).
6. База данных CRU TS4. URL: <http://badc.nerc.ac.uk/data/cru/> (дата обращения: 24.04.2024).
7. База данных GHCN. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/ghcn-gridded-products/> (дата обращения: 25.04.2024).
8. База данных ERA. URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation> (дата обращения: 25.04.2024).
9. База данных NCEP/NCAR. URL: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html> (дата обращения: 22.04.2024).
10. Barnston A. G., Livezey R. E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // *Monthly Weather Review*. 1987. Vol. 115. P. 1083–1126. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2)



11. Climate Prediction Center [сайт]. URL: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> (дата обращения: 22.04.2024).
12. Francis J. A., Vavrus S. J. Evidence for wavier jet stream in response to rapid Arctic warming // *Environmental Research Letters*. 2015. Vol. 10, № 1. Article number 014005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/1/014005>
13. Zhai W., Wang Z., Feng Y., Xue L., Ma Z., Tian L., Sun H. Developing the Actual Precipitation Probability Distribution Based on the Complete Daily Series // *Sustainability*. 2023. Vol. 15, iss. 17. Article number 13136. <https://doi.org/10.3390/su151713136>
14. Cavanaugh N. R., Gershunov A., Panorska A. K., Kozubowski T. J. The probability distribution of intense daily precipitation // *Geophysical Research Letters*. 2015. Vol. 42. P. 1560–1567. <https://doi.org/10.1002/2015GL063238/>
15. Обзоры Гидрометцентра РФ. URL: <https://meteoinfo.ru/circulation-review> (дата обращения: 23.04.2024).

Поступила в редакцию 16.07.2024; одобрена после рецензирования 12.09.2024;
принята к публикации 27.09.2024; опубликована 29.11.2024

The article was submitted 16.07.2024; approved after reviewing 12.09.2024;
accepted for publication 27.09.2024; published 29.11.2024



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 259–268

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 259–268

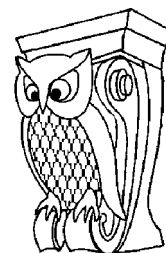
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-259-268>, EDN: SEEUVV

Научная статья

УДК 551.435.627:528.94:004.942

Применение математико-картографического моделирования для комплексной оценки оползневой опасности методом анализа иерархий на территории г. Саратова



В. А. Данилов, В. А. Морозова[✉], Д. С. Моисеев

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Данилов Владимир Анатольевич, кандидат географических наук, доцент кафедры геоморфологии и геоэкологии, kohavi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6971-9860>

Морозова Валерия Андреевна, старший преподаватель кафедры геоморфологии и геоэкологии, riukarin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5768-1201>

Моисеев Денис Сергеевич, лаборант учебной лаборатории геоинформатики и тематического картографирования, dan.moiseeff2016@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8383-5239>

Аннотация. Город Саратов подвержен оползневым процессам, которые занимают значительную часть его территории. Антропогенные факторы, такие как нерациональное использование земель, усиливают активизацию оползания территории. В статье рассматриваются природные факторы как совокупность, влияющая на формирование оползней на территории г. Саратова и проводится их оценка. Применение метода анализа иерархий (Analytic Hierarchy Process – АНП) в сочетании с технологиями ГИС позволило выявить корреляционные зависимости между природными и антропогенными факторами, влияющими на возникновение и активизацию оползней. Весовые коэффициенты факторов риска помогли оценить уязвимость различных участков города. Одним из основных методов исследования стало использование статистических алгоритмов и методов математико-картографического моделирования для создания интегральной карты устойчивости территории к оползневым процессам. Полученные данные важны для планирования городских территорий и разработки мер по предотвращению оползней. Созданная база данных может быть использована для систематического мониторинга и накопления данных об экзогенных процессах.

Ключевые слова: оползни, оползневые процессы, мониторинг, оползнеобразующие факторы, уязвимость территории, оценка риска, г. Саратов, метод анализа иерархий

Благодарности. Исследование выполнено при участии С. Г. Филипповой выпускницы кафедры геоморфологии и геоэкологии, магистрантки направления 05.04.06 Экология и природопользование, за что авторы приносят ей благодарность.

Для цитирования: Данилов В. А., Морозова В. А., Моисеев Д. С. Применение математико-картографического моделирования для комплексной оценки оползневой опасности методом анализа иерархий на территории г. Саратова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 259–268. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-259-268>, EDN: SEEUVV

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Application of Mathematical-Cartographic Modeling for comprehensive landslide hazard assessment using the Analytic Hierarchy Process in the territory of the city of Saratov

V. A. Danilov, V. A. Morozova[✉], D. S. Moiseev

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Vladimir A. Danilov, kohavi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6971-9860>

Valeria A. Morozova, riukarin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5768-1201>

Denis S. Moiseev, dan.moiseeff2016@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8383-5239>

Abstract. The city of Saratov is subject to landslide processes, which occupy a significant part of its territory. Anthropogenic factors, such as irrational use of land, increase the activation of landslide of the territory. The article considers natural factors as an aggregate influencing landslide formation on the territory of Saratov city and evaluates them. Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) method in combination with GIS technologies allowed to reveal correlation dependencies between natural and anthropogenic factors influencing the occurrence and activation of landslides. Weighting coefficients of risk factors helped to assess the vulnerability of different parts of the city. One of the main research methods was the use of statistical algorithms and methods of mathematical and cartographic modeling to create an integral map of the territory's resistance



to landslide processes. The obtained data are important for planning of urban areas and development of landslide prevention measures. The created database can be used for systematic monitoring and accumulation of data on exogenous processes.

Keywords: landslides, landslide processes, monitoring, landslide-forming factors, vulnerability of the territory, risk assessment, Saratov, Analytic Hierarchy Process

Acknowledgements: The research was conducted with the assistance of Svetlana G. Filippova, graduate of the Department of Geomorphology and Geoecology, master's student in the field of 05.04.06 Ecology and Environmental Management, who contributed scientifically to the research topic.

For citation: Danilov V. A., Morozova V. A., Moiseev D. S. Application of Mathematical-Cartographic Modeling for comprehensive landslide hazard assessment using the Analytic Hierarchy Process in the territory of the city of Saratov. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 259–268 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-259-268>, EDN: SEEUUV

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Постановка проблемы

Оползневые процессы, представляющие собой смещение масс горных пород по склону, наряду с другими экзогенными процессами, широко распространены по всему миру. Последствия таких процессов представляют серьезную угрозу для жизнедеятельности человека, вызывая разрушение рельефа, уничтожение сельскохозяйственных угодий и нарушая устойчивость инженерных сооружений, таких как здания, дороги, трубопроводы и пр. В конечном итоге активизация оползневых процессов влечет за собой значительный финансовый ущерб и в некоторых случаях уносит человеческие жизни [1]. Очевидно, что постоянный мониторинг опасных для жизнедеятельности человека процессов крайне важен. В рамках мониторинга выделяют ряд алгоритмов, направленных на полноценный анализ территории, выявление уязвимых участков, где возможны оползневые процессы, а также своевременный прогноз.

Обзор исследований

На территории г. Саратова оползневые процессы занимают одно из ключевых мест среди прочих экзогенных процессов, они являются опасными и интенсивными по площади распространения. Гидрогеологическая обусловленность этих процессов является важным фактором их возникновения. Если водопроницаемые породы подстилаются горизонтом водоупорных пород, чаще всего глин, существует высокая вероятность образования оползней. Кроме того, залегание пород, при котором падение кровли водоупорных слоев совпадает с направлением уклона поверхности, значительно увеличивает риск оползневых процессов. В таких условиях водоупорный горизонт становится поверхностью скольжения, по которой значительный блок породы может соскальзывать вниз по склону. При этом порода может частично дробиться, превращаясь в бесструктурную массу [1]. Так как образованию оползней способствует сочетание природных, антропогенных факторов, важным моментом при изучении оползневых участков, является выявление и категоризация всех фак-

торов воздействия, исследование их динамики и возможный прогноз оползания.

Исследованиям оползневых процессов на территории г. Саратова посвящено множество работ, в том числе работы А. В. Цыганкова, С. К. Горелова, А. В. Вострякова, значительный вклад в изучение оползней внесены и саратовскими учеными: А. В. Ивановым, В. Б. Сельцером, Г. И. Лотоцким, В. А. Даниловым, А. В. Федоровым и др. [2–9].

На территории г. Саратова можно выделить следующие зоны, подверженные оползневым процессам: Соколовогорская, Лысогорская и Увекская. Каждая из этих зон характеризуется своим уникальным набором факторов риска, таких как особенности геологического строения (водоупорные и водоносные слои), крутизна склонов и другие [8].

Методы исследования

В исследованиях, связанных с картометрическим и морфометрическим анализом оползневой опасности и риска, существует множество методов, направленных на выявление уязвимых территорий, подверженных воздействию оползней. Эти методы варьируются от анализа облаков точек и создания светотеневых моделей рельефа до более сложных математических и статистических подходов, таких как модели соотношения частот и энтропии (Frequency Ratio) и метод анализа иерархий (Analytic Hierarchy Process (AHP)) [10–13].

В данном исследовании основной акцент сделан на применении математико-картографической модели, которая позволяет проводить комплексную оценку территории и выявлять потенциально опасные участки на основе общих условий формирования. Особенность такой модели заключается не только в выявлении и подтверждении уже утвержденных участков с оползневыми процессами, но и в прогнозировании потенциально опасных зон.

В качестве программного обеспечения была использована QGIS 3.24, а главным методом анализа был выбран метод АНР.

Для оценки оползневой опасности на любой выбранной территории необходимо выявить при-



чины формирования опасного процесса, который предстоит прогнозировать. В случае оползней основными факторами их формирования являются геологические, метеорологические и, безусловно, антропогенные, но стоит учитывать, что метод статистического анализа данных позволяет найти более неочевидные взаимосвязи между различными локальными факторами. На территории г. Саратова авторами были отобраны 11 экспериментальных факторов, которые так или иначе могут влиять на развитие оползневых процессов: уровень грунтовых вод, углы наклона территории, горизонтальное расчленение рельефа, экспозиция склонов, коэффициент кривизны поверхности, индекс пересечённости местности (TRI), расстояние до тальвежной сети и дорожной инфраструктуры, нормализованный вегетационный индекс (NDVI), топографический индекс влажности (TWI), а также генезис и свойства горных пород. В случае работ, направленных на применение метода АНР для оценки устойчивости территорий, в основном используются факторы абсолютной высоты, угла наклона, экспозиции склона, землепользования, расстояния до коммуникаций и рек, тип пород, уровень грунтовых вод [14, 15].

В предложенном перечне факторов оползнеобразования отсутствуют геологические параметры, такие как литология, стратиграфия горных пород и их механические свойства, которые оказывают существенное влияние на устойчивость склонов. Подобные изыскания предполагают полевые работы и несомненно повысят качество модели. Однако цель настоящего исследования – в апробации камерального подхода с использованием математического аппарата для предварительной оценки оползневой опасности территории.

Для каждого фактора оползнеобразования была построена своя картографическая модель, где каждому пикселю присвоено значение фактора для последующего сравнения. Стоит учесть, что в данном виде сравнивать такие модели не представляется возможным, они требуют масштабирования признаков. Для этого модели были переклассифицированы на 5 классов по уровню опасности (очень низкий (1), низкий (2), умеренный (3), высокий (4), очень высокий (5)).

Поверхностная кривизна определялась на основе цифровой модели рельефа (ЦМР). Склоны классифицированы на вогнутые (от -0,0246 до 0), плоские (0) и выпуклые (от 0,0246). Вогнутые склоны (класс опасности 3) более подвержены оползням из-за накопления влаги. Выпуклые (класс 5) считаются основным рисковым фактором на территории. Плоские склоны относятся к устойчивым (класс 1). Для углов наклона выделены диапазоны: менее 5° (очень низкий риск), 5°-10° (низкий), 10°-15° (умеренный), 15°-20° (высокий), более 20° (очень

высокий). Вероятность оползней значительно возрастает с увеличением крутизны склона (рис. 1, а).

Данная классификация выявлена эмпирическим путем, на основании существующих оползневых тел, а также на основе работ, изучающих влияние данного фактора на развитие опасных процессов [14, 15].

Уровень грунтовых вод в исследуемой области варьирует от менее 2 м (что указывает на очень высокий риск) до более 10 м (очень низкий риск). Данная классификация основана на том, что чем ближе грунтовые воды к поверхности, тем более высока вероятность их выхода на поверхность, в особенности при воздействии сторонних факторов.

Стоит отметить, что оползни часто наблюдаются в зонах с близким залеганием грунтовых вод, например в г. Саратове у поселков Семхоз и Завокзальный. Что касается оценки евклидовых расстояний до тальвегов и дорожной сети, классификация была проведена по принципу: участки, находящиеся на расстоянии менее 300 м, относятся к зонам очень высокого риска, тогда как расстояния более 1200 м характеризуются очень низким риском возникновения оползней, что основано на близости этих объектов (рис. 1, б). Оползневой риск может возникать в силу ряда антропогенных причин: движение транспорта создает вибрации и динамические нагрузки, которые могут ослабить устойчивость склонов. При строительстве дорог часто подрезают склоны, что может нарушить их устойчивость.

Горизонтальное расчленение местности оказывает влияние на плотность эрозионной сети. Значения менее 0,1 км/км² указывают на очень низкий риск, тогда как значения более 0,8 км/км² связаны с очень высоким риском оползней. Экспозиция склонов также играет важную роль: склоны, ориентированные на юг и юго-запад, классифицируются как зоны очень высокого риска. Это связано с интенсивностью солнечного излучения: склоны, обращенные на юг и юго-запад, получают больше солнечного света, что может привести к высыханию и растрескиванию грунта.

На таких склонах снег тает быстрее, что может вызвать переувлажнение грунта весной. Южные и юго-западные склоны могут быть более подвержены воздействию ветров, что также способствует эрозии и ослаблению грунта.

Индексы пересечённости местности (TRI) и влажности (TWI) косвенно, но могут иметь влияние на оползнеобразование. Большая пересечённость и влажность указывают на высокий риск (рис. 2).

Растительность оценивалась на базе индекса NDVI: низкое значение и редкая растительность – высокий риск, плотная – низкий.

Очевидно, что активизации оползней способствует одновременное воздействие как рас-

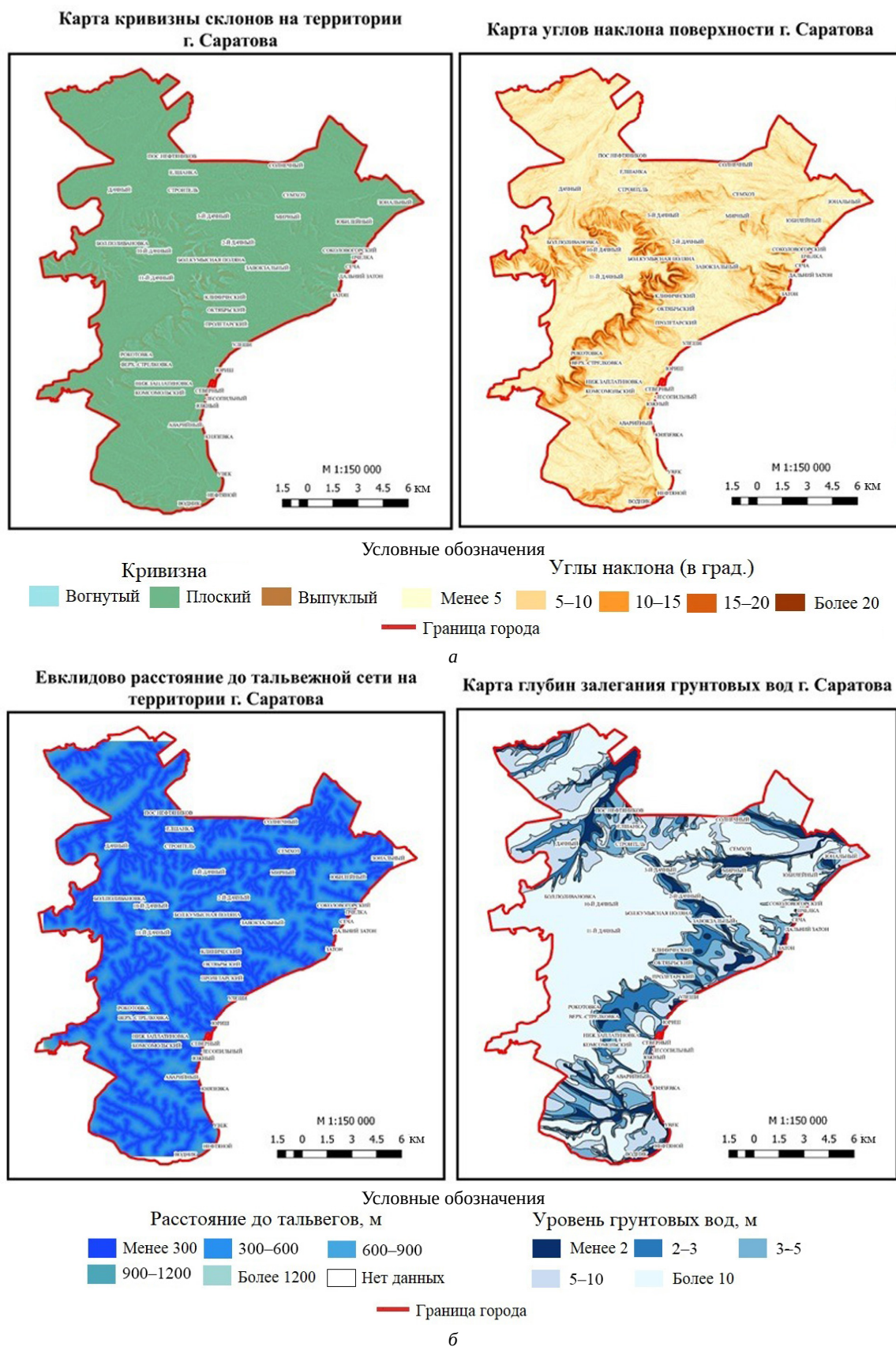


Рис. 1. Пример карт-факторов оползнеопасности на основе кривизны склонов и углов наклона (а) и на основе евклидова расстояния до тальвежной сети и залегания грунтовых вод (б) (цвет онлайн)

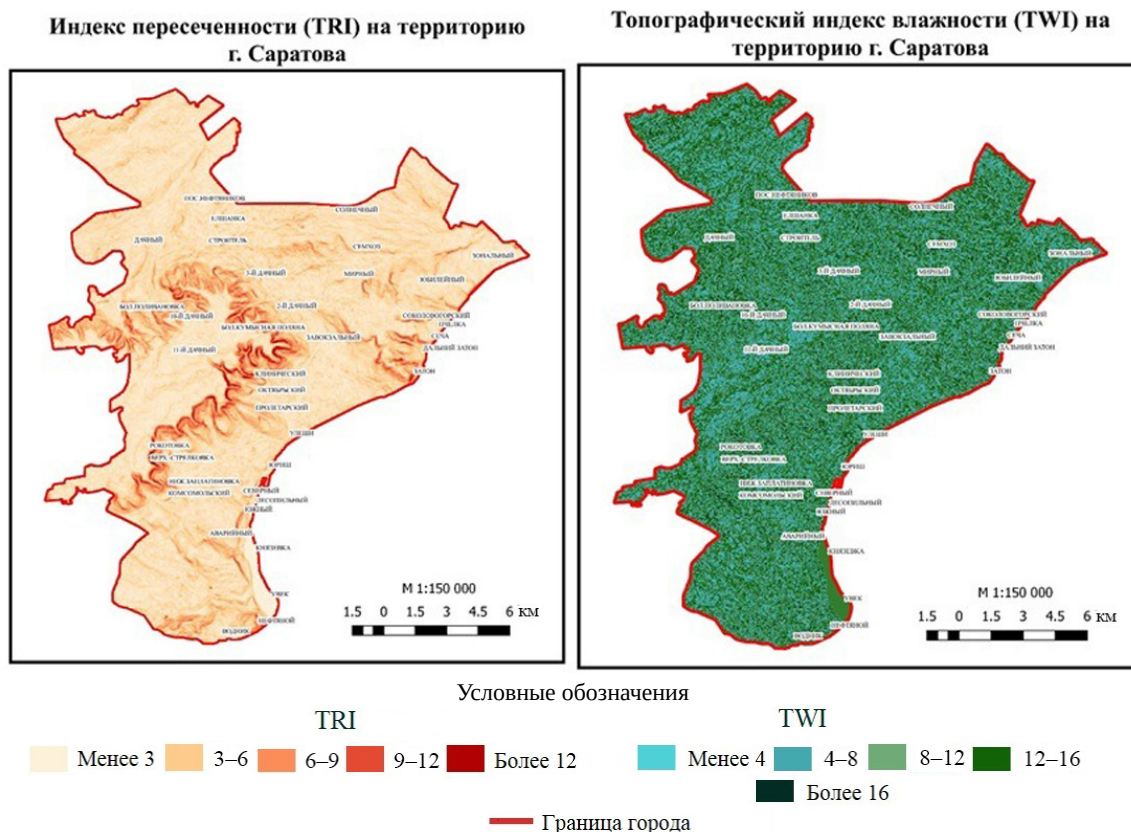


Рис. 2. Пример карт-факторов оползнеопасности на основе метода TRI и TWI (цвет онлайн)

смаатриваемых, так и прочих природных и антропогенных факторов. Например, возникновение оползневых процессов в местах с крутыми склонами, рыхлыми почвами или насыщенными водой породами будет более вероятно, чем в местах, где присутствует лишь один из факторов. В определённых зонах, где присутствуют водопорные слои, вероятность скольжения пород значительно выше, степень эрозии имеет другую направленность, которая может ослабить устойчивость склонов.

