

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

ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Новая серия

Серия: Науки о Земле

2025

Том 25

Выпуск 3



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 3

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



Научный журнал
2025 Том 25

ISSN 1819-7663 (Print)

ISSN 2542-1921 (Online)

Издается с 2006 года

СОДЕРЖАНИЕ

Научный отдел

География

Семенов Ю. М.

Учение о геосистемах как основа развития концепции сотворчества
человека с природой

156

Морозова С. В., Семенова Н. В.,

Юхмин Р. Б., Слепухин Р. А.

Исследование полей геопотенциала
в Северном и Южном полушариях в различные
естественные климатические периоды в январе

163

Данилов В. А., Морозова В. А., Папилин Д. В.

Топологический подход к анализу компактности и связности
систем расселения с учетом ограничений на местности
(на примере Саратовской области)

169

Николаева Н. А., Пинигин Д. Д.

Геосистемные исследования территории
Тихоокеанской железной дороги
в бассейне р. Мулам

178

Хайбулин А. И., Затонская А. В.

Прогнозирование динамики лахарных потоков
с помощью имитационного моделирования

185

Огнева М. В., Шлапак П. А.,

Васильев А. А., Моисеев Д. С.

Автоматическое определение лесных пород
методами машинного обучения
на основе обработки спутниковых снимков

194

Геология

Попов Е. В., Зенина Ю. В.

Первая находка химеровой рыбы (Holocephali, 'Edaphodontidae')
в нижнем мелу Среднего Поволжья

201

Первушов Е. М., Барабошкин Е. Ю.,

Шелепов Д. А., Бирюков А. В.

Граница альба и сеномана в северной части
Доно-Медведицких дислокаций.

Статья 1. История изучения и описание разрез

211

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

Садыкова Марина Владимировна
Трубникова Татьяна Александровна

Редактор-стили

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 22.09.2025.

Подписано в свет 30.09.2025.

Выход в свет 30.09.2025.

Формат 60 × 84 1/8.

Усл. печ. л. 8.86 (9.5).

Тираж 100 экз. Заказ 81-Т.

Отпечатано в типографии
Саратовского университета.

Адрес типографии:

410012, Саратов, Б. Казачья, 112А

© Саратовский университет, 2025



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: geo@sgu.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

Semenov Yu. M.

The doctrine of geosystems as the basis for the development of the concept of human co-creation with nature 156

**Morozova S. V., Semenova N. V.,
Yukhmin R. B., Slepukhin R. A.**

An analysis of geopotential fields in the Northern and Southern hemispheres under different natural climatic conditions during January 163

Danilov V. A., Morozova V. A., Papilin D. V.

Topological approach to analyzing compactness and connectivity of settlement systems considering terrain constraints (case study of the Saratov Region) 169

Nikolaeva N. A., Pinigin D. D.

Landscape studies of the Pacific Railway area in the Mulam River basin 178

Khaybulin A. I., Zatonskaya A. V.

Prediction of Lahar flow dynamics using simulation modeling 185

Ogneva M. V., Shlapak P. A.,

Vasilyev A. A., Moiseev D. S.

Automatic identification of forest species using machine learning methods based on satellite image processing 194

Geology

Popov E. V., Zenina Yu. V.

First Record of Chimaeroid Fish (Holocephali: 'Edaphodontidae') from the Lower Cretaceous of the Middle Volga Region 201

Pervushov E. M., Baraboshkin E. Yu.,

Shelepov D. A., Biryukov A. V.

The albian-cenomanian boudary in the northern part of the Don-Medveditsa dislocations. Paper 1. The history of studying and the section descriptions 211



**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)

Рогов Михаил Алексеевич, доктор геол.-минерал. наук, профессор РАН (Москва, 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)

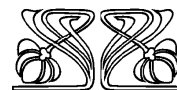
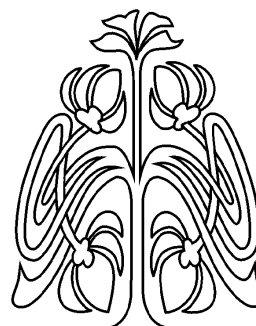
Mikhail A. Rogov (Moscow, Russia)

Yuriy M. Semenov (Irkutsk, Russia)

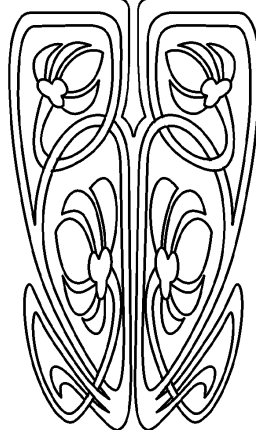
Ashot V. Khoetsyan (Erevan, Armenia)

Aleksey N. Chumachenko (Saratov, Russia)

Boris N. Shurygin (Novosibirsk, Russia)



**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ**





ГЕОГРАФИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 156–162

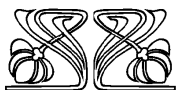
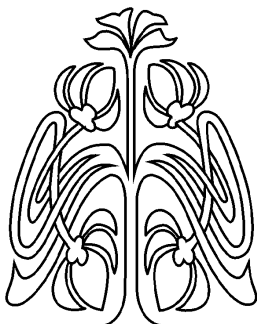
Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 156–162

<https://geo.sgu.ru>

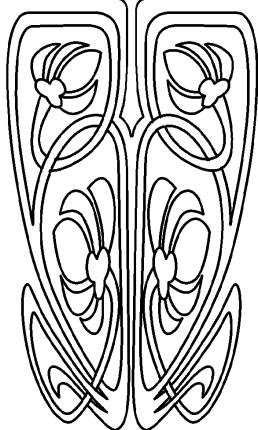
<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-156-162>, EDN: EOHJXE

Научная статья

УДК 911.2/3



**НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ**



Учение о геосистемах как основа развития концепции сотворчества человека с природой

Ю. М. Семенов

Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, д. 1

Семёнов Юрий Михайлович, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории физической географии и биогеографии, yumsemenov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8900-6817>

Аннотация. В статье рассмотрены история концепции сотворчества человека с природой, основные подходы к определению возможностей ее реализации в рамках учения о геосистемах В. Б. Сочавы и опыт ландшафтного планирования на базе познания ландшафтной организации различных регионов Сибири.

Основным содержанием современной российской физической географии является изучение организации геосистем и ландшафтно-экологических условий дифференциации природопользования. Методология, методический аппарат их выявления и последующая интерпретация данных базируются на учении о геосистемах. К числу его важнейших социальных задач В. Б. Сочава отнес научное обоснование создания «геосистем сотворчества человека с природой». Их создание как одного из видов целенаправленного антропогенного преобразования геосистем в соответствии с присущими им тенденциями развития должно быть нацелено на выявление потенциальных сил природы, способствование развитию позитивных и торможение нежелательных процессов. Одним из способов этого сотворчества служит ландшафтное планирование, направленное на обоснование путей оптимизации землепользования, предусматривающего избежание или хотя бы минимизацию рисков природопользования, которое может быть реализовано как конструктивное развитие моделирования организации геосистем.

Ключевые слова: геосистемы, дифференциация, интеграция, динамика, эволюция, антропогенная трансформация, сотворчество, ландшафтное планирование

Благодарности. Исследование выполнено за счёт средств государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук (№ гос. регистрации темы AAAA-A21-121012190059-5).

Для цитирования: Семенов Ю. М. Учение о геосистемах как основа развития концепции сотворчества человека с природой // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 156–162. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-156-162>, EDN: EOHJXE

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

Article

The doctrine of geosystems as the basis for the development of the concept of human co-creation with nature

Yu. M. Semenov

© Семенов Ю. М., 2025



V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 1 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk 664033, Russia

Yuri M. Semenov, yumsemenov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8900-6817>

Abstract. The article discusses the history of the concept of human co-creation with nature, the main approaches to determining the possibilities of its implementation within the framework of the doctrine of geosystems by V. B. Sochava and the experience of landscape planning based on knowledge of the landscape organization of various regions of Siberia.

The main content of modern Russian physical geography is the study of the organization of geosystems and landscape and environmental conditions for differentiating environmental management. The methodology, methodological apparatus for their identification and subsequent interpretation of data are based on the doctrine of geosystems. Among his most important social tasks, V. B. Sochava attributed the scientific justification for the creation of "geosystems of the co-creation of man with nature." Their creation as one of the types of purposeful anthropogenic transformation of geosystems in accordance with their inherent development trends should be aimed at identifying potential forces of nature, promoting the development of positive and inhibiting undesirable processes. One of the ways of this co-creation is landscape planning aimed at justifying ways to optimize land use, providing for the avoidance or at least minimization of environmental management risks, which can be implemented as a constructive development of modeling the organization of geosystems.

Keywords: geosystems, differentiation, integration, dynamics, evolution, anthropogenic transformation, co-creation, landscape planning

Acknowledgments. The research was conducted as a part of a state-funded project of V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS (state registration number AAAAA-A21-121012190059-5).

For citation: Semenov Yu. M. The doctrine of geosystems as the basis for the development of the concept of human co-creation with nature. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 156–162 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-156-162>, EDN: EOHJXE

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

Введение

В последние годы экологический фактор играет все более существенную роль в формировании экономики и качества жизни, что стало проявляться в виде быстро обостряющихся экологических проблем. К наиболее серьезным вызовам относятся климатические изменения и практически повсеместное негативное воздействие антропогенеза, включая урбанизацию и техногенную трансформацию геосистем, приводящие к локальным и даже региональным изменениям в системе «природа – хозяйство – общество».

Естественно, в мировой географии значительное внимание уделяется ответам на эти вызовы путем учета и анализа поведения геосистем в изменяющихся условиях, оценки риска и прогнозирования возможных изменений, а также планирования и разработки путей адаптации территориального развития к ним. Но проблема взаимодействия человека с природной средой отнюдь не нова: географов она волновала и раньше.

Еще в середине XIX в. известный американский географ Дж. П. Марш, основываясь на результатах нарушений сложившихся естественных равновесий во взаимоотношениях природы и общества, пришел к выводу о том, что «произведенные человеком опустошения извратили отношения и расстроили равновесие, установленные природой между ее органическими и неорганическими созданиями, и природа мстит своему нарушителю» [1, с. 46]. Предупреждая об опасности недооценки «непреднамеренных последствий» для человечества его вмешательства в «порядки природы», он напоминал, что люди способны нанести ущерб окружающей среде, даже считая, что улучшают ее [2]. По мнению А. Г. Исаченко, труд Дж. П. Марша [1] был

первой серьезной попыткой «раскрыть характер и размеры изменений, произведенных человеком в физико-географических условиях Земли, и указать на опасность, грозящую человечеству из-за нарушения естественных связей в природе» [3, с. 329]. В. М. Котляков подчеркивал, что Дж. П. Марш «первый возложил на общество ответственность за сохранение природы для будущих поколений» [4, с. 15].

Российская комплексная физическая география, начиная с работ В. В. Докучаева, А. И. Воейкова, А. Н. Краснова, Г. Н. Высоцкого, Г. И. Танфильева, всегда выполняла ряд прикладных функций. Так, работы Особой экспедиции Лесного департамента Министерства земледелия и государственных имуществ под руководством В. В. Докучаева [5], в которых на основе детального учета и оценки природных условий опытных участков была разработана система последовательных практических мероприятий по улучшению условий земледелия и водного хозяйства, с современных позиций вполне можно отнести к разряду ландшафтно-планировочных.

Г. Н. Высоцкий никогда специально не занимался проблемами тех наук, где его принято считать классиком. Исследования в их рамках не были для него самоцелью, все наработки и выводы сделаны при решении задач степного лесоразведения, а вопросы сопредельных наук были необходимы, потому что эти науки изучают среду обитания лесов [6]. В программе лесомелиорации Русской равнины он рекомендовал для наиболее производительного использования земель и создания благоприятных микроклиматических условий в лесной зоне размещать сельскохозяйственные угодья на широких просеках поперек направлений северных ветров:



на подветренной стороне – пашни, на открытой ветрам – сенокосы и пастбища [7].

Г. И. Танфильев отмечал приуроченность определенных видов хозяйственной деятельности к природным особенностям местности [8]. При этом он обращал внимание на то, что «во власти человека подчас совершенно изменить почвенные условия, ... но у нас, где человек находится в большинстве случаев более выгодным для себя не изменять природу, не переделывать ее применительно к требованиям экономических и иных условий, а подчиняться ей, связь между условиями естественными и многими чертами хозяйства выражается достаточно ясно» [8, с. 499].

В 1894 г. были опубликованы две статьи А. И. Воейкова под общим заголовком «Воздействие человека на природу», где автор вскрыл механизм, показал некоторые результаты этого воздействия и призвал к разумному овладению богатствами природы. Предостерегая от «противоречия между временными выгодами человека и выгодами целого общества», он фактически впервые упомянул о сотворчестве человека с природой, не используя сам термин, но напоминая о возможности гармонии выгод человека и общества [9]. А. И. Воейков предсказал возможность развития культуры чая и цитрусовых в Закавказье и ценных видов хлопчатника в Средней Азии [10].

По инициативе и во многом благодаря усилиям основоположника современной конструктивной географии А. Н. Краснова путем тщательно продуманной и спланированной интродукции представителей субтропической флоры в геосистемы Колхиды и Аджарии были созданы «колхидские субтропики» [11]. Руководством по выращиванию чая на Кавказе стала монография А. Н. Краснова «Чайные округа субтропических областей Азии. Культур-географические очерки Дальнего Востока» [12], так как растительность Японии похожа на растительность юго-западного Кавказа.

Широко известны исследования почвенно-ботанических экспедиций Переселенческого управления в Средней Азии, Сибири и на Дальнем Востоке, включавшие фундаментальные картографические работы по компонентной оценке природных условий территорий для расселения крестьян из европейской части России. Работы комплексных экспедиций КЕПС и СОПС по обоснованию размещения производительных сил Российской империи и СССР существенно продвинули изучение природы, ресурсной базы и хозяйственных проблем крупных регионов, требующих освоения природного потенциала [13].

Основным содержанием современной российской физической географии является изучение организации геосистем и ландшафтно-

экологических условий дифференциации природопользования. Методология, методический аппарат их выявления и последующая интерпретация данных базируются на учении о геосистемах [14], к числу важнейших социальных задач которого В. Б. Сочава отнес научное обоснование создания «геосистем сотворчества человека с природой».

Сотворчество как конструктивное развитие моделирования организации геосистем в рамках ландшафтного планирования

Выдающийся советский ученый В. Б. Сочава известен как натуралист и географ широкого профиля. Его исследования касались самых разнообразных вопросов комплексной физической географии, ландшафтоведения, палеогеографии, тематической картографии, прикладной географии, ботанической географии, геоботаники, флористики, систематики растений, классификации, районирования и картографирования растительности, истории науки. Как исследователь-натуралист широкого профиля, В. Б. Сочава не мог не отдать должное учению о ландшафте, которое со временем заняло важнейшее место в его научных интересах и в котором он стал крупнейшим авторитетом.

Импульсом для разработки учения о геосистемах послужила возникшая в начале 60-х гг. XX в. необходимость систематизировать основные положения ландшафтоведения и привлечь новые для географии из смежных дисциплин, в первую очередь, из экологии. Недавно к тому времени организованный Институт географии Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР остро нуждался в создании концепции, которая могла бы быть положена в основу объединения физико-географических исследований, для согласования маршрутных и стационарных исследований и их постановки на новом уровне.

И вот в 1963 г. произошло знаменательное для географии событие, когда впервые в географической литературе появился термин «геосистема», который был предложен В. Б. Сочавой в статье «Определение некоторых понятий и терминов физической географии», опубликованной в «Докладах Института географии Сибири и Дальнего Востока» [15]. Несмотря на обилие понятий и терминов, введенных в научный оборот в этой работе, главным в ней было определение основного объекта физической географии: «Геосистемы – это природно-географические единства всех возможных категорий, от планетарной геосистемы (географической оболочки или географической среды в целом) до элементарной геосистемы (физико-географической фации), ... материальные выражения целостности географической оболочки и отдельных ее участков» [15, с. 53]. По мнению В. Б. Сочавы, термин «геосистема» «бо-



лее других соответствует современному уровню представлений» об объекте, освобождая от нежелательного употребления в аналогичном смысле слова «ландшафт» [15].

С этого года термин «геосистема» начинает свое «шествие» в советской и российской научной географической литературе в качестве одного из базовых понятий нашей науки.

Системная парадигма предоставила возможность пересмотреть логические основы учения о ландшафтной сфере, четко разграничить задачи физической географии и отраслевых географических дисциплин. Организация геосистем включает их дифференциацию, интеграцию, развитие и обеспечивает их функционирование, поэтому в учение о геосистемах входят составными частями теоретические положения, обосновывающие закономерности их классификации, картографирования, динамики и эволюции.

На сибирских географических стационарах под общим руководством академика В. Б. Сочавы были разработаны многие методические аспекты экспериментальных исследований, опирающихся на выявление связей между изменяющимися характеристиками компонентов ландшафтов. Стационарные исследования, проведенные в разных регионах Сибири, сыграли решающую роль в становлении представления о ландшафте как полиструктурном единстве природных геосистем и их антропогенных модификаций, основанном на системном ориентации с использованием различных форм моделирования. Система структурно-динамических представлений о ландшафте способствовала развитию междисциплинарного ландшафтно-экологического подхода.

Создание «геосистем сотворчества человека с природой» как одного из видов целенаправленного антропогенного преобразования геосистем в соответствии с присущими им тенденциями развития [14] должно быть направлено на выявление потенциальных сил природы, способствующие развитию позитивных и торможение нежелательных процессов: «природа делает — мы ей помогаем». Наиболее близки к целям этого сотворчества методы ландшафтного планирования (ЛП), направленного на обоснование путей оптимизации землепользования через организацию взаимодействия природных образований с человеческим населением, предусматривающего избежание или хотя бы минимизацию рисков природопользования.

Созданная в ИГ СО РАН методика ЛП [16–18] базируется как на методических подходах и опыте немецких планировщиков [19, 20], так и на традициях российской географической школы [2–4, 6, 8, 9, 11 и др.]. Значительные территории РФ и других стран бывшего СССР до сих пор не имеют тематических карт нужных для ЛП масштабов, и если в европейских странах работы инвентаризационного этапа сводятся к сбору и обобщению имеющейся информации о природе

и социально-экономических условиях, структуре и особенностях землепользования территории, то нашим географам зачастую приходится проводить картографирование компонентов геосистем практически заново [21].

Процедура оценки природных компонентов в категориях «значение» и «чувствительность» с последующим определением целей территориального развития, используемая ландшафтными планировщиками ФРГ, была адаптирована к условиям России, но изменена и дополнена. Во-первых, методика ЛП, разработанная в ИГ СО РАН, предполагает, что оценивание природных компонентов и определение целей их развития проводятся не ландшафтоведами-планировщиками, как в ФРГ [19, 20] или у московских коллег [22, 23], а специалистами-отраслевиками [21–25], благодаря чему учет природных особенностей получается более корректным и детальным. Во-вторых, ведутся они не по контурам тематических карт, а по единой контурной сетке ландшафтных выделов с использованием ГИС [26, 27]. Поэтому особое внимание уделяется выбору имеющейся или созданию новой корректной основы для оценки природных компонентов и определения целей территориального развития — карты геосистем.

Поскольку ЛП осуществляется на трех масштабных уровнях, то и ландшафтная основа также имеет дело с тремя уровнями организации геосистем: для ландшафтного крупномасштабного плана базовой единицей картографирования и оценки служит фация, а основной ячейкой детальной проработки — микрогеохора (урочище); для ландшафтного рамочного плана — соответственно группа фаций и мезогеозора (местность), для ландшафтной программы — геом и ландшафт. Несмотря на типологические легенды карт, используемых в качестве основы для ЛП, оценка часто ведется фактически по конкретным местоположениям, особенно в геохорах со сложным рельефом, где из-за мелкоконтурности (дробности), мозаичности и серийности геомов на нижних уровнях ландшафтной структуры приходится прибегать к показу не только типологических единиц, но и их конкретных хронологических сочетаний с учетом геохимической латеральной сопряженности, т. е. типологический и региональный подходы совмещаются [26, 27].

Со временем методические подходы устаревают и нуждаются в модернизации, для чего разрабатываются или привлекаются и адаптируются новые методы. Так, например, в первые годы наших ландшафтно-планировочных работ при определении отраслевых целей территориального развития и их интеграции применялся подход с усреднением показателей, использованием весовых коэффициентов или выбором ведущего фактора, в качестве которого была принята биота. В дальнейшем от него пришлось отказаться в пользу необходимой ориентации на один



из фундаментальных законов экологии – закон лимитирующего фактора (минимума), сформулированный Юстусом Либихом [28].

Из-за отсутствия в РФ многих других видов планирования в наших условиях потребовалось более широкое привлечение в ЛП социально-экономических факторов территориального развития [21, 24–27]. Поэтому в ИГ СО РАН накоплен значительный опыт использования ЛП в решении задач природопользования в землеустройстве, водоохранном зонировании, градостроительном проектировании, географической экспертизе и оценке воздействия создаваемых хозяйственных объектов на окружающую среду (ОВОС) [29, 30]. Сотрудниками ИГ СО РАН создан план экологически обоснованной стратегии освоения территории обустройства Ковыктинского газоконденсатного месторождения [31], разработана вариантная схема интегральной оценки уровня конфликтности размещения трассы нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» [32], инструменты ЛП применяются при разработке ОВОС и инженерно-экологических обоснований создания объектов добычи и транспорта углеводородов в Восточной Сибири.

Геосистемы различаются по уровню пространственной организации, и регулирование качества поверхностных вод находится в зависимости от характера сопряжения автономных и транзитных ландшафтов с аккумулятивными, обладающих разной способностью к депонированию загрязнителей. Поэтому загрязнение вод можно рассматривать как функцию организации ландшафта в большей степени, нежели интенсивности антропогенного воздействия [33].

В настоящее время предпринимаются попытки усовершенствовать ЛП с помощью выявления латеральных связей геосистем через потоки вещества. Значительное внимание физико-географов и геоэкологов обращено на оз. Байкал, а выявление источников его загрязнения и механизмов ассимиляции загрязнителей в притоках – это одна из актуальнейших научных задач. Для выявления пространственно-временной структуры загрязнения бассейна оз. Байкал на базе анализа ландшафтной организации и распределения загрязнителей разработана методика биогеохимического мониторинга. При создании базы данных и разработке концепции формирования состава вещества использовались данные изучения разнообразия состава поверхностных вод и роли разных источников растворенного вещества в их дифференциации [33–35].