После построения всех моделей факторов необходимо приведение их к общему знаменателю – проведение классификации. Важным этапом методики является вычленение коэффициентов веса для каждого фактора. Очевидно, что для формирования оползня нужна определенная комбинация факторов и каждый фактор имеет свой вклад (вес) для процесса и он не равнозначен.

Для корректности сравнения моделей строится матрица парных коэффициентов корреляции на основе методики АНР. Этот метод, разработанный Т. Саати в 1980 г. [10], позволяет систематически сравнивать факторы, влияющие на оползнеобразование, попарно, присваивая каждому из них весовое значение. Каждый фактор оценивается по степени важности относительно других на основе фундаментальной

числовой шкалы Саати [10]. Полученная матрица является основой для последующих расчетов при моделировании.

Несмотря на то, что методика АНР является математическим методом поддержки принятия решений, позволяющим структурировать сложные проблемы и оценивать альтернативы по нескольким критериям, она уже успешно апробирована для оценки естественных процессов и их прогноза как в России, так и за рубежом [15–20].

Выбор факторов и их взаимосвязь

Необходимость включения большого числа факторов оценки обусловлена их влиянием на различные аспекты оползнеобразования. Важно отметить, что некоторые факторы могут демонстрировать сильную корреляцию между собой, поэтому в процессе анализа можно редуцировать некоторые в силу равнозначности. Например, топографический индекс влажности (TWI) и нормализованный вегетационный индекс (NDVI) могут отражать связанные процессы (наличие растительности и степень насыщенности почвы влагой). Однако в зависимости от конкретных условий рельефа и климата их влияние может различаться.



Алгоритм расчета весов факторов

1. *Построение матрицы пофакторного сравнения.* Каждый фактор в матрице сравнивался попарно с другими, и значения отражали относительную важность одного фактора по сравнению с другим.

2. *Суммирование значений по строкам.* Для каждого фактора вычислялась сумма всех значений в строке. Это промежуточное значение использовалось для дальнейших расчетов весов.

3. *Нормализация.* Для получения окончательного веса фактора сумма по строке делилась на общее количество факторов.

4. *Формула для расчета веса каждого фактора (W_i)* имеет вид:

$$W_i = \frac{\sum n_j \cdot A_{ij}}{n}, \quad (1)$$

где A_{ij} – значение матрицы пофакторного сравнения для факторов i и j , n – общее количество факторов.

5. *Верификация данных модели.* Для верификации модели был вычислен средний вектор меры непротиворечивости (λ):

$$\lambda = \frac{\text{Соотношение факторов}}{\text{Количество факторов}}. \quad (2)$$

После расчета стандартных весов согласованность проверяется путем расчета коэффициента окончательной непротиворечивости (CR). Для этого определяется индекс непротиворечивости (CL) с помощью формулы

$$CL = \frac{\lambda - n}{n - 1}, \quad (3)$$

где λ – средний вектор меры непротиворечивости, n – число критериев.

Коэффициент окончательной непротиворечивости вычисляется путем деления CL на RI:

$$CR = \frac{CL}{RI}, \quad (4)$$

где CL – индекс непротиворечивости, RI – индекс случайной величины.

Метод анализа иерархий позволяет получить весовые значения для каждого фактора, что значительно упрощает дальнейший процесс анализа и моделирования. Эти данные служат основой для последующего построения карт оползневой опасности, где каждый фактор может быть визуализирован и использован в пространственном анализе.

Результаты и их обсуждение

Для оценки устойчивости территории к возникновению оползневых процессов была построена матрица пофакторного сравнения. В данной матрице (табл. 1) представлены 11 факторов, каждый из которых был оценен в зависимости от его значимости относительно других. Сравнение проводилось с использованием метода анализа иерархий (АНР), что позволило определить вес каждого фактора в зависимости от его вклада в общую модель.

Отбор факторов был основан на работах зарубежных ученых [14, 15, 20]. Методика не является заменой или полной альтернативой существующих полевых методов изучения оползней или факторов из действующих нормативных документов, таких, например, как СП 11-105-97, в которых учтены ключевые параметры: высота и форма склона, его экзодинамика и негативные процессы, строение и свойства грунта, а также влияние дополнительных нагрузок (наличие или отсутствие, планируемое воздействие). Данная методика является оценкой уязвимости или устойчивости любой территории к внешнему воздействию и служит частью рекогносцировочного предварительного анализа территории и мониторинга в целом.

В результате для каждого склона рассчитывалось среднее значение коэффициента устойчивости, что позволило обеспечить точную оценку потенциальной оползневой опасности (табл. 1).

Полученные значения необходимо сложить по строкам, записав в отдельный столбец, сложить каждое значение по строкам и разделить на общее количество факторов – это и будет являться весом каждого фактора.

Таблица 1

Пример расчета по матрице пофакторного сравнения факторов оползнеобразования

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,07	0,08	0,05	0,06	0,07	0,09	0,11	0,16	0,10	0,10	0,11
2	0,22	0,26	0,28	0,34	0,26	0,23	0,21	0,23	0,16	0,17	0,14
...											
11	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,05	0,05

Примечание. Факторы: 1 – кривизна, 2 – углы наклона, 3 – экспозиция, 4 – грунтовые воды, 5 – горизонтальное расчленение, 6 – евклидово расстояние до тальвежной сети, 7 – евклидово расстояние до дорожной сети, 8 – индекс пересеченности местности (TRI), 9 – топографический индекс влажности (TWI), 10 – нормализованный вегетационный индекс (NDVI), 11 – генезис почвообразующих пород.



Анализ весов факторов

После проведения расчета по матрице сравнений каждому фактору были присвоены веса, отражающие их значимость в процессе оползнеобразования. Наибольшие значения получили такие факторы, как углы наклона (0,218), уровень грунтовых вод (0,172) и горизонтальное расчленение (0,157). Эти факторы критически влияют на устойчивость склонов и вероятность возникновения оползней, что подтверждается требованиями нормативных документов, таких как СП 11–105–97, где подробно рассматриваются параметры устойчивости склонов и их экодинамика.

Менее значимые факторы, такие как топографический индекс влажности (0,021) и генезис почвообразующих пород (0,015), имеют сравнительно небольшой вес, что может быть связано с их второстепенным влиянием на процессы оползнеобразования в конкретной географической зоне. Это подтверждает необходимость учета только наиболее значимых факторов при построении модели, поскольку избыточное включение менее значимых переменных может приводить к усложнению модели без заметного повышения её точности.

Пример расчета

Расчет веса для фактора 1 (кривизна).

Сумма по строке 1 = 0,07 + 0,08 + 0,05 + 0,06 + 0,07 + 0,09 + 0,11 + 0,16 + 0,10 + 0,10 + 0,11 = 1.

Вес для фактора 1 (кривизна) = $\frac{1}{11} \approx 0,09$.

Аналогичный процесс был выполнен для всех прочих факторов. В результате анализа были определены зоны высокого, среднего и низкого уровня оползневой опасности, что позволило выявить критически важные участки территории г. Саратова.

Результаты расчетов показали, что наряду с такими значимыми факторами, как углы наклона, кривизна и экспозиция склонов, также необходимо учитывать характеристики грунтов, включая их влагоемкость, пористость и прочностные свойства, поскольку они оказывают непосредственное влияние на устойчивость склонов в целом.

Следующим этапом проводится вычисление среднего вектора меры непротиворечивости (λ)

для оценки модели:

$$\lambda = (13,33 + 12,91 + 13,09 + 13,18 + 12,93 + 13,80 + 13,00 + 12,71 + 12,00 + 11,00 + 18,00) / 11 = 13,27. \quad (5)$$

После расчета стандартных весов согласованность проверяется путем расчета коэффициента окончательной непротиворечивости (CR):

$$CL = \frac{13,27 - 11}{11 - 1} = 0,22, \quad (6)$$

где CL – индекс непротиворечивости; $\lambda = 13,27$ – средний вектор меры непротиворечивости; $n = 11$ – число критериев.

Коэффициент окончательной непротиворечивости вычисляется путем деления CL на RI:

$$CR = \frac{0,22}{1,51} = 0,14, \quad (7)$$

где CL – индекс непротиворечивости, RI – индекс случайной непротиворечивости, представленный в табл. 2.

Верификация модели и оценка согласованности

Для проверки надежности полученной модели был проведен расчет среднего вектора меры непротиворечивости (λ), что позволило оценить степень согласованности матрицы сравнений. В нашем исследовании λ составил 13,07, что при расчете индекса согласованности (CL) привело к значению 0,006. Это значение находится в допустимых пределах, что подтверждается коэффициентом окончательной непротиворечивости (CR), который равен 0,004. Поскольку CR значительно ниже установленного порога в 0,10, можно заключить, что модель является надежной и не требует пересмотра матрицы пофакторных сравнений.

Важно отметить, что такой низкий коэффициент окончательной непротиворечивости свидетельствует о высоком уровне согласованности при ранжировании факторов. Это особенно важно в контексте моделирования сложных природных процессов, таких как оползнеобразование, где ошибки в оценке факторов могут привести к неправильной интерпретации результатов и, соответственно, к неточным прогнозам [17, 20, 21].

Указанные факторы оказались наиболее влиятельными при моделировании оползневой опасности. Полученная карта наглядно показала, что зоны с высоким и умеренным уровнем опасности

Таблица 2

Индекс случайной непротиворечивости

Размерность матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Случайная согласованность	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51



занимают значительную часть территории г. Саратова. Наибольшие риски оползней отмечены в районах, прилегающих к долинам рек, таким как 2-я Гуселка, Елшанка и южнее р. Березина (рис. 3).

Методика, основанная на методе анализа иерархий, показала свою эффективность для оценки оползневой опасности на территории г. Саратова. Использование 11 факторов позволило комплексно оценить воздействие различных природных и антропогенных факторов на процессы оползнеобразования.

Итоговая карта подтвердила достоверность предложенной модели и позволила выявить новые потенциально опасные зоны, которые не были указаны на предыдущих картах. Это свидетельствует о том, что метод анализа иерархий (АНР) в сочетании с картографическим анализом способен эффективно выявлять потенциальные риски, даже в условиях недостатка данных или при наличии сложных рельефных и геологических характеристик.

С помощью интеграции метода анализа иерархий и пространственного анализа в ГИС-системах была построена детализированная карта оползневой опасности на территорию г. Саратова, представленная на (рис. 4). Эта карта позволяет визуализировать результаты модели-

рования и выделить зоны различной степени риска: от участков с низким уровнем оползневой опасности до критически опасных зон, где вероятность возникновения оползней особенно велика.

Одним из важнейших аспектов предложенной методики является ее адаптивность. Она может быть использована не только для оценки текущих рисков, но и для прогнозирования будущих изменений в условиях возможных климатических или антропогенных воздействий. Например, учитывая возможные изменения климата, такие как увеличение количества осадков или повышение уровня грунтовых вод, метод АНР можно дополнить новыми параметрами для учета динамических факторов, что позволит делать более точные прогнозы.

Интегральная карта предполагает, что будущие оползни будут происходить в схожих условиях, и её можно использовать для дальнейшего анализа и оценки территории. В районах с существующими оползнями уровень опасности высок, что подтверждает правдоподобность метода. Наибольший риск отмечен в районах пос. Мирный, в долинах рек 1-я и 2-я Гуселка, Березина, Елшанка и других.

Низкий риск наблюдается на Лысогорском плато, где отсутствуют критические уклоны

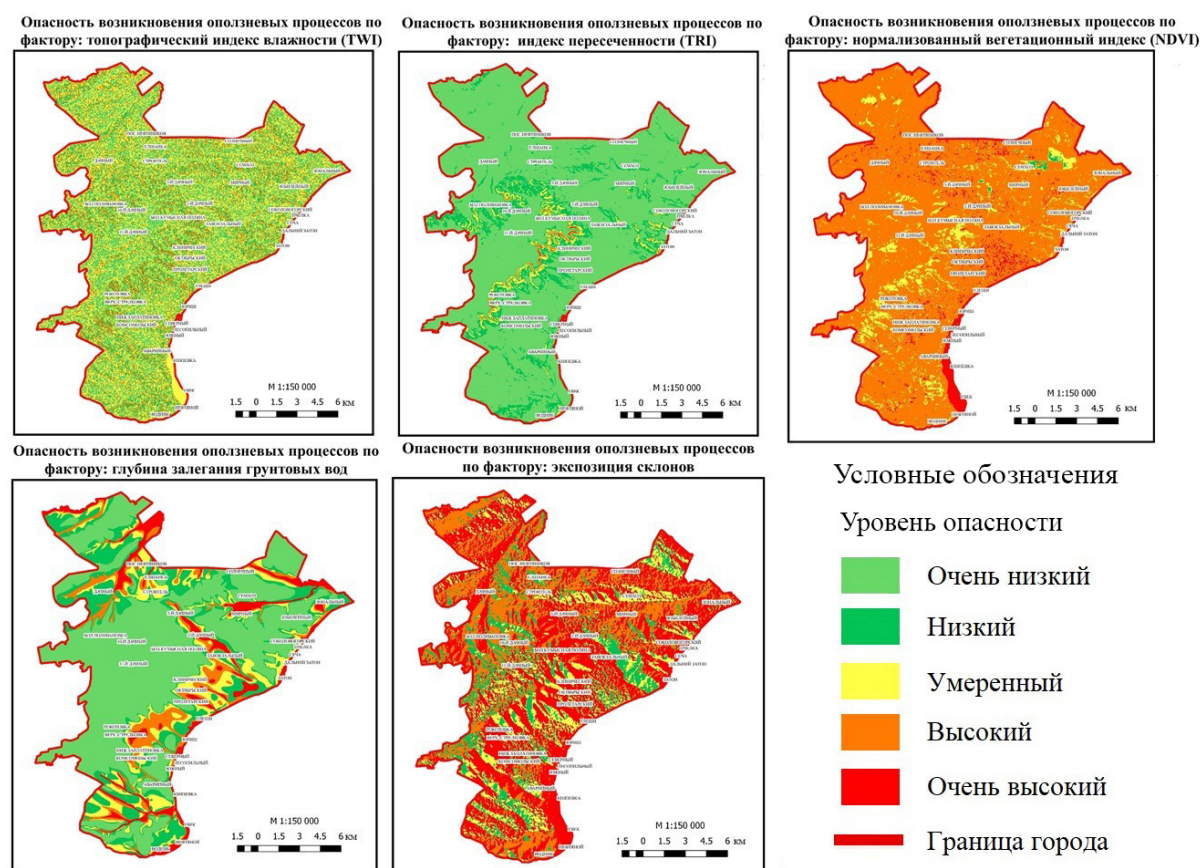


Рис. 3. Классификация опасности возникновения оползневых процессов по факторам (цвет онлайн)

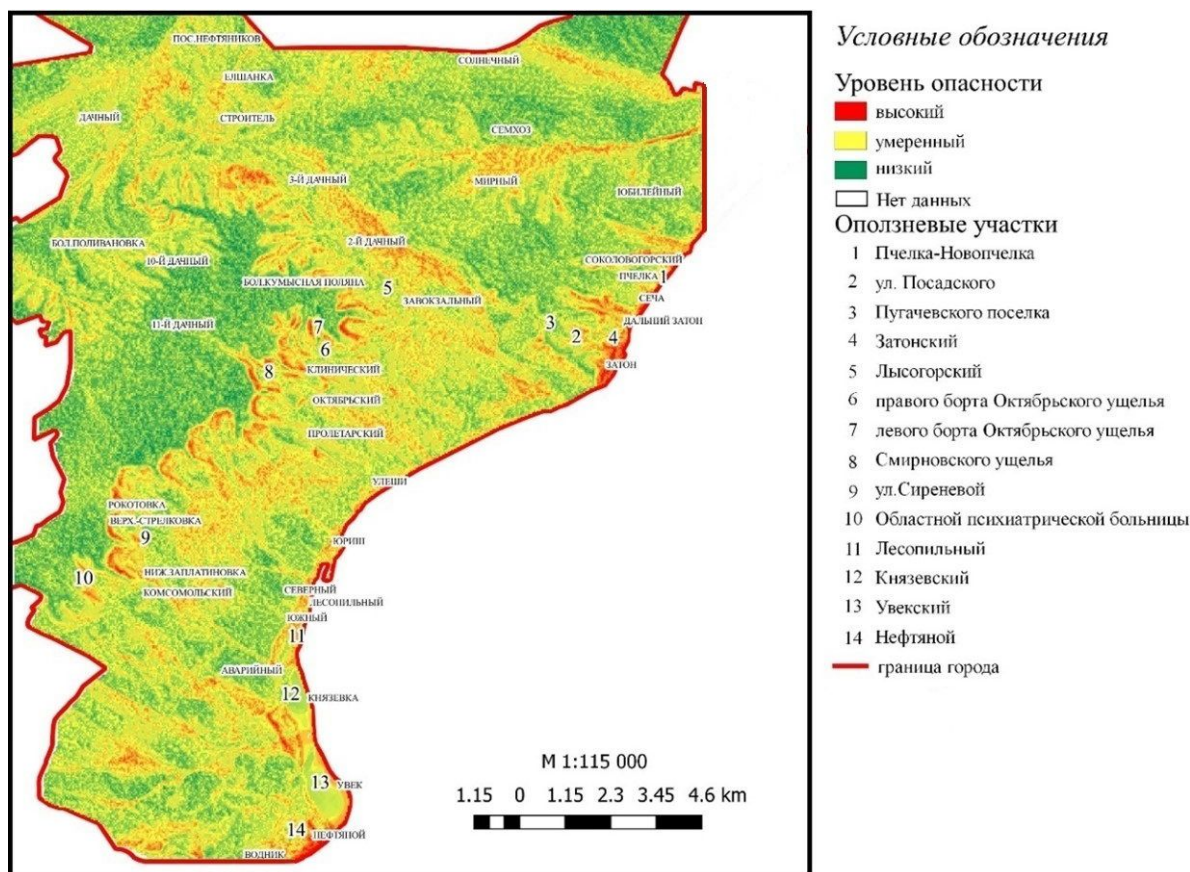


Рис. 5. Подверженность территории г. Саратова оползневой опасности (цвет онлайн)

рельефа. Однако древние оползни на уступе Лысогорского плато указывают на возможные скрытые риски. Сравнение с картой оползневого потенциала показывает совпадение с новыми опасными зонами, что делает карту важным инструментом для мониторинга и предотвращения ущерба.

Хотя метод анализа иерархий эффективен, он не гарантирует возникновение оползня при совпадении факторов, но указывает на высокую уязвимость территории и ее подверженность подобным экзогенным воздействиям. Недостатком метода остаётся субъективизм экспертных оценок, однако оценка противоречивости данных позволяет повысить доверие к результатам.

Выводы

В результате проведенного исследования был создан ряд картографических моделей на территорию г. Саратова, сформирована геоинформационная база данных факторов, способствующих активизации оползней. Оценка уязвимости территории г. Саратова показала высокую степень оползнеопасности, особенно вблизи жилых и хозяйственных объектов, что подчеркивает важность постоянного мониторинга.

Построенные модели наглядно продемонстрировали существенное влияние выбранных показателей на территорию. Наибольшую площадь занимают зоны с высоким и умеренным уровнем опасности. Кроме того, выявлены новые потенциально опасные участки, например, у рек 2-я Гуселка и Елшанка, а также южнее р. Березина.

Метод анализа иерархий показал свою эффективность, позволив учесть сложные взаимодействия факторов, влияющих на оползни. Оценка противоречивости данных повысила достоверность результатов, что было подтверждено сопоставлением с имеющейся картой оползневого потенциала. Метод выявил как совпадающие, так и новые опасные зоны, что подчеркивает его применимость для мониторинга и анализа оползнеопасных процессов.

Библиографический список

1. Леонтьев О. К., Рычагов Г. И. Общая геоморфология: учебное пособие для географических специальностей университетов. М. : Высшая школа, 1979. 287 с.
2. Данилов В. А., Федоров А. В., Морозова В. А. Комплексное применение технологии ГИС и наземного лазерного сканирования для исследования оползневых тел (на примере оползня в Октябрьском ущелье



- г. Саратова) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2019. Т. 19, вып. 3. С. 160–167. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-3-160-167>, EDN: QETNTY
3. Безвершенко Л. Б., Данилов В. А., Федоров А. В. Методика реконструкции палеорельефа Увекского массива в XIII веке с использованием ГИС-технологий // Современные проблемы территориального развития. Международный научно-практический журнал. 2018. № 3. EDN: XZTHBZ
 4. Востряков А. В. Неогеновые и четвертичные отложения, рельеф и неотектоника юго-востока Русской платформы. Саратов : Издательство Саратовского университета, 1967. 354 с.
 5. Цыганков А. В. Морфоструктура Нижнего Поволжья : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук, 1967. 24 с.
 6. Цыганков А. В. Методика изучения неотектоники и морфоструктура Нижнего Поволжья (Труды НИПИнефть). Волгоград : Нижне-Волжское книжное издательство, 1971. 255 с.
 7. Горелов С. К. Геоморфология и новейшая тектоника Правобережья Нижней Волги // Труды Института географии АН СССР. 1957. Т. 73. 140 с.
 8. Браташова С. А., Иванов А. В. Оползневая опасность на юго-восточной окраине Саратова и польны как ее вероятный индикатор // Недра Поволжья и Прикаспия. 2005. Вып. 44. С. 59–64.
 9. Лотоцкий Г. И., Зайонц В. Н. Опасные процессы современного геоморфогенеза в Саратовском Поволжье // Известия Саратовского университета. Серия : Науки о Земле. 2007. Т. 7, вып. 2. С. 14–16. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2007-7-2-14-16>, EDN: KWJPNZ
 10. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М. : Радио и связь, 1993. 278 с.
 11. Оценка оползневой опасности с использованием метода соотношения частот и комбинированного фрактально-частотного метода на примере города Тиньтук провинции Каобанг (Вьетнам). URL: https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16283?setLocale=ru_RU (дата обращения: 12.08.2024).
 12. Бочков А. В., Жигирев Н. Н. Развитие метода сравнения альтернатив при принятии решений в условиях неполной определенности экспертных предпочтений // Труды международной научной школы МАБР. СПб. : ГУАП, 2015. 304 с.
 13. Бабoryкин М. Ю., Жидиляева Е. В. Мониторинг оползней с использованием лазерного сканирования и геодезических наблюдений // Журнал инженерных изысканий. 2014. № 3. С. 16–27. EDN: SJCTSN
 14. Guo-liang D., Zhang Y., Yang Z., Changbao G. Landslide susceptibility mapping in the region of eastern Himalayan syntaxis, Tibetan Plateau, China: A comparison between analytical hierarchy process information value and logistic regression-information value methods // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2018. Vol. 78, № 6. P. 4201–4215. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1393-4>
 15. Флорес Гарсия Й. Оценка склоновых процессов кантона Каямбе провинции Пичинча (Эквадор) : магистерская диссертация под руководством д-ра геол.-минерал. наук. Л. А. Строковой. Томск, 2021. 106 с.
 16. Павленко А. В., Ковалева Е. Г., Радоуцкий В. Ю. Анализ подходов к оценке риска // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2015. № 3. С. 106–109. EDN: TQKQTT
 17. Леонова А. В., Строкова Л. А., Никитенков А. Н. Оценка оползневых процессов на территории г. Томска с использованием ГИС-технологий // Вестник Воронежского государственного университета. Серия : Геология. 2021. № 1. С. 94–103. <https://doi.org/10.17308/geology.2021.1/3341>
 18. Зьонг В. Б., Фоменко И. К., Нгуен Ч. К., Ви Тхи Х. Л., Зеркаль О. В., Ву Х. Д. Применение статистических методов на основе ГИС для оценки потенциального развития оползней в районе Шапа, Вьетнам // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, вып. 4. С. 126–140. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/4/3473>
 19. Дай Ф. С., Ли К. Ф., Нгай Ю. Ю. Оценка и управление рисками, связанными с оползнями // Инженерная геология. 2002. Т. 64, № 1. С. 65–87. [http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00093-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00093-X)
 20. Нгуен Ч. К., Фоменко И. К., Пендин В. В., Нгуен К. Т. Применение метода анализа иерархий при региональной оценке оползневой опасности (на примере района Северо-Западный Лаокай, Вьетнам) // Геоинформатика. 2017. № 2. С. 53–66.
 21. Кузьмин В. В., Тимофеева Е. А., Чуносков Д. В. Оценка риска для территории г. Саратова вследствие проявления оползневых процессов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. 2010. № 2. С. 23–27. EDN: KZVIFZ

Поступила в редакцию 16.08.2024; одобрена после рецензирования 21.09.2024; принята к публикации 27.09.2024; опубликована 29.11.2024

The article was submitted 16.08.2024; approved after reviewing 21.09.2024; accepted for publication 27.09.2024; published 29.11.2024



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 269–273

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 269–273

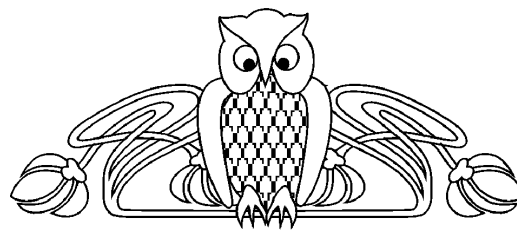
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-269-273>, EDN: VDENVK

Научная статья

УДК 551.501

Оценка влияния физико-географических условий равнинной местности на полетную видимость



А. В. Степанов

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Ст. Большевиков, д. 54а

Степанов Алексей Владимирович, кандидат географических наук, докторант кафедры гидрометеорологического обеспечения, step_al@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6371-8551>

Аннотация. Введение. Представлена модель полетной видимости, которая учитывает характер подстилающей поверхности, высоту рельефа равнинной местности, динамику полета воздушного судна за счет изменения высоты и путевой скорости полета при производстве авиационных работ. **Материал и методика исследований.** Использованы ежечасные микрокольцевые карты погоды Среднерусской равнины Московского аэроузла. Методика исследования основана на построении модели полетной видимости с учетом влияющих на нее факторов, в том числе рельефа местности и характера подстилающей поверхности. **Результаты и их обсуждение.** Полетная видимость существенно зависит от характера подстилающей поверхности, а также от превышения рельефа местности относительно пункта вылета на расстоянии до 150 км. Влияние превышения рельефа местности относительно пункта вылета на 30% весомее, чем влияние характера подстилающей поверхности. **Выводы.** Применение построенной модели полетной видимости, учитывающей влияние физико-географических условий, характер подстилающей поверхности, высоту рельефа равнинной местности для выполнения авиационных работ под низкими облаками, позволит принимать метеозависимые решения за счет использования интеллектуальной метеорологической системы, что приведет к совершенствованию метеорологического обеспечения полетов при производстве авиационных работ.

Ключевые слова: модель полетной видимости, рельеф местности, характер подстилающей поверхности, авиационные работы, динамика полета

Для цитирования: Степанов А. В. Оценка влияния физико-географических условий равнинной местности на полетную видимость // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 269–273. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-269-273>, EDN: VDENVK

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Influence assessment of physical and geographical conditions for flat terrain on flight visibility

A. V. Stepanov

Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, 54a Starykh Bolshevikov St., Voronezh 394064, Russia

Alexey V. Stepanov, step_al@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6371-8551>

Abstract. Introduction. A flight visibility model is presented that takes into account the nature of the underlying surface, the height of the flat terrain, and the dynamics of the aircraft flight due to changes in altitude and ground speed during aerial work. **Materials and Methods.** Hourly microring weather maps of the Central Russian Plain of the Moscow air hub were used. The research methodology is based on constructing a flight visibility model, taking into account the factors influencing it, including the terrain and the nature of the underlying surface. **Results and their Discussion.** Flight visibility significantly depends on the nature of the underlying surface, as well as on the elevation of the terrain relative to the departure point at a distance of up to 150 km. The influence of the elevation of the terrain relative to the departure point is 30% more significant than the influence of the nature of the underlying surface. **Conclusions.** The use of the constructed flight visibility model, which takes into account the influencing physical and geographical conditions, the nature of the underlying surface, the height of the relief of flat terrain under low clouds, will make it possible to make weather-dependent decisions through the use of an intelligent meteorological system, which leads to the improvement of meteorological support for flights during aviation operations.

Keywords: flight visibility model, terrain, nature of the underlying surface, aviation operations, flight dynamics

For citation: Stepanov A. V. Influence assessment of physical and geographical conditions for flat terrain on flight visibility. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 269–273 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-269-273>, EDN: VDENVK

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



Введение

Физико-географические характеристики равнинной местности определяют погоду района полетов влиянием подстилающей поверхности, рельефа, микрорельефа, суточного и годового хода метеорологических величин, что в итоге необходимо учитывать при производстве авиационных работ (АР) [1].

Возникает противоречие между информацией, предоставляемой метеорологической службой о горизонтальной видимости и необходимой при производстве АР наклонной полетной дальности видимости (НПДВ) – видимости пилотом из кабины воздушного судна (ВС) реальных объектов (ориентиров), по которым он оценивает свое пространственное положение [2, 3]. Это подтверждается анализом авиационных происшествий и катастроф гражданской авиации по данным Межгосударственного авиационного комитета, проведенного за 30 лет, который показал, что их причиной в 61% случаев является ограниченная полетная видимость [4].

Возникшее противоречие требует построения модели полетной видимости, учитывающей характер подстилающей поверхности, высоту рельефа равнинной местности, динамику полета ВС.

Целью статьи является совершенствование метеорологического обеспечения производства АР путем построения модели полетной видимости, учитывающей влияние физико-географических характеристик равнинной местности и динамику полета ВС для различных частей (передней, теплого сектора, центра, тыла) циклона (Зн).

Материалы и методы

В качестве исходного материала были использованы ежечасные микрокольцевые карты погоды Среднерусской равнины Московского аэроузла, представляющего собой равнинную местность, с 2005 по 2020 гг.

Модель полетной видимости построена автором самостоятельно при $ВНГО \leq 150$ м, $150 < ВНГО \leq 200$ м, $200 < ВНГО \leq 600$ м для значений реальной дальности видимости объектов (ориентиров) на земной поверхности на основе теории негоризонтальной видимости [2, 3].

Для $ВНГО \leq 150$ м, $150 < ВНГО \leq 200$ м:

$$S_{ПДВ} = L_{ЯВЛ} \frac{H_{ПОЛ}}{\cos \theta} \cdot \frac{D \cdot \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \cdot S_P}}{\ln \frac{H_{ПОЛ} \cdot (B + \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \cdot S_P}) + 2 \cdot S_P}{H_{ПОЛ} \cdot (B - \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \cdot S_P}) + 2 \cdot S_P}}, \quad (1)$$

где $L_{ЯВЛ}$ – коэффициент учета явлений погоды; θ – угол визирования объектов (ориентиров) на земной поверхности с $H_{ПОЛ}$, °; D – коэффициент относительной видимости; A , B – коэффициенты, зависящие от $ВНГО$; S_P – горизонтальная видимость реальных объектов (ориентиров), м.

Для $200 < ВНГО \leq 600$ м:

$$S_{ПДВ} = L_{ЯВЛ} \frac{S_P}{\cos \theta} \cdot D.$$

Горизонтальная видимость реальных объектов (ориентиров) [5, 6] определяется по формуле

$$S_P = S_0 \cdot D, \quad (2)$$

где S_0 – МДВ, м.

Коэффициент относительной видимости D для практической реализации расчетов [5, 6] с учетом сезонов года (лето, осень, зима, весна) и характера подстилающей поверхности определяется по формуле

$$D = \frac{\ln \frac{K}{\varepsilon}}{\ln \frac{1}{\varepsilon}}, \quad (3)$$

где K – контраст реальных объектов (ориентиров) на любом фоне местности; ε – пороговое значение чувствительности глаза человека ($\varepsilon = 0.05$).

Учет динамики полета ВС производится по путевой скорости (W) [7], зависящей от θ :

$$\theta = \theta_0 + \Delta\theta, \quad (4)$$

где $\Delta\theta$ – приращение минимального угла визирования θ_0 с $H_{ПОЛ}$, зависящее от W , времени аккомодации зрения пилота.

Коэффициенты A и B определяются [2, 3]: для $ВНГО \leq 150$ м:

$$A = \frac{0,24S_P + 1,5S_{mH}}{ВНГО^2}, \quad (5)$$

$$B = -\frac{1,24S_P + 0,5S_{mH}}{ВНГО}; \quad (6)$$

для $150 < ВНГО \leq 200$ м:

$$A = \frac{4S_{mH} - 0,84S_P}{ВНГО^2}, \quad (7)$$

$$B = -\frac{3S_{mH} + 0,16S_P}{ВНГО}; \quad (8)$$

для $200 < ВНГО \leq 600$ м:

$$A = 0, \quad B = 0. \quad (9)$$

Учет влияния рельефа местности производится по расчету изменения видимости реального объекта у поверхности земли над равнинной местностью (ΔS_P) и $ВНГО$ ($\Delta ВНГО$) для различных превышений рельефа относительно пункта вылета [2]:

$$\Delta S_P = \pm d \cdot \Delta h, \quad (10)$$

$$\Delta ВНГО = \pm c \cdot \Delta h, \quad (11)$$

где Δh – изменение высоты рельефа равнинной местности, м; d , c – коэффициенты, зависящие от характера подстилающей поверхности.



Коэффициенты d в качестве примера для различных частей Z_n представлены в табл. 1.

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что S_p наиболее подвержена изменению в переходный период в тылу Z_n , когда имеется лес и река ($d = 12,4$). Наименьшие изменения S_p наблюдаются в центре Z_n в зимний период, когда имеется поле и река ($d = 4,3$).

В табл. 2 представлена достоверность расчета коэффициента d по критериям успешности [4, 8]: коэффициента корреляции (r); средней абсолютной и относительной ошибки (σ , η) для S_p в различных частях Z_n .

Коэффициенты c в качестве примера для различных синоптических ситуаций Z_n представлены в табл. 3.

Анализ данных, представленных в табл. 3, показывает, что $\Delta BНГО$ наиболее подвержено изменению в переходный период в тылу Z_n , когда имеется лес и река ($c = 2,1$). Наименьшие изменения $\Delta BНГО$ наблюдаются в центре Z_n в зимний период, когда имеется поле, а река отсутствует ($c = 0,9$).

В табл. 4 представлена достоверность расчета коэффициента c в различных частях Z_n .

Оценка достоверности расчетов коэффициентов c и d (см. табл. 2, 4) с учетом физико-

Таблица 1

Значение коэффициента d в различных частях Z_n

Части Z_n	Лес и река		Поле (без реки)		Лес (без реки)		Поле и река	
	Зима	Весна (осень)	Зима	Весна (осень)	Зима	Весна (осень)	Зима	Весна (осень)
Передняя часть Z_n	9,2	11,2	7,7	9,7	8,6	10,2	5,2	9,3
Теплый сектор Z_n	7,7	10,5	5,1	8,2	7,3	9,1	4,7	8,8
Центр Z_n	7,3	10,1	4,8	7,8	6,7	8,9	4,3	8,6
Тыл Z_n	11,2	12,4	10,1	12,1	10,2	11,8	8,4	10,6

Таблица 2

Достоверность расчета коэффициента d в различных частях Z_n

Части Z_n	В радиусе =50 км			В радиусе =100 км			В радиусе =150 км		
	r	σ	η	r	σ	η	r	σ	η
Передняя часть Z_n	0,83	260,2	208,1	0,77	272,5	217,6	0,74	296,4	236,8
Теплый сектор Z_n	0,85	233,2	186,4	0,81	237,4	189,7	0,78	242,3	193,8
Центр Z_n	0,87	200,2	159,3	0,82	223,4	178,4	0,79	238,5	191,1
Тыл Z_n	0,79	315,6	252,5	0,75	331,3	265,4	0,71	351,3	281,4

Таблица 3

Значение коэффициента c в различных частях Z_n

Части Z_n	Лес и река		Поле (без реки)		Лес (без реки)		Поле и река	
	Зима	Весна (осень)	Зима	Весна (осень)	Зима	Весна (осень)	Зима	Весна (осень)
Передняя часть Z_n	1,3	1,6	1,1	1,2	1,3	1,4	1,2	1,3
Теплый сектор Z_n	1,2	1,2	1,0	0,9	1,1	1,2	1,1	1,2
Центр Z_n	1,1	1,3	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1
Тыл Z_n	2,1	2,2	1,8	2,1	2,0	2,3	1,9	2,3

Таблица 4

Достоверность расчета коэффициента c в различных частях Z_n

Части Z_n	В радиусе =50 км			В радиусе =100 км			В радиусе =150 км		
	r	σ	η	r	σ	η	r	σ	η
Передняя часть Z_n	0,84	10,6	8,4	0,79	15,8	12,1	0,76	21,5	17,4
Теплый сектор Z_n	0,86	8,2	6,2	0,82	12,2	9,8	0,80	15,6	12,6
Центр Z_n	0,89	8,3	6,3	0,84	12,1	9,7	0,82	15,2	12,4
Тыл Z_n	0,80	15,4	12,5	0,77	25,1	19,6	0,72	28,4	22,6



географических характеристик указывает на возможность их использования при расчете полетной видимости на расстоянии до 150 км относительно пункта вылета.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1, 2 представлены результаты расчетов НПДВ по разработанной нами методике для различного характера подстилающей поверхности и превышения рельефа местности относительно пункта вылета. Видно, что НПДВ существенно зависит от характера подстилающей

поверхности, а также от превышения рельефа местности относительно пункта вылета. При этом влияние превышения рельефа местности относительно пункта вылета на 30% весомее, чем влияние характера подстилающей поверхности.