Автором настоящей работы совместно с коллегами была оценена пространственная вариативность содержания металлов в водах и донных отложениях притоков оз. Байкал, рассчитан вклад притоков в состав байкальской воды, составлена схема районирования южного Прибайкалья по способности обеспечивать состав

вод, разработаны показатели состава вод, единые для озера и притоков, связывающие загрязнение с условиями водосборного бассейна: техногенная нагрузка и способность нейтрализовать загрязнение. Они использовались как трассеры для расчета вкладов притоков в органическое вещество озера [36–38].

При выявлении происхождения минеральных веществ в водах оз. Байкал фоновыми объектами служили реки и ручьи юго-западного побережья. Источники вещества – вещество горных пород или антропогенных стоков, растворенное в пробах воды, точки которых на диаграммах смешения наиболее удалены от основного массива точек. Предполагалось, что в формировании состава таких проб воды абсолютно преобладает какой-то тип горных пород или тип антропогенного загрязнения. Природные трассеры подбирались на основе сопоставления химического состава вод с составом пород [39–41].

Нами был предложен подход к сопряженной оценке величин допустимых нагрузок загрязнителей на водные и наземные геосистемы, основанный на оценке скорости их удаления (ассимиляции) или поступления по разности расхода в нижнем и верхнем створах участка реки по сезонам [40].

Методика идентификации гидрологически чувствительных ландшафтов [33, 42, 43], разработанная и апробированная в процессе мониторинговых работ, представляется перспективной с позиций практического использования результатов этих исследований, так как обнаружение мест временной аккумуляции поллютантов на пути от источников к водным объектам и оценка закономерностей их пространственного распределения позволяют не только выявить первичные источники-загрязнители, но и воспрепятствовать попаданию накопленных примесей в водный объект.

Таким образом, планирование и даже проведение определенных мероприятий по оптимизации взаимоотношений природы и общества вполне возможны, но для этого необходимо создать между ними соответствующие интеграционные связи в рамках «сотворчества», для чего необходимо познание современного состояния геосистем, выявление пространственно-временной структуры их загрязнения на базе анализа ландшафтной организации и закономерностей распределения растворенных загрязнителей в системе латеральных потоков.

Заключение

Ландшафтное планирование – это реально действующий инструмент рационализации взаимодействия общества с геосистемами, основанный на мировом опыте эколого-географических исследований, а также имеющий глубокие корни



в российской комплексной физической географии и обновляемый на основе учения о геосистемах В. Б. Сочавы. Основываясь на концепции сотворчества человека с природой с позиций конструктивного развития моделирования организации геосистем, оно способно значительно улучшить, унифицировать выявление ландшафтно-экологических условий дифференциации природопользования, обосновать и демократизировать планирование его территориальной организации, так как предполагает постоянное взаимодействие с населением, представителями административных, хозяйственных организаций и общественных объединений.

Библиографический список

1. Марш Дж. П. Человек и природа, или о влиянии человека на изменение физико-географических условий природы. СПб., 1866. 587 с. URL: <https://elib.rgo.ru/handle/123456789/216753> (дата обращения: 30.04.2025).
2. Розанов Л. Л. Вклад Дж. П. Марша в учение об окружающей среде (к 150-летию пионерского труда) // Научный диалог. 2014. № 1 (25): Естественные науки. С. 127–139. EDN: RWFPQT
3. Исаченко А. Г. Общая и региональная физическая география // Развитие физико-географических наук (XVII–XX вв.). М. : Наука, 1975. С. 308–407.
4. Котляков В. М. Избранные сочинения в шести книгах. М. : Наука, 2000–2003. Кн. 3 : География в меняющемся мире. 2001. 412 с.
5. Докучаев В., Сибирцев Н. Введение // Труды экспедиции, снаряженной Лесным департаментом: Отчет Министерству земледелия и государственных имуществ. СПб. : Министерство земледелия и государственных имуществ, 1894. 46 с. URL: <https://elib.rgo.ru/handle/123456789/229900> (дата обращения: 30.04.2025).
6. Высоцкий Г. Н. Учение о влиянии леса на изменение среды его произрастания и на окружающее пространство. М. ; Л. : Гослесбумиздат, 1950. 104 с.
7. Исаченко А. Г. Георгий Николаевич Высоцкий – выдающийся отечественный географ. Л. : Изд-во ЛГУ, 1953. 63 с.
8. Танфильев Г. И. Географические работы. М. : Географиз, 1953. 675 с. URL: <http://books.e-heritage.ru/book/10087314> (дата обращения: 30.04.2025).
9. Воейков А. И. Воздействие человека на природу: Избранные статьи. М. : Географиз, 1949. 256 с.
10. Напрасников А. Т., Дмитриева В. Т., Напрасникова Е. В. Сотворчество человека с природой: Проблемы прикладной географии XX–XXI веков // Успехи современного естествознания. 2016. № 2. С. 170–176. EDN: VONVYN
11. Краснов А. Н. Чайные округа субтропических областей Азии (Культур-географические очерки Дальнего Востока): Отчет Главному Управлению Уделов. СПб. : Типография главного управления уделов, 1898. Вып. 2 : Китай. Индия и Цейлон. Колхида. С. 245–620. URL: <https://elib.rgo.ru/handle/123456789/231768> (дата обращения: 30.04.2025).
12. Черванёв И. Г. Конструктивное земледование А. Н. Краснова. URL: <http://krasnov1862-1914.narod.ru> (дата обращения: 30.04.2025).
13. Гранберг А. Г. Предмет исследования – производительные силы России. К 90-летию Совета по изучению производительных сил // Вестник Российской академии наук. 2006. Т. 76, № 6. С. 560–564. EDN: OPKILV
14. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1978. 319 с. EDN: TARVMP
15. Сочава В. Б. Определение некоторых понятий и терминов физической географии // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. 1963. Вып. 3. С. 50–59.
16. Руководство по ландшафтному планированию : в 2 т. Т. II. Методические рекомендации по ландшафтному планированию / под ред. А. В. Дроздова. М. : Гос. центр экол. программ, 2001. 73 с.
17. Ландшафтное планирование: принципы, методы, европейский и российский опыт / под ред. А. Н. Антипова, А. В. Дроздова. Бонн ; М. ; Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2002. 141 с.
18. Landscape Planning: Tools and Experience in Implementation / ed. by A. N. Antipov. Bonn ; Irkutsk : V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 2006. 149 p.
19. Jessel B., Tobias K. Ökologisch orientierte Planung. Stuttgart : Ulmer, 2002. 470 S.
20. Haaren von C. Landschaftsplanung. Stuttgart : Ulmer, 2004. 527 S.
21. Антипов А. Н., Семенов Ю. М. Ландшафтное планирование как инструмент управления природопользованием (на примере Байкальского региона) // Известия РАН. Серия географическая. 2006. № 5. С. 82–91. EDN: HVWUTF
22. Колбовский Е. Ю. Ландшафтное планирование. М. : Академия, 2008. 336 с. EDN: QNNERB
23. Теория и методология ландшафтного планирования / под ред. К. Н. Дьяконова, А. В. Хорошева. М. : Т-во науч. изданий КМК, 2019. 444 с.
24. Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Ольхонский район / под ред. А. Н. Антипова, Ю. М. Семенова. Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2004. 147 с.
25. Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Слюдянский район / под ред. А. Н. Антипова, Е. Г. Суворова. Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2002. 141 с.
26. Экологически ориентированное планирование землепользования в Алтайском регионе. Кош-Агачский район / под ред. Ю. М. Семенова, В. М. Плюснина. Новосибирск : Гео, 2013. 132 с.
27. Semenov Yu. M., Shitov A. V., Klimova O. V., Merdesheva E. V. Landscape Planning as a Basis for Sustainable Socio-Economic Development and Conservation of Altai Ecosystems // Landscape Planning:



- Sustainable Practices, Design and Urban Development. Nova Science Publishers, Inc., 2025. P. 1–18.
28. *Liebig von Ju.* Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. Braunschweig : F. Vieweg, 1840. 376 S.
29. Семенов Ю. М. Ландшафтно-географическое обеспечение экологической политики природопользования в регионах Сибири // География и природные ресурсы. 2014. № 3. С. 16–21. EDN: SKCRMP
30. Семенов Ю. М. Ландшафтное планирование как инструмент выявления и идентификации рисков природопользования // Проблемы анализа риска. 2015. Т. 12, № 5. С. 86–93. EDN: VPMIYJ
31. Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Ковыктинское газоконденсатное месторождение / под ред. Е. Г. Суворова, С. А. Макарова. Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2004. 159 с.
32. Антипов А. Н., Макаров С. А., Семенов Ю. М. Экологические риски и проблемы реализации проекта нефтепровода: вариантный подход // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск : ИЗК СО РАН, 2006. Вып. 5. С. 21–29.
33. *Semenov Yu. M., Semenov M. Yu., Silaev A. V.* Methodological Approaches to the Identification of Hydrologically Sensitive Landscapes (Case Study of the Selenga River Basin) // Geography and Natural Resources. 2024. Vol. 45, № 1. P. 59–66. <https://doi.org/10.1134/S1875372824700100>, EDN: XEISTA
34. *Semenov Yu. M., Semenov M. Yu., Snytko V. A., Silaev A. V.* Landscape-ecological approach to identification of regularities of pollutant distribution in the basin of Lake Baikal // Geography and Natural Resources. 2019. Vol. 40, № 2. P. 137–143. <https://doi.org/10.1134/S1875372819020069>, EDN: QVJMAP
35. *Semenov M. Yu., Snytko V. A., Marinaite I. I., Silaev A. V., Semenov Yu. M.* Indicators of pollution of surface waters of lake Baikal watershed by polycyclic aromatic hydrocarbons // Doklady Earth Sciences. 2018. Vol. 483, № 1. P. 1463–1467. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18110144>, EDN: VEMLMO
36. *Semenov M. Yu., Semenova L. N., Semenov Yu. M., Snytko V. A., Silaev A. V.* Metals in the Waters of the Southern Tributaries of Lake Baikal // Geography and Natural Resources. 2019. Vol. 40, № 4. Vol. 362–372. <https://doi.org/10.1134/S1875372819040085>, EDN: FHNHKKI
37. *Semenov M. Yu., Snytko V. A., Semenov Yu. M., Silaev A. V., Semenova L. N.* Composition of metals of the surface water of the Southern Baikal region and its communication with landscape and geological conditions // Doklady Earth Sciences. 2019. Vol. 486, № 5, P. 669–705.
38. *Semenov M. Yu., Snytko V. A., Silaev A. V., Semenov Yu. M.* Complex Assessment of Permissible Pollutant Loads for Freshwater and Terrestrial Ecosystems Using the Selenga River Basin as an Example // Doklady Earth Sciences. 2020. Vol. 492, № 2. P. 455–463. <https://doi.org/10.1134/S1028334X20060173>, EDN: IBZRHV
39. *Semenov M. Y., Silaev A. V., Semenov Y. M., Begunova L. A.* Using the Si, Al, Fe as tracers for source apportionment of air pollutants in Lake Baikal snowpack // Sustainability. 2020. Vol. 12, № 8. Art. 3392. <https://doi.org/10.3390/SU12083392>, EDN: AZVOJO
40. *Semenov M. Y., Semenov Y. M., Silaev A. V., Begunova L. A.* Source apportionment of inorganic solutes in surface waters of Lake Baikal watershed // Sustainability. 2021. Vol. 13, № 10. Art. 5389. <https://doi.org/10.3390/su13105389>, EDN: OKNFOL
41. *Semenov M., Semenov Y., Silaev A., Begunova L.* Assessing the Self-purification Capacity of Surface Waters in Lake Baikal Watershed // Water. 2019. Vol. 1, № 7. Art. 1505. <https://doi.org/10.3390/w11071505>, EDN: JESHEA
42. *Semenov M. Y., Silaev A. V., Semenov Y. M., Begunova L. A., Semenov Y. M.* Identifying and characterizing critical source areas of organic and inorganic pollutants in urban agglomeration in Lake Baikal watershed // Sustainability. 2022. Vol. 14, № 22. Art. 14827. <https://doi.org/10.3390/su142214827>, EDN: WGADIK
43. *Semenov M. Y., Silaev A. V., Semenov Y. M., Begunova L. A.* Revealing the Sources of Nutrients in the Surface Waters of the Selenga River Watershed Using Hydrochemical and Geospatial Data // Water. 2024. Vol. 16, № 5. Art. 630. <https://doi.org/10.3390/w16050630>, EDN: DWMZCB

Поступила в редакцию 14.04.2025; одобрена после рецензирования 30.04.2025; принята к публикации 29.05.2025; опубликована 30.09.2025

The article was submitted 14.04.2025; approved after reviewing 30.04.2025; accepted for publication 29.05.2025; published 30.09.2025



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 163–168

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 163–168

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-163-168>, EDN: KQIZIH

Научная статья

УДК 551.589



Исследование полей геопотенциала в Северном и Южном полушариях в различные естественные климатические периоды в январе

С. В. Морозова[✉], Н. В. Семенова, Р. Б. Юхмин, Р. А. Слепухин

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

Морозова Светлана Владимировна, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и климатологии, swetwl@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5216-976X>

Семенова Наталия Владимировна, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и климатологии, snv-71@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5442-5413>

Юхмин Роман Борисович, магистрант географического факультета, romis.yuhmin01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2127-285X>

Слепухин Роман Александрович, студент географического факультета, asphixis@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-9281-4233>

Аннотация. Введение. Атмосферное давление является важнейшей характеристикой атмосферы. Изменение атмосферного давления приводит к изменению всего комплекса погодных условий. Рост температуры на земном шаре оказывает влияние на все характеристики атмосферы, в том числе и на атмосферное давление. В настоящей работе рассматривается изменение атмосферного давления у земной поверхности в период стабилизации и во вторую волну глобального потепления. **Теоретический анализ.** По данным о значении высоты изобарической поверхности H_0 (AT-1000 гПа) построены средние многолетние поля распределения атмосферного давления на земном шаре в период стабилизации и во вторую волну глобального потепления. В качестве исходных данных использованы данные реанализа NCER/NCAR. Для оценки изменения полей рассчитана разность геопотенциальных высот H_0 в гПа путем вычитания из среднего многолетнего поля во вторую волну глобального потепления среднего многолетнего поля периода стабилизации. **Заключение.** Выявлены очаги, в которых давление на уровне моря в январе во вторую волну стало выше, чем в период стабилизации. Такие очаги фиксируются в восточном полушарии в долготном поясе между 120-м и 150-м меридианами. Понижение давления отмечено в области действия Исландского минимума, в области Канадского архипелага, вдоль побережья Антарктиды, омываемого Индийским океаном.

Ключевые слова: земная климатическая система, естественные климатические периоды, поле давления, поле геопотенциала, вторая волна глобального потепления, климатические изменения

Для цитирования: Морозова С. В., Семенова Н. В., Юхмин Р. Б., Слепухин Р. А. Исследование полей геопотенциала в Северном и Южном полушариях в различные естественные климатические периоды в январе // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 163–168. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-163-168>, EDN: KQIZIH

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

Article

An analysis of geopotential fields in the Northern and Southern hemispheres under different natural climatic conditions during January

S. V. Morozova[✉], N. V. Semenova, R. B. Yuhmin, R. A. Slepukhin

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

Svetlana V. Morozova, swetwl@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5216-976X>

Natalia V. Semenova, snv-71@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5442-5413>

Roman B. Yuhmin, romis.yuhmin01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2127-285X>

Roman A. Slepukhin, asphixis@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-9281-4233>

Abstract. Introduction. Atmospheric pressure is a crucial characteristic of the atmosphere. Changes in atmospheric pressure lead to changes in the entire set of weather conditions. The increase in global temperature affects all atmospheric characteristics, including atmospheric pressure. This paper examines the changes in atmospheric pressure near the Earth's surface during the stabilization period and the second wave of global warming. **Theoretical analysis.** Based on the data on the height of the isobaric surface H_0 (AT 1000 hPa), the average long-term fields of atmospheric pressure distribution on the globe during the stabilization period and during the second wave of global warming were constructed. The NCER/NCAR reanalysis data were used as the initial data. To assess the change in the fields, the difference in geopotential heights H_0 in hPa was calculated by subtracting the average long-term field during the second wave of global warming from the average long-term field during the stabilization period. **Conclusion.** There are areas where the sea-level pressure in January was higher than during the stabilization period in the



second wave. These areas are located in the eastern hemisphere, between the 120th and 150th meridians. The pressure decreased in the area of the Icelandic Low, the Canadian Archipelago, and along the coast of Antarctica, which is washed by the Indian Ocean.

Keywords: Earth's climate system, natural climate periods, pressure field, geopotential field, second wave of global warming, and climate change

For citation: Morozova S. V., Semenova N. V., Yukhmin R. B., Slepukhin R. A. An analysis of geopotential fields in the Northern and Southern hemispheres under different natural climatic conditions during January. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 163–168 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-163-168>, EDN: KQIZIH

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

Введение

Процессы, развивающиеся в земной климатической системе в настоящее время, показывают разгоняющееся потепление. По данным сайта Всемирной метеорологической организации (ВМО) [1] и сведениям, содержащимся в последних оценочных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [2, 3], можно заключить, что по сравнению с доиндустриальной эрой средняя глобальная приповерхностная температура воздуха увеличилась примерно на 1.2°C и с начала эпохи инструментальных метеорологических наблюдений (1850 год) каждое последующее десятилетие оказывается теплее, чем предыдущее. Также экспертами МГЭИК указывается, что средняя глобальная температура может повышаться от 0.2 – 1.8°C (для сценария увеличения концентрации парниковых газов RCP2.6) до 2.6 – 4.8°C (для сценария RCP8.5). Однако в данных моделях учтено только антропогенное воздействие на изменение газового и аэрозольного состава атмосферы. Главной причиной разгоняющегося потепления в Шестом Оценочном Докладе МГЭИК [3] называется антропогенный фактор.

Однако при оценке настоящих климатических изменений рассматриваются и естественные факторы. Так, в Пятом Оценочном Докладе МГЭИК [2] указывается, что определенную роль в наблюдаемых климатических изменениях играют и природные процессы – собственные внутренние колебания в земной климатической системе (ЗКС), имеющие циклический характер.

Во «Втором оценочном докладе Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» [4] приведены данные, согласно которым с середины XVII в. произошло изменение потока солнечной радиации на величину, составляющую 2% от наблюдающегося антропогенного воздействия.

С помощью модельных расчётов получено, что при уменьшении потока солнечной радиации на 0.25% (аналогично периоду минимума Маундера) по сравнению с современной величиной, скорость глобального потепления замедлится и рост средней глобальной температуры снизится на 0.24 – 0.26°C . Оценка влияния вулканического аэрозоля на земную климатическую систему показала, что за период 2008–2011 гг. охлаждающий эффект вулканической деятельности составил 0.11 Вт/м^2 [4]. Кроме того, дополни-

тельными естественными факторами замедления темпов глобального потепления МГЭИК [2, 3] считает процессы в океане, а именно Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

Таким образом, в противовес антропогенным воздействиям в земной климатической системе действуют естественные факторы различной природы. Основываясь на циклических колебаниях, происходящих в Земной климатической системе, С. В. Морозова выделила следующие естественные климатические периоды (ЕКП) [5, 6]:

- малый ледниковый период в Европе, представленный интервалом с середины XIX в. по середину нулевых годов XX в.;
- первая волна глобального потепления, наблюдавшаяся с середины нулевых до 40-х гг. XX в.;
- период стабилизации (относительного похолодания), имевший место в 50–60-е гг. XX в.;
- вторая волна глобального потепления, начавшаяся с середины 70-х гг. XX в. и продолжающаяся по настоящее время с довольно существенным замедлением темпа.

Очевидно, что изменения температуры воздуха неизбежно влекут за собой изменения и других метеорологических характеристик атмосферы – давления, влажности, облачности и осадков.

Цель данной работы – рассмотреть изменение атмосферного давления на уровне моря в период стабилизации и вторую волну глобального потепления в январе. Отметим, что атмосферное давление на уровне моря аппроксимировалось значением высоты изобарической поверхности H_0 (АТ 1000 гПа).

Материалы и методика исследований

В представленной статье временной промежуток исследования составляют два естественных климатических периода состояния земной климатической системы (ЗКС) – период стабилизации (1949–1974 гг.) и вторая волна глобального потепления (1975–2023 гг.).

Для анализа полей геопотенциала были использованы данные реанализа национального метеорологического центра США NCER/NCAR [7]. С данного сайта была осуществлена выборка данных о давлении воздуха на уровне моря. Стоит отметить особенность представления данных. На сайте представлено не давление, а геопотенциал изобарической поверхности H_0 , поэтому



обрабатываемые данные в некоторых случаях оказывались отрицательными (например, в области Исландского и Алеутского центров действия атмосферы).

Данные о значении геопотенциала содержались в формате .лс. Далее этот формат был преобразован в стандартный формат Excel помощью специально разработанного программного обеспечения, написанного на языке Python. Дальнейшая визуализация данных проводилась при помощи программного комплекса MapInfo.

Выборка данных осуществлялась с разрешением 10 градусов по широте и 10 градусов по долготе. Исследование проводилось для двух месяцев – января и июля в два естественных климатических периода состояния ЗКС. В данной статье рассматриваются особенности поля геопотенциала H_0 для января.

Данные о значении геопотенциала H_0 осреднялись за эти два временных промежутка, и анализировались средние многолетние поля геопотенциала H_0 в период стабилизации и во вторую волну глобального потепления. На рис. 1 показаны выделенные С. В. Морозовой временные интервалы – естественные климатические периоды состояния ЗКС [5].

Для лучшей оценки различий в характере поля давления воздуха на уровне моря в два естественных климатических периода состояния ЗКС была рассчитана разность геопотенциальных высот H_0 в гПа. Разница бралась путем вычитания из среднего многолетнего поля за вторую волну глобального потепления среднего многолетнего поля периода стабилизации:

$$\Delta H_{ij} = H_{ij}(2) - H_{ij}(1),$$

где ΔH_{ij} – значение геопотенциала в узле регулярной сетки, рассчитанное как разность между

его значениями в данном узле во второй и первый периоды; $H_{ij}(2)$ – среднее многолетнее значение геопотенциала в узле регулярной сетки во вторую волну глобального потепления; $H_{ij}(1)$ – среднее многолетнее значение геопотенциала в узле регулярной сетки в период стабилизации.

Рассмотрим особенности поля геопотенциала H_0 в январе.

Результаты и их обсуждение

На основании вышеизложенной методики получены средние многолетние карты геопотенциала изобарической поверхности H_0 и карта разности значений геопотенциальных высот между двумя климатическими периодами.

На рис. 2 представлено среднее многолетнее поле высоты изобарической поверхности АТ 1000 гПа в январе.