Выводы

Применение построенной модели полетной видимости, учитывающей влияние физико-географических условий, характер подстилающей поверхности, высоту рельефа равнинной местности для выполнения авиационных работ под

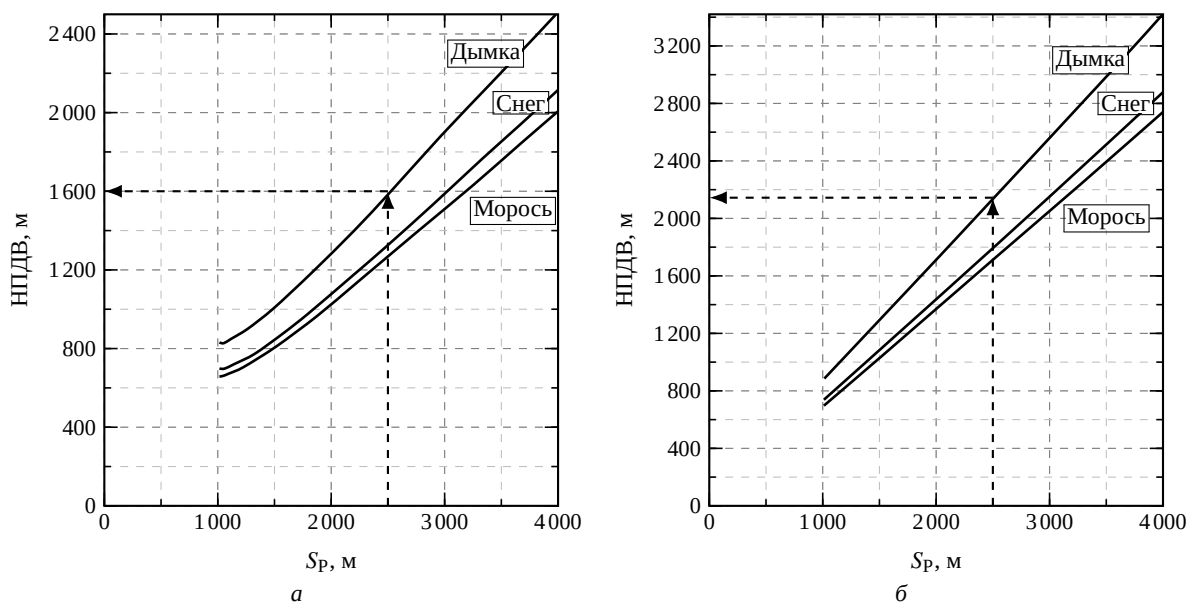


Рис. 1. Зависимость НПДВ от S_P при наличии леса и реки (а) и поля без реки (б) в тылу Z_n весной (осенью) для $H_{\text{ПОЛ}} = 150$ м, $W = 600$ км/ч в различных явлениях погоды

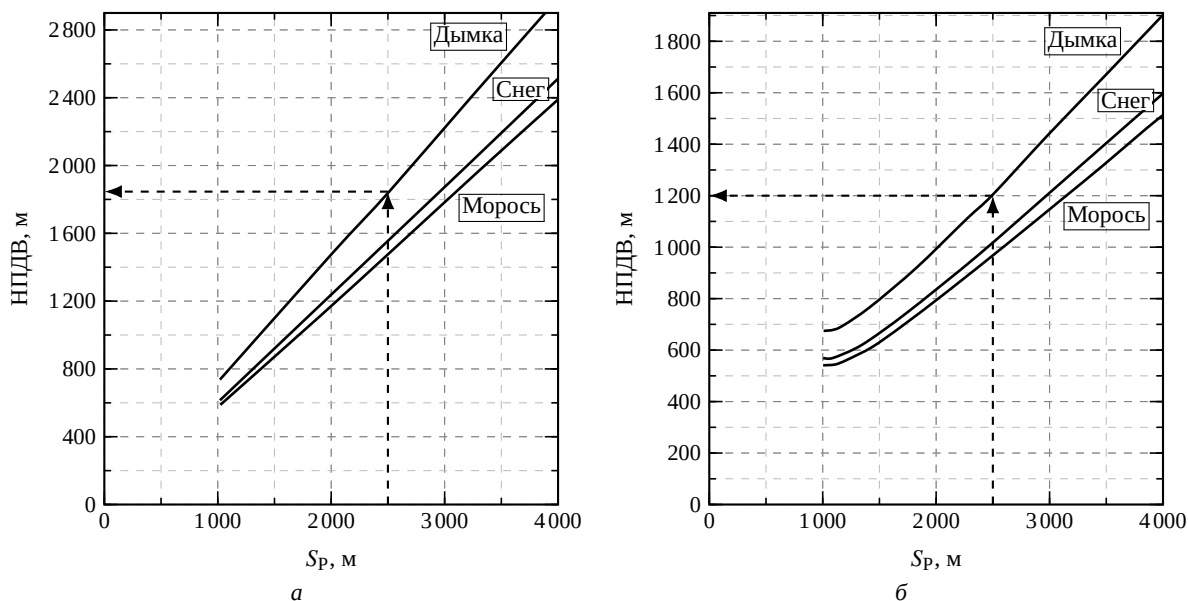


Рис. 2. Зависимость НПДВ от S_P в пункте вылета (а) и при превышении рельефа на 50 м относительно пункта вылета (б) для $H_{\text{ПОЛ}} = 100$ м, $W = 600$ км/ч в различных явлениях погоды



низкими облаками, и последующая коррекция возможности выполнения авиационных работ за счет динамики полета ВС позволят принимать метеозависимые решения за счет использования интеллектуальной метеорологической системы, что приведет к усовершенствованию метеорологического обеспечения полетов при производстве авиационных работ.

Библиографический список

1. Васильев А. А. Метеорологические условия полетов воздушных судов на малых высотах : пособие для специалистов АМСГ, АМЦ, ЗАМЦ и для летного и диспетчерского состава гражданской авиации. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 90 с.
2. Дорофеев В. В., Бакланов И. О., Жильчук И. А., Степанов А. В., Ковалёв В. И. Полетная видимость : монография. Воронеж : ЦНТИ, 2013. 250 с. EDN: ZDXQGT
3. Рацмор М. Я. Наклонная видимость : методическое пособие для специалистов ГАМЦ, ЗАМЦ, АМЦ и АМСГ. Л. : Гидрометеиздат, 1987. 136 с.
4. Шакина Н. П., Иванова А. Р. Прогнозирование метеорологических условий для авиации : научно-методическое пособие. М. : Гидрометцентр России, 2016. 310 с. EDN: UTVQEK
5. Кмито А. А., Смирнов П. И. Общий курс метеорологии. Л. : ВВИА им. проф. А. Ф. Можайского, 1959. Ч. II. 182 с.
6. Horvath H. Atmospheric Visibility // Atmospheric Environment. 1981. Vol. 15. P. 11–15.
7. Жаренков Л. А., Матвеев Ю. А., Ремянников Е. П. Воздушная навигация в различных условиях полетов : учебник для курсантов высших военных авиационных училищ штурманов. М. : Воениздат, 1985. 175 с.
8. Wilks D. Statistical methods in the atmospheric sciences. Academic Press, 2006. 648 p.

Поступила в редакцию 08.08.2024; одобрена после рецензирования 24.09.2024;
принята к публикации 27.09.2024; опубликована 29.11.2024

The article was submitted 08.08.2024; approved after reviewing 24.09.2024;
accepted for publication 27.09.2024; published 29.11.2024



ГЕОЛОГИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 274–285

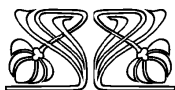
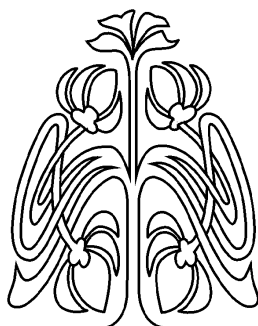
Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 274–285

<https://geo.sgu.ru>

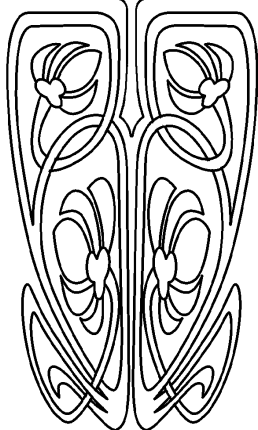
<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-274-285>, EDN: VOCZUI

Научная статья

УДК 550.384+551.77+551.763.3(470.4)



**НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ**



Результаты магнитостратиграфического изучения Нижнесызранской подсвиты (палеоцен) на севере саратовского Правобережья (разрезы Гремячка и Ключи-2)

Д. А. Шелепов

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Шелепов Дмитрий Александрович, старший преподаватель кафедры петрологии и прикладной геологии, shelepov-dmitriy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3238-8532>

Аннотация. Представлены результаты палеомагнитного и петромагнитного изучения двух разрезов нижнесызранской подсвиты (палеоцен) – Гремячка и Ключи-2, расположенных на севере Саратовского Правобережья и представленных слабомагнитными силицитами. Палеомагнитные данные по разрезам, несмотря на их низкое качество и фрагментарность, важны для этого стратиграфического интервала, подтверждая наличие магнитозоны обратной полярности (аналога хрона C27r или/и C26r) и ее латеральную устойчивость.

Ключевые слова: магнитостратиграфия, петромагнетизм, палеоцен, датский ярус, сызранская свита

Благодарности. Автор благодарен Е. М. Первушину (СГУ им. Н. Г. Чернышевского, Саратов) за ознакомление с разрезом, А. Ю. Гужинову, В. А. Фомину, Р. С. Дакирову, К. В. Андрюхину, А. А. Корчагину (СГУ им. Н. Г. Чернышевского, Саратов) за помощь в полевых и лабораторных исследованиях, В. Э. Павлову и И. Е. Лебедеву (ИФЗ РАН, Москва) за содействие в измерениях на криогенном магнитометре. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-27-00159, <https://rscf.ru/project/23-27-00159/>.

Для цитирования: Шелепов Д. А. Результаты магнитостратиграфического изучения Нижнесызранской подсвиты (палеоцен) на севере саратовского Правобережья (разрезы Гремячка и Ключи-2) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 274–285. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-274-285>, EDN: VOCZUI
Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Results of magnetostratigraphic study of the Lower Syzran subformation (Paleocene) in the north of the Saratov Right Bank (Gremyachka and Kluchy-2 sections)

D. A. Shelepov

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Dmitriy A. Shelepov, shelepov-dmitriy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3238-8532>

Abstract. The results of petromagnetic and paleomagnetic studies of two sections of the Lower Syzran subformation (Paleocene) – Gremyachka and Klyuchi-2, located in the north of the Saratov Right Bank and represented by weakly magnetic silicites, are presented. Paleomagnetic data on sections, despite their low quality and fragmentation, are important for magnetostratigraphy,



because they confirm the presence of a reverse polarity magnetozone (analogous to chron C27r and/or C26r) in the Lower Syzran subformation and its lateral stability.

Keywords: magnetostratigraphy, petromagnetism, Paleocene, Danian stage, Syzran formation

Acknowledgments. The author is grateful to Evgenii M. Pervushov (SSU) for familiarization with the section, Andrei Yu. Guzhikov, Vladimir A. Fomin, Ramir S. Dakirov, Kirill V. Andryukhin, Aleksei A. Korchagin (SSU) for assistance in field and laboratory research, Vladimir E. Pavlov and Ivan E. Lebedev (IFZ RAN, Moscow) for assistance in measurements using a cryogenic magnetometer. The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-27-00159, <https://rscf.ru/project/23-27-00159/>.

For citation: Shelepov D. A. Results of magnetostratigraphic study of the Lower Syzran subformation (Paleocene) in the north of the Saratov Right Bank (Gremyachka and Kluchy-2 sections). *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 274–285 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-274-285>, EDN: VOCZUI

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Актуальность магнитостратиграфических исследований палеоцена Поволжья неоднократно освещалась в предыдущих работах [1–6]. К настоящему времени построен предварительный макет магнитостратиграфической схемы низов палеоцена Саратовского Правобережья [4, 6], в котором фигурирует магнитозона обратной полярности (вероятный аналог хрона C27r или/i C26r), выделенная в двух разрезах – Лысая гора и Песчаный Умет, расположенных на территории г. Саратова. К сожалению, невысокое палеомагнитное качество изученных пород оставляет место для сомнений в первичности компонент намагниченности, по которым определялся знак геомагнитной полярности. В магнитостратиграфии решающую роль в обосновании надежности палеомагнитных данных играет так называемый критерий внешней сходимости, то есть прослеживаемость магнитозон в удаленных разрезах одновозрастных отложений [7]. Для того чтобы убедиться в латеральной устойчивости магнитозоны обратного знака в других районах Саратовского Правобережья нами в 2023 г. были отобраны два разреза нижнесызранской подсвиты на севере Саратовской области – Гремячка и Ключи-2, магнитостратиграфическая характеристика которых приведена в настоящей работе.

Характеристика разрезов

Разрез Гремячка – обн. 3256 (52°05'58" N; 45°42'24,6" E) расположен близ западной окраины одноименного села Новобурасского района Саратовской области (рис. 1). В левом (северном) борту крупного оврага, впадающего в реку Гремячка, обнажаются мергели маастрихского яруса и опоки нижнесызранской подсвиты, видимой мощностью ~25 м (рис. 2, а). В структурном плане разрез приурочен к Рязано-Саратовскому мезо-кайнозойскому прогибу, к северной части зоны Саратовских дислокаций [8]. Слои залегают с крутым (по платформенным меркам) наклоном к СЗ: азимуты падения пластов варьируют от 272° до 357°, углы падения – от 48° до 66°. Вероятно, наклон слоев обусловлен ростом антиклинальной структуры, фиксируемой в этом

районе по кровле саргаевского горизонта [8]. Признаков, свидетельствующих об экзогенной природе столь интенсивных дислокаций, нами не обнаружено.

В разрезе на маастрихтских мергелях, видимой мощностью 3.4 м, без видимых следов углового несогласия залегают опоки нижнесызранской подсвиты, видимой мощностью 16.2 м. Мергели светло-серые, слабоалевритистые (?). Опоки темно-серые до черных (с поверхности от светло-серых до темно-серых), очень сильно трещиноватые (что характерно для зоны активных нетектонических поднятий), с многочисленными следами ожелезнения по поверхности и трещинам, но слабо ожелезненные или без следов ожелезнения на свежих сколах. В разрезе взяты образцы с 23 уровней (5 из маастрихтских мергелей и 18 из палеоценовых опок) (см. рис. 2, а).

Разрез Ключи-2 – обн. 3227 (51°58'12.7" N, 46°30'56.5" E) расположен южнее с. Ключи Базарно-Карабулакского района, на правом борту долины р. Ключи, ~ в 800 м от южного въезда в село. Здесь в восточной стенке небольшого придорожного карьера по добыче опок обнажается фрагмент сызранской свиты, видимой мощностью 11.7 м (рис. 2, б).

В структурном плане разрез Ключи-2 также расположен в пределах Рязано-Саратовского мезо-кайнозойского прогиба, рядом с северо-восточным краем зоны Саратовских дислокаций (см. рис. 1). Залегание слоев субгоризонтальное.

Разрез нижнесызранской подсвиты представлен опоками, аналогичными силицитам в разрезе Гремячка, но в отличие от них светло-серыми на свежем сколе (без темно-серых и черных разностей), более глинистыми, менее трещиноватыми. В разрезе взяты образцы с 14 уровней.

Методика магнитостратиграфических исследований

Для магнитостратиграфического анализа были отобраны ориентированные штUFFы через каждые 0.9 м мощности. Каждый штUFF распиливался на 3–4 образца кубической формы размером 2×2×2 см. Образцы со всех уровней подвергнуты измерениям объемной

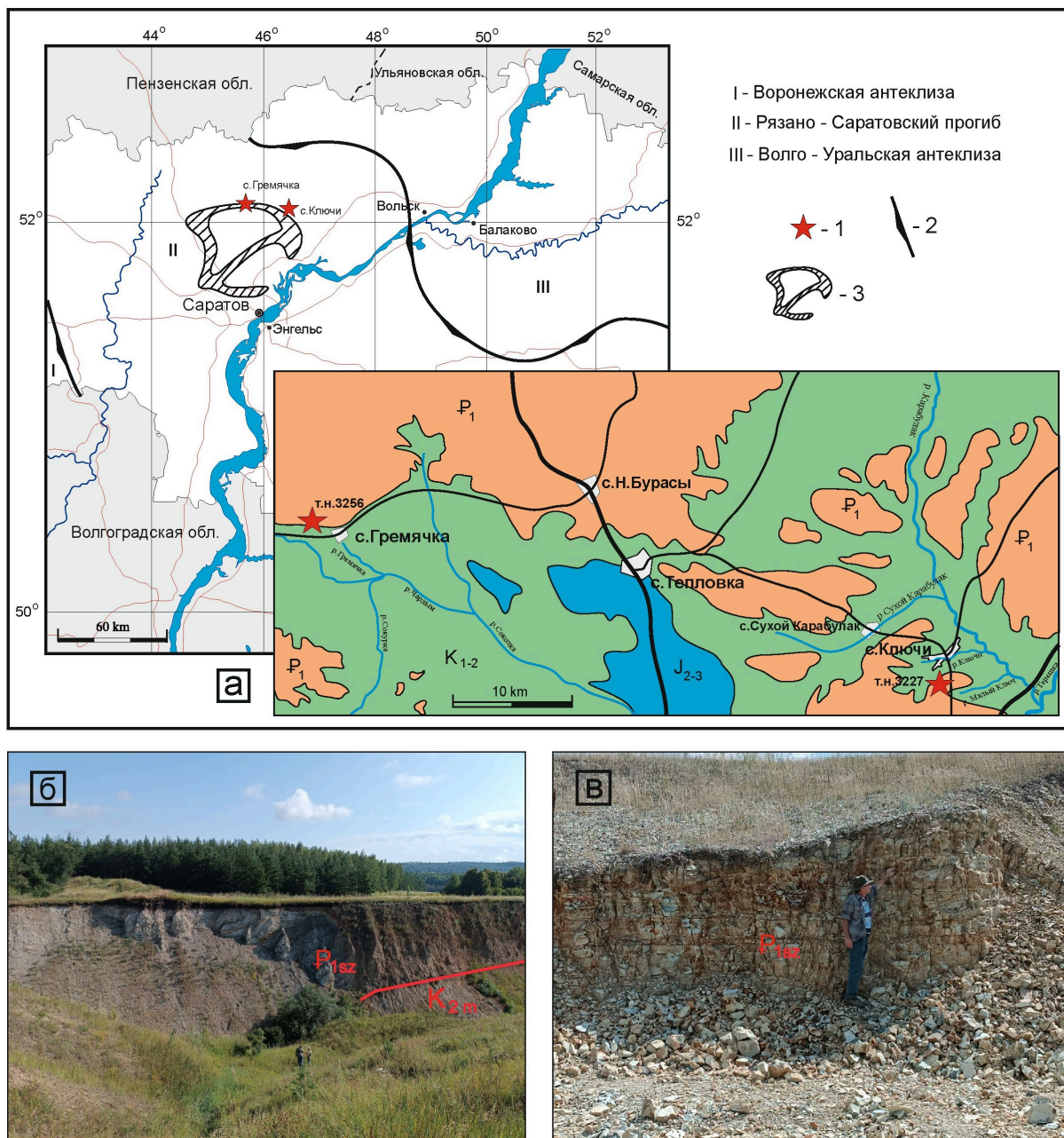


Рис. 1. Обзорная, геологическая схемы района исследований (а) и фотографии изученных разрезов Гремячка (б) и Ключи-2 (в): 1 – местоположения изученных разрезов, 2 – границы между тектоническими структурами высшего порядка (на схеме обозначены римскими цифрами), 3 – зона Саратовских дислокаций [8] (цвет онлайн)

магнитной восприимчивости (K), анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ), естественной остаточной намагниченности (J_n), опытам магнитного насыщения с последующим определением остаточной намагниченности насыщения (J_{rs}), величины поля остаточной коэрцитивной силы (B_{cr}) и палеомагнитным исследованиям. Кроме характеристик, полученных опытным путем, рассчитывались параметр Кенигсбергера (фактор $Q = J_n/J_i$, где J_i – индуктивная намагниченность), отношение K/J_{rs} и параметр

магнитной жесткости $S = J_r(-300)/J_{rs}$. Физический смысл измеряемых и расчетных параметров раскрыт в предыдущей статье, посвященной магнитостратиграфии палеоцена Саратовского Поволжья [1] и других многочисленных работах, в том числе справочного характера [9].

Палеомагнитные исследования выполнялись по стандартной методике [10], заключающейся в измерениях J_n ориентированных образцов на магнитометрах после серии последовательных магнитных чисток пере-



Рис. 2. Петромагнитные характеристики изученных разрезов Гремячка (а) и Ключи-2 (б): 1 – опоки, 2 – мергели



менным полем (Н-чистки) и температурой (Т-чистки). Н-чистки проводились до 50–70 мТл с шагом 4–5 мТл, Т-чистки осуществлялись путем поэтапного нагрева образцов от 100 до 300–500°C с шагом 25–50°C в зависимости от динамики размагничивания образца.

Измерения магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности велись в лаборатории Петрофизики Саратовского университета на капабридже MFK1-FB (AGICO, Чехия) и JR-6 (AGICO, Чехия) соответственно. Для размагничивания переменным магнитным полем и температурой в лаборатории Петрофизики использовались установка LDA-3 (AGICO, Чехия) и печь конструкции Апарина (Россия) соответственно. Также Н-чисткам были подвергнуты контрольные образцы, выполненные в палеомагнитной лаборатории ИФЗ РАН (г. Москва) в печах MMTD80 (Aughton, Великобритания). Замеры проводились на криогенном магнитометре 2G-Enterprises (SQUID, США). Для магнитного насыщения использовался регулируемый электромагнит, обеспечивающий интенсивность поля до 700 мТл. Выборочные образцы подвергались термомагнитному анализу (ТМА), заключающемуся в исследовании зависимости намагниченности от температуры, на термоанализаторе фракций ТАФ-2 («магнитные весы») (Россия).

Анализ данных AMB осуществлялся с помощью программы Anisoft 4.2, компонентный анализ палеомагнитных данных – в программе Remasoft 3.0.

Результаты и их обсуждение

Магнитная минералогия и петромагнетизм

Изученные отложения слабомагнитны. Магнитная восприимчивость и естественная остаточная намагниченность в мергелях варьируют от 5 до $12.7 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и от 0.1 до $0.2 \cdot 10^{-3}$ А/м соответственно. Для опок характерны минимальные значения K и J_n – от 0.1 до $5 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и от 0.02 до $0.2 \cdot 10^{-3}$ А/м соответственно. Нижнесызранская подсвита в изученных разрезах по петромагнитным показателям дополнительно не дифференцируется.

Термокаппаметрические данные фиксируют в основном уменьшение магнитной восприимчивости после нагрева за счет окисления магнетитовых зерен. Лишь в нескольких образцах отмечается слабый прирост (до $2-9 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ). Это свидетельствует о малых концентрациях или об отсутствии тонкодисперсного пирита в отложениях.

Результаты магнитного насыщения повсеместно фиксируют только магнитомягкую фазу, характерную для тонкодисперсного магнетита: J_{rs} приобретает в полях до 200–300 мТл, а разрушается при 40–50 мТл (рис. 3, а). Значения

V_{st} варьирует от 42 до 52 мТл, параметр S близок к единице (см. рис. 2), что подтверждает доминирование магнитомягких ферромагнетиков в разрезе, а незначительные понижения S (до 0.8), вероятно, связаны с незначительным присутствием магнито жестких гидроокислов железа – продуктами частичного окисления магнетита и других железосодержащих минералов. Средний размер ферромагнитных зерен, судя по параметру K/J_{rs} примерно одинаков, в изученных разрезах

Низкие значения фактора Q (0.05–0.3), наблюдаемые по всему разрезу (см. рис. 2) не типичны для химического генезиса намагниченности что исключает полное перемагничивание пород и позволяет надеяться, хотя бы, на частичную сохранность первичной компоненты J_n .

Результаты термомагнитного анализа (ТМА) практически не интерпретируемы (по-видимому из-за малых концентраций ферромагнетиков), но, по крайней мере, не противоречат предположению о том, что главным носителем намагниченности в исследуемых породах является магнетит. Не исключено, что незначительные перегибы термомагнитных кривых в районе температур $\sim 590^\circ\text{C}$ связаны с наличием тонкодисперсного магнетита, предполагаемого по данным магнитного насыщения. Признаки, указывающие на возможное присутствие других ферромагнитных минералов, отсутствуют (рис. 3, б).

Материалы анизотропии магнитной восприимчивости в обоих разрезах оказались не информативными. На стереограммах наблюдается хаотичное расположение осей (рис. 3, в), что не удивительно при низких значениях K , которыми характеризуется нижнесызранская подсвита.

Палеомагнетизм

Палеомагнитным исследованиям подвергались по два образца с каждого из 37 уровней, один из которых размагничивался переменным полем, другой температурой. В общей сложности изучены 74 ориентированных образца.

Палеомагнитное качество изученных пород невысокое, вероятно, не в последнюю очередь из малых величин J_n , зачастую сопоставимых с пороговой чувствительностью прибора. Однако в большинстве образцов удалось выделить характеристические компоненты (**ChRM**) приемлемого качества с максимальным углом отклонения менее 15° (рис. 4). Большинство **ChRM** соответствует прямой полярности (рис. 4, а-1, б-1, в-2), в пяти образцах выделены направления, соответствующие обратной полярности (рис. 4, а-2,3, б-2,3, в-1, г-1), в остальных образцах **ChRM** имеют аномальные направления, отличающихся от направления современного поля более чем на 45° (рис. 4, з-2). В некоторых

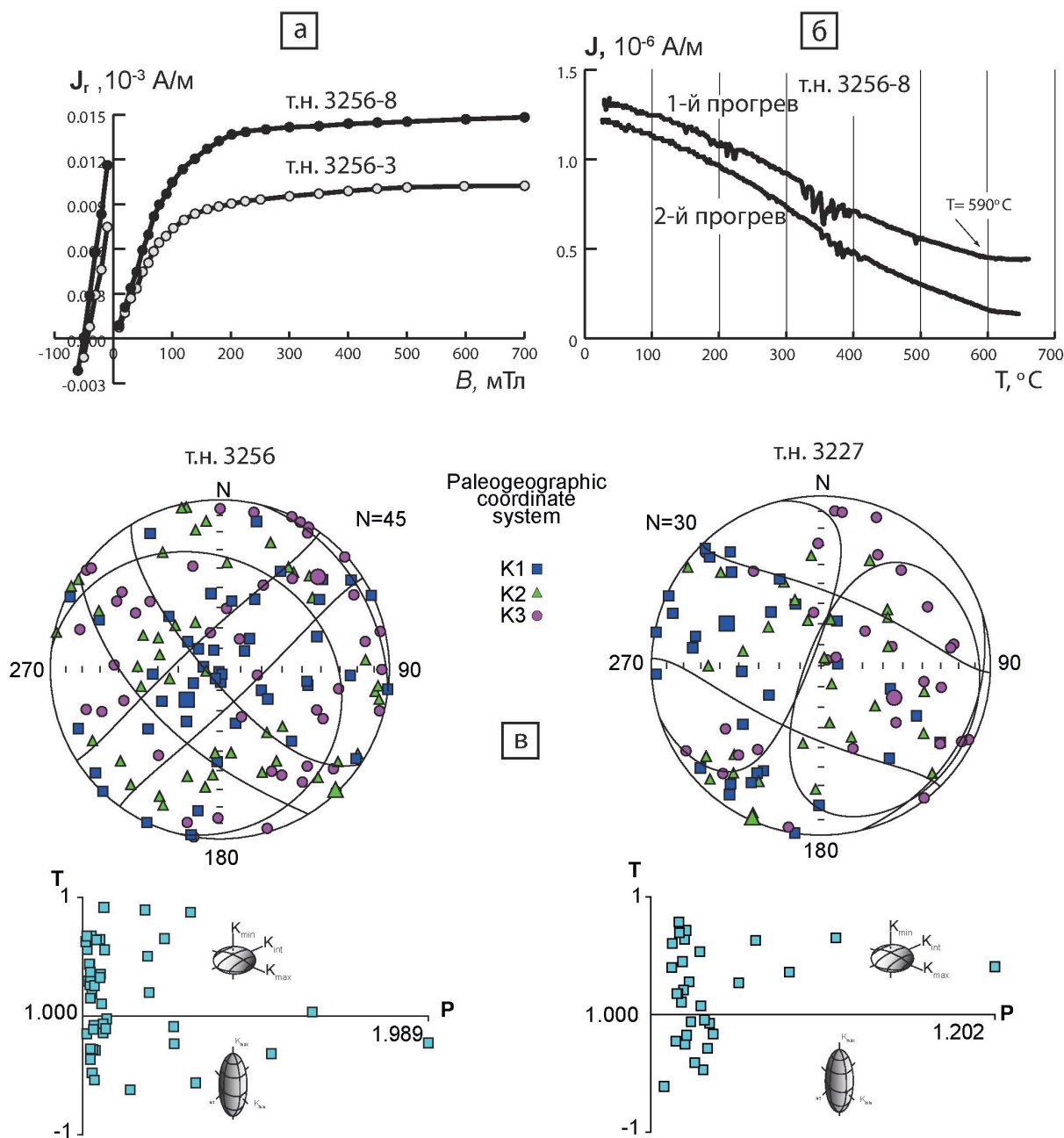


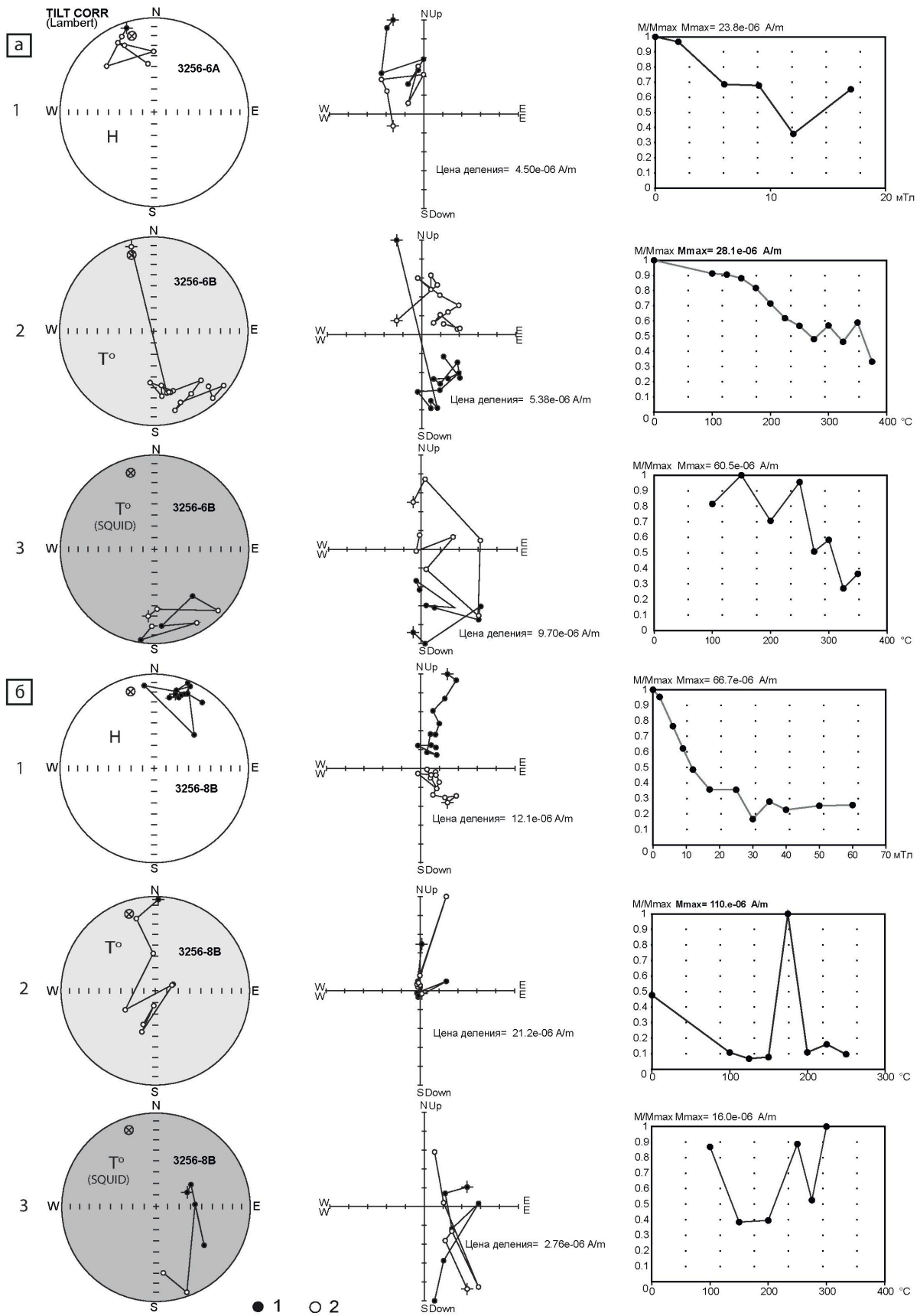
Рис. 3. Результаты магнито-минералогических исследований разрезов: а – кривые магнитного насыщения и разрушения; б – кривые термомагнитных анализов (ТМА); в – полярные стереопроекции осей эллипсоидов магнитной восприимчивости в географической системе координат (K1, K2 и K3 – длинные, средние и короткие оси соответственно) и диаграммы параметров магнитной анизотропии P – T (области положительных и отрицательных значений T соответствуют уплощенным и удлинённым формам ферромагнитных частиц соответственно) (цвет онлайн)

случаях проекции J_n при размагничивании движутся по дугам больших кругов (GC) (рис. 4, д-1,2).

Результаты температурных магнитных чисток кубиков-дублей, проведенных на двух разных приборах – спин-магнитометре JR-6 и криогенном магнитометре SQUID обнаружили хорошую сходимость (см. рис. 4, а, б), что повышает надежность полученных данных.

Результаты разных видов магнитных чисток часто не согласуются между собой.

Например, в процессе термочисток выделяются направления **ChRM**, соответствующие обратной полярности (рис. 4, а-2,3, б-2,3), а в результате чисток переменным полем выделяются только компоненты, соответствующие прямой полярности (рис. 4, а-1, б-1). Такая ситуация типична для палеоценовых опок (рис. 5, а, б-1), и,



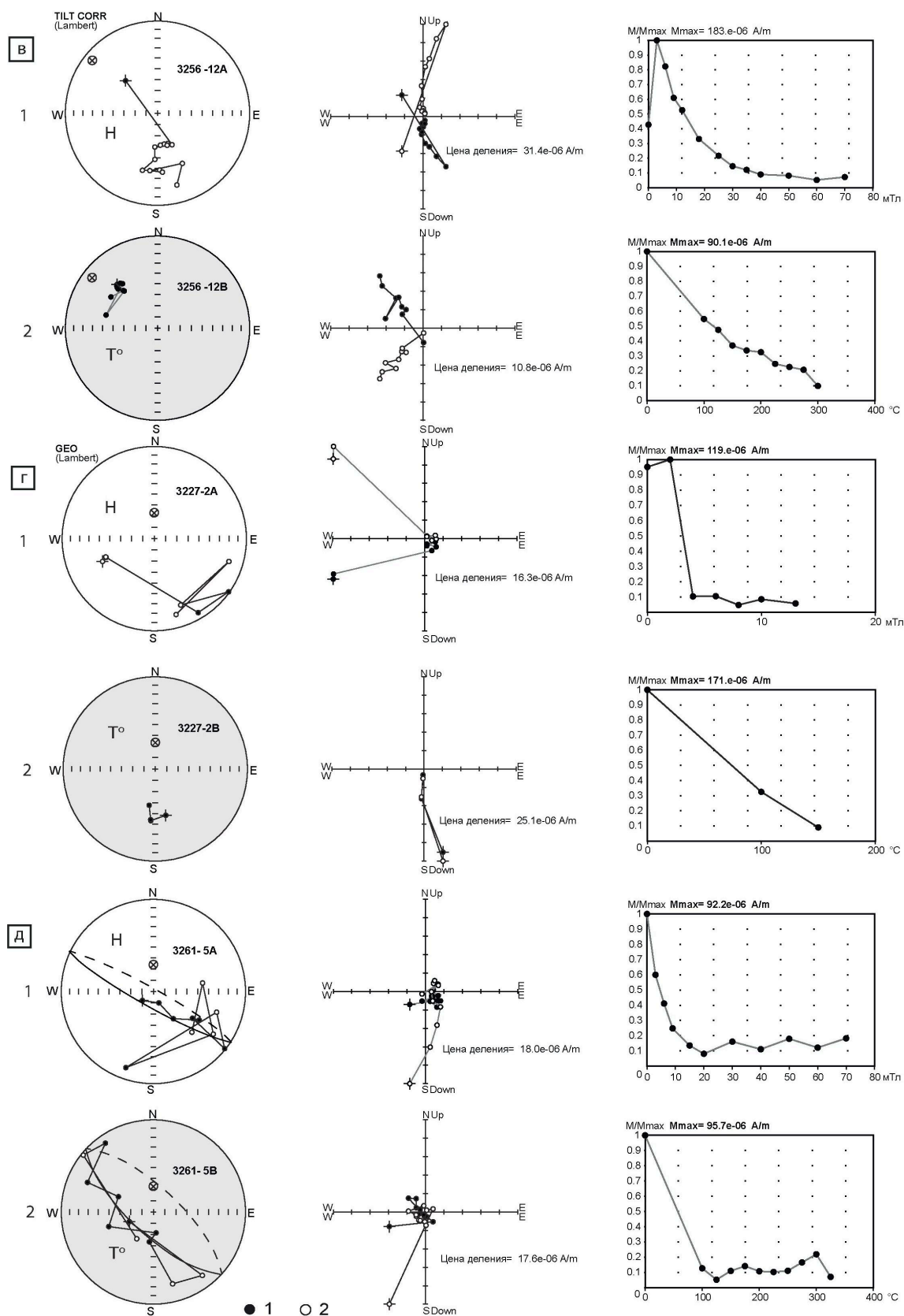


Рис. 4. Результаты компонентного анализа (в географической (GEO) и стратиграфической (TILT CORR) системах координат): полярные стереопроекции с изображениями изменений векторов J_n в процессе магнитных чисток; диаграммы Зийдervельда и графики размагничивания образцов: 1, 2 – проекции J_n на горизонтальную (1) и вертикальную (2) плоскости; T^0 и H – результаты размагничивания температурой и переменным магнитным полем соответственно