По рис. 2 можно заключить, что в период стабилизации общие закономерности зонального распределения давления на земном шаре сохраняются. Самые низкие значения давления (высоты геопотенциала H_0) отмечаются у побережья Антарктиды. В Южном полушарии в субтропической полосе высокого давления из трех антициклонических центров действия атмосферы (ЦДА) хорошо выражены Южно-Тихоокеанский и Южно-Индийский антициклоны, Южно-Атлантический максимум давления выражен слабее и не очерчен ни одной замкнутой изобарой.

В Северном полушарии в отличие от Южного полушария наблюдается хорошо выраженная меридиональность в поле давления, связанная с распределением суши и моря. Над Северной Атлантикой и Западной Европой имеет место обширная область низкого давления, соответствующая постоянному центру действия атмосферы –

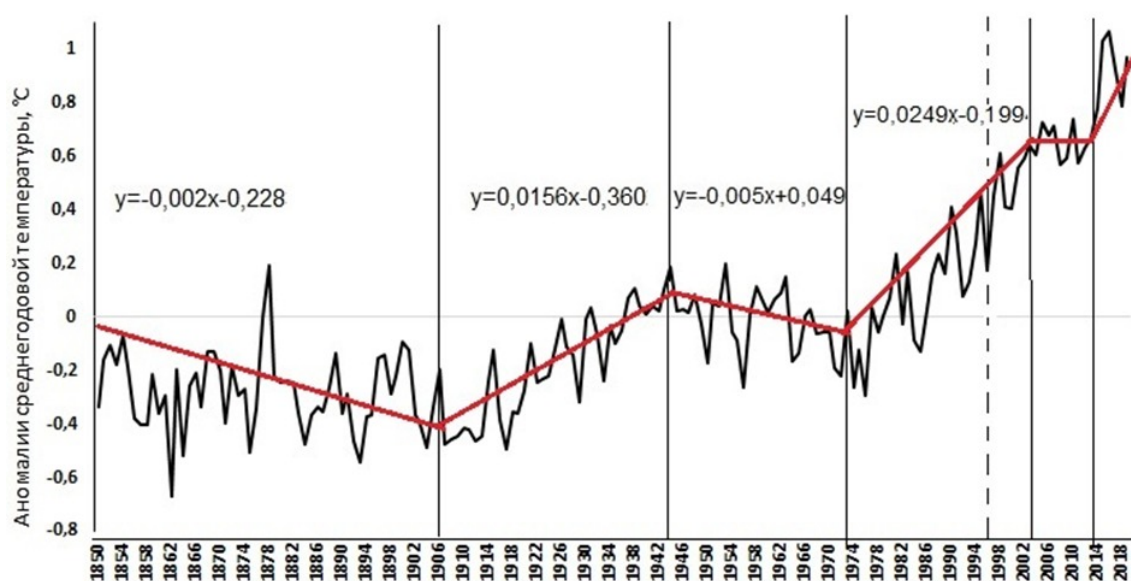


Рис. 1. Годовой ход аномалий приземной температуры воздуха на земном шаре [5] (цвет онлайн)

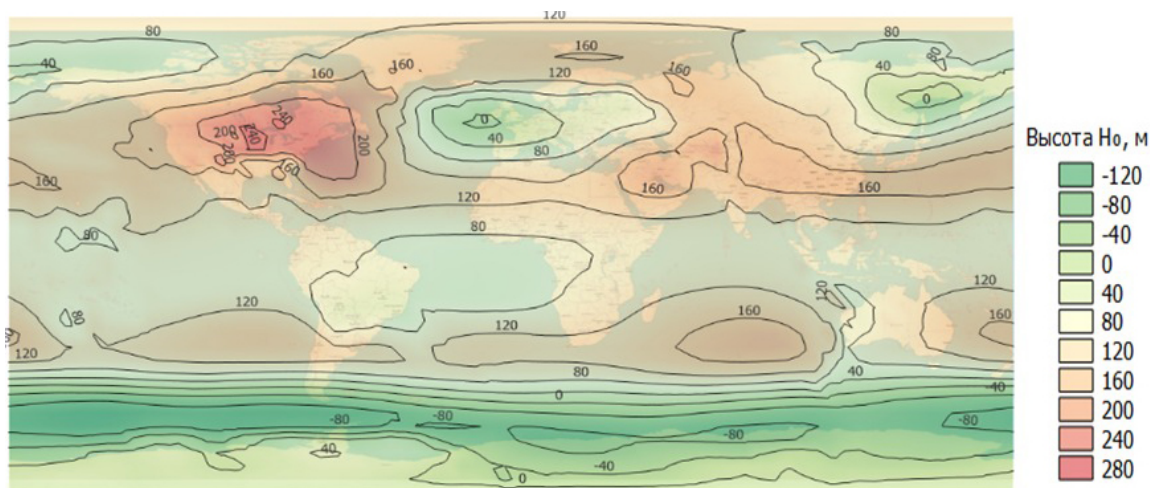


Рис. 2. Среднее многолетнее поле геопотенциала поверхности H_0 в период стабилизации (январь) (сост. по: [7]) (цвет онлайн)

Исландскому минимуму. На восток от этого циклона до Урала распространяется ложбина, под влиянием которой оказывается вся Центральная и Восточная Европа. Отметим, что в область влияния Исландского минимума в этот естественный климатический период не входит восточная часть побережья Скандинавского полуострова и западный сектор Российской Арктики. Над северной частью Тихого океана хорошо выражена область низкого давления, соответствующая Алеутскому (Аляскинскому) циклону и сезонному Охотоморскому минимуму давления. Над Северной Америкой и Азией выявляются, соответственно, Северо-Канадский максимум и Зимний Азиатский антициклон. Область повышенного давления в районе полюса – область действия арктического антициклона.

Рассмотрим структуру барического поля геопотенциала H_0 во вторую волну глобального потепления (рис. 3).

Анализ рис. 3 позволяет сделать вывод, что принципиальной разницы в структуре поля давления между двумя естественными климатическими периодами состояния ЗКС не обнаружено. Также проявляется полоса низкого давления над Антарктидой с очагами, гораздо меньшими по площади, чем в период стабилизации, но с более низким значением геопотенциальной высоты H_0 – -120 . Самый большой по охватываемой территории очаг находится в южной части Индийского океана, в районе моря Дейвиса. Второй очаг наибольших отрицательных геопотенциальных высот расположен северо-восточнее моря Амундсена, и третий, самый маленький по занимаемой площади, – в районе моря Беллингаузена.

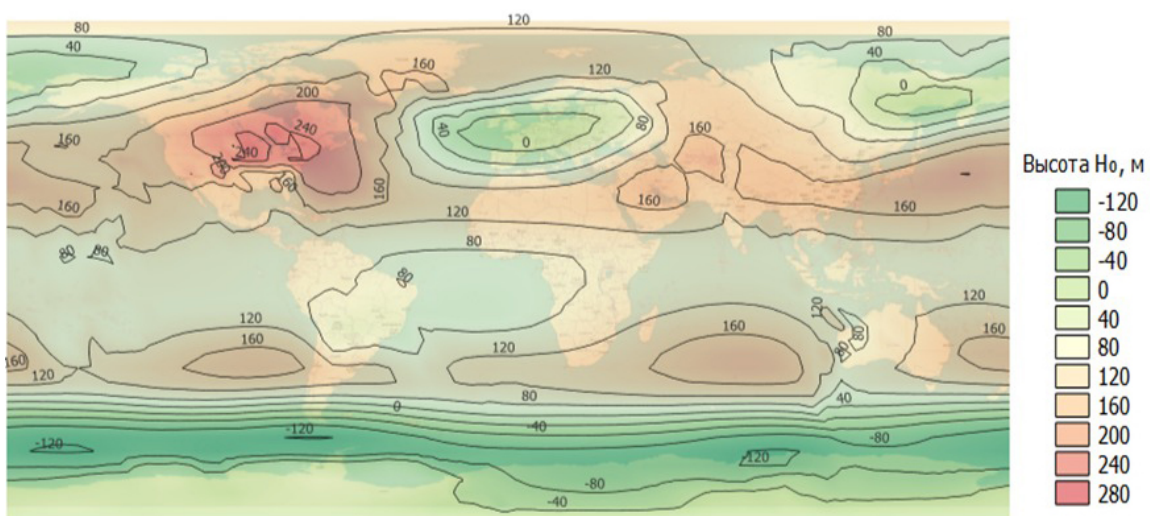


Рис. 3. Среднее многолетнее поле геопотенциала поверхности H_0 во вторую волну глобального потепления (январь) (сост. по: [7]) (цвет онлайн)



Также имеют место субтропическая полоса высокого давления Южного Океана и некая меридиональность в распределении поля давления над Северным полушарием.

Для более детального исследования различий в структуре поля давления на уровне моря рассмотрим карту, на которой представлена разность давлений в два естественных климатических периода состояния ЗКС (рис. 4).

Согласно рис. 4 видно, что существуют очаги, в которых давление выросло во вторую волну глобального потепления по сравнению с периодом стабилизации. Однако в каких-то регионах, наоборот, стало ниже. В Северном и Южном полушариях наблюдается по два очага, где давление на уровне моря выросло. Интересен тот факт, что эти очаги повышенного давления расположены примерно на одних и тех же долготах.

В Южном полушарии давление наиболее сильно выросло в восточной части Тихого океана от западного побережья Южной Америки (+20 гп.дам.). Второй очаг расположен в районе Большого Австралийского залива (+20 гп.дам.). В этом же долготном поясе в Северном полушарии область роста давления от второй волны глобального потепления к периоду стабилизации расположен в северной части Тихого океана (+40 гп.дам.). Возможно, это связано с ослаблением энергетической мощности и с ослаблением течения Куросио.

Помимо очагов роста давления имеются территории, на которых давление во вторую волну стало ниже, чем в период стабилизации. В северном полушарии такой очаг расположен в районе локализации Исландского минимума. Разность геопотенциальных высот между двумя естественными климатическими периодами составила –60 гп.дам. На углубление Исландского минимума во вторую волну глобального потепления указывалось во многих публикациях, например

в [8–11]. Вторая область, где атмосферное давление во вторую волну глобального потепления стало ниже, чем в предыдущий ЕКП, локализуется в Канадском секторе Арктики.

В Южном полушарии вокруг побережья Антарктиды циклоны также стали глубже во вторую волну глобального потепления по сравнению с периодом стабилизации. Однако их углубление не такое сильное, как в полушарии Северном, – всего на 20 гп.дам.

Замеченное увеличение глубины циклонов в Северном и Южном полушариях свидетельствует об усилении циклонической деятельности, что в Северном полушарии приводит к потеплению Арктики, а в Южном – потеплению побережья Антарктиды.

Другим климатически значимым следствием углубления циклонов высоких широт является усиление градиента экватор – полюс, причем, в обоих полушариях. Следствием увеличения градиентов в Северном полушарии может быть увеличение повторяемости экстремальных штормов или мезоциклонов в российском секторе Арктики. Об увеличении экстремальных циклонов в Арктическом секторе во вторую волну глобального потепления указывается во многих источниках, например в монографии Е. С. Нестерова [12]. Аналогичные явления (штормовые циклоны) замечены в Тихом океане, в частности в Японском и Охотском морях [13, 14].

Заключение

Таким образом, на фоне глобальных климатических тенденций заметны изменения в поле давления в разных регионах земного шара. Проведенный анализ материала позволяет авторам сделать следующие выводы.

1. На фоне наблюдающихся климатических изменений выявляются изменения в характере

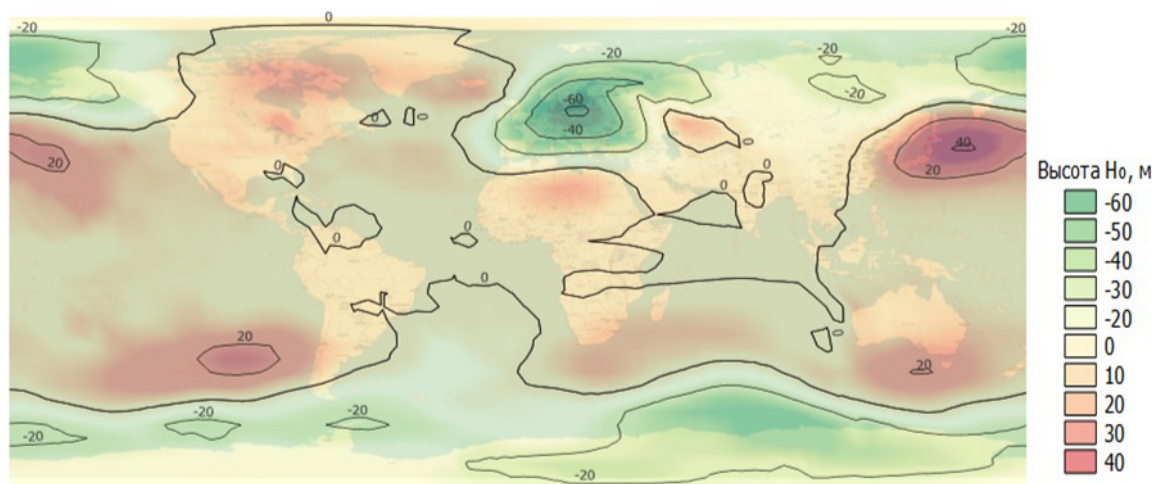


Рис. 4. Разность значений геопотенциала в два естественных климатических периода состояния ЗКС (январь) (сост. по: [7]) (цвет онлайн)



распределения давления на уровне моря, которые носят очаговой характер.

2. Очаги наибольшего роста приземного давления во вторую волну глобального потепления по сравнению с периодом стабилизации в январе наблюдаются по два в Северном и Южном полушариях, причем на одних и тех же долготах: атмосферное давление стало выше в юго-восточной части Тихого океана и в районе Большого Австралийского залива, а также в северной части Тихого океана – в области действия Алеутского минимума и в зоне распространения западной периферии Гавайского антициклона.

3. В январе давление во вторую волну глобального потепления по сравнению с периодом стабилизации стало ниже в области действия Исландского минимума (Европа), в области Канадского архипелага, вдоль побережья Антарктиды, омываемого Индийским океаном.

4. Усиление циклонической активности в высоких широтах полушарий может быть одним из факторов, стимулирующих потепление Арктики и побережья Антарктиды.

Библиографический список

1. Всемирная метеорологическая организация – ВМО : [сайт]. URL: <https://wmo.int/ru> (дата обращения: 05.05.2025).
2. IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., Miller H. L., eds. United Kingdom, Cambridge ; USA, New York : Cambridge University Press, 2007. 996 pp.
3. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. M., eds. United Kingdom, Cambridge; USA, New York : Cambridge University Press, 2013. 1535 pp.
4. Алексеев Г. В., Ананичева М. Д., Анисимов О. А., Ашик И. М., Бардин М. Ю., Богданова Э. Г., Булыгина О. Н., Георгиевский В. Ю., Груза Г. В., Данилов А. И., Еремина Т. Р., Золотокрылин А. Н., Кароль И. Л., Катцов В. М., Корзухин М. Д., Костяной А. Г., Кренке А. Н., Лобанов В. Б., Малкова Г. В., Мелешко В. П. и др. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / под общ. ред. А. В. Фролова ; науч. руководители В. М. Катцов и С. М. Семенов ; ред. В. В. Ясюкевич, В. А. Говоркова, И. А. Корнева, Т. В. Павлова, Е. Н. Попова. М. : Росгидромет, 2014. 59 с. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2016/od2/od2.pdf> (дата обращения: 08.05.2025).
5. Морозова С. В. Роль планетарных объектов циркуляции в глобальных климатических процессах. Саратов : Изд-во Саратовского университета, 2019. 132 с. EDN: YGUSDA
6. Морозова С. В., Полянская Е. А., Алимпиева М. А. Особенности межгодовой изменчивости приповерхностной температуры воздуха Северного и Южного полушарий по данным архива HadCRUT5 // Гидрометеорология и экология. 2023. № 72. С. 432–448 <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-72-432-448>, EDN: KCHXUZ
7. NCEP/NCAR Reanalysis at NOAA/ESRL PSL: NOAA Physical Sciences Laboratory : [сайт]. URL: <https://psl.noaa.gov/data/reanalysis/> (дата обращения: 08.05.2025).
8. Неушкин А. И., Сидоренков Н. С., Санина А. Т., Иванова Т. Б., Бережная Т. В., Панкратенко Н. В., Макарова М. Е. Мониторинг общей циркуляции атмосферы. Северное полушарие : справочная монография / под ред. Р. М. Вильфанда, А. И. Неушкина ; ФГБУ «Гидрометцентр России» ; ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Обнинск, 2013. 200 с.
9. Мохов И. И., Петухов В. К. Центры действия в атмосфере и тенденции их изменения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2000. Т. 36, № 3. С. 321–329.
10. Мохов И. И., Хон В. Ч. Межгодовая изменчивость и долгопериодные тенденции центров действия атмосферы в Северном полушарии. Анализ данных наблюдений // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2005. Т. 41, № 6. С. 723–732. EDN: HSCRIN
11. Морозова С. В. Комплексное исследование поведения центров действия атмосферы Атлантико-Евразийского сектора полушария // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 21. С. 53–56. EDN: ORFYVX
12. Нестеров Е. С. Экстремальные циклоны в Атлантико-Европейском регионе. М. : Гидрометцентр России, 2018. 104 с. EDN: XWGYHB
13. Митник Л. М., Баранюк А. В., Кулешов В. П., Митник М. Л. Взрывные циклоны над северной частью Тихого океана: структура и параметры атмосферы по пассивным и активным микроволновым изменениям из космоса // Метеорология и гидрология. Ежемесячный научно-технический журнал. 2023. № 1. С. 18–30. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2023-1-18-30>, EDN: SRYJCK
14. Котович Н. Г., Крохин В. В., Лисина И. А. Штормовой циклогенез над Японским морем 16–18 января 2016 г.: анализ энергии и взаимодействия вихрей // Метеорология и гидрология. Ежемесячный научно-технический журнал. 2023. № 1. С. 31–42. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2023-1-31-42>, EDN: HTCVPN

Поступила в редакцию 19.04.2025; одобрена после рецензирования 20.05.2025; принята к публикации 29.05.2025; опубликована 30.09.2025

The article was submitted 19.04.2025; approved after reviewing 20.05.2025; accepted for publication 29.05.2025; published 30.09.2025



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 169–177

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 169–177

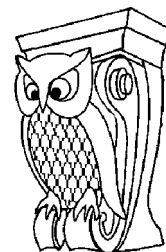
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-169-177>, EDN: LFLLOYL

Научная статья

УДК 911.37(470.44):004

Топологический подход к анализу компактности и связности систем расселения с учетом ограничений на местности (на примере Саратовской области)



В. А. Данилов, В. А. Морозова[✉], Д. В. Папилин

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>

Папилин Дмитрий Вячеславович, магистрант географического факультета, dmitrypapilinv@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2401-5392>

Аннотация. В статье рассматриваются применение топологических концепций для анализа структуры и оценка компактности региональной системы расселения. Предложена методика, адаптирующая классические топологические инварианты к оценке реальных транспортно-планировочных сетей на основе данных OpenStreetMap с учётом физико-географических и законодательных ограничений. Вместо абстрактных индексов связности узлов графа системы расселения вводится новый операционный показатель «индекс выхода» – число физических, нетупиковых дорожных выездов из населенного пункта, который применяется для выявления уязвимостей в структуре расселения при анализе «разбивающих точек» (точек сочленения).

Предложенная методика апробирована на примере Саратовской области для анализа компактности и расчета новых оптимальных связей систем расселения, которая учитывала существующие данные о рельефе, систему особо охраняемых природных территориях и зоны с особыми условиями использования территорий.

Ключевые слова: системы расселения, компактность, топологический анализ, индекс выхода, разбивающая точка, связность сети, ООПТ, зоны с особыми условиями использования, Саратовская область

Для цитирования: Данилов В. А., Морозова В. А., Папилин Д. В. Топологический подход к анализу компактности и связности систем расселения с учетом ограничений на местности (на примере Саратовской области) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 169–177. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-169-177>, EDN: LFLLOYL

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

Article

Topological approach to analyzing compactness and connectivity of settlement systems considering terrain constraints (case study of the Saratov Region)

V. A. Danilov, V. A. Morozova[✉], D. V. Papilin

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>

Dmitrii V. Papilin, dmitrypapilinv@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2401-5392>

Abstract. The article examines the application of topological concepts for analysing the structure and assessing the compactness of a regional settlement system. A methodology is proposed that adapts classical topological invariants to evaluate real transport-planning networks using OpenStreetMap data, taking into account physical-geographical and legislative constraints. Instead of abstract node connectivity indices in the settlement system graph, a new operational indicator – the “exit index” – is introduced. This index represents the number of physical, non-dead-end road exits from a settlement and is used to identify structural vulnerabilities by analysing “articulation points” (i.e., critical nodes whose removal would disconnect the network). The proposed methodology was tested on the case of Saratov Oblast to assess settlement compactness and calculate new optimal connections within the settlement system, incorporating existing data on terrain, specially protected natural areas, and zones with special conditions for land use.

Keywords: settlement systems, compactness, topological analysis, exit index, splitting point, network connectivity, specially protected natural areas, protected area, zones with special conditions for land use, Saratov Region



For citation: Danilov V. A., Morozova V. A., Papilin D. V. Topological approach to analyzing compactness and connectivity of settlement systems considering terrain constraints (case study of the Saratov Region). *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 169–177 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-169-177>, EDN: LFLOYL

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

Введение

Изучение систем расселения является одной из ключевых задач градостроительной науки и практики. Понимание структуры, связности и компактности таких систем необходимо для эффективного территориального планирования, развития транспортной инфраструктуры и повышения качества жизни населения. Традиционно оценка компактности градостроительных структур опиралась на геометрические показатели формы или плотностные характеристики застройки [1]. Однако системы расселения представляют собой сложные многоядерные сетевые объекты, пространственно распределенные и связанные транспортными коридорами, что требует применения иных подходов.

Теоретические основы для анализа таких структур заложены в работах, использующих аппарат топологии – раздела геометрии, изучающего наиболее общие свойства пространства, не изменяющиеся при непрерывных деформациях [2, 3]. В частности, Г. В. Мазаевым [4] и Дж. Данцигом, Т. Саати [5] были предложены топологические инварианты, такие как «разбивающая точка» и «индекс точки», для характеристики компактности систем расселения. Разбивающая точка (точка сочленения графа) указывает на уязвимость системы: ее удаление приводит к увеличению числа компонент связности. Индекс точки (степень вершины в графе) характеризует локальную связность узла. Эти концепции позволяют отойти от чисто геометрического понимания компактности и перейти к анализу структурной целостности и связности сети.