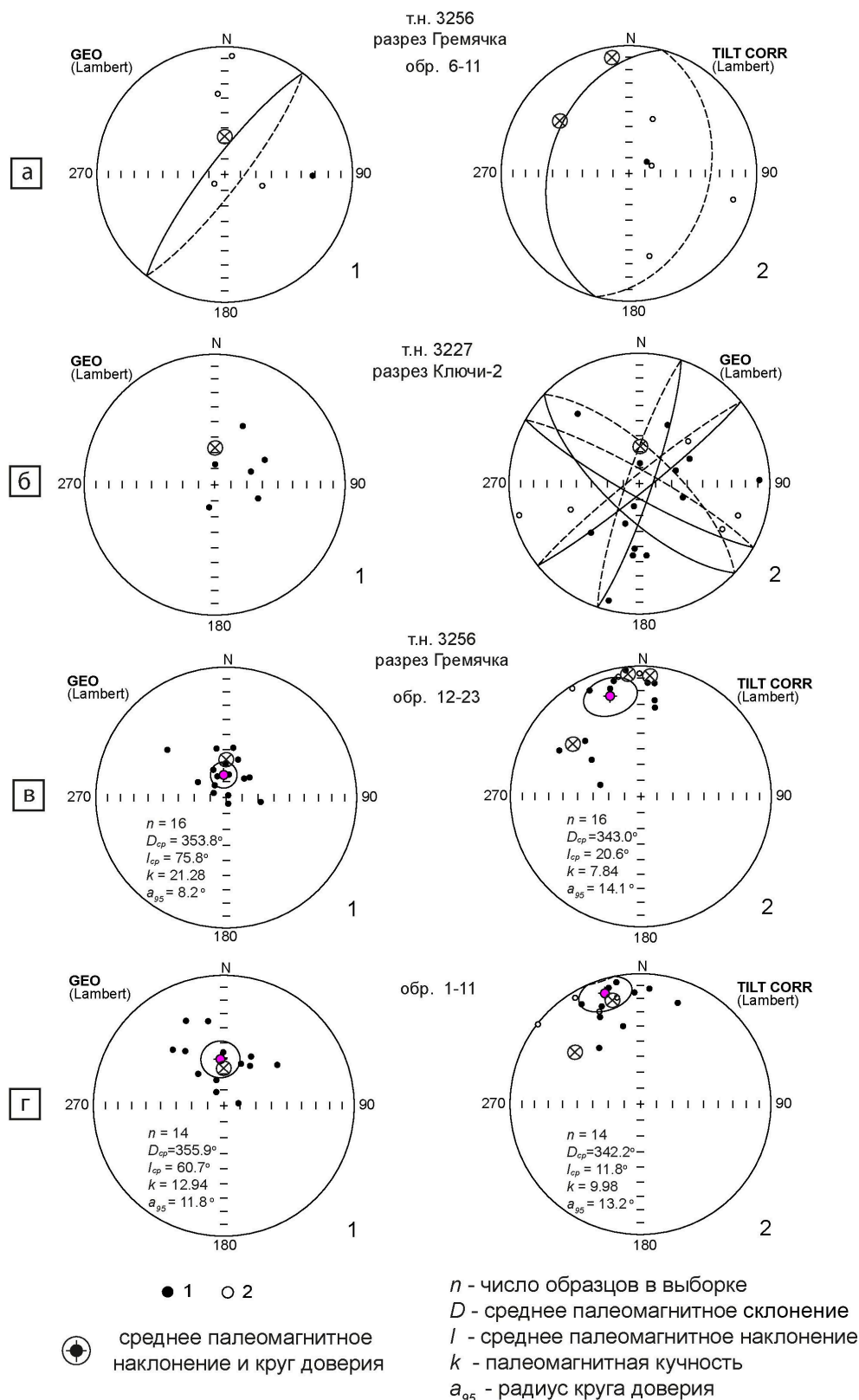


Рис. 5. Полярные стереопроекции **ChRM** и **GC** в географической (GEO) и стратиграфической (TILT CORR) системах координат: **ChRM**, соответствующие обратной полярности, аномальные направления и **GC** в низах палеоценовой части разреза Гремячка (а); **ChRM**, соответствующие прямой полярности в низах палеоценовой части разреза Гремячка (б); **ChRM**, соответствующие прямой полярности, в верхах палеоценовой части разреза Гремячка (в); **ChRM** по разрезу Ключи-2, соответствующие прямой (z-1) и обратной (z-2) полярности (цвет онлайн)



скорее всего, связана с присутствием значительной доли магнитоустойчивых гидроокислов железа – продуктов гипергенного окисления магнетитовых или пиритовых зерен, намагниченность которых устойчива к воздействию переменных полей, но разрушается при низких температурах. Как правило, с гидроокислами железа, имеющими гипергенное происхождение, связана компонента намагниченности, обусловленная современным геомагнитным полем, а магнетит является носителем древней компоненты намагниченности. В процессе чисток первичную и вторичную компоненты J_n далеко не всегда не удается разделить, в результате чего **ChRM** является их векторной суммой.

Направления палеоценового поля прямой полярности и современного поля близки (рис. 5, б-2, в, г), и обосновать наличие древней компоненты в результирующем палеомагнитном векторе очень трудно. Поэтому, если в образце не выделялось иных компонент, кроме близких к направлению современного поля (в качестве порогового значения угла, определяющего значимое отличие векторов друг от друга, так же как и для оценки аномальности направления J_n , выбрано 45°), то допускалась возможность его полного перемагничивания и определения знака полярности на этом уровне не проводились (рис. 6).

В случае сложения противоположно направленных компонент J_n , соответствующих обратной полярности и современному полю, **ChRM** может иметь любые, в том числе аномальные направления, в зависимости от сохранившейся доли той или иной компоненты. Поэтому значительные ($> 45^\circ$) отклонения **ChRM** от направления перемагничивания современным полем, также как и смещение в ходе размагничивания проекций J_n по дугам больших кругов (рис. 5, а, б-1), правомерно интерпретировать как указание на частичную сохранность первичной компоненты J_n , соответствующей обратной полярности (см. рис. 6). Более подробное обоснование такой модели формирования намагниченности в нижнесызранской подсвите приведено в работах [1, 4], посвященных результатам изучения разрезов Лысая Гора и Песчаный Умет на территории г. Саратова, в которых ранее была выделена магнитозона преимущественно обратной полярности.

В верхах разреза Гремячка (обр.3256.12–3256.23) и уровень (обр. 3227.4) в разрезе Ключи-2 тоже фиксируются противоречия палеомагнитных данных по результатам разных видов размагничивания, но иного рода: **ChRM**, выделенные по результатам Н-чисток переменным полем соответствуют обратной полярности или имеют аномальные направления, а **ChRM**, выделенные путем Т-чисток, соответствуют прямой полярности. Однозначного объяснения этому явлению пока нет, поэтому мы воздерживаемся

от магнитополярной интерпретации данных в соответствующих интервалах разрезов (см. рис. 6).

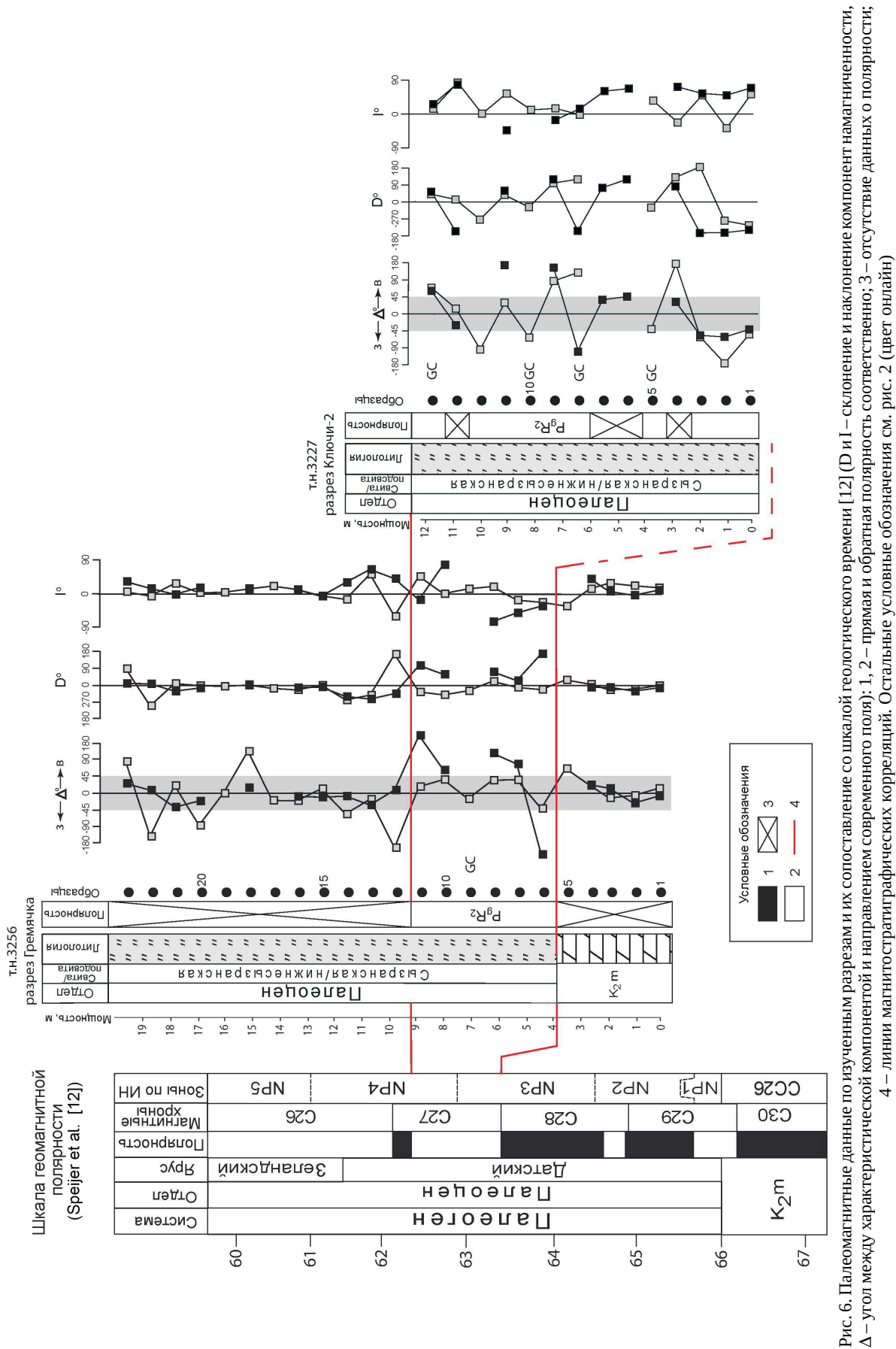
Базируясь на модели, согласно которой носителем первичной намагниченности является магнетит, а вторичная намагниченность связана с гипергенными гидроокислами железа, обратный знак полярности обоснован в разрезе Ключи-2, за исключением нескольких уровней (обр.3227.4, 3227.6, 3227.7, 3227.13) и в низах нижнесызранской подсвиты разреза Гремячка (обр.3256.6–3256.11). Остальные интервалы разрезов не получили магнитополярной характеристики.

Дополнительными аргументами в пользу наличия частично сохранившейся компоненты J_n , направление которой не совпадает с современным полем, являются результаты теста складки [11] в разрезе Гремячка (см. рис. 5, в, г). После исключения из выборки палеомагнитных векторов, соответствующих обратной полярности или имеющих аномальные направления, результаты теста с вероятностью ошибки не более 5% указывают на наличие послескладчатой компоненты в верхах разреза (обр.3256.12–3256.23) (см. рис. 5, в). Тем самым подтверждается версия о практически полном перемагничивании пород. В то же время тест складки не дает определенных результатов в низах палеоцена, где нами обоснована зона обратной полярности (обр.3256.6–3256.11) (см. рис. 5, г), что можно интерпретировать как наличие в породах из этого интервала значительной доли первичной компоненты обратной полярности, препятствующей получению корректного результата теста.

Несмотря на фрагментарность магнитополярных определений, полученные результаты можно расценивать как соответствие критерию внешней сходимости. Нижнесызранские породы в исследуемых разрезах в палеомагнитном отношении аналогичны разновозрастным отложениям в центральной части Саратовского Правобережья, которым свойственна обратная полярность [1, 4], и в то же время кардинально отличаются от низов палеоцена на юге и севере Саратовского Правобережья [3, 5], которым свойственна прямая полярность. Прослеживание магнитозон в четырех разрезах, которые расположены в двух разных районах, удаленных друг от друга более чем на 100 км, является веским аргументом в пользу ее объективного существования.

Магнитозону обратной полярности в нижнесызранской подсвите, с учетом данных по более древним палеоценовым отложениям, в которых зафиксирована еще одна зона обратного знака (Pg_1R_1) – аналог хрона C28r [3], предлагается индексировать как Pg_1R_2 .

Основываясь на сопоставлении магнитозон Pg_1R_2 с хроном C27r и/или C26r Шкалы геомагнитной полярности [12], следует заключить, что изученные фрагменты нижнесызранской подсвиты в разрезах Гремячка и Ключи-2





не древнее верхов датского яруса (верхов зоны NP3 по наннопланктону) (см. рис. 6).

Закключение

Результаты проведенных исследований выявили интервалы обратной полярности в двух разрезах нижнесызранской подсвиты на севере Саратовского Правобережья. Этого достаточно для того, чтобы убедиться в латеральной устойчивости магнитозоны обратной полярности Pg₁R₂, выделенной в ранее изученных разрезах Лысая гора (г. Саратов) и Песчаный Умет, и использовать ее для стратиграфических корреляций.

Библиографический список

1. Шелепов Д. А., Гужиков А. Ю. Результаты реконсцировочных магнитостратиграфических исследований палеоцена в южной части Саратовского Правобережья // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 2. С. 117–131. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-2-117-131>, EDN: NVOIUP
2. Шелепов Д. А., Гужиков А. Ю., Рябов И. П., Первушов Е. М. Магнитостратиграфия пограничного интервала мела–палеогена юга Саратовского Правобережья // Меловая система России и ближнего зарубежья : проблемы стратиграфии и палеогеографии : материалы XI Всерос. совещ. (г. Томск, 19–24 сентября 2022 г.) / ред. Е. Ю. Барабошкин. Томск : Изд-во Томского ун-та, 2022. С. 285–288. EDN: RZRL0M
3. Шелепов Д. А., Гужиков А. Ю., Корчагин А. А. Магнитостратиграфическая характеристика ключевской пачки (датский ярус, север Саратовского правобережья) // Вопросы палеонтологии и региональной стратиграфии фанерозоя Европейской части России : Всероссийская научно-практическая конференция (г. Ульяновск, 22–25 сентября 2023 г.) : сборник научных трудов / под ред. В. П. Морова, М. А. Рогова, Н. Г. Зверькова. Ундоры : Ундоровский палеонтологический музей им. С. Е. Бирюкова, 2023. С. 163–166. EDN: RZONCP
4. Шелепов Д. А., Гужиков А. Ю. Результаты магнитостратиграфических исследований сызранской свиты (палеоцен) разреза Песчаный Умет (г. Саратов) // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2023. Т. 165, кн. 4. С. 524–536. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.4.524-536>, EDN: IJOZOQ
5. Шелепов Д. А., Гужиков А. Ю. Магнитостратиграфическая характеристика стратотипа свиты Белогородни (Саратовская область) // ПАЛЕОСТРАТ-2023. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП и Московского отделения Палеонтологического общества при РАН (г. Москва, 30.01–1.02 2023 г.) : программа. Тезисы докладов / ред. В. К. Голубев, В. М. Назарова. М. : Палеонтологический ин-т им. А. А. Борисяка РАН, 2023. 76 с
6. Шелепов Д. А., Гужиков А. Ю., Корчагин А. А. Предварительный макет магнитостратиграфической схемы палеоцена Саратовского Правобережья // Геологические науки – 2023 : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием) (г. Саратов, 8 декабря 2023 г.). Саратов : Издательство «Техно-Декор», 2023. С. 95–96, <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.02.009>, EDN: QSWGHI
7. Гужиков А. Ю. О решении «неразрешимых» стратиграфических задач (комментарии к статье В. Ю. Брагина, О. С. Дзюба, А. Ю. Казанского и Б. Н. Шурыгина «Новые данные по магнитостратиграфии пограничного юрско-мелового интервала п-ова Нордвик (север Восточной Сибири)») // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 3. С. 456–46. EDN: PXLQXB
8. Шебалдин В. П. Тектоника Саратовской области. Саратов : ОАО «Саратовнефтегеофизика», 2008. 40 с.
9. Печерский Д. М., Соколов Д. Д. Палеомагнитология, петромагнитология и геология (словарь справочник для соседей по специальности). 2011. URL: <https://docs.google.com/file/d/0B1kxy81cxWN3OGV2eWNFRFZZdk0/edit?pli=1> (дата обращения: 22.07.2024).
10. Палеомагнитология / под ред. А. Н. Храмова. Л. : Недра, 1982. 312 с.
11. McFadden P. L. A new fold test for palaeomagnetic studies // Geophysical Journal International. 1990. Vol. 103, iss. 1. P. 163–169. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1990.tb01761.x>
12. Speijer R. P., Pälike H., Hollis C. J., Hooker J. J., Ogg J. G. The Paleogene Period // Geologic Time Scale 2020 / eds. F. M. Gradstein, J. G. Ogg, M. B. Schmitz, G. Ogg. Elsevier, 2020. P. 1087–1140. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824360-2.00028-0>

Поступила в редакцию 12.07.2024; одобрена после рецензирования 04.09.2024; принята к публикации 27.09.2024; опубликована 29.11.2024

The article was submitted 12.07.2024; approved after reviewing 04.09.2024; accepted for publication 27.09.2024; published 29.11.2024



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 286–293

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 286–293

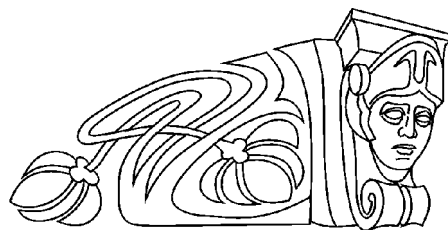
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-286-293>, EDN: VTAКХW

Научная статья

УДК 597.315.1(470.44)|622.64|

О находке зуба многожаберной акулы (Neoselachii, Hexanchidae) в верхнем мелу Саратовского Поволжья



Е. В. Попов[✉], В. А. Лопырев, В. Б. Сельцер

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Попов Евгений Валериевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент кафедры исторической геологии и палеонтологии, elasmodus74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2229-0179>

Лопырев Владимир Алексеевич, аспирант кафедры исторической геологии и палеонтологии, otodus.obliquus@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3077-2795>

Сельцер Владимир Борухович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры общей геологии и полезных ископаемых, seltsevb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0302-4222>

Аннотация. Описывается находка зуба многожаберной акулы *Hexanchus microdon* (Ag., 1835) в карсунской свите карьера «Красный Октябрь» (г. Вольск, Саратовское Правобережье). На основании сопутствующего комплекса фораминифер стратиграфическое положение находки установлено как нижний маастрихт, зона бентосных фораминифер LC20 *Falsoplanulina multipunctata*. Вычислено, что размер особи описываемого вида акулы *H. microdon* составлял 153–166 см. Это первая находка вида в регионе и в верхнемеловых отложениях Русской плиты, расширяющая его палеобиогеографический ареал.

Ключевые слова: Neoselachii, Hexanchidae, *Hexanchus microdon*, зуб, верхний мел, маастрихтский ярус, Саратовское Поволжье

Благодарности. Авторы благодарны И. П. Рябову (геологический факультет Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского) за обработку образца на микрофауну и первичную идентификацию комплекса, В. Н. Беньямовскому за определение сопутствующего комплекса фораминифер в 2016 году, позволившего точно датировать экземпляр СГУ 155/102; Ф. А. Триколиди (Институт Карпинского, г. Санкт-Петербург) – за ценные замечания по содержанию статьи. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-05-000828-а).