Однако прямое применение этих инвариантов к реальным системам расселения сопряжено с трудностями. Во-первых, необходимо определить, что является «узлом» и «связью» в реальной сети. Во-вторых, абстрактный индекс точки может не полностью отражать транспортную доступность, которая зависит от характеристик дорожной сети. В-третьих, требуется методика, позволяющая идентифицировать не только существующие уязвимости, но и предлагать конкретные, практически реализуемые пути улучшения связности с учетом территориальных ограничений.

В предложенном исследовании приводится разработка и апробация прикладной методики анализа компактности и связности региональной системы расселения (на примере системы расселения Саратовской области), основанной на топологических принципах и учитывающей

сложившиеся в настоящее время ограничения прокладки новой дорожно-транспортной сети.

Методология исследования и исходные данные

Предлагаемая методология реализуется в несколько этапов и отличается от теоретических моделей комплексным анализом актуальных пространственных данных. Моделирование и анализ проводились с использованием геоинформационных систем (QGIS) и специализированных библиотек языка Python (geopandas, networkx, osmnx) для обработки пространственных данных и анализа графов.

Исходные данные

На первом этапе выполняется сбор и подготовка исходной информации. В качестве основы для моделирования использовались данные существующей дорожной сети картографического сервиса OpenStreetMap (OSM) [6]. Ограничивающие морфометрические характеристики строительства новой дорожной сети были рассчитаны по открытой глобальной цифровой модели рельефа FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM), скорректированной по данным топографических карт [7]. Данная модель позволяет получить представление о поверхности Земли и использует алгоритмы машинного обучения для удаления артефактов высот зданий и древесной растительности. Разрешение FABDEM в 30 метров является оптимальным для регионального анализа.

Территориальные и законодательные ограничения

Важнейшим элементом методики является учет реальных ограничений, препятствующих дорожному строительству. Морфометрические ограничения (крутые склоны) были дополнены двумя ключевыми группами законодательных ограничений.

1. Особо охраняемые природные территории (ООПТ) – это участки, имеющие особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, которые изъяты из хозяйственного использования и для которых установлен режим особой охраны [8–10]. Согласно Федеральному закону № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях», на землях заповедников, национальных и природных парков «запрещается любая деятельность, не связанная с сохранением и изучением природных комплексов» и противоречащая целям их создания. В частности, запрещается строительство магистральных дорог,



трубопроводов, линий электропередачи и других коммуникаций, не связанных с функционированием самих ООПТ (ст. 9, 15).

2. Зоны с особыми условиями использования территорий (ЗОУИТ) – это территории, в границах которых устанавливается особый правовой режим использования земельных участков, ограничивающий или запрещающий те виды деятельности, которые несовместимы с целями установления зон [9, 10]. К ним относятся, например, санитарно-защитные зоны промышленных предприятий, охранные зоны объектов электросетевого хозяйства, магистральных трубопроводов, зоны охраны объектов культурного наследия. Строительство в пределах таких зон строго регламентировано и зачастую невозможно.

Данные об ООПТ и ЗОУИТ были извлечены из открытых кадастровых данных ЕГРН (рис. 1) [8, 10]. Все тематические слои (рельеф, ООПТ, ЗОУИТ) были приведены к единой метрической системе координат (UTM Zone 38N для Саратовской области) и объединены в единый картографический слой «запретных зон», через который было запрещено моделирование новых связей.

Методология анализа

Ключевым элементом методологии является операционализация топологических понятий. Так, вместо абстрактного «индекса точки» [5] был введен показатель «индекс выхода», который отражает реальную транспортную интегрированность и рассчитывается для каждого населенного пункта как число уникальных физических дорог, пересекающих его границу и ведущих в общую нетупиковую сеть.

Завершающий этап анализа заключался в выявлении структурных слабостей сети расселения, который производился на основе расчета индекса выхода и последующего анализа существующих маршрутов. Для соседних населенных пунктов с низкой связностью или с неоптимальными путями сообщения на основе алгоритма генерировались потенциальные новые дорожные связи, каждая из которых проверялась на пересечение с «запретными зонами» с помощью оверлейного анализа в ГИС. Таким образом, в итоге были определены только те новые дорожные связи, которые оптимизируют структуру и не несут территориальных и законодательных ограничений.

Результаты и их обсуждение

Апробация предложенной методики на примере 1706 населенных пунктов Саратовской области позволила выявить многогранную картину состояния региональной транспортной сети связности и выработать обоснованные предложения по ее улучшению. Прежде всего, анализ территориальных ограничений выявил ряд

фундаментальных лимитирующих факторов региональной структуры расселения. Сложившиеся физико-географические (морфометрические) условия холмистого Правобережья (Приволжская возвышенность) сформировали существующую транспортную сеть, а законодательные ограничения зон ООПТ и ЗОУИТ, сконцентрированные преимущественно вдоль долины р. Волги и вокруг Саратовской агломерации. Все это сформировало дополнительные элементы «каркаса запретов» в дорожном проектировании наиболее освоенной части Саратовской области. Необходимо учесть, что склоны с уклоном более 5° (рис. 2) превышают значения максимально допустимых продольных уклонов для местных дорог, а также повышают риск аварий, износ дорожного покрытия и сложности обслуживания [11].

На фоне этих ограничений был проведен расчёт «индекса выхода» для каждого населенного пункта (рис. 3), и анализ связности выявил резкую пространственную гетерогенность транспортной доступности. Наблюдается сформированность ярко выраженной структуры «центр-периферия». Хорошо связанные кластеры с высоким индексом выхода (4 и более) образуют ядро вокруг Саратовской агломерации (Саратов, Энгельс) и вытягиваются вдоль основных транспортных осей – федеральных трасс Р-228 (на Волгоград и Сызрань), Р-158 (на Пензу) и А-298 (на восток).

В то же время обширные территории Заволжья, запад и север области характеризуются преобладанием населенных пунктов с низким индексом выхода (0, 1 или 2), что указывает на их изолированное «тупиковое» положение или роль транзитного пункта на линейном сегменте транспортной сети. Наиболее уязвимыми в этом отношении являются западные и северо-западные районы Правобережья (например, Аркадакский, Турковский, Ртищевский) и обширные юго-восточные районы Заволжья (Александрово-Гайский, Новоузенский), которые по сути являются транспортными тупиками. Это подтверждается и результатами моделирования: из 250 предложенных новых дорожных сегментов 148 (59.2%) общей протяженностью 1478.2 км приходятся именно на Заволжье, в то время как для более освоенного Правобережья предложено 52 сегмента (437.7 км). Все это ведет к ограничению социально-экономического потенциала таких территорий и повышает их общую уязвимость.

Итогом комплексного анализа на основе предложенной методологии стала разработка 250 конкретных предложений по строительству новых дорожных участков общей протяженностью 2317 км, направленных на оптимизацию связности системы расселения (рис. 4).

Предлагаемые новые связи (отражены красным цветом) решают одновременно две основные задачи: во-первых, это повышение связности периферии путём соединения изолированных

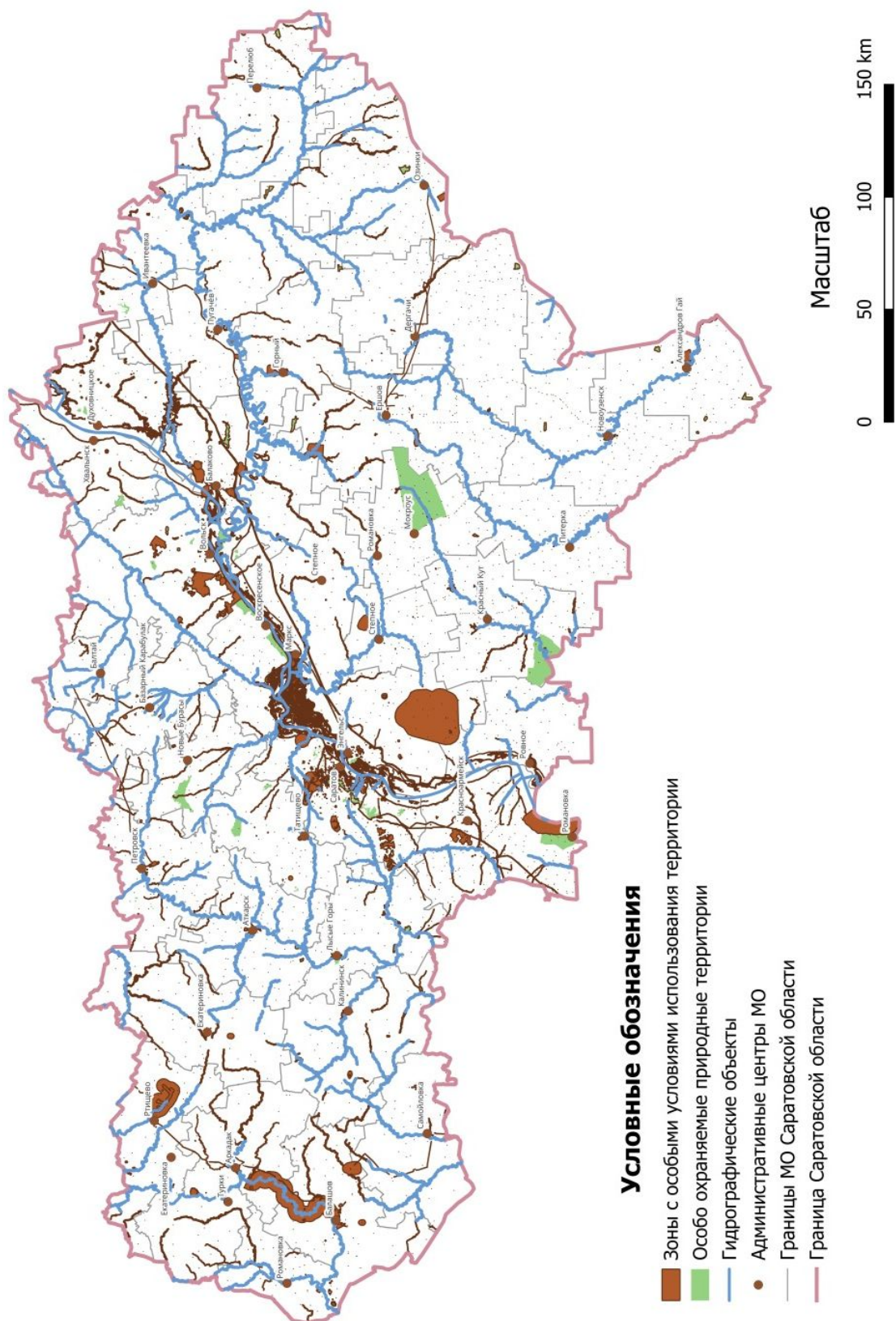


Рис. 1. «Запретные зоны» для моделирования дорожных связей Саратовской области с указанием границ муниципальных округов (МО) (цвет онлайн)

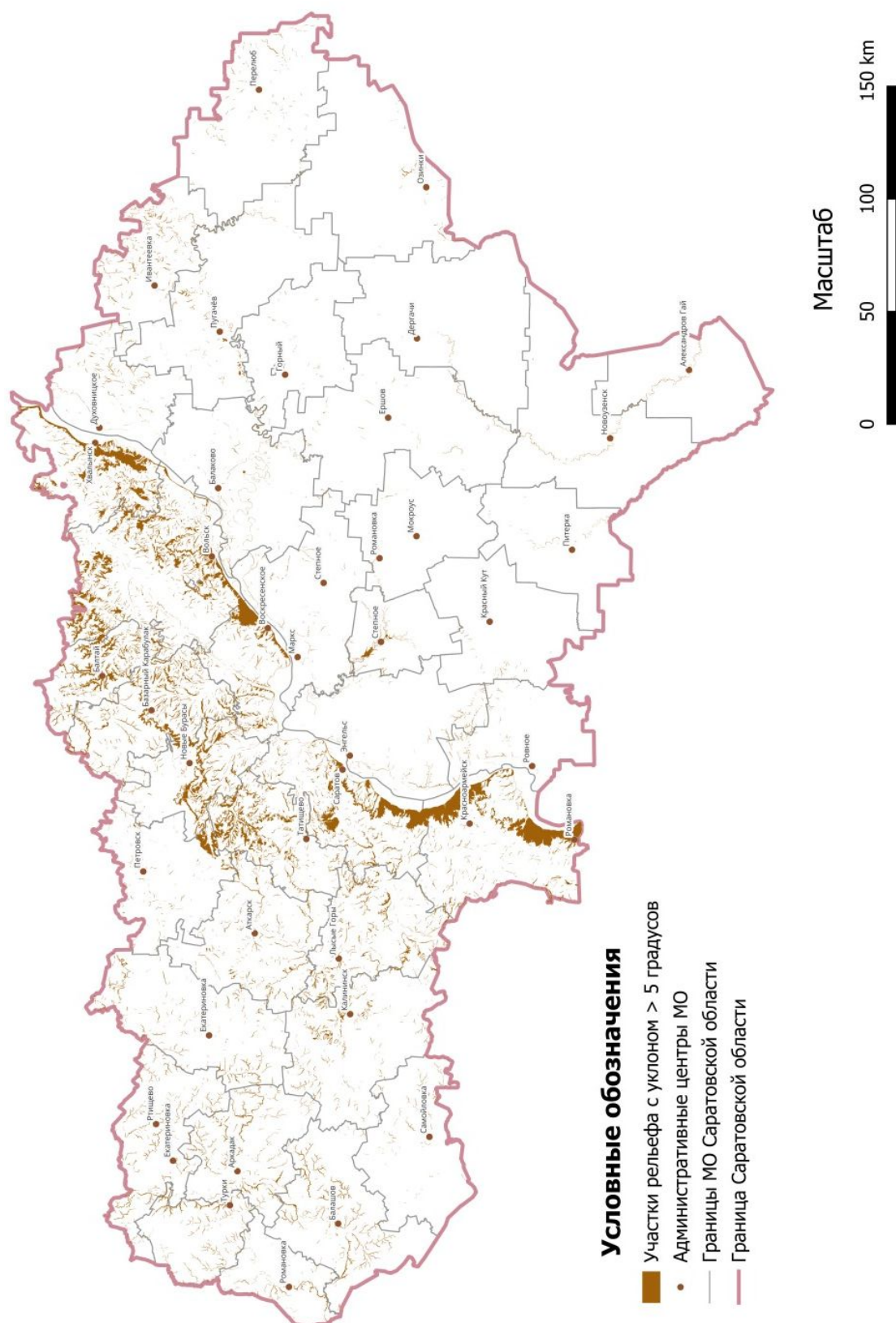


Рис. 2. Участки рельефа с уклоном более 5 градусов на территории Саратовской области с указанием границ МО (цвет онлайн)



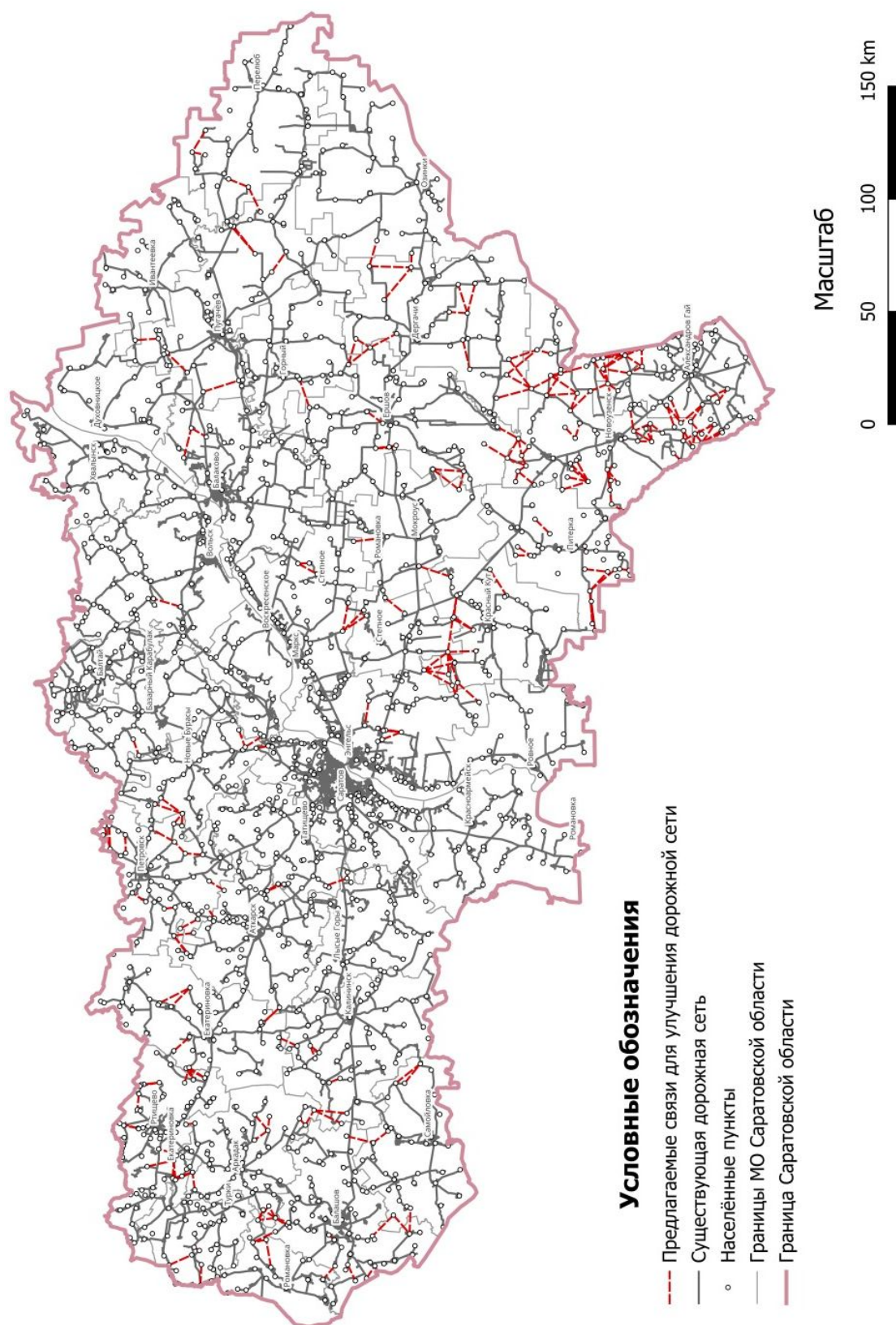


Рис. 4. Модель связи для улучшения дорожной сети на территории Саратовской области с указанием границ МО (цвет онлайн)



и тупиковых населённых пунктов с опорной дорожной сетью, что особенно актуально для юго-восточных и западных районов; во-вторых, это оптимизация существующей сети через создание спрямляющих участков и «хорд» между населёнными пунктами, сокращающих существующие длинные маршруты и повышающие общую эффективность транспортной системы в целом. Расчеты на базе алгоритма Дейкстры [12] показывают, что реализация этих предложений позволит сократить средний кратчайший путь между населёнными пунктами в регионе с 277.0 до 257.6 км, уменьшить число компонент связности дорожной сети с трех до двух и полностью устранить изолированные от сети населенные пункты. Важно подчеркнуть, что все предложенные участки были смоделированы с учётом комплекса территориальных и законодательных ограничений, что делает их практически применимыми для технико-экономического рассмотрения на различных стадиях территориального планирования.

Заключение

Предложенная методика позволяет провести комплексный и, что важно, практически ориентированный анализ структуры региональной системы расселения. Переход от абстрактных топологических понятий к операциональным показателям, таким как «индекс выхода» и учёт реальных физико-географических и юридических ограничений, даёт возможность не только диагностировать проблемы связности, но и формировать обоснованные предложения по их решению.

Апробация на примере 1706 населённых пунктов Саратовской области показала выраженную неоднородность транспортной доступности. Рассчитанный средний индекс выхода, равный 2.74, свидетельствует о структурных диспропорциях между хорошо связанным «ядром» и изолированной «периферией». Практическая значимость методики подтверждается детальным анализом «разбивающих точек» (точек сочленения). Исследование выявило 674 населенных пункта, являющихся такими точками, что указывает на значительную уязвимость региональной транспортной сети. Для оценки критичности каждой точки был введен показатель, отражающий количество новых изолированных сегментов сети, которые образуются при удалении данного узла. Анализ показал, что 10 населенных пунктов имеют максимальный показатель, равный 3. К этим наиболее уязвимым узлам относятся Покурлей, Барановка, Ивановка, Сапожок, Малая Тополевка, Чадаевка, Упоровка, Оркино, Кочетовка и Малые Озёрки. Нарушение транспортного сообщения через любой из этих пунктов приведет к распаду сети на три и более изолированные части, отрезая от основной сети целые группы поселений. Эти населенные пункты, функционирующие как единственные «мосты»

между крупными сегментами дорожной сети, представляют собой первоочередные объекты для мероприятий по повышению устойчивости инфраструктуры, например путем строительства дублирующих связей. Данные результаты могут служить объективной основой для дальнейших градостроительных проработок, направленных на повышение устойчивости и сбалансированности региональной системы расселения. Основной группой факторов, влияющих на распределение текущей дорожной сети, являются геоморфологические – в Заволжье преобладают эрозионно-расчлененные ландшафты, которые разрывают дорожную сеть. Для восстановления связности требуется больше коротких мостовых и путепроводных сооружений; историческое развитие транспортной сети имеет высокое значение, например, Правобережье исторически развивалось как промышленный и транспортный центр (Саратов, Энгельс), где дорожная сеть более развита. Заволжье же оставалось сельскохозяйственным регионом с менее плотной сетью дорог. Наконец, социально-экономические различия, которые выражаются в том, что население Заволжья испытывает большую потребность в социальной инфраструктуре, доступ к которой ограничен из-за плохой транспортной связи.

В итоге можно сделать вывод, что Правобережье ограничено законодательными запретами и исторически развитой сетью, поэтому новых узлов предложено не так много. Заволжье, в свою очередь, требует больше дорог из-за географических барьеров (овраги, долины), высокой доли изолированных поселков и относительно низких ограничений для строительства.

К ограничениям методики можно отнести ее зависимость от полноты и достоверности исходных картографических данных и необходимость верификации результатов экспертными оценками.

Дальнейшее развитие методики может включать интеграцию социально-экономических данных (например, численность населения, маятниковая миграция) для определения приоритета реализации предлагаемых дорожных связей, учет класса и пропускной способности дорог для оценки развития междугороднего сообщения, делимитации метрополитенских ареалов, оптимизации размещения площадок ТКО и т. п. [13–16].