Для цитирования: Попов Е. В., Лопырев В. А., Сельцер В. Б. О находке зуба многожаберной акулы (Neoselachii, Hexanchidae) в верхнем мелу Саратовского Поволжья // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 286–293. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-286-293>, EDN: VTAКХW

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

On a record of cow shark' tooth (Neoselachii, Hexanchidae) from the Upper Cretaceous of Saratov Volga region

E. V. Popov[✉], V. A. Lopyrev, V. B. Seltzer

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Evgeny V. Popov, elasmodus74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2229-0179>

Vladimir A. Lopyrev, otodus.obliquus@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3077-2795>

Vladimir B. Seltzer, seltsevb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0302-4222>

Abstract. The discovery of a tooth of the cow shark *Hexanchus microdon* (Ag., 1835) from carbonate deposits of the Karsun Formation in the 'Krasny Otktyabr' quarry (Volsk, Saratov Volga River Right Bank) is described. Based on the associated foraminifera complex, the stratigraphic position of the find was determined as Lower Maastrichtian, benthic foraminifera LC20 *Falsoplanulina multipunctata* Zone. It was calculated that the individual size of the described shark species *H. microdon* was 153–166 cm. This is the first record of the species in the region and in the Upper Cretaceous deposits of Russian Plate, which expands the paleobiogeographic range of the species.

Keywords: Neoselachii, Hexanchidae, *Hexanchus microdon*, tooth, Upper Cretaceous, Maastrichtian, Saratov Volga River Right Bank

Acknowledgments. The authors are grateful to Ilya P. Ryabov (Geological Faculty, Saratov State University) for processing the sample for microfauna and primary identification of the complex; Vladimir N. Benyamovsky for determining the accompanying foraminifera complex in 2016, which made it possible to accurately date the specimen SSU 155/102; Philip A. Trikolidi (Karpinsky Institute, St. Petersburg) for valuable remarks on the paper. The research was funded by Russian Foundation for Basic Research (RFBR) (project No. 14-05-000828-a).



For citation: Popov E. V., Lopyrev V. A., Seltzer V. B. On a record of cow shark' tooth (*Neoselachii*, *Hexanchidae*) from the Upper Cretaceous of Saratov Volga region. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 286–293 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-286-293>, EDN: VTAQXW

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Современные многожаберные акулы (*Hexanchidae*) – небольшое семейство (3 рода и 4 вида¹) эласмобранхий, обитающих кругло-светно, но преимущественно на значительных глубинах в условиях континентальных и островных шельфов и склонов [1]; среди них встречаются довольно крупные формы – до 4.7 м в длину (*Hexanchus griseus*) [2]. В ископаемом состоянии их остатки, как и остатки других эласмобранхий, представлены преимущественно отдельными зубами, известными в геологической летописи начиная с синемюрского века ранней юры [3]. Очень редкие скелетные остатки гексанхид известны из верхнеюрских литографских известняков Баварии [4, 5] и верхнего мела Ливана [6, 7].

В России из отложений меловой системы зубы акул семейства *Hexanchidae* известны из некоторых удаленных друг от друга местонахождений: они обнаружены в Крыму [8, 9], где в настоящее время наиболее полно изучены [10, 11], а также на Сахалине [12]. В меловых отложениях эпиконтинентальных морей на Русской плите находки зубов многожаберных акул очень редки. Они представлены единичными экземплярами *Gladioserratus magnus* из верхнего сеномана Саратовской области [13, 14]. Ранее из сеномана этого региона также указывались находки зубов «*Notidanus* ex gr. *microdon*» [15], но они не были описаны и изображены, поэтому подтвердить определения невозможно. В связи с этим вызывает интерес находка зуба многожаберной акулы, принадлежащего роду *Hexanchus*, сделанная в 2015 г. в одном из цементных карьеров г. Вольска при палеонтолого-стратиграфических исследованиях, проводимых геологами Саратовского государственного университета (СГУ). Зуб хранится в коллекции Регионального музея Землеведения СГУ.

Материал и местонахождение

Описываемый зуб (экз. СГУ 155/102) был найден при ручном сборе фоссилий беспозвоночных из меловых пород в верхней части второго технологического уступа заброшенного цементного карьера «Красный Октябрь» (N 55 град. 01'09.22"; E 47 град. 19'42.20") в г. Вольске Саратовской области (рис. 1, сост. по: [16]). Этот карьер – одно из известных палеонтологических местонахождений в Саратовском Правобережье, где вскрывается карбонатный разрез интервала туронского-маастрихтского ярусов общей мощно-

стью более 70 м [17]. Разрез хорошо изучен [17–19]: здесь выделены отложения верхнемеловых банновской (турон), вольской (коньяк), сенгилеевской и терешкинской (кампан), карсунской и радищевской (маастрихт) свит [17]. Наибольшую мощность имеют отложения карсунской свиты (50.7 м), которые обнажаются на большей, верхней части карьера и охватывают 3 технологических яруса (уступа) карьера (V–VII). В отложениях этой свиты (рис. 2, слой 8) и был обнаружен описываемый зуб. В слое кроме зуба также были найдены аммониты: *Hoploscaphites constrictus* (Sowerby) и *Acanthoscaphites tridens* (Kner), характерные для нижнего маастрихта.



Рис. 1. Обзорные схемы расположения карьера «Красный Октябрь»: а – административное положение г. Вольска (север Саратовского правобережья); б – расположение четырех карьеров в окрестностях г. Вольска. Карьер «Красный Октябрь» отмечен красной звездой (сост. по: [16]) (цвет онлайн)

Дополнительно обоснование возраста описываемого зуба акулы было сделано на основе изучения сопутствующей микрофауны. С образца мела, содержащего зуб, был срезан кусок породы и обработан по одной из методик выделения фораминифер – сплавления породы с глауберовой солью [21] (в качестве реагента использован

¹Иногда род *Hepranchias* с одним современным видом выделяется в отдельное семейство [3].

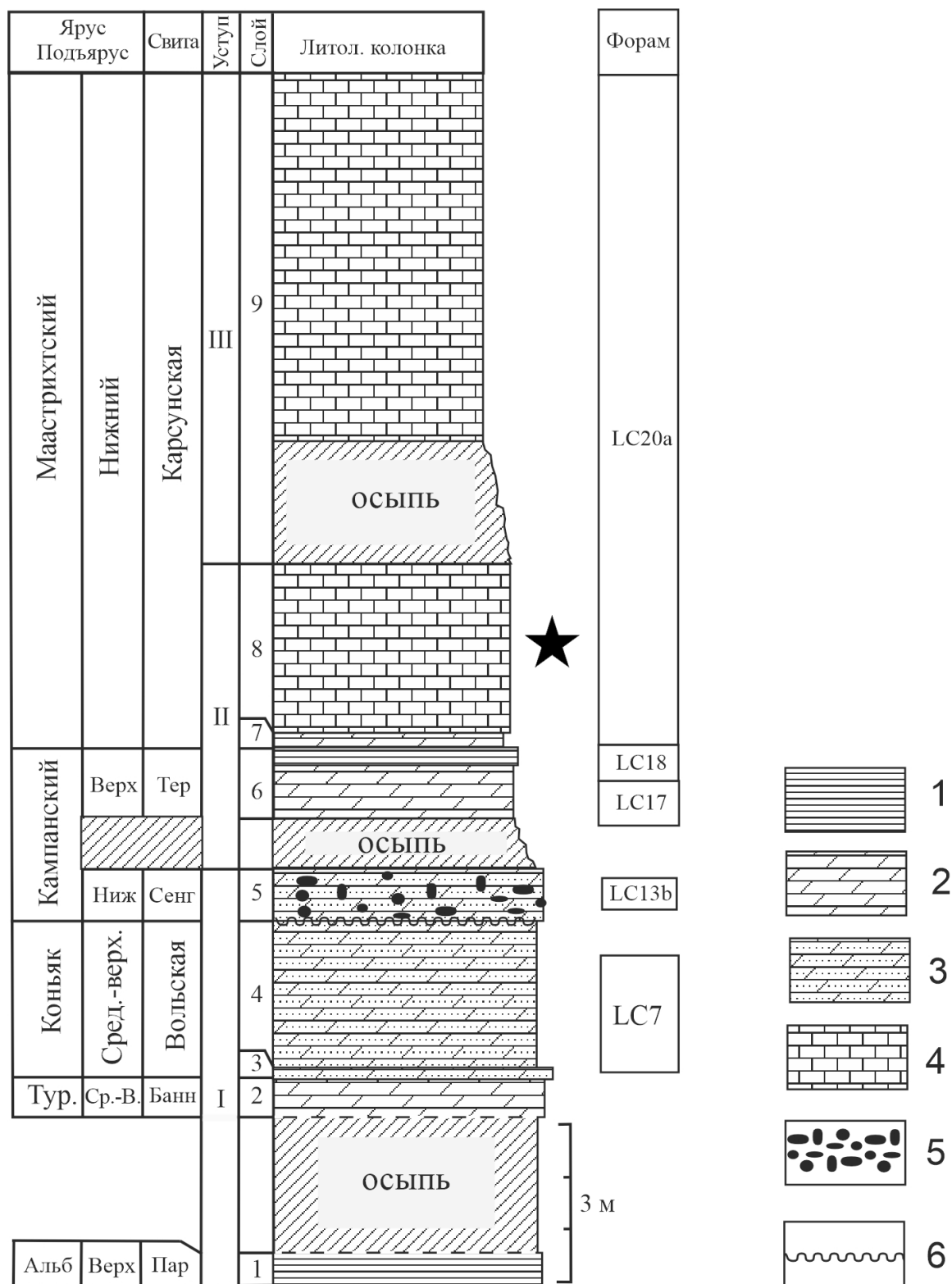


Рис. 2. Обобщённая литолого-стратиграфическая колонка верхней части разреза «Красный Октябрь» (сост. по: [17]) и стратиграфическое положение (звезда) описываемого зуба многожаберной акулы *Hexanchus microdon* (Agassiz, 1835) (экз. СГУ 155/102); Условные обозначения: 1 – глина; 2 – мергель; 3 – песчаный мергель; 4 – мел; 5 – желваки фосфоритов; 6 – поверхность размыта/твердое дно. Сокращения: Банн – банновская свита; Пар – парамоновская свита; Сенг – сенгилеевская свита; Тер – терешкинская свита; Форам – зоны по бентосным фораминиферам [20]



тиосульфат натрия). Материал по фораминиферам был определен В. Н. Беньямовским (ГИН РАН, г. Москва) как содержащий обедненный зональный комплекс нижнемаастрихтской зоны LC20 *Falsoplanulina multipunctata* (по [20]): *Lenticulina velascoensis* White, 1928, *Dentalina* sp., *Eponides* sp., *Stensioeina pommerana* Brotzen, 1936, *Cibicoides voltzianus* (d'Orbigny, 1840), *Cibicoides involutus* (Reuss, 1851), *Cibicoides bembix* (Marsson, 1878), *Gavelinella pertusa* (Marsson, 1878), *Brotzenella taylorensis* (Carsey, 1926), *Falsoplanulina multipunctata* (Bandy, 1951), *Coryphostoma incrassatum* (Reuss, 1851), *Coryphostoma crassum* (Vasilenko et. Myatlyuk, 1947), *Bolivinoidea miliaris* Hiltebrandt & Koch, 1950. Кроме фораминифер, микрофаунистическая проба содержала обломки створок раковин *Ostracoda*.

Зуб был дополнительно отпрепарирован механически иглами, а также с помощью бор-машин Proxxon Micromot FBS 240/E (Proxxon, Германия) и сфотографирован с использованием фотокамеры Nikon D5100 с макро-объективом Nikon Micro Nikkor 60 мм (Nikon, Япония) методом послойной съемки.

Систематическая часть

Система ископаемых эласмобранхий приводится по А. Каппетте [3]. Описательная терминология и система измерений зубов – по Ф. А. Триколиди [10, 11]: для ориентировки зуба при измерениях применяется усреднённая линия основания коронки – прямая, проведенная между границей коронки и корня с мезиальной стороны и границей коронки и корня с дистальной стороны. Замеры высоты корня и коронки, а также углов наклона зубцов проводились относительно этой линии, ориентированной горизонтально.

Класс Chondrichthyes Huxley, 1880
Подкласс Elasmobranchii Bonaparte, 1838
Когорта Euselachii Hay, 1902
Подкогорта Neoselachii Compagno, 1977
Отряд Hexanchiformes Buen, 1926
Подотряд Hexanchoides Garman, 1913
Семейство Hexanchidae Gray, 1851

Род *Hexanchus* Rafinesque, 1810
Hexanchus microdon (Agassiz, 1835)
1835–1843 *Notidanus microdon* – Agassiz: 1835, p. 3, pl. 27, fig. 1; 1843, p. 221, pl. 36, fig. 1–2.
1886 *Notidanus microdon* Ag. – Woodward: p. 213, pl. VI, fig. 10–15.
1890 *Notidanus microdon* Ag. – Davis: p. 380, pl. 38, fig. 4–7.
1894 *Notidanus microdon* Ag. – Woodward: p. 192, pl. V, fig. 7–8.
1902 *Notidanus microdon* Ag. – Leriche: p. 102, pl. III, fig. 1–2.
1912 *Notidanus microdon* Ag. – Woodward: p. 222, pl. XLVII, fig. 1–6.
1952 *Notidanus (Hexanchus?) microdon* Ag. – Arambourg: p. 40, pl. 1, fig. 1–55.

1977 *Notidanus (Hexanchus?) microdon* Ag. – Herman: p. 98, pl. 3, fig. 7.
1995 *Hexanchus* spp. – Siverson: p. 3, fig. 2D–F.
1996 *Hexanchus microdon* (Ag.) – Case: p. 3, pl. 1, fig. 3–4.
1996 *Hexanchus* sp. – Case: p. 3, pl. 1, fig. 1–2, 5.
2014 *Hexanchus microdon* (Ag.) – Adolfssen & Ward: p. 596, fig. 2S–Y.
2015 *Hexanchus microdon* (Ag.) – Adolfssen & Ward: p. 316, fig. 2H–I.
2021 *Hexanchus microdon* (Ag.) – Cappetta, Morrison & Adnet: p. 10, fig. 8A–Q.

Материал: экз. СГУ 155/102, нижний левый боковой зуб; карьер «Красный Октябрь», г. Вольск, Вольский район, Саратовская область; зона бентосных фораминифер LC20, карсунская свита, нижний маастрихт, верхний мел. Сборы В. Б. Сельцера, 2015 г.

Описание: Нижний левый боковой зуб с частично утраченным мезиально-базальным краем корня (рис. 3). Ширина зуба (TW) – 20 мм, высота (TH) – 9.5 мм. При этом на высоту коронки (H) приходится 4.5 мм, а на высоту корня (h) – 5 мм (реальная высота корня могла быть несколько больше, так как его крайняя мезио-базальная часть отсутствует и промер проводился по самой широкой сохранившейся части).

Коронка состоит из главной вершины с мезиальной зазубренностью и дистальных зубцов. Главная вершина относительно невысокая, наклонена дистально под углом 43° относительно усредненной линии основания коронки. Её мезиальный режущий край дугообразно выпуклый, дистальный – практически прямой. На мезиальном крае имеется зазубренность, занимающая около половины его длины. Зазубренность неравномерная по размеру, всего насчитывается 9 зубчиков, большинство из них хорошо развитые, низкие, загнутые дистально, но есть и редкие мелкие.

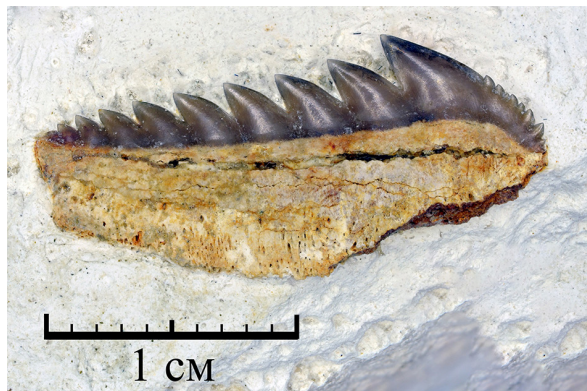
Имеется 8 нормально развитых дистальных зубцов и еще один последний (девятый), редуцированный до низкого «гребешка». Остальные 8 зубцов сходны по морфологии, хорошо развитые, постепенно уменьшаются в размере в дистальном направлении. Угол наклона дистальных зубцов остается относительно постоянным, составляя 39–41° (у большинства зубцов 40°). Их мезиальный режущий край отчетливо дугообразно выпуклый, дистальный – от практически прямого на первых зубцах до слабо выпуклого на наиболее дистальных (кроме последнего, слабо выраженного).

Главная вершина и зубцы слабо выпуклые с лабиальной стороны (лингвальная закрыта породой). Граница коронки и корня лабиально в целом имеет дугообразную форму, выгнутую в апикальном направлении; при этом наиболее выпуклая часть этой дуги располагается под главной вершиной, мезиально граница коронки и корня спускается круто, а дистально – очень полого.

Корень лабио-лингвально уплощенный, в своей сохранившейся части относительно невысокий



(и исходя из пропорций сохранившейся части корня, вряд ли был значительно выше). Высота корня плавно уменьшается в дистальном направлении. Васкуляризация корня представлена многочисленными эллипсоидными питательными отверстиями и щелевидными каналами, расположенными вертикально; все эти элементы преимущественно расположены в нижней половине корня.



а



б

Рис. 3. Зуб многожаберной акулы *Hexanchus microdon* (Agassiz, 1835), экз. СГУ 155/102; верхний мел, нижний маастрихт, карсунская свита; карьер «Красный Октябрь», г. Вольск, Саратовская область: а – общий вид зуба на куске мела; б – деталь строения мезиальной части коронки (увеличено) (цвет онлайн)

Размеры, мм ² :	TW	TH	H	h
Экз. СГУ 155/102	20	9.5	4.5	5

Сравнение: В верхнемеловых отложениях отмечается [3] присутствие всего двух видов рода *Hexanchus*: *Hexanchus microdon* (Agassiz, 1835) и *Hexanchus gracilis* (Davis, 1887). При

этом диагностика ископаемых видов затрудняется, с одной стороны, довольно консервативной морфологией зубов, а с другой стороны, – еще недостаточно изученной онтогенетической и половой изменчивостью, проявляющейся в вариации развитости мезиальной зазубренности, главной вершины и количества дистальных зубцов [22, 23]. Как правило, в качестве отличительных признаков указанных двух видов использовалось максимальное количество дистальных зубцов (для нижних боковых зубов до 10 у *H. microdon*, до 6 у *H. gracilis*) [24, 25], а также отсутствие мезиальной зазубренности у *H. gracilis* [6]. Дополнительно указывалось на большие размеры и лучшую развитость главной вершины у *H. microdon* [24]. Эти признаки, как известно к настоящему времени благодаря изучению зубов современных представителей рода [22], меняются в зависимости от возраста или пола акулы. Было выдвинуто предположение, что *H. gracilis* является, таким образом, младшим синонимом *H. microdon* [23, 25], а отличия между ними связаны с возрастной и половой гетеродонтностью. Мы придерживаемся этого предположения до получения новых данных и проведения полноценной ревизии. Независимо от этого, описываемый образец из г. Вольска хорошо соотносится с *H. microdon* и по количеству дистальных зубцов (8) и по своим крупным размерам (ширина зуба 20 мм). К сожалению, сведения о размерах зубов *H. gracilis* немногочисленны, даже несмотря на то, что размер иногда использовался в качестве их отличительной особенности от *H. microdon* [24]. Нижние зубы голотипа из сантона Ливана, согласно описанию, достигают около 7.62 мм [6]. По нашим данным, ширина наиболее крупных нижнебоковых зубов еще одного образца *H. gracilis* из того же местонахождения составляет 6–7 мм (замерена по фотографии, сделанной первым автором с образца в Национальном Музее Естественной истории, Париж), но изменчивость этой характеристики между особями все еще слабо изучена.