Библиографический список

1. Орлова Н. А., Орлов Д. Н., Маслова Е. А. Проблема компактного города провинциальной России XXI века // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 1. С. 101–108. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2019.01.16>, EDN: XSLDRO
2. Болтянский В. Г., Ефремович В. А. Очерк основных идей топологии // Математическое просвещение / под ред. Я. С. Дубнова, А. А. Ляпунова, А. И. Маркушевича. М. : ГИТТЛ, 1957. Вып. 2. С. 3–34.



3. Понтрягин Л. С. Непрерывные группы. М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1973. 519 с.
4. Мазаев Г. В. Топологический подход к понятию компактности градостроительных структур // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году : сборник научных трудов РААСН : в 2 т. М. : Изд-во АСВ, 2022. Т. 1. С. 249–257. EDN: GARVRZ
5. Данциг Дж., Саати Т. Компактный город: проект организации городской среды / пер. с англ. М. : Стройиздат, 1977. 199 с.
6. OpenStreetMap contributors. Planet maps. URL: <https://planet.osm.org> (дата обращения: 21.04.2025).
7. Hawker L., Uhe P., Luntadila P., Sosa J., Savage J., Sampson C., Neal J. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed // Environmental Research Letters. 2022. Vol. 17, № 2. Р. 1–11. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f>, EDN: AUPPCP
8. Единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН) // Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр). URL: <https://rosreestr.gov.ru/> (дата обращения: 25.04.2025).
9. Об особо охраняемых природных территориях: федеральный закон от 14.03.1995 № 33-ФЗ (в ред. от 08.08.2024, с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025) // Собрание законодательства РФ. 1995. № 12, ст. 1024.
10. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 31.07.2025, с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2025) // Собрание законодательства РФ. 2001. № 44, ст. 4147.
11. СП 34.13330.2021. Свод правил. Автомобильные дороги. СНиП 2.05.02-85* (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 09.02.2021 № 53/пр). М. : Минстрой России, 2021. 93 с.
12. Кувайскова Ю. Е. Алгоритмы дискретной математики : учебное пособие. Ульяновск : УлГТУ, 2017. 99 с.
13. Крылов П. М. Изменения использования транспорта в городских и сельских населённых пунктах России разной людности за период 2014–2022 гг. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 4. С. 235–241. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-4-235-241>, EDN: KBZVAI
14. Папилин Д. В., Проказов М. Ю. Оптимизация размещения объектов сбора и переработки твердых коммунальных отходов (на примере Балашовского района Саратовской области) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 1. С. 13–19. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-1-13-19>, EDN: FROCTD
15. Преображенский Ю. В., Молочко А. В. Оценка развития междугородного автобусного сообщения в Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2019. Т. 19, вып. 1. С. 18–23. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-1-18-23>, EDN: ELLJFZ
16. Преображенский Ю. В., Папилин Д. В. Делимитация метрополитенских ареалов на основе транспортной доступности крупнейших городов (на примере Волго-Уральского макрорегиона) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 2. С. 80–92. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-2-80-92>, EDN: DMHDFE

Поступила в редакцию 08.05.2025; одобрена после рецензирования 12.05.2025;
принята к публикации 29.05.2025; опубликована 30.09.2025

The article was submitted 08.05.2025; approved after reviewing 12.05.2025;
accepted for publication 29.05.2025; published 30.09.2025



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 178–184

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 178–184

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-178-184>, EDN: NHGCOS

Научная статья

УДК 911.53



Геосистемные исследования территории Тихоокеанской железной дороги в бассейне р. Мулам

Н. А. Николаева, Д. Д. Пинигин[✉]

Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН, Россия, 677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, д. 1

Николаева Надежда Анисимовна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, nna0848@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6831-6613>, Scopus AuthorID: 56909645200

Пинигин Дмитрий Дмитриевич, научный сотрудник, pinigind@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2911-3802>, Scopus AuthorID: 55752669800

Аннотация. В статье рассмотрены экологические аспекты природной среды территории прохождения трассы Тихоокеанской железной дороги в пределах бассейна р. Мулам. Проект имеет особую актуальность для транспортно-логистического обеспечения добычи минерально-сырьевых ресурсов и увеличения экспорта высококачественного угля с Эльгинского угольного месторождения в Южной Якутии в страны Восточной и Юго-Восточной Азии. Трасса дороги в пределах Республики Саха (Якутия) расположена в труднодоступной необжитой территории с недостаточно изученными мерзлотными ландшафтами. Освоение этой территории включает в себя экологические риски, обусловленные низкой устойчивостью мерзлотных природных геосистем к техногенным нарушениям. По комплексу литогенных мерзлотных факторов проведена дифференциация исследуемой территории по степени их устойчивости. Установлено, что исследуемые геосистемы в зависимости от их природной структуры обладают различными степенями устойчивости. Оценена антропогенная нарушенность геосистем, обусловленная различным характером и интенсивностью хозяйственного использования с выделением районов с различной степенью антропогенного нарушения. Составлена карта-схема макрогеохор, находящихся вблизи зоны воздействия Тихоокеанской железной дороги, дифференцированных по различным уровням природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: транспортировка угля, железная дорога, геосистемы, устойчивость, нарушенность, природоохранное районирование

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта государственного задания FWRS-2024-0031 «Комплексные исследования приоритетов развития энергетики Республики Саха (Якутия) с учетом влияния на окружающую среду и разработка способов, методов повышения энергетической эффективности и надежности локальных энергетических систем в труднодоступных изолированных территориях Севера и Арктики».

Для цитирования: Николаева Н. А., Пинигин Д. Д. Геосистемные исследования территории Тихоокеанской железной дороги в бассейне р. Мулам // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 178–184. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-178-184>, EDN: NHGCOS

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

Article

Landscape studies of the Pacific Railway area in the Mulam River basin

N. A. Nikolaeva, D. D. Pinigin[✉]

V. P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 1 Oktyabrskaya St., Yakutsk 677980, Russia

Nadezhda A. Nikolaeva, nna0848@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6831-6613>, Scopus AuthorID: 56909645200

Dmitry D. Pinigin, pinigind@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2911-3802>, Scopus AuthorID: 55752669800

Abstract. The article examines the ecological characteristics of the landscapes along the Pacific Railway route in the Mulam River basin. This project is highly relevant for transportation and logistics infrastructure supporting mineral resource extraction, particularly for increasing exports of high-quality coal from the Elga deposit in South Yakutia to East and Southeast Asia. The railway traverses a remote, uninhabited area with insufficiently studied permafrost landscapes. The development of this territory entails environmental risks due to the low resilience of permafrost geosystems to anthropogenic disturbances. The study revealed that the researched geosystems have degrees of stability, ranging from high to relatively low—depending on their natural structure. Additionally, an assessment of anthropogenic transformation was conducted, accounting for differences in the nature and intensity of economic activity, with areas classified by their degree of transformation (high, relatively high, and relatively low). A landscape (geosystem) zoning map of the territory adjacent to the Pacific Railway was developed, categorizing natural complexes based on their stability and anthropogenic transformation.

Keywords: coal transportation, railway, geosystems, sustainability, transformation, landscape zoning

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the state assignment project FWRS-2024-0031 “Comprehensive studies of the priorities for the development of energy in the Republic of Sakha (Yakutia), taking into account the impact on the environment and the



development of methods and techniques for increasing the energy efficiency and reliability of local energy systems in hard-to-reach isolated areas of the North and the Arctic.”

For citation: Nikolaeva N. A., Pinigin D. D. Landscape studies of the Pacific Railway area in the Mulam River basin. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 178–184 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-178-184>, EDN: NHGCOS

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

Введение

Решение проблем минерально-сырьевой и энергетической безопасности Российской Федерации в значительной степени связано с освоением северных и северо-восточных регионов России [1], в том числе в Республике Саха (Якутия). Эльгинское угольное месторождение является самым крупным на территории страны, запасы которого насчитывают свыше 2.2 млрд тонн угля премиальной категории, к 2027 г. объем годовой добычи возрастет до 52 млн тонн [2].

В связи с внешнеэкономической переориентацией России на страны Восточной и Юго-Восточной Азии особую актуальность приобрел вопрос модернизации транспортно-логистического обеспечения добычи минерально-сырьевых ресурсов Дальнего Востока. По этой причине в начале 2025 г. была введена в эксплуатацию Тихоокеанская железная дорога протяженностью 531 км по Республике Саха (Якутии) и Хабаровскому краю, которая призвана оптимизировать экспортно-импортную логистику Дальневосточного региона. Маршрут новой дороги протянулся от Эльгинского угольного месторождения до побережья Охотского моря, где возводится новый порт Эльга на мысе Манорский. Проектная мощность только угольного терминала «Порт Эльга» составит 30 млн тонн угля в год с перспективой увеличения до 50 млн тонн в год, откуда он пойдет на экспорт, прежде всего в Китай [3].

Вместе с тем эксплуатация железных дорог с мостовыми переходами через реки может изменить характер сложившихся природных взаимосвязей и привести к возникновению или активизации нежелательных природных процессов. Так, трасса является гидрологическим барьером для поверхностного и подземного стоков, что может привести к обострению экзогенных процессов и к техногенной геохимической миграции.

Транспортировка экспортируемых ресурсов по Тихоокеанской железной дороге также может иметь экологические риски, обусловленные пионерным характером освоения труднодоступной территории с суровыми природно-климатическими условиями, наличием криолитозоны и слабой устойчивостью природных комплексов к антропогенному воздействию. В случае недостаточной реализации необходимых природоохранных мероприятий экологические риски

могут привести к нарушению экологической обстановки [4].

Актуальность изучения экологических аспектов освоения новых территорий Южной Якутии предопределила развитие различных научных исследований по их изучению с применением различных методик. Среди них немаловажное значение имеют ландшафтные методики исследования и методики ГИС-технологий с применением дешифрирования космических снимков. Ландшафтные методики предполагают системное изучение связей между природными и техногенными объектами и позволяют адекватно соотносить предлагаемые природоохранные мероприятия в соответствии с экологической обстановкой.

Целью статьи является геоэкологическое районирование прилегающей к трассе Тихоокеанской железной дороги территории в пределах бассейна р. Мулам с ландшафтно-дифференцированными природоохранными мероприятиями.

Материал и методика исследований

Методической основой работы явились методические положения эколого-географического районирования и методика геосистемного анализа, основа которых была заложена В. Б. Сочавой, В. С. Преображенским, Б. И. Кочуровым [5–7] и другими учёными. Так, объектом геоэкологического районирования выступают современные ландшафты или геосистемы, оцененные либо по характеру и степени антропогенного влияния и преобразованности природных ландшафтов, либо по степени экологического неблагополучия [4].

В целях создания среднемасштабной карты ландшафтов района исследования были использованы: 1) для левобережья р. Мулам – карта масштаба 1 : 100 000 из работы [8]; 2) для правобережья р. Мулам создана карта-схема типов местностей на основе топографической карты масштаба 1 : 200 000, данных дистанционного зондирования масштаба 1 : 300 000 (космоснимки SRTM), космоснимков онлайн-сервисов открытого доступа [9–11].

Сведения по площадям нарушенных земель исследуемого района получены в процессе обработки многоспектральных снимков 2024 г. космических аппаратов Sentinel-2a и Sentinel-2b с отображением индекса растительности NDVI, а также анализа полученных растровых изображений в ПО QGIS 3 [12].



Результаты и их обсуждение

Территория прохождения трассы Тихоокеанской железной дороги расположена в непосредственной близости от Эльгинского угольного комплекса в суровых и безлюдных условиях горноредколесной тайги. Она простирается по Алданскому гольцово-таежному нагорью и относится к Токинской котловине, представляющей собой платообразную денудационную равнину с плоским и полого-увалистым рельефом. В физико-географическом отношении относится к стране гор Южной Сибири, Тимптоно-Учурской среднегорной провинции Укикитканского предгорного района [13, 14].

Для представления о геосистемной структуре района применен принцип двухрядной классификации геосистем [15], для которой характерно совмещение двух начал – гетерогенности и гомогенности. При этом макрогеохорой (ландшафтом) называется наиболее крупная топологическая и наименьшая региональная единица, что обеспечивает соблюдение принципа системного подхода к районированию. В ряду геомов ей соответствует геом. При обобщении в геом принимаются во внимание все критические компоненты подчиненных геосистем – мезоформы рельефа, гидротермические характеристики, растительные и почвенные особенности. В узловых звеньях структурные особенности и свойства рядов геомов и геохор взаимообусловлены.

Особенности геосистемной дифференциации изучаемой территории характерны для гористой области Южной Сибири – Токинского Становика и Токинской впадины, что отражено в пестрой мозаике природных комплексов от подгольцовых и горноредколесных до горно-таежных. Их структура состоит из плоскогорно-привершинных, горносклоновых малой, средней и сильной крутизны, предгорных моренных, предгорных зандровых и горнодолинных геомов (ландшафтов), расположенных в пределах Алгоминской возвышенной, Укикитской горнодолинной, Укикит-Эльгинской пологоволнистой,

Эльгинской возвышенной и Укикитканской моренной макрогеохор [16, 17].

Оценка степени устойчивости геосистем

Железная дорога проходит преимущественно по территории сплошного и прерывистого, перемежающегося с прерывисто-островным, распространения многолетнемерзлых пород. В связи с этим методической основой для определения степени устойчивости природных комплексов явилась методика покомпонентного влияния ведущих мерзлотных характеристик на снижение устойчивости мерзлотного ландшафта [18]. Мерзлотные ландшафты, литогенной основой которых являются льдонасыщенные грунты, наиболее уязвимы к техногенным воздействиям, и их устойчивость, в первую очередь, зависит от объемной льдистости поверхностных отложений. «...устойчивыми являются многолетнемерзлые отложения с объемной льдистостью до 20%, а неустойчивыми – более 40. Мерзлотные ландшафты, литогенная основа которых характеризуется средней годовой температурой -1°C и выше, относятся к переходным неустойчивым..., а таковые с температурой ниже -5°C – к устойчивым» [19, с. 6].

Согласно методике [18] и при помощи данных [13, 14, 19] составлена таблица оценки влияния мерзлотных показателей на снижение устойчивости геосистем территории исследования (табл. 1).

Проведено ранжирование мерзлотных показателей соответственно экспертным оценочным баллам, присвоенным каждой геосистеме по степени их влияния на снижение устойчивости. Обобщенное влияние мерзлотных показателей оценивалось суммой баллов, характеризующих степень устойчивости геосистемы: чем больше суммарный балл, тем менее устойчивой [20] она является. Так, при 11 баллах и ниже геосистема является устойчивой; при 12–16 баллах – среднеустойчивой и неустойчивой при 17 и более баллах.

В табл. 2 дана характеристика мерзлотных показателей геосистем исследуемой территории

Таблица 1

Оценка влияния литогенных показателей на снижение устойчивости геосистем

Мерзлотные показатели	Оценка влияния, баллы			
	1	2	3	4
	Не влияет	Слабо влияет	Заметно влияет	Нарушает
Объемная льдистость отложений, %	До 0.1	0.1–0.2	0.2–0.4	0.4 и более
Температура грунтов, $^{\circ}\text{C}$	От -5 и ниже	От -5 до -2	От -2 до -1	От -1 до $+1$
Мощность рыхлых отложений, м	< 1.5	1.5–3.0	3–5	> 5.0
Крутизна склонов, град.	До 2	2–5	5–10	10 и более
Характер распространения многолетнемерзлых пород	Сплошной	Сплошной и прерывистый	Прерывистый	Прерывистый и островной



Таблица 2

**Мерзлотные показатели геосистем территории Тихоокеанской железной дороги
и оценка степени их устойчивости**

Макрогеохора	Объемная льдистость, отн.ед.	Температура пород, град	Мощность отложе- ний, м	Крутизна склонов, град	Характер распростра- нения мерзлоты	Сумма баллов
	Сумма баллов	Сумма баллов	Сумма баллов	Сумма баллов	Сумма баллов	
Эльгинская возвышенная	0.2–0.4 3	–2... –6 3	2.0–3.0 3	< 3 2	Сплошной 1	11
Укикит-Эльгинская полого- волнистая	0.2–0.6 4	1... –2 3	3.0–5.0 3	3–10 3	Сплошной и прерыв. 2	15
Укикитканская предгорная	0.2–0.7 4	–0.5... –1.5 3	100 4	3–10 3	Прерыв. 3	17
Токинская зандровая	0.2–0.4 3	–2... –4 2	10–15 4	2–5 2	Сплошной и прерыв. 2	13
Муламская горно-долинная	0.1–0.7 4	0.5... –2 4	2.0–5.0 3	< 3 2	Прерыв. и островн. 4	17
Якодакитская пологосклоновая	0.2–0.6 4	1... –2 3	2.0–3.0 2	< 3 2	Сплошной и прерыв. 2	11

Примечание. В числителе – мерзлотные и биоклиматические показатели, в знаменателе – суммарное количество баллов.

[13, 14] и оценка их устойчивости по суммарному количеству баллов.

В результате оценивания степени устойчивости каждой геосистемы территории, прилегающей к Тихоокеанской железной дороге, выявлено, что они характеризуются различной степенью устойчивости к механическим техногенным нарушениям. Так, плоскогорно-вершинные лиственнично-редколесные и подгольцовые геомы характеризуются повышенной лдистостью, способствующей неустойчивости, но низкая температура горных пород, наличие сплошного распространения мерзлых грунтов и почти плоский рельеф уравнивают это влияние и обуславливают относительно слабую активность криогенных процессов. В результате данные геосистемы будут устойчивы к нарушениям [20].

Горносклоновые лиственничные редколесные с рединами со склонами различной крутизны и предгорно-зандровые геомы отнесены к относительно устойчивым в связи с наличием основных факторов, обеспечивающих проявление криогенно-геологических процессов [20] – довольно мощным слоем рыхлых отложений, горными склонами различной крутизны, а также сплошным и прерывистым характером мерзлых пород. Предгорные моренные комплексы отне-

сены к неустойчивым благодаря высокой лдистости, большой мощности отложений и крутым склонам, а также прерывистым мерзлым породам. Горно-долинные комплексы характеризуются очень низкими температурами, что придает им устойчивость, но в сочетании с высокой лдистостью, крутизной склонов (кроме пологих) и прерывисто-островным характером мерзлых пород, способствующими значительной активности криогенных процессов, также отнесены к неустойчивым [20].

В целом природные комплексы исследуемой территории характеризуются относительной устойчивостью к механическим нарушениям.

Оценка антропогенной нарушенности

Антропогенная нагрузка оценивалась как подсчитанная площадь выявленных преобразованных территорий в пределах отдельной макрогеохоры [21]. В итоге макрогеохоры ранжированы по баллам в соответствии с различными степенями антропогенной нагрузки: от высокой (преобладание нарушенных земель ЭУК), относительно высокой (железная и грунтовые дороги, ЛЭП, охотничье-рыболовное хозяйство), относительно невысокой и низкой (приближен-



ные к естественным земли и ООПТ «Большое Токко» [4].

Наиболее преобразованной остается территория Эльгинского горно-обогатительного комплекса, которая относится к горно-привершинным подгольцовым и горносклоновым горно-редколесным типам геомов. Повышенная степень техногенного воздействия характерна для горных долин с лиственничными редколесьями и горносклоновых редколесий, занятых лесохозяйственной деятельностью со строительством линейных сооружений. Относительно невысокий уровень антропогенных изменений характерен в целом для всех остальных геомов, но в большей степени – для горнодолинных, в меньшей – для предгорно-зандровых геомов, а также для территории ООПТ [16].

В результате проведено геосистемное районирование изучаемой территории с выделением макрогеохор и геомов, а также их дифференциация по степени устойчивости и антропогенной нарушенности (рисунок).

Для уменьшения антропогенного воздействия на природную среду территории освоения необходимо предусмотреть комплекс мероприятий, направленных на ее сохранение. С этой целью для исследуемой территории были предложены различные уровни природоохранных мероприятий, распределенных по макрогеохорам в соответствии с их устойчивостью и нарушенностью (табл. 3).

К плоскогорно-привершинным геосистемам с горными лиственничными редколесьями с подгольцами на сплошных мерзлых породах относится Эльгинская возвышенная макрогеохора с наибольшим антропогенным воздействием и интенсивно развивающимся Эльгинским угольным комплексом, а также повышенной устойчивостью. Здесь необходим повышенный уровень охраны природы, включающий изъятие из использования и рекультивацию отчужденных под добычу угля территорий, соблюдение регламентов с недопущением загрязнения воздуха и качества воды в водотоках.

Основным видом использования горносклоновых, горнодолинных лиственничных редколесий и редин, где проходит трасса железнодорожной магистрали, является лесное хозяйство с преимущественным развитием охотничье-рыболовных промыслов, наличием вырубков, гарей, ЛЭП, грунтовых дорог, со средней и слабой степенью антропогенной нарушенности. Природоохранные мероприятия должны иметь высокий уровень, носить профилактический характер и быть направлены на предотвращение деградации почвенно-растительного покрова и сохранение пород в твердом состоянии; соблюдение правил охоты и рыбной ловли; обеспечение миграции диких животных.

Для слабоустойчивых предгорных моренных, зандровых и горнодолинных геосистем, где расположен охраняемый ресурсный резерват



Карта-схема геосистемного районирования территории Тихоокеанской железной дороги в бассейне р. Мулам.

Масштаб 1 : 250 000

Условные обозначения: а – Тихоокеанская железная дорога; б – преобразованные территории; в – макрогеохоры; А, В, С – степени устойчивости геомов: А – относительно высокая, В – средняя, С – относительно низкая; I, II, III – степени антропогенной нарушенности: I – высокая, II – повышенная; III – относительно низкая; г – геомов: 1 – плоскогорно-привершинный с горными лиственничными редколесьями кустарничково-зеленомошными и лишайниковыми с подгольцами на прерывистых мерзлых породах; 2 – горносклоновый с лиственничными редколесьем или редидами кустарничково-лишайниковые и моховые на прерывистых или сплошных мерзлых породах; 3 – предгорный моренный с лиственничным редколесьем кустарничково-лишайниковые и моховые на прерывистых мерзлых породах; 4 – зандровый с лиственничными редидами; 5 – горнодолинный с лиственничными редидами и редколесьями кустарничково-сфагновыми с пушицей; 6 – ерниковые на прерывистых и островных мерзлых породах (цвет онлайн)



Таблица 3

Характеристики макрогеохор и рекомендуемые уровни природоохранных мероприятий

Макрогеохора	Степень устойчивости	Площадь преобразованных территорий, га	Описание выявленных изменений	Степень преобразования	Уровни природоохранных мероприятий
Эльгинская возвышенная	Относительно высокая	4640,1	Горные выработки, отвалы пустых пород, промплощадки, линейные сооружения, пруды-отстойники	I	Повышенный
Укикит-Эльгинская пологоволнистая	Средняя	80,6	Вездеходные тропы, следы геологической разведки	II	Высокий
Укикитканская предгорная	Относительно низкая	187,6	Железнодорожные насыпи, автодороги, площадки добычи общераспространенных ископаемых	II	Высокий
Токинская зандровая	Средняя	–	–	III	Наивысший
Муламская горно-долинная	Относительно низкая	104,1	Железнодорожная насыпь, автодороги, вездеходные тропы	II	Высокий
Якодакитская пологосклонная	Относительно высокая	–	–	III	Наивысший

озера Большое Токко, характерны относительно невысокая и слабая степени антропогенной нарушенности. Это определяет рекомендацию наивысшего уровня природоохранных мероприятий, включающих противопожарную деятельность, соблюдение оптимальных нагрузок на геосистемы, норм и правил охоты и рыболовства [4]. Большое значение имеют мероприятия по сохранению легкоуязвимой растительности и почвенного покрова в связи с водоохранной, склонозащитной и криогеннозащитной функциями территорий.

Таким образом, ландшафтный (геосистемный) подход обеспечивает разработку пространственно-дифференцированной по типам ландшафтов и уровням интенсивности системы природоохранных мероприятий [4], что отвечает экологическим требованиям оптимизации природопользования в криолитозоне.

Заключение

Разработана пространственно-дифференцированная по типам ландшафтов, степеням устойчивости, антропогенной нарушенности, а также по уровням интенсивности системы природоохранных мероприятий карта-схема геоэкологического районирования территории Тихоокеанской железной дороги.

Определено, что геосистемы территории трассы железной дороги характеризуются различной степенью устойчивости к механическим техногенным нарушениям. Так, низкотемпературные плоскогорно-привершинные лиственнично-редколесные и подгольцовые геомы со сплош-

ным распространением мерзлых грунтов будут устойчивы к механическим нарушениям. Горносклоновые лиственничные редколесные с редианами со склонами различной крутизны и предгорно-зандровые геомы отнесены к относительно устойчивым. Предгорные моренные и горно-долинные комплексы оценены как неустойчивые в связи с сочетанием литогенно-мерзлотных факторов, способствующих значительной активности криогенных процессов [4].

Территория горных разработок Эльгинского угольного комплекса, приуроченная к горно-привершинным подгольцовым и горносклоновым горно-редколесным геосистемам, характеризуется высокой степенью техногенных преобразований. Относительно высокая степень преобразования характерна для горных долин с лиственничными редколесьями и горносклоновых редколесий, занятых железнодорожным полотном. Относительно невысокая антропогенная измененность характерна для горносклоновых и горно-долиновых геосистем, горных привершинных и горносклоновых геосистем, занятых ЛЭП, автомобильными дорогами, землями резервата.

Результаты работы по геоэкологическому районированию прилегающей к Тихоокеанской железной дороге территории направлены на решение вопросов экологической безопасности и могут быть использованы республиканскими органами власти при оценке последствий начального этапа эксплуатации железной дороги и способствовать совершенствованию территориальной организации природопользования на Севере.



Библиографический список

1. Асеев А. Л., Лебедев М. П. О концепции Программы комплексных научных исследования в Республике Саха (Якутия) // Экономика Востока России. 2015. № 2 (4). С. 9–11. EDN: VHCKLD
2. Эльгинское угольное месторождение: развитие, роль, перспективы. URL: <https://www.vnedra.ru/glavnaya-tema/elginskoe-ugolnoe-mestorozhdenie-razvitie-rol-perspektivy-23941/> (дата обращения: 24.03.2025).
3. Тихоокеанская железная дорога: Транссиб и БАМ дополняются новым стратегическим коридором. URL: <https://www.fondsk.ru/news/2024/07/20/tikhookeanskaya-zheleznyaya-doroga-transsib-i-bam-dopolnyayutsya-novym> (дата обращения: 03.03.2025).
4. Петров Н. А., Николаева Н. А., Пинигин Д. Д. Природоохранное районирование территории промышленного освоения Алгома-Муламского междуречья в Южной Якутии // Естественные и технические науки. 2017. № 8. С. 30–34. EDN: ZHDQSP
5. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск : Наука, Сибирское отд-ние, 1978. 319 с. EDN: TARVMP
6. Преображенский В. С., Александрова Т. Д., Куприянова Т. П., Розов М. А. Основы ландшафтного анализа. М. : Наука, 1988. 192 с.
7. Кочуров Б. И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории. Смоленск : Изд-во Смоленского гуманитарного университета, 1999. 154 с.
8. Варламов С. П., Васильев И. С., Торговкин Я. И. Особенности ландшафтной структуры района строительства Эльгинского угольного комплекса и прилегающей территории // Наука и образование. 2011. № 4. С. 21–24. EDN: OXMGZT
9. Patnaik S., Dey P. Population, Development, and Assessment of Environmental Change: An Ecological Landscape Analysis // Population Resource and Development: Issues and Concerns. Guwahati : Gauhati University, 2023. P. 51–64.
10. Prasannakumar V., Shiny R., Geetha N., Vijith H. Applicability of SRTM data for landform characterisation and geomorphometry: A comparison with contour-derived parameters // International Journal of Digital Earth. 2011. Vol. 4, iss. 5. P. 387–401. <https://doi.org/10.1080/17538947.2010.514010>
11. Drăguț L., Blaschke T. Terrain Segmentation and Classification using SRTM Data // Advances in Digital Terrain Analysis / eds. Q. Zhou, B. Lees, G. Tang. Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. P. 141–158. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77800-4_8.
12. Чащин А. Н., Гилёв В. Ю. Оценка мощности плодородного слоя техногенно-нарушенных почв с применением вегетационного индекса NDVI // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10, вып. 3. С. 290–305. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2020-10-3-290-305>, EDN: WVYTHL
13. Федоров А. Н., Ботулу Т. А., Варламов С. П., Васильев И. С., Грибанова С. П., Дорофеев И. В., Климовский И. В., Самсонова В. В., Соловьев П. А. Мерзлотные ландшафты Якутии: Пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР». Новосибирск : Новосибирская картографическая фабрика ГУТК СССР, 1989. 70 с. EDN: RVILMP.
14. Федоров А. Н., Торговкин Я. И., Шестакова А. А., Васильев И. Ф., Макаров В. С., Калиничева С. В., Башарин Н. И., Егорова Л. С., Константинов П. Я., Самсонова В. В., Николаев А. Н., Галанин А. А., Лыткин В. М., Угаров И. С., Шепелев А. Г., Васильев А. И., Ефремов П. В., Иванова Р. Н., Арзунов Р. Н. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1 : 1 500 000 / гл. ред. М. Н. Железняк. Якутск : ИМЗ СО РАН, 2018. 2 л. Фонды ИМЗ.
15. Снытко В. А., Семенов Ю. М., Мартынов А. В. Ландшафтно-геохимический анализ геосистем КАТЭКа. Новосибирск : Наука. Сибирское отд-ние, 1987. 110 с. EDN: RXKDDX
16. Николаева Н. А., Пинигин Д. Д. Антропогенное изменение ландшафтов зоны освоения Эльгинского каменноугольного месторождения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18, № 2. С. 159–163. EDN: WKPITZ
17. Пинигин Д. Д., Ноговицын Д. Д., Николаева Н. А., Шеина З. М., Сергеева Л. П. Система методов исследования природно-техногенных систем Эльгинского угольного комплекса // Труды VIII Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата EURASTRENCOLD–2018. Якутск : ООО «Цумори Пресс», 2018. С. 236–238. EDN: XZTBEL
18. Шполянская Н. А., Зотова Л. И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1994. № 1. С. 56–65. EDN: KPAUEF
19. Васильев И. С., Федоров А. Н., Варламов С. П., Торговкин Я. И., Васильев А. И., Шестакова А. А. Устойчивость криогенных ландшафтов на северном участке трассы железной дороги Якутии // Наука и образование. 2009. № 2. С. 4–9. EDN: KPAUEF
20. Николаева Н. А., Пинигин Д. Д. Оценка устойчивости ландшафтов территории освоения Эльгинского каменноугольного месторождения // География и природные ресурсы. 2019. № 1. С. 45–51. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2019-1\(45-51\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2019-1(45-51)). EDN: YYTTKP
21. Скрипко М. С., Платонова С. Г., Скрипко В. В. Оценка устойчивости поверхности (на примере Обь-Чумышского междуречья, Алтайский край) // Географический вестник. 2022. № 3 (62). С. 109–125. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-3-109-125>, EDN: QOJVUA

Поступила в редакцию 21.04.2025; одобрена после рецензирования 24.05.2025; принята к публикации 29.05.2025; опубликована 30.09.2025

The article was submitted 21.04.2025; approved after reviewing 24.05.2025; accepted for publication 29.05.2025; published 30.09.2025



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 185–193

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 185–193

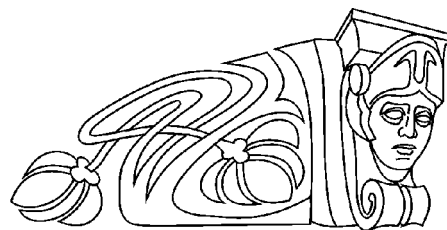
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-185-193>, EDN: OGXQWV

Научная статья

УДК 004.94:614.8+005.57

Прогнозирование динамики лахарных потоков с помощью имитационного моделирования



А. И. Хайбулин[✉], А. В. Затонская

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

Хайбулин Айдар Ильмович, магистрант географического факультета, aidarkhaibulin@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9731-9331>

Затонская Анна Вячеславовна, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой экономической и социальной географии, farik26@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4877-207X>

Аннотация. В исследовании представлены апробация и результаты имитационного моделирования поверхностных потоков, вызванных результатами вулканической деятельности. Проведён анализ различных реологических моделей с обоснованием эффективности модели генерализованной жидкости Гершеля – Балкли применительно к геодинамическим процессам (лахары, сели, обвалы и проч.). Предложенная гипотеза была проверена и подтвердила свою жизнеспособность на основании сведений о реально случившемся событии – извержении вулкана Чайтен. Результаты исследования могут стать эффективным инструментом в прогнозировании и оценке последствий иных геодинамических процессов как эндогенной, так и экзогенной природы происхождения.

Ключевые слова: имитационное моделирование, геофизические процессы, вулканическая деятельность, модели потока, лахары, ГИС, Чили, Чайтен

Для цитирования: Хайбулин А. И., Затонская А. В. Прогнозирование динамики лахарных потоков с помощью имитационного моделирования // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 185–193. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-185-193>, EDN: OGXQWV

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

Article

Prediction of Lahar flow dynamics using simulation modeling

A. I. Khaybulin[✉], A. V. Zatonskaya

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

Aydar I. Khaybulin, aidarkhaibulin@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9731-9331>

Anna V. Zatonskaya, farik26@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4877-207X>

Abstract. The study presents the testing and results of simulation modeling of surface flows caused by the results of volcanic activity. An analysis of various rheological models was carried out, with a justification for the effectiveness of the Herschel-Bulkley generalized fluid model as applied to geodynamic processes (lahars, mudflows, rockfalls, etc.). The proposed hypothesis was tested and confirmed its viability based on information about a real event – the eruption of the Chaiten volcano. The results of the study can become an effective tool in predicting and assessing the consequences of other geodynamic processes of both endogenous and exogenous origin.

Keywords: simulation modeling, geophysical processes, volcanic activity, flow models, lahars, GIS, Chile, Chaiten

For citation: Khaybulin A. I., Zatonskaya A. V. Prediction of Lahar flow dynamics using simulation modeling. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 185–193 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-185-193>, EDN: OGXQWV

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

Введение

Моделирование вулканической деятельности и её последствий носит важное прикладное и научное значение, поскольку около миллиарда человек (порядка 12% процентов населения Земли) проживают в радиусе 150 км от вулканов. Наряду с лавой, пирокластическими материалами, пеплом, лапилли, туфом и газами, высокую опас-

ность представляют также и лахары – вулканические селевые потоки, состоящие из смеси воды, горных пород, вулканических обломков. Исследования лахаровых процессов активно ведутся как в России, так и за рубежом с применением разнообразных реологических и численных моделей. В России значительные достижения связаны с изучением вулканов Камчатки. Например,



исследования на Ключевском вулкане анализируют роль сейсмичности и морфологии склонов в активизации обвально-оползневых процессов, способных инициировать лахары [1]. Для верификации моделей и оценки последствий реальных событий (например, лахара на Жупановском вулкане в 2015 г.) применяются методы дистанционного зондирования, полевые измерения стока наносов [2]. За рубежом широко используются специализированные программные комплексы (например, LAHARZ (USGS), FLO-2D, RAMMS), основанные на реологических моделях Бингама, Гершеля – Балкли или гранулярных потоках, позволяющие прогнозировать зоны затопления и оценивать эффективность защитных сооружений [3].

Несмотря на обширный методический арсенал, применение комплексного подхода с валидацией моделей на реальных событиях, особенно для территории Чили, в отечественных исследованиях представлено ограниченно. Все это обусловило необходимость провести анализ существующих методик моделирования результатов вулканической деятельности, а также на конкретном примере чилийского вулкана Чайтен представить рекомендации по снижению ущерба от последствий вулканического селевого потока на объекты социальной инфраструктуры г. Чайтен.

Методы исследования

Геофизическое моделирование может принимать различные формы, включая аналитические, численные и физические модели. Каждый тип моделей имеет как сильные стороны, так и ограничения, что обуславливает необходимость их комплексного использования для обеспечения более полного понимания геофизической системы. Однако, несмотря на многообразие подходов к моделированию, все большую популярность набирают геоинформационные модели, позволяющие интегрировать геофизические данные с пространственной информацией, обеспечивая всестороннее представление о недрах, а также их визуализацию.

Апробация возможностей геоинформационного моделирования проводилась на примере вулкана Чайтен, располагающегося в южной части Чили. Это кальдерный вулкан с куполом риолитового состава. Последнее крупное извержение датируется 2008 годом. В результате него произошло разрушение купола вулкана с образованием многочисленных лахар, достигших побережья Тихого океана [4].

Для процесса имитационного моделирования потоков лахара и проверки гипотезы было использовано специализированное программное обеспечение NEC-RAS, предназначенное для гидравлического моделирования не только течения рек, каналов и анализа наводнений, но также

реализована поддержка неньютоновских жидкостей, подходящих для моделирования и анализа динамики селевых и вулканических потоков [5].

Основными моделями, поддерживаемыми программным обеспечением являются:

- Newtonian Assumption (Ньютоновская жидкость) – предполагает, что вязкость жидкости постоянна, и напряжение сдвига линейно зависит от скорости деформации. Пример – чистая вода. Подходит для водных потоков или сильно разбавленных суспензий. Не подходит для лахаров, так как они имеют сложные реологические свойства (нелинейное поведение);
- Bingham (Бингамовская жидкость) – используется для материалов, которые ведут себя как твёрдое тело при напряжении ниже определённого предела текучести. После превышения порога материал течёт с постоянной вязкостью. Подходит для лахаров, содержащих мелкодисперсные частицы, глинистые компоненты и воду. Этот метод хорошо описывает поведение потоков до средней концентрации частиц;
- O'Brien Equation (уравнение О'Брайена) – полуэмпирический подход, учитывающий зависимость вязкости и напряжения сдвига от объёмной концентрации твёрдых частиц. Ориентирован на моделирование высококонцентрированных потоков. Подходит для лахаров с высокой концентрацией твёрдого материала, таких как вулканические потоки с крупными обломками;
- Clastic Grain-Flow (обломочный зерновой поток) – специализированный метод для моделирования потоков, в которых доминируют гранулометрические взаимодействия частиц. Может быть применён для лахаров, содержащих значительное количество крупных обломков, но чаще используется для специфических гранулометрических потоков;
- Generalized Herschel – Bulkley (генерализованная жидкость Гершеля – Балкли) – расширенная модель, объединяющая свойства Бингамовской жидкости. Позволяет моделировать широкий диапазон нелинейных реологических свойств. Наиболее универсальная модель для лахаров, особенно тех, которые имеют сложное реологическое поведение, включая широкий диапазон концентраций.

В качестве наиболее подходящих для моделирования пространственно-временного поведения лахаров экспериментально были определены модели Бингамовской жидкости и генерализованной жидкости Гершеля – Балкли, отвечающие всем необходимым условиям, а также входным параметрам моделирования, таким как:

- объёмная концентрация – доля твёрдых частиц, таких как песок, глина или щебень,



- в общем объёме смеси, выраженная в процентах. В данном случае объёмная концентрация твёрдых частиц составила 30%. Связано это с тем, что во время извержения вулкана шли сильные дожди (20 мм осадков), спровоцировавшие лахаровый поток;
- метод наполнения – используется для учёта дополнительного объёма потока, вызванного высокой концентрацией твёрдых частиц. Это подход к моделированию, при котором общий объём потока увеличивается за счёт добавления твёрдых частиц, что влияет на гидравлические характеристики, такие как расход и глубина потока;
 - постоянный предел текучести – минимальное напряжение сдвига, которое необходимо приложить к смеси, чтобы она начала течь, измеряющееся в паскалях. Это характеристика неньютоновских жидкостей, таких как грязевые потоки, которые могут вести себя как твёрдое тело при низких напряжениях и как жидкость при превышении предела текучести. В данном случае постоянный предел текучести взят в 100 Па;
 - вязкость смеси – мера сопротивления смеси течению, вызванная внутренним трением между частицами и жидкостью. Для данного моделирования показатель вязкости смеси равен 1;
 - показатель течения (n) – параметр, определяющий тип реологического поведения жидкости, которое делится на: псевдопластичное поведение (вязкость уменьшается с ростом скорости сдвига, типично для лахаров с мелкими частицами, таких как Чайтен, $n < 1$), Бингамовская жидкость (вязкость постоянна после преодоления предела текучести, $n = 1$), дилатантное поведение (вязкость увеличивается с ростом скорости сдвига, $n > 1$). Для лахаров показатель течения меньше единицы, в данном случае показатель равен 0.5 [6, 7].

По оценкам экспертов, объём потока лахара, затопившего г. Чайтен, варьируется от 3 до 8 млн м³ [8]. Из-за отсутствия эталонного контура потока лахара он был оцифрован на основе космических снимках данного события [9].

На основе цифровой модели рельефа (ЦМР) ALOSPALSAR с разрешением в 10 м было проведено моделирование двух потоков лахаров [10].

Рис. 1 иллюстрирует имитационные модели потоков лахара методами Бингамовской жидкости и генерализованной жидкости Гершеля – Балкли.

Базируясь на метриках бинарной классификации, был проведён сравнительный анализ полученных моделей, где основными показателями выступили:

$TP_{\text{truepositive}} = \frac{A_s \cap A_r}{A_s \cup A_r}$ – область пересечения между смоделированным и реальным потоками

лахара; чем ближе значение к единице, тем больше смоделированный поток лахара соответствует реальному потоку;

$FP_{\text{falsepositive}} = \frac{A_s - (A_s \cap A_r)}{A_s \cup A_r}$ – соответствует области пересимулированного (over-simulated) потока лахара (вышедший за границы реальной лавы), измеряется от нуля до единицы; чем ближе значение к единице, тем больше площадь пересимулированной области;

$FN_{\text{falsepositive}} = \frac{A_r - (A_s \cap A_r)}{A_s \cup A_r}$ – соответствует области недосимулированного (ориг. under-simulated) потока лахара; чем ближе значение к нулю, тем лучше, так как большая часть реального потока была хорошо охвачена моделью;

A_r и A_s – область, охваченная реальным и смоделированным потоком.

Сумма трёх индексов равна единице [11].

Расчет значений элементов матрицы по модели Бингамовской жидкости выявил следующее: $TP_{\text{truepositive}} \approx 0.496$, $FP_{\text{falsepositive}} \approx 0.214$, $FN_{\text{falsepositive}} \approx 0.290$. Для модели генерализованной жидкости Гершеля – Балкли: $TP_{\text{truepositive}} \approx 0.568$, $FP_{\text{falsepositive}} \approx 0.253$, $FN_{\text{falsepositive}} \approx 0.179$.

Для более детального сравнительного анализа результатов различных сценариев моделирования был разработан взвешенный композитный балл:

$$CS = TP \cdot ((1 - FP)^{1/2}) \cdot ((1 - FN)^2) \cdot 100.$$

Этот балл использует все 3 индекса (TP , FP , FN), каждый из которых важен для общего сравнения смоделированного лахара с настоящим. Когда смоделированная область полностью соответствует реальной, композитный балл равен 100 (т. е. $TP = 1$, FP и $FN = 0$). Когда она полностью не соответствует фактическому потоку, композитный балл равен 0 (т. е. $TP = 0$ и $FP + FN = 1$) [12].

На основании расчёта взвешенного композитного балла стало очевидно большая эффективность модели генерализованной жидкости Гершеля – Балкли (33 балла, тогда как для модели Бингамовской жидкости – 22) (рис. 2).

Кроме вышеуказанных показателей, для чистоты выбора наиболее подходящей модели также были рассчитаны и сравнены такие показатели, как охват заполненной территории ($\Omega_{\text{Тм}}$), нормализованная сумма переоценок (Δ_0) и недооценок (Δ_u), а также кумулятивная метрика (C_m) [13] (табл. 1).

Из табл. 1 и рис. 2 очевидно, что модель на основе генерализованной жидкости Гершеля – Балкли обеспечивает более точное совпадение с реальными данными. Это подтверждается результатами вычислений 6 из 8 метрик: TP , FN , CompositeScore, $\Omega_{\text{Тм}}$, Δ_0 и C_m .