Кроме описанных выше видов, в верхнем мелу (кампане) Восточной Азии (о. Сахалин и Япония) также отмечались находки представителей рода *Hexanchus*, определенные как *Hexanchus* sp., *H. microdon* или *H. cf. microdon* [12, 26, 27]. От зуба из маастрихта г. Вольска и в целом от вида *H. microdon* зубы восточноазиатских представителей рода отличаются по своим пропорциям – они более короткие, а их корни более высокие. Возможно, имеет смысл их обособить в отдельную группу, на что указывают некоторые авторы [12].

Замечания. Номинальный вид *Notidanus microdon* Agassiz, 1835 был описан по трем нижнечелюстным зубам из верхнего мела Англии, без более точной стратиграфической и географической привязки [28, 29]; изображения типовой

²Ширина зуба (TW), высота зуба (TH), высота коронки (H), высота корня (h).



серии довольно плохого качества и, по всей видимости, не очень точны. В связи с этим в последнее время указывается на необходимость изучения новых образцов более хорошей сохранности для более точного понимания морфологических особенностей вида [30], с чем можно полностью согласиться. Тем не менее, после описания вида были опубликованы дополнительные изображения образцов из мела Англии [31, 32], и к *H. microdon* стали относить почти все зубы этого рода из верхнего мела-палеоцена (а в Северной Африке – вплоть до нижнего эоцена) [24, 33–36]. Это название употребляется и в современных работах [23, 2, 30], хотя справедливо указывается на широкий стратиграфический интервал распространения этого вида и необходимость его ревизии [25, 30]. Не исключено, что в результате ревизии будет установлено наличие нескольких видов *Hexanchus* в мелу, и объединение их на настоящий момент в вид *H. microdon* в определенной мере условно.

Распространение: верхний мел-нижний палеоцен (датский ярус) Западной Европы [23–25, 31–34], верхний мел (кампанский ярус) – нижний палеоцен (датский ярус) Северной Америки [30, 36], верхний мел (маастрихтский ярус) – нижний эоцен (ипрский ярус) Северной Африки [35]; маастрихт Саратовского Поволжья.

Обсуждение

Благодаря исследованиям зубов современных представителей рода *Hexanchus* [22] к настоящему времени известна значительная гетеродонтность, характерная для этих акул. Появление таких данных позволяет палеоихтиологам делать определенные выводы и относительно ископаемого материала. Так, оказалось что эоценовые виды *H. agassizi* Cappetta, 1976, *H. collinsonae* Ward, 1979 и *H. hookeri* Ward, 1979, описывавшиеся как принадлежащие двум разным группам («гризиформной» – с менее выраженной главной вершиной и мезиальной зазубренностью, и «витулиформной» – с более выраженной главной вершиной и мезиальной зазубренностью) являются синонимами. В действительности их морфологические различия связаны с онтогенетической изменчивостью и укладываются в рамки вариабельности одного вида [22]. Позднее, на основании данных об изменчивости зубов современных гексанхусов, было высказано предположение о синонимии *H. microdon* и *H. gracilis* [23, 25].

Перечислим основные признаки, по которым проявляется вариативность морфологии нижних, наиболее характерных и хорошо известных в палеонтологической летописи зубов *Hexanchus*, согласно [22].

1. Размер (в первую очередь – ширина) зубов. Этот фактор закономерно коррелирует с размером акулы, а при рассмотрении разных видов и родов многожаберных акул – также с количеством зубов

в челюсти, т. е. отражает расширение челюсти при росте в зависимости от зубной формулы. У *H. microdon* различие в ширине нижних боковых зубов также значительное: от 9–10 мм [30] до максимального размера около 23 мм [23]. Описываемый в данной работе зуб из маастрихта г. Вольска (шириной 20 мм), таким образом, близок к максимальному размеру.

2. Количество зубов возрастает с увеличением размеров акулы. Этот показатель рассматривается [22] как наиболее оптимально подходящий для вычисления предположительной длины тела акулы, исходя из отношения количества зубов на единицу ширины зуба. На нижних боковых зубах *H. microdon* количество дистальных зубов достигает от 5–6 на наиболее мелких зубах [30] до 9–10 у самых крупных и широких зубов [23, 35]. Зубы типовой серии этого вида [28, 29], судя по оригинальным изображениям, насчитывают от 4 до 5 дистальных зубов, а дополнительные материалы из верхнего мела Англии, приведенные Вудвордом [31], – 5–9 зубов. Таким образом, образец из г. Вольска характеризуется довольно большим количеством дистальных зубов (8).

3. Развитость высокой главной вершины по сравнению с дистальными зубцами и ее мезиальной зазубренности связана со зрелостью акулы и увеличением ее размеров. Самцы *Hexanchus* достигают зрелости раньше самок (при меньшей длине), соответственно, развитая главная вершина с мезиальной зазубренностью у них может появляться раньше (на меньших по размеру зубах). Для большинства изображенных зубов *H. microdon* характерно наличие мезиальной зазубренности [23–25, 28, 29, 31–33]. При этом главная вершина у *H. microdon* может быть как удлинненной, так и менее выраженной по высоте – скорее всего, это связано с положением зубов в челюсти или с полом акулы. В то же время мелкие зубы, отнесенные к этому виду [30], лишены мезиальной зазубренности, либо она слабо выражена.

Таким образом, зуб *H. microdon*, описываемый в данной работе, принадлежит зрелой и довольно крупной особи, видимо, достигавший размеров, близких к максимальным для данного вида. Это можно дополнительно показать расчетами примерного размера акулы, используя известные для современных акул рода *Hexanchus* отношения между количественными параметрами зубов и размером особи [22, 37].

Как уже указывалось выше, существует корреляция между шириной нижних боковых зубов (TW) *Hexanchus* и длиной акулы (SL). Для современного *H. nakamurai* (вида, наиболее морфологически близкого к *H. microdon* [25]) она определяется формулой: $SL \text{ (см)} = 65.1 \times TW \text{ (см)} + 23.1$ [Adnet, 2006].

Исходя из этой формулы, длина *Hexanchus* из маастрихта г. Вольска с зубом шириной 2 см предположительно должна составлять 153.3 см. Учитывая максимальную известную ширину зуба



H. microdon (2.3 см [23]), максимальный размер этой акулы должен составлял 172.8 см, что незначительно больше вольского гексанхида. Однако применение описанной формулы для ископаемых гексанхид довольно условно, так как ширина зуба зависит не только от длины акулы, но и от количества зубов (неизвестного для ископаемых форм).

Существует и другая, более оптимальная для современных и ископаемых гексанхусов формула, не зависящая от количества зубов и, соответственно, от конкретного вида [37]. Она отражает взаимосвязь длины тела акулы (SL) и отношения (R) количества вершин к ширине зуба в см (в данной формуле также используются нижние боковые зубы):

$$SL \text{ (см)} = 1847.86 \times (R)^{-1.6},$$

где R – количество вершин (включая главную вершину и дистальные зубцы)/ширина зуба (TW) (см) [22, 37]. Для зуба из г. Вольска с 9 нормально развитыми вершинами $R = 4.5$, рассчитанная длина акулы составляла соответственно около 166.5 см. В то же время размер *H. microdon* с зубом максимальной ширины 2.3 см, 11 вершинами, R около 4.783, достигал около 151 см.

Заключение

Описан зуб многожаберной акулы *Hexanchus* из карсунской свиты (маастрихтский ярус, зона бентосных фораминифер LC20) карьера «Красный Октябрь» у г. Вольска, Саратовской области. Он представляет собой первую находку рода в маастрихте Поволжья и Русской плиты в целом и первую достоверную и подробно описанную находку рода в верхнем мелу этой территории. Данный зуб отнесен к виду *H. microdon* (Ag., 1835), единственному в позднем мелу, для которого характерны отмеченные на вольском образце относительно крупные размеры (ширина зуба 2 см) и большое количество дистальных зубцов (8 штук). Тем не менее, данный широко цитируемый вид с весьма широким стратиграфическим распространением и недостаточно изученным типовым материалом требует ревизии, и пока она не проведена, такое видовое определение в некоторой степени условно.

Распознавание ископаемых видов рода *Hexanchus* затрудняется также значительной гетеродонтностью (в том числе онтогенетической), характерной для их зубной системы. С учетом данных о гетеродонтности современных представителей рода предположено, что описываемый зуб принадлежал зрелой, довольно крупной особи, размер которой оценивается разными методами около 153–166 см (последнее число может считаться более достоверным).

В целом с учетом вариабельности зубов современных *Hexanchus* изучение палеонтологического материала лучше проводить на основании крупных выборок зубов, однако такое возможно далеко

не всегда, особенно учитывая относительную редкость находок данного рода. Таким образом, и единичные находки представляют интерес и должны быть подробно описаны и, насколько это возможно, проанализированы.

Библиографический список

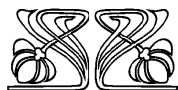
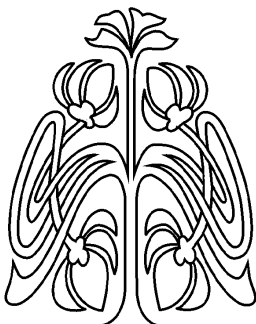
1. Нельсон Д. С. Рыбы мировой фауны : пер. 4-го перераб. англ. изд. / предисловие и толковый словарь Н. Г. Богущкой, А. М. Насеки, А. С. Герда. М. : Книжный дом «Либроком», 2009. 880 с. EDN: QKSLQX
2. Compagno L. J. V. FAO species catalogue. Sharks of the world an annotated and illustrated catalogue of shark species known to date // FAO Fisheries Synopsis. 1984. № 125, Vol. 4. 249 p.
3. Cappetta H. Chondrichthyes. Mesozoic and Cenozoic Elasmobranchii: Teeth. Munich : Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 2012. 512 p.
4. Kriwet J., Klug S. Late Jurassic selachians (Chondrichthyes, Elasmobranchii) from southern Germany: Re-evaluation on taxonomy and diversity // Zitteliana. 2004. Vol. 44. P. 67–95. <https://doi.org/10.5282/ubm/epub.11945>
5. Villalobos-Segura E., Stumpf S., Türtscher J., Jambura P. L., Begat A., López-Romero F. A., Fischer J., Kriwet J. A Synoptic Review of the Cartilaginous Fishes (Chondrichthyes: Holocephali, Elasmobranchii) from the Upper Jurassic Konservat-Lagerstätten of Southern Germany: Taxonomy, Diversity, and Faunal Relationships // Diversity. 2023. Vol. 15. P. 1–70. <https://doi.org/10.3390/d15030386>, EDN: WAQEPG
6. Davis J. W. The fossil fishes of the chalk of Mount Lebanon, in Syria // Scientific Transactions of the Royal Dublin Society. 1887. Series 2, vol. 3. P. 457–636.
7. Cappetta H. Les Sélaciens du Crétacé supérieur du Liban. I. Requins // Palaeontographica, Abt. A. 1980. Vol. 168, № 1–4. P. 69–148.
8. Найдин Д. П., Алексеев А. С. Разрез отложений сеноманского яруса междуречья Качи и Бодрака (Крым) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1980. Вып. 4. С. 11–25.
9. Новиков И. В., Златински В. Д., Энгельман Ф. О находках меловых и палеоценовых позвоночных в восточной части Бахчисарайского района (Крым) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1987. Вып. 1. С. 109–110.
10. Триколиди Ф. А. Гребнезубые акулы (Hexanchiformes) из меловых отложений Крыма // Труды Зоологического института РАН. 2014. Т. 318, № 1. С. 76–97. <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2014.318.1.76>, EDN: SAMAEF
11. Триколиди Ф. А. Эласмобранхии мела и нижнего палеоцена Крыма : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. СПб., 2022. 194 с. EDN: DVGKPT
12. Триколиди Ф. А., Назаркин М. В. Новые данные по зубам гребнезубых акул (Hexanchiformes) из меловых отложений острова Сахалин (Россия) // Труды Зоологического института РАН. 2016. Т. 320, № 1. С. 66–70. <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2016.320.1.66>, EDN: VSLYYB



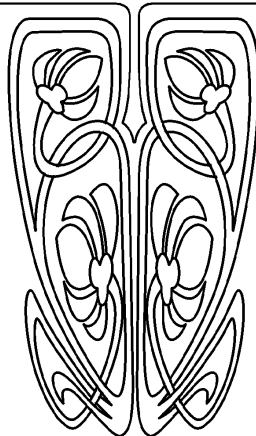
13. Бирюков А. В. О стратиграфическом значении эласмобранхий (*Chondrichthyes*, *Elasmobranchii*) в сеномане Правобережного Поволжья // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 1. С. 27–40. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-1-27-40>, EDN: YPCDUJ
14. Бирюков А. В. Эласмобранхии сеномана Поволжья: разнотипность, палеобиогеография и стратиграфическое значение : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Саратов, 2023. 350 с.
15. Гликман Л. С. Эволюция меловых и кайнозойских ламноидных акул. М. : Наука, 1980. 248 с.
16. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Средневожская. Лист N-38-XXXVI (Балаково). Объяснительная записка / сост. С. М. Демченко, С. П. Мельникова, Т. Б. Орлова. СПб. : Изд-во С.-Петерб. картфабрики ВСЕГЕИ, 2001. 67 с.
17. Олферьев А. Г., Сельцер В. Б., Алексеев А. С., Амон Э. О., Беньямовский В. Н., Иванов А. В., Овечкина М. Н., Харитонов В. М. Верхнемеловые отложения севера Саратовской области. Статья 3. Биостратиграфическое расчленение разреза карьера «Красный октябрь» на южной окраине г. Вольска // Бюл. МОИП, отд. Геол. 2014. Т. 89, вып. 6. С. 45–76.
18. Сельцер В. Б., Иванов А. В. Атлас поздне меловых аммонитов Саратовского Поволжья. М. : Книжный дом «Университет», 2010. 152 с. EDN: QKTCKR
19. Первушов Е. М., Сельцер В. Б., Калякин Е. А., Мусатов В. А., Ермохина Л. И., Ильинский Е. И., Лопырев В. А., Романов Н. С., Худяков Д. В., Воронков И. Р. Фаунистический комплекс пограничных интервалов маастрихта – палеоцена Вольской впадины // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 109–126. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-2-109-126>, EDN: CEKWPA
20. Беньямовский В. Н. Схема инфразонального биостратиграфического расчленения верхнего мела Восточно-Европейской провинции по бентосным фораминиферам. Статья 2. Сантон – маастрихт // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2008. Т. 16, № 5. С. 62–74.
21. Воронкова Е. А. Обзор методик извлечения известковых микрофоссилий из пород различного литологического состава // Недра Поволжья и Прикаспия. 2008. № 71. С. 6–15.
22. Adnet S. Biometric analysis of the teeth of fossil and Recent hexanchid sharks and its taxonomic implications // Acta Palaeontologica Polonica. 2006. Vol. 51, № 3. P. 477–488.
23. Adolfssen J., Ward D. J. Crossing the boundary: An elasmobranch fauna from Stevns Klint, Denmark // Palaeontology. 2014. Vol. 57, № 3. P. 591–629. <https://doi.org/10.1111/pala.12079>, EDN: SRKLYT
24. Herman J. Les Sélaciens des terrains néocrétacés et paléocènes de Belgique et des contrées limitrophes. Eléments d'une biostratigraphie intercontinentale // Mémoires pour servir à l'explication des Cartes géologiques et minières de la Belgique. 1977. № 15. P. 1–401.
25. Adolfssen J., Ward D. J. Neoselachians from the Danian (Early Paleocene) of Denmark // Acta Palaeontologica Polonica. 2015. Vol. 60, № 2. P. 313–338. <https://doi.org/10.4202/app.2012.0123>
26. Uyeno T. On Cretaceous and Tertiary Fish Remains from the Hidaka and Yubari Districts in Hokkaido, Japan // Memoirs of the National Science Museum. 1972. Vol. 5. P. 223–225.
27. Uyeno T., Minakawa T., Matsukawa M. Upper Cretaceous Elasmobranchs from Matsuyama, Ehime Prefecture, Japan // Bulletin of the National Science Museum, Ser. C. 1981. Vol. 7, № 2. P. 81–87.
28. Agassiz L. Recherches sur les poissons fossiles, 5th livraison. Neuchâtel, 1835.
29. Agassiz L. Recherches sur les poissons fossiles, 15th and 16th livraisons. Neuchâtel, 1843.
30. Cappetta H., Morrison K., Adnet S. A shark fauna from the Campanian of Hornby Island, British Columbia, Canada: An insight into the diversity of Cretaceous deep-water assemblages // Historical Biology. 2021. Vol. 33, № 8. P. 1121–1182. <https://doi.org/10.1080/08912963.2019.1681421>, EDN: EYBZDP
31. Woodward A. S. On the palaeontology of the selachian genus *Notidanus* Cuvier // Geological Magazine. 1886. Vol. 3, № 6. P. 253–259.
32. Woodward A. S. Notes on the sharks' teeth from British Cretaceous formations // Proceedings of the Geologists' Association. 1894. Vol. 13, № 6. P. 190–200. [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(94\)80009-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(94)80009-4)
33. Davis J. W. On the fossil fish of the Cretaceous formations of Scandinavia // Scientific Transactions of the Royal Dublin Society. 1890. Series 2, vol. 4. P. 363–434.
34. Leriche M. Révision de la faune ichthyologique des terrains crétacés du Nord de la France // Annales de la Société Géologique du Nord. 1902. Vol. 31. P. 87–154.
35. Arambourg C. Les vertébrés fossiles des gisements de phosphates (Maroc-Algérie-Tunisie) // Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc. 1952. № 92. P. 1–372.
36. Case G. R. A new selachian fauna from the Lower Hornestown Formation (Early Paleocene/Montian) of Monmouth County, New Jersey // Palaeontographica, Abt. A. 1996. Vol. 242, № 1–3. P. 1–14.
37. Adnet S., Martin R. A. Increase of body size in sixgill sharks with change in diet as a possible background of their evolution // Historical Biology. 2007. Vol. 19, № 4. P. 279–289. <https://doi.org/10.1080/08912960701194461>, EDN: MLQWCB

Поступила в редакцию 11.07.2024; одобрена после рецензирования 06.09.2024; принята к публикации 27.09.2024; опубликована 29.11.2024

The article was submitted 11.07.2024; approved after reviewing 06.09.2024; accepted for publication 27.09.2024; published 29.11.2024



ПОДПИСКА



Подписка на печатную версию

Подписной индекс издания 36010.
Оформить подписку на печатную версию
можно в интернет-каталоге
ГК «Урал-Пресс» (ural-press.ru).
Журнал выходит 4 раза в год.
Цена свободная

Адрес Издательства

Саратовского университета (редакции):

410012, Саратов, Астраханская, 83

Тел.: +7(845-2) 51-29-94, 51-45-49, 52-26-89

Факс: +7(845-2) 27-85-29

E-mail: publ@sgu.ru, izdat@sgu.ru

Адрес редколлегии серии:

410012, Саратов, Астраханская, 83,

СГУ имени Н. Г. Чернышевского,

Географический факультет

Тел.: +7(845-2) 21-07-95

Факс: +7(845-2) 51-54-49

E-mail: geo@sgu.ru

Website: <http://geo.sgu.ru/>



ISSN 1819-7663 (Print). ISSN 2542-1921 (Online)
Известия Саратовского университета. Новая серия.
Серия: Науки о Земле. 2024. Том 24, выпуск 4

ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА Новая серия

Серия: Акмеология образования. Психология развития
Серия: История. Международные отношения
Серия: Математика. Механика. Информатика

Серия: Науки о Земле

Серия: Социология. Политология
Серия: Физика
Серия: Филология. Журналистика
Серия: Философия. Психология. Педагогика
Серия: Химия. Биология. Экология
Серия: Экономика. Управление. Право