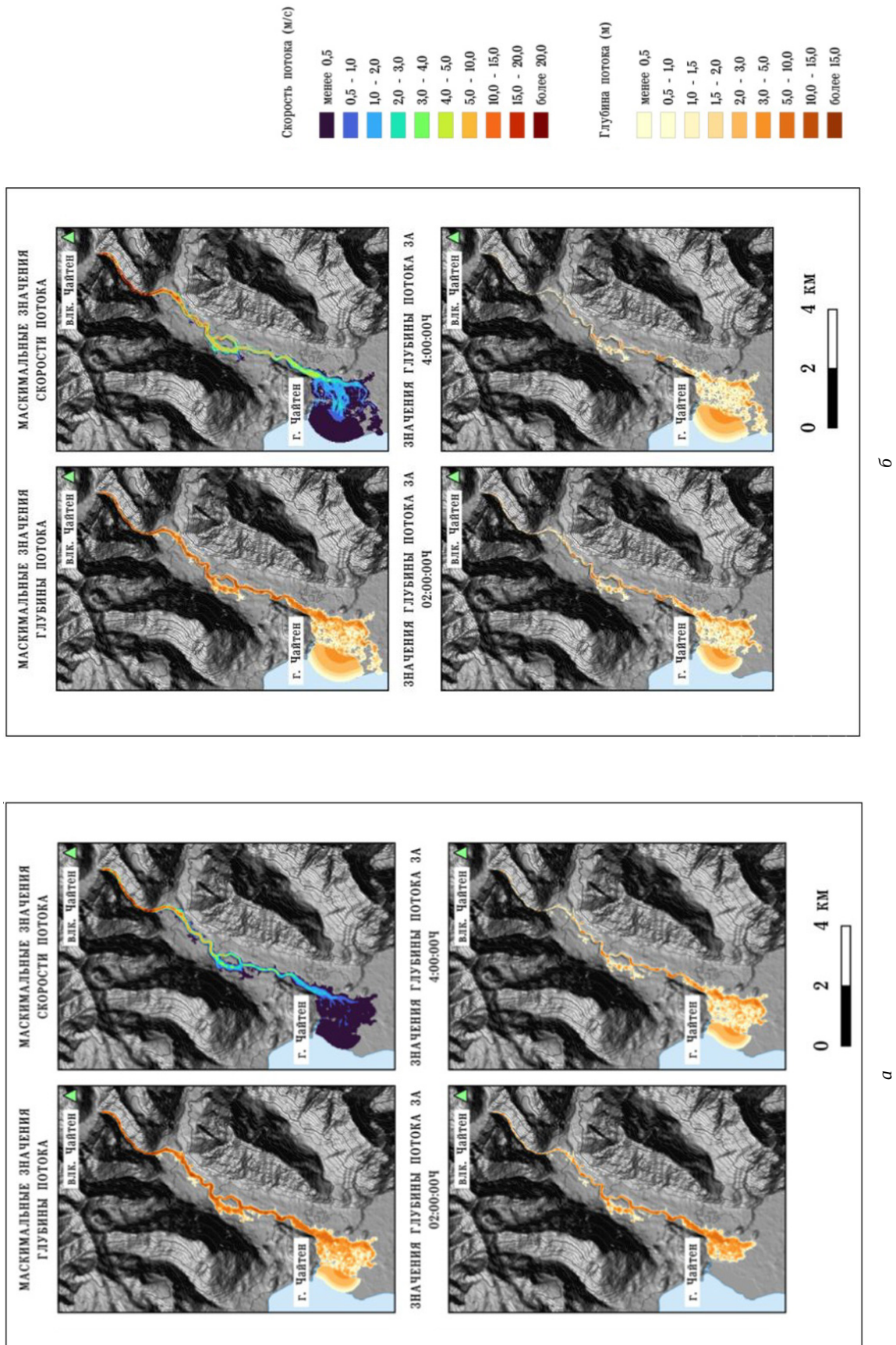


Рис. 1. Модели потоков лахара методами Бингамовской жидкости Гершеля – Балкли (б) (цвет онлайн)

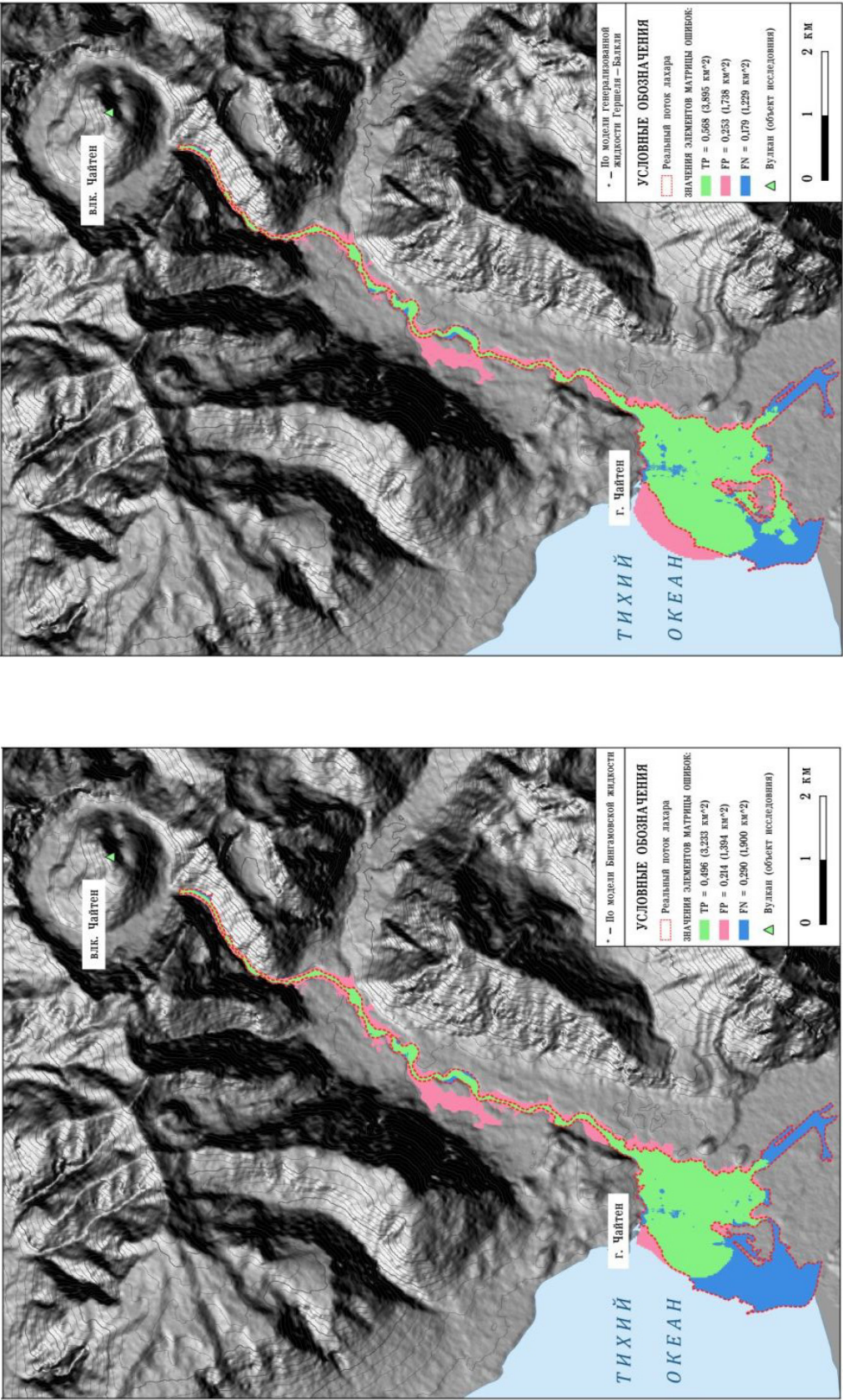


Рис. 2. Значения элементов матрицы по смоделированному потоку лахара по моделям Бингамовской жидкости (а) и генерализованной жидкости Гершеля – Балкли (б) (цвет онлайн)



Дальнейшие расчёты потенциального ущерба инфраструктуры проводились на базе модели генерализованной жидкости Гершеля – Балкли.

Таблица 1

Сравнительная таблица двух смоделированных потоков моделями Бингамовской жидкости и генерализованной жидкости Гершеля – Балкли

Метрика	Метод	
	Бингам	Гершеля – Балкли
$TP_{\text{truepositive}}$	0.496	0.568
$FP_{\text{falsepositive}}$	0.214	0.253
$FN_{\text{falsenegative}}$	0.290	0.179
CompositeScore	22	33
Ω_{Tm}	0.504	0.432
Δ_o	0.343	0.717
Δ_u	0.298	0.151
C_m	0.377	0.469

Общее число зданий, располагающихся в городской черте, – 375, среди которых:

- 28 – высота затопления менее 0.30 м;
- 45 – высота затопления от 0.30 до 0.75 м;
- 88 – высота затопления от 0.75 до 1.50 м;
- 156 – высота затопления более 1.50 м;
- 62 – не подверглись воздействию смоделированного потока.

По оценкам специалистов, в действительности около 90% всех построек города были под воздействием потока [8]. Под потенциальной угрозой затопления модели оказалось 83.5% зданий – 313 единиц. Разница между действительным и смоделированным потоком составила 6.5%.

Методом доверительных отношений для частот и долей по Аврааму Вальду доверительный интервал для реального события составил от 86.96 до 93.04%, тогда как для модели – от 79.74 до 87.26% [14]. Перекрытие интервалов в районе 87% указывает на совместимость модели с реальностью. Данный результат показывает, что модель достаточно хорошо предсказывает зоны воздействия на постройки (рис. 3).

Рассмотренный ранее сценарий проводил моделирование ситуации, при которой лахар перемещается по рельефу без инженерных преград, что позволило оценить потенциальный ущерб в наихудшем случае. Однако во многих вулканических районах применяются защитные сооружения, способные замедлять и перенаправлять потоки, ограничивая их воздействие [15]. На рис. 4 представлен сценарий, показывающий распространение смоделированного потока с добавлением сдерживающих барьеров.

Обратимся к рис. 5, чтобы провести подсчёт зданий, оказавшихся под потенциальной угрозой затопления модели.

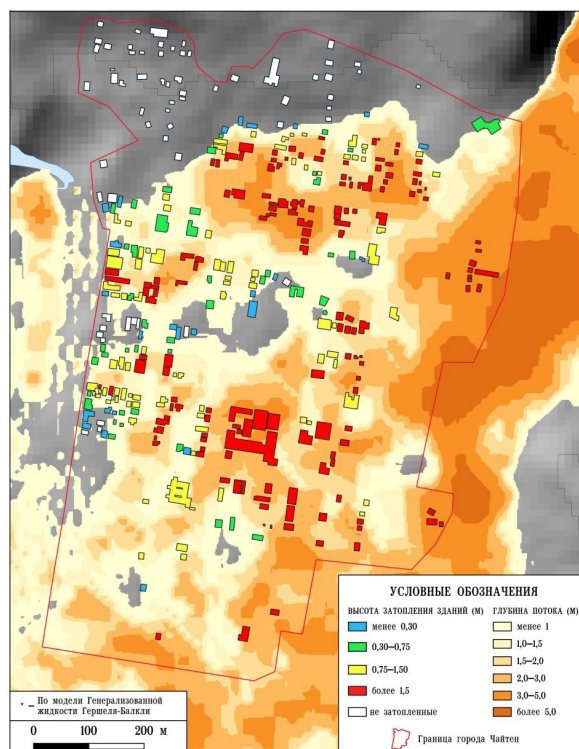


Рис. 3. Карта затопления г. Чайтен лахаром по модели генерализованной жидкости Гершеля – Балкли (цвет онлайн)

Общее число зданий, входящих на территорию города, – 375, среди которых:

- 9 – затоплено от 0 до 0.30 м;
- 7 – затоплено от 0.30 до 0.75 м;
- 9 – затоплено от 0.75 до 1.50 м;
- 9 – затоплено от 1.50 м;
- 341 – не подверглись воздействию смоделированного потока.

Под потенциальной угрозой затопления модели оказалось 9% зданий – 34 единицы.

Таблица 2

Сравнительная таблица двух сценариев затопления города потоком без учёта и с учётом защитных сооружений

Воздействие лахара на здания	Количество зданий	
	без барьеров	с барьерами
Затопление от 0 до 0.30 м	28	9
Затопление от 0.30 до 0.75 м	45	7
Затопление от 0.75 до 1.50 м	88	9
Затопление от 1.50 м	156	9
Не подверглись воздействию	62	341
Процент от общего числа	83.5	9

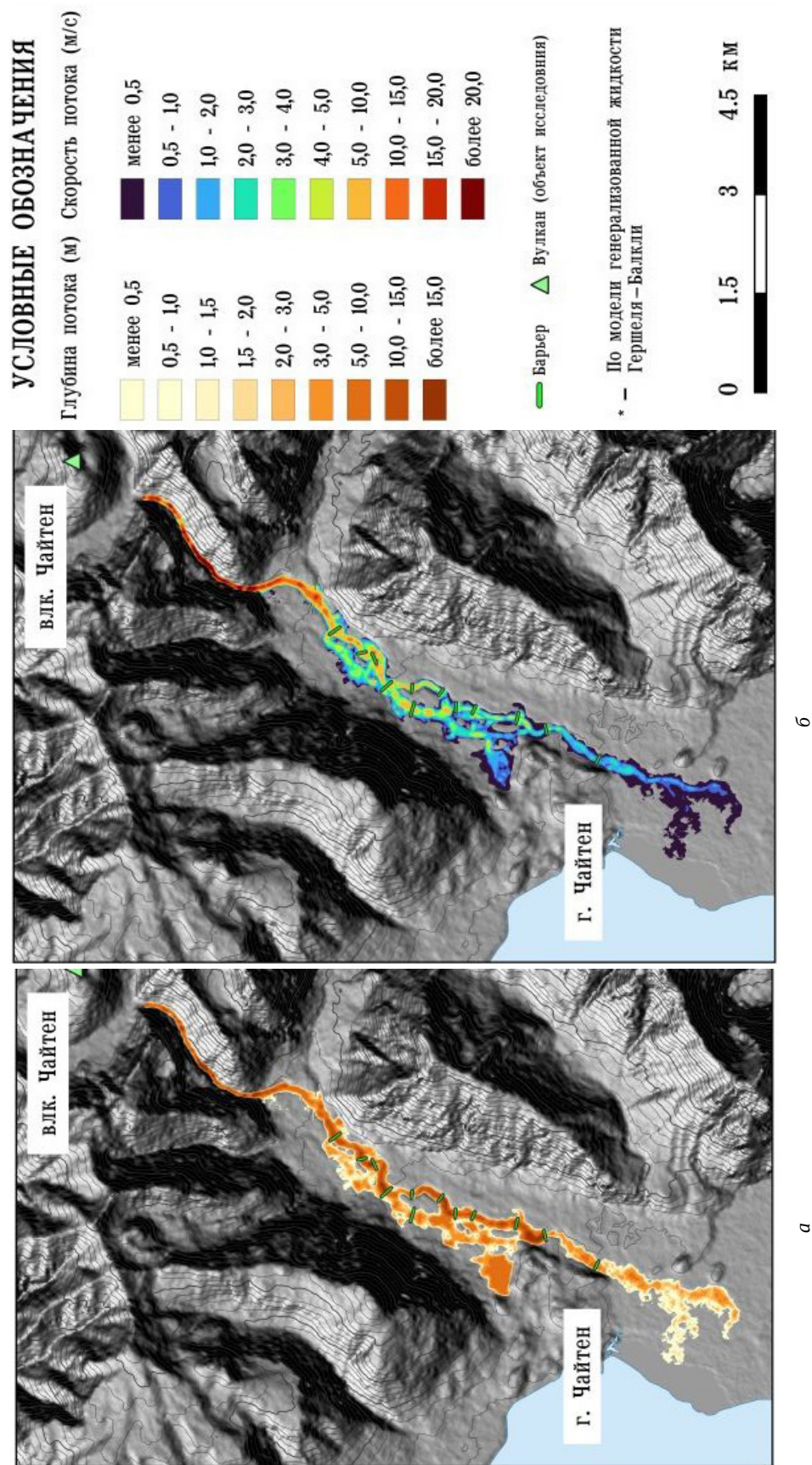


Рис. 4. Смоделированный поток лахара с использованием защитных сооружений: а – максимальные значения глубины потока, б – максимальные значения скорости потока (цвет онлайн)

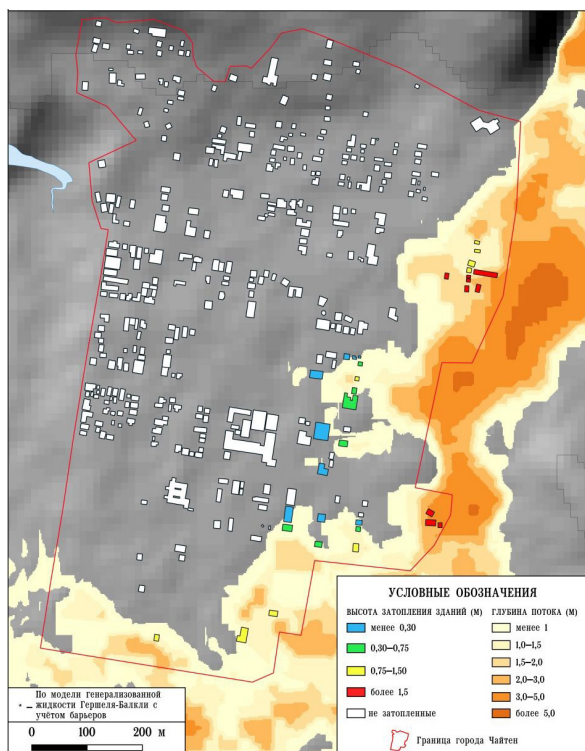


Рис. 5. Карта затопления г. Чайтен лахаром с использованием защитных сооружений по модели генерализованной жидкости Гершеля – Балкли (цвет онлайн)

Сравнение двух моделей без защитных барьеров и с их учётом показало значительное сокращение зоны затопления и затопленных зданий при применении инженерных сооружений. В сценарии без барьеров город подвергся гораздо более масштабному затоплению, тогда как внедрение защитных конструкций позволило уменьшить глубину и площадь воздействия лахара.

Тем не менее, даже при наличии барьеров частичное подтопление города сохраняется, что указывает на необходимость дальнейшего проектирования защитных решений.

Выводы

Изучение и имитационное моделирование вулканической деятельности играют ключевую роль в понимании механизмов извержений и разработке мер защиты населения и окружающей среды.

Применение современных технологий для проведения камерального моделирования потоков лахара доказало эффективность использования реологических моделей с последующим определением мест установки защитных сооружений, что, в свою очередь, способно оказать значительное влияние на прогнозируемые характеристики лахаров, такие как глубина и скорость потока. Результаты исследования подчёркивают значимость моделирования для прогнозирования

вулканических извержений и разработки стратегий минимизации их последствий.

Модель применима для прогнозирования лахаров на других андийских вулканах (Чили, Эквадор, Колумбия) со схожими условиями. Для успешного применения модели необходимы следующие входные данные: цифровая модель рельефа высокого разрешения (≤ 10 м) для точного задания морфологии русел, параметры лахарового потока. В результате моделирования получают следующие ключевые выходные данные: пространственное распределение потока с глубинами и скоростями потока; метрики точности модели; количество и расположение зданий, попадающих в зону затопления, с классификацией по глубине затопления.

Библиографический список

1. Черкашина Р. И., Муравьева Я. Д., Дубровская И. К. Сейсмический фактор в активизации эндогенно-экзогенных процессов на вулкане Ключевской (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2020. № 2. С. 55–68. <https://doi.org/10.31857/S0203030620020029>, EDN: QLYTWP
2. Чалов С. Р., Цыпленков А. С., Школьный Д. И., Прокопьева К. Н., Бахарева Е. И. К оценке возможного влияния материкового стока на гибель гидробионтов в Авачинском заливе Тихого океана (Камчатка) // Известия Русского географического общества. 2022. Т. 154, № 4. С. 69–84. <https://doi.org/10.31857/S0869607122040048>, EDN: YNPFBT
3. Warwick R., Williams-Jones G., Kelman M., Witter J. A scenario-based volcanic hazard assessment for the Mount Meager Volcanic Complex, British Columbia // Journal of Applied Volcanology. 2022. Vol. 11. Art. 5. <https://doi.org/10.1186/s13617-022-00114-1>, EDN: LYAICN
4. Estudio del Impacto Territorial – Ambiental Generadopor la Erupción del Volcán Chaitén. URL: https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/100349/0431_aq-gonzalez_ma.pdf?sequence=3&isAllowed=y (дата обращения: 26.03.2025).
5. HEC-RAS: Its history, benefits, drawbacks, and alternatives. URL: <https://www.autodesk.com/blogs/water/2023/10/25/hec-ras-its-history-benefits-drawbacks-and-alternatives/> (дата обращения: 26.03.2025).
6. HEC-RAS: Non-Newtonian Methods URL: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasmuddebris/non-newtonian-user-s-manual/non-newtonian-transport-editor/non-newtonian-methods> (дата обращения: 26.03.2025).
7. Gibson S., Floyd I., Sánchez A., Heath R. Comparing single-phase, non-Newtonian approaches with experimental results: Validating flume-scale mud and debris flow in HEC-RAS // Earth Surface Processes. 2020. Vol. 46, iss. 3. P. 540–553. <https://doi.org/10.1002/esp.5044>, EDN: MLYGFA
8. Pierson T., Major J., Amigo Á., Moreno H. Acute sedimentation response to rainfall following the explosive



- phase of the 2008–2009 eruption of Chaitén volcano, Chile // *Bulletin of Volcanology*. 2013. Vol. 75. P. 5075–5094. <https://doi.org/10.1007/s00445-013-0723-4>, EDN: DXVUGL
9. Chaiten Volcano, Chile. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/37348/chaiten-volcano-chile> (дата обращения: 27.03.2025).
10. ASF Data Search – University of Alyaska System. URL: <https://search.asf.alaska.edu/#/> (дата обращения: 26.03.2025).
11. Mossoux S., Saey M., Bartolini S., Poppe S., Canters S., Kervyn M. Q-LAVHA: A flexible GIS plugin to simulate lava flows // *Computers & Geosciences*. 2016. Vol. 97. P. 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.09.003>, EDN: XZLAPP
12. Q-LAVHA 3.0: MANUAL. URL: https://fard.research.vub.be/sites/default/files/2023-09/Usersguide_Q-LavHA_V3_2020.pdf (дата обращения: 26.03.2025).
13. Barnhart K. R., Jones R. P., George D. L., McArdell B. W., Rengers F. K., Staley D. M., Kean J. W. Multi-Model Comparison of Computed Debris Flow Runout for the 9 January 2018 Montecito, California Post-Wildfire Event // *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2021. Vol. 126, iss. 12. P. 1464–1484. <https://doi.org/10.1029/2021JF006245>, EDN: QVTZHI
14. Гржибовский А. М. Доверительные интервалы для частот и долей // *Экология человека*. 2008. № 5. С. 57–60. EDN: IJTRKV
15. Risk reduction by mitigation structures – Change of the paradigm in risk assessment of volcanic lahar flows of the Cotopaxi volcano in Ecuador. URL: https://www.researchgate.net/publication/351284395_Risk_reduction_by_mitigation_structures_-Change_of_the_paradigm_in_risk_assessment_of_volcanic_lahar_flows_of_the_Cotopaxi_volcano_in_Ecuador (дата обращения: 26.03.2025).

Поступила в редакцию 17.05.2025; одобрена после рецензирования 26.05.2025;

принята к публикации 29.05.2025; опубликована 30.09.2025

The article was submitted 17.05.2025; approved after reviewing 26.05.2025;

accepted for publication 29.05.2025; published 30.09.2025



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 194–200

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 194–200

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-194-200>, EDN: QMVWVB

Научная статья

УДК 630.231:528.854



Автоматическое определение лесных пород методами машинного обучения на основе обработки спутниковых снимков

М. В. Огнева, П. А. Шлапак[✉], А. А. Васильев, Д. С. Моисеев

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

Огнева Марина Валентиновна, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой информатики и программирования, mv_ogneva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9828-7681>

Шлапак Павел Александрович, старший преподаватель кафедры геоморфологии и геоэкологии, henryxiv@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6418-8749>

Васильев Александр Алексеевич, магистрант факультета компьютерных наук и информационных технологий, guest838@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2126-6427>

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

Аннотация. Мониторинг состояния и видового разнообразия древесных пород играет значительную роль в рамках менеджмента лесных ресурсов. Появление мультиспектральных спутниковых снимков высокого качества открывает возможности для использования информации о вегетации растительности на определенной территории в течение длительного периода времени, извлекаемых из фотографий, в дополнение к данным, получаемым в результате полевых исследований. В работе рассматривается использование снимков со спутника Sentinel 2 для автоматизированной разметки на примере территории памятника природы «Природный парк Кумысная Поляна», расположенного в окрестностях г. Саратова. В качестве инструментов автоматизации использовались методы машинного обучения с учителем. В работе было описано три подхода, различающиеся используемыми алгоритмами, а также способами структурирования получаемой информации со спутниковых снимков. В результате работы тестовая часть исследуемой территории была классифицирована по семи видам деревьев, включающим в себя выделы с доминированием наиболее распространенных пород. В дальнейшем подобный подход к автоматизации разметки лесных карт потенциально позволит увеличить интервал обновления данных в рамках полевых исследований и повысить их эффективность.

Ключевые слова: мониторинг леса, Природный парк Кумысная Поляна, машинное обучение, логистическая регрессия, метод опорных векторов, метод ближайших соседей, алгоритм случайный лес, XGBoost, CatBoost, LightGBM, сверточные нейронные сети, LSTM

Для цитирования: Огнева М. В., Шлапак П. А., Васильев А. А., Моисеев Д. С. Автоматическое определение лесных пород методами машинного обучения на основе обработки спутниковых снимков // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 194–200. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-194-200>, EDN: QMVWVB

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

Article

Automatic identification of forest species using machine learning methods based on satellite image processing

M. V. Ogneva, P. A. Shlapak[✉], A. A. Vasilyev, D. S. Moiseev

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

Marina V. Ogneva, mv_ogneva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9828-7681>

Pavel A. Shlapak, henryxiv@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6418-8749>

Alexander A. Vasilyev, guest838@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2126-6427>

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

Abstract. Monitoring of the condition and species diversity of tree species plays a significant role in the forest resource management. The emergence of high-quality multispectral satellite images opens up opportunities for using information about vegetation in a certain area over a long period of time extracted from images in addition to data obtained as a result of field research. The paper considers the use of satellite images from Sentinel 2 for automated classification using the example of the territory of the natural monument "Kumysnaya Polyana Nature Park" located in the vicinity of Saratov. Machine learning methods with a teacher were used as automation tools. The paper describes three approaches, differing in the algorithms used, as well as ways of structuring the information obtained from satellite images. As a result of the work, the test part of the study area was classified into seven types of trees, including regions dominated by the most common species. In the



future, a similar approach to automating the marking of forest maps will potentially increase the data update interval in field research and increase their effectiveness.

Keywords: forest monitoring, Kumysnaya Polyana Nature Park, machine learning, logistic regression, SVM, KNN, decision tree, algorithm random forest, XGBoost, CatBoost, LightGBM, CNN, LSTM

For citation: Ogneva M. V., Shlapak P. A., Vasilyev A. A., Moiseev D. S. Automatic identification of forest species using machine learning methods based on satellite image processing. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 194–200 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-194-200>, EDN: QMVWVB

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

Введение

Анализ состава древесных пород является неотъемлемой частью задачи мониторинга состояния лесных территорий. Данные о таком распределении позволяют получать информацию о влиянии различных биотических и абиотических факторов, таких как вырубки, засухи, пожары, на устойчивость лесной экосистемы, обновлять информацию об ареале охраняемых пород, актуализировать лесные карты прошлых лет, а также оценивать динамику изменения лесного состава. Основным источником информации для такого анализа являются полевые исследования. С повышением доступности и качества мультиспектральной спутниковой съемки стало возможным использование дополнительного источника информации в виде снимков древесно-кустарниковой растительности на некоторой территории в течение заданного промежутка времени в рамках анализа типов древесных пород. Тем не менее, разметка регионов по лесным породам на основании ранее описанных источников информации является трудоемкой задачей, требующей длительного времени работы специалиста. Автоматизация разметки лесных карт с использованием данных об эталонных участках, полученных в результате полевых исследований, является актуальной научно-практической задачей.

Цель работы – создать модель машинного обучения, способную автоматизировать процесс разметки территорий по лесным породам с помощью информации, получаемой со спутниковых снимков. Для достижения поставленной цели, были выполнены следующие задачи: 1) проанализировать состав пород исследуемой территории и выделить регионы с долей доминирующей древесной породы не менее 80%; 2) осуществить отбор подходов к обработке данных и автоматизации, способных обеспечить точность получаемой разметки не менее 0.95; 3) выполнить автоматизированную разметку эталонной регионов исследуемой территории и выявить участки, в рамках которых автоматизированная разметка выполняется с ошибкой.

В качестве объекта исследования была выбрана территория памятника природы «Природный парк Кумысная Поляна», расположенного в западной части г. Саратова, на Лысогорском плато и его склонах.

Предшествующие исследования

Использование математических методов обработки данных дистанционного зондирования в науках о Земле имеет весьма широкое распространение. Алгоритмы различной сложности и уровня используются в самых различных областях: в сельском хозяйстве [1–3], в исследованиях рельефа для различных задач [4–6], в мониторинге древесно-кустарниковых насаждений [7–10].

Существует достаточно большое количество работ российских и зарубежных авторов, рассматривавших задачу автоматизации идентификации древесных пород с помощью методов машинного обучения и данных со спутниковых снимков. Так, представляет интерес исследование [7], в котором авторами используется метод интерполяции дат для борьбы с облачностью и другими причинами возникновения некорректных значений в каналах получаемых изображений. На специально интерполированных наблюдениях, содержащих значения спектральных каналов, извлеченных из спутниковых снимков Sentinel-2, в работе проводится сравнительный анализ эффективности многослойного персептрона, сверточной нейронной сети, кодировщика на основе механизма внимания и алгоритма случайного леса в рамках задачи классификации лесов в центральной Франции.

Помимо этого проводилось исследование [8], связанное с использованием нейронных сетей для классификации изображений с целью определения доминирующих лесных пород в рамках территории Цинъюаня. В данной работе оценивалось влияние используемой комбинации каналов на качество предсказаний модели, а также использовалось разделение изображения на географические локации размером 64×64 .

В исследовании [9] проводится сравнение моделей случайного леса и генеративного топографического картирования в рамках задачи идентификации тринадцати лесных пород на территории Раифского леса Волжско-Камского заповедника. Авторы предложили способ взвешенной оценки важности значений каналов при использовании группировки значений спутниковых снимков за сезон в зависимости от месяца съемки исходного изображения.

В работе [10] был представлен подход, связанный с использованием для классифицирования восьми древесных пород сегментационной модели Unet++ на множестве фрагментов 400×400



изображений спутниковых снимков Sentinel-2, для которых было осуществлено повышение разрешения с использованием дополнительных данных с других спутников.

Материалы и методы исследования

Основой для классификации леса на данной территории являлись мультиспектральные снимки со спутника Sentinel-2, полученные из открытых источников, сделанные с мая по сентябрь 2024 г. в различное время. Каждый из используемых снимков целиком покрывает исследуемую территорию. Помимо этого, использовалась разметка территории памятника природы «Природный парк Кумысная Поляна» по лесотаксационным выделам, выполненная в программном обеспечении QGIS, в которой содержались только регионы с долей доминирующей древесной породы не менее 80% (рис. 1).

В рамках работы всему выделу назначалась метка класса, соответствующая названию доми-

нирующей древесной породы. В исследовании участвовали выделы семи различных пород: ясень, дуб, береза, клен, сосна, липа и осина. В качестве алгоритмов для выполнения автоматизации разметки были выбраны методы машинного обучения с учителем. В рамках дальнейшей работы использовался язык программирования Python, а также дополнительные библиотеки, связанные с работой с данными в табличном формате, с реализацией алгоритмов обучения с учителем, с визуализацией данных. Всего в данной работе было апробировано три подхода. Для всех трех подходов производилось извлечение позиций пикселей, относящихся к каждому из классов древесных пород соответственно. Для этого исходный многоклассовый вектор с установленным составом древесной растительности на территории памятника природы «Природный парк Кумысная Поляна» был разделен на семь одноклассовых, которые затем накладывались на специально подготовленное изображение территории, сохраняющее исходные координаты снимка. Это выполнялось с целью на-

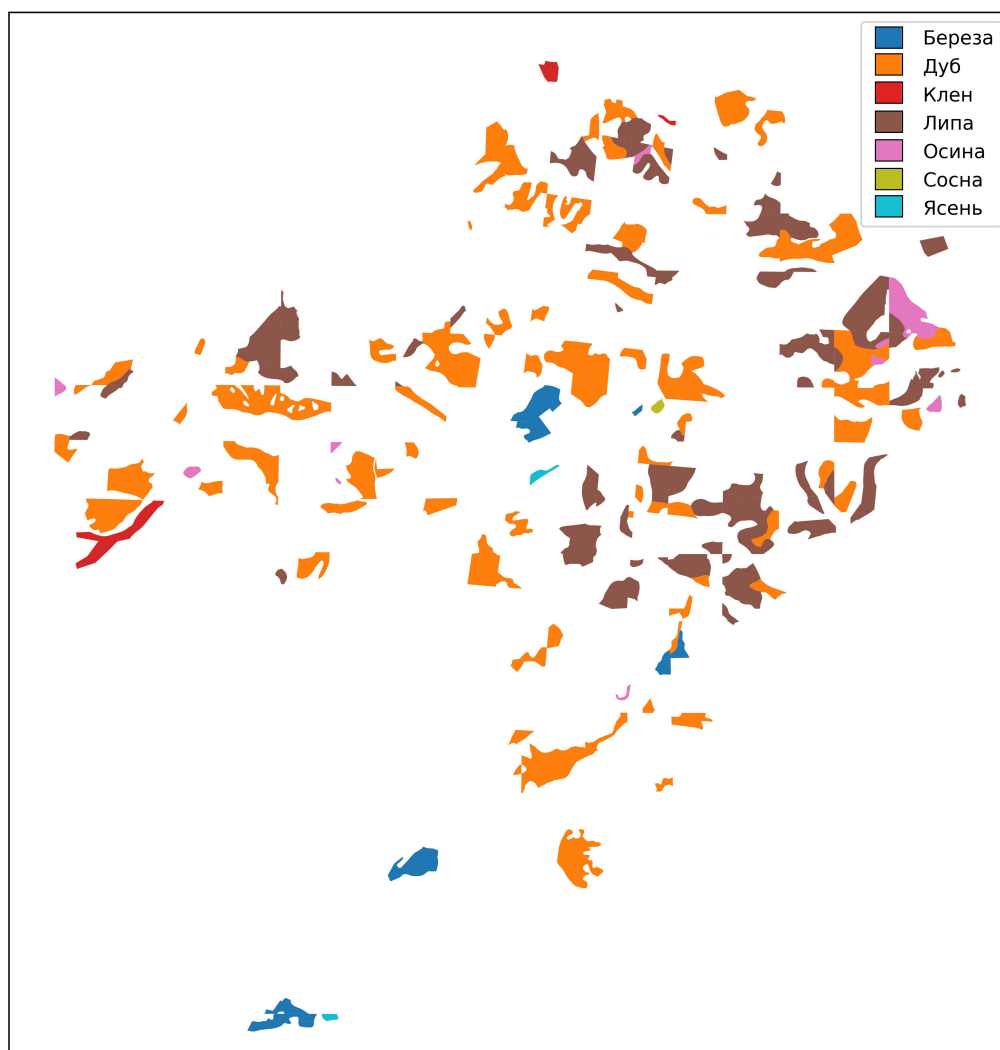


Рис. 1. Общая маска целевых областей древесных пород с цветовой индикацией принадлежности к классу (цвет онлайн)



ложения вектора на растр с учетом географической позиции. Рассмотрим несколько подходов с разными концепциями обработки и структурирования данных.

1. Независимые пиксели. Для первого подхода каждый из полученных на предыдущем шаге пикселей считался новым объектом, признаками которого являлись значения в спектральных каналах. После описанной обработки данных был получен набор, включающий в себя 259790 образцов класса дуб, 163300 образцов класса липа, 24120 образцов класса береза, 14440 образцов класса осина, 10090 образца класса клен, 1610 образцов класса ясень, 730 образцов класса сосна. Перед обучением моделей было проведено разделение данных на тренировочную и тестовую выборки, а также стандартизация данных. С целью борьбы с несбалансированностью использовались веса для классов в моделях, пропорциональные количеству объектов в наборах данных. Использовались следующие модели машинного обучения: логистическая регрессия, метод ближайших соседей, дерево решений, случайный лес, а также градиентный бустинг в виде реализаций LightGBM и GradientBoostingClassifier.

2. Группировка разновременных пикселей по пространственному положению. Во втором подходе на основании того, что спутниковые снимки иллюстрируют определенную территорию в течение длительного периода времени, пиксели с одинаковым положением на различных изображениях были сгруппированы в один объект. Для полученного набора данных справедливы аналогичные пропорции распределения объектов по классам. Перед обучением моделей выполнялось разделение на тренировочную и тестовую выборку в соотношении 0.67 к 0.33 и стандартизация данных. Для нейронных сетей из тренировочного набора было дополнительно извлечено 10% данных в валидационную выборку с целью предотвращения переобучения моделей. Аналогично предыдущему подходу для моделей использовались веса классов с целью борьбы с несбалансированностью набора данных. В качестве алгоритмов машинного обучения использовались метод ближайших соседей (KNN), дерево решений (Decision Tree), алгоритм случайный лес (RF), логистическая регрессия (LogReg), градиентный бустинг в виде реализаций LightGBM, CatBoost, XGBoost, GradientBoostingClassifier, одномерные нейронные сети на основе полносвязных слоев (MLP), сверточной архитектуры (CNN), а также двунаправленных слоев с долгой краткосрочной памятью (LSTM).

3. Выделение окрестностей пикселей. В рамках третьего подхода использовался единственный снимок, сделанный в мае 2024 г. Для каждого пикселя, принадлежащего к одному из классов древесных пород, конструировалось изображение его окрестности размером 19×19 пикселей. Исходные двенадцать каналов получа-

емого изображения сжимались до одного с помощью анализа главных компонент (PCA). Затем полученный набор фотографий с метками классов был разделен на тренировочную и тестовую части. Количество объектов каждого класса в данном подходе полностью идентично предыдущему. В качестве модели использовалась сверточная нейронная сеть, состоящая из четырех блоков двумерной свертки и слоя агрегации с использованием функции максимума, после которых были добавлены еще один слой свертки, полносвязный слой из 30 нейронов и выходной слой.

Результаты и их обсуждение

Для наилучшей модели в рамках первого подхода были получены метрики accuracy – 0.88, а также макроусредненные метрики precision – 0.95, recall – 0.67 и F1-score – 0.77. Низкое качество классификации при использовании данного подхода может быть обусловлено отсутствием достаточного количества информации для эффективного прогнозирования древесной породы в двенадцати каналах одного пикселя вследствие сильного спектрального сходства определенных пород (таблица).

Качество моделей в рамках второго подхода на тестовой выборке

Модель	accuracy	precision	recall	F1-score
Ансамбль LightGBM, RF, XGBoost, CatBoost	0.99	0.99	0.96	0.98
XGBoost	0.99	0.99	0.96	0.97
LightGBM	0.99	0.99	0.96	0.97
CatBoost	0.97	0.96	0.97	0.96
RF	0.98	0.99	0.94	0.96
MLP	0.97	0.97	0.96	0.97
Decision Tree	0.96	0.94	0.90	0.92
Bidirectional LSTM	0.95	0.94	0.88	0.91
1D-CNN	0.95	0.96	0.81	0.87
GradientBoostingCLF	0.91	0.96	0.85	0.90
SVM	0.81	0.73	0.89	0.79
KNN	0.90	0.85	0.70	0.75
LogReg	0.66	0.44	0.83	0.52

Второй подход показал наилучшие результаты классификации, поэтому остановимся на нем более подробно. Для моделей данного подхода были получены аналогичные метрики.

Подход с группировкой пикселей во времени в рамках сезона позволил значительно улучшить общее качество классификации моделей за счет получения большего объема связанных между собой наблюдений для одного объекта. Модель логистической регрессии показала наихудшее качество среди всех моделей вследствие наличия выраженной зависимости в данных. Модели сверточной



нейронной сети и нейронной сети со слоями долгой краткосрочной памяти показали недостаточные для дальнейшего использования результаты, что может быть связано с наличием в наблюдениях блоков по двенадцать каналов, не являющихся

упорядоченными во времени. Лучше всего показали себя модели на основе деревьев решений и ансамблей. Оценивая маску ошибок наилучшей модели для всего исследуемого региона (рис. 2), можно сделать вывод, что большинство ошибок

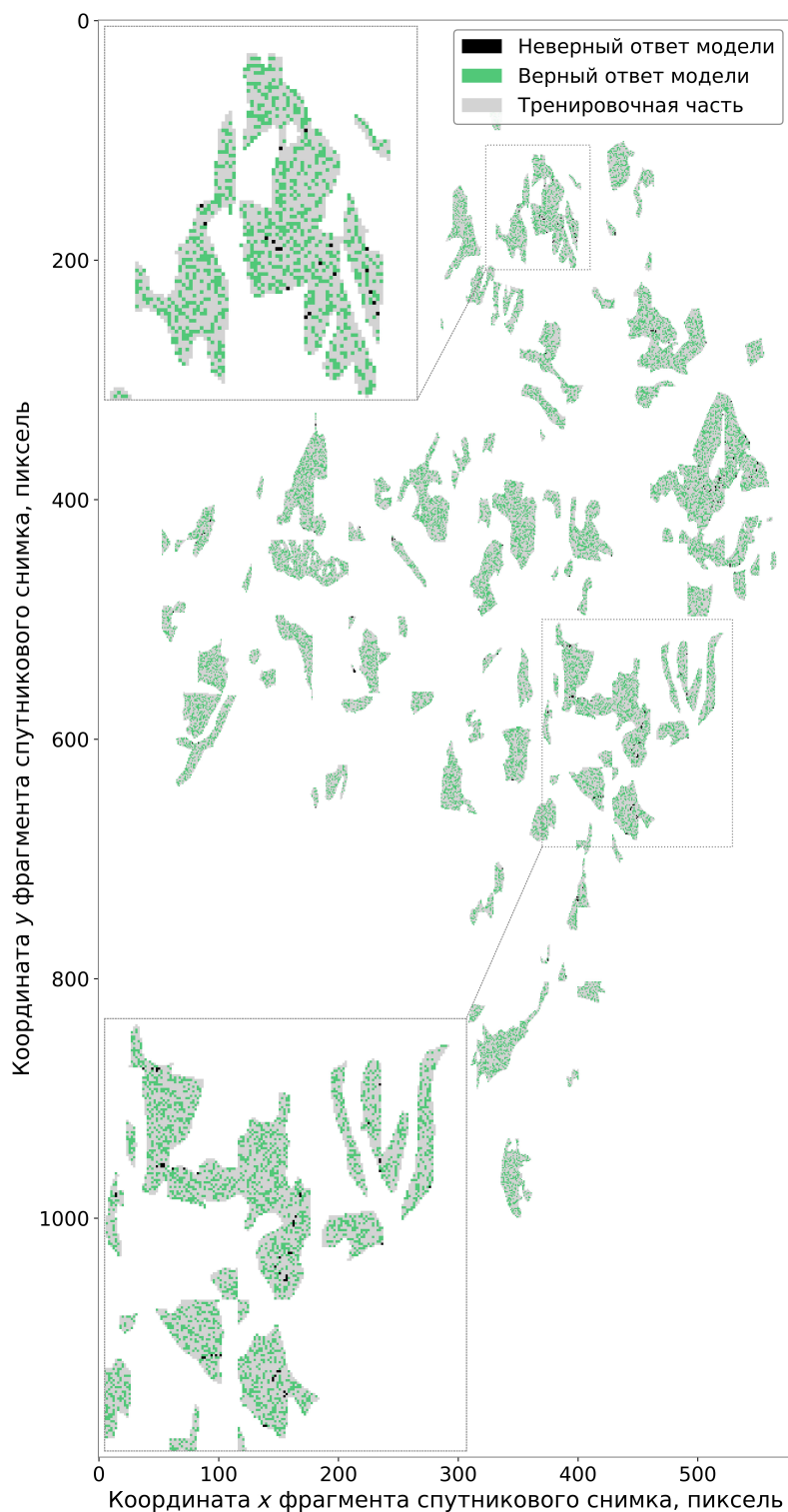


Рис. 2. Маска ошибок для ансамбля наилучших моделей в рамках подхода с группировкой разновременных пикселей по пространственному положению (цвет онлайн)



сосредоточены на границах пересечения выделов различных пород.

Так, например, смешивание осины в предсказаниях с липой и дубом выражено в регионах с их близким расположением. Для большинства выделов, обособленных от используемых в разметке территорий других лесных пород, характерно смешивание с самым многочисленным классом – дубом.

На основании матрицы ошибок для результатов наилучшей модели (рис. 3) можно сделать вывод, что древесные породы, такие как ясень, клен и сосна, для которых в выборку попали регионы, не соседствующие с другими используемыми выделами, не попадают в предсказания для других классов.

Самый малочисленный класс ясеня в рамках данной задачи модель чаще всего ошибочно идентифицирует с классами березы и дуба. Самое большое количество ошибок характерно для разделения самых многочисленных классов липы и дуба, что скорее всего является следствием наличия множества смежных выделов соответствующих пород.

Описанные закономерности могут быть вызваны трудностями модели при прогнозировании древесной породы вследствие наличия погрешностей исходной разметки или ошибок самого алгоритма. Следует отметить, что для дальнейшего повышения качества работы моделей, необходимо использовать более точную разметку лесных

пород в рамках пикселя на основании полевых исследований, поскольку использование данных по выделам не позволяет локализовать участки местонахождения в данном регионе других пород.

Для третьего подхода были получены следующие результаты нейронной сети: accuracy – 0.95, макроусредненные значения recall – 0.95, precision – 0.96, F1-score – 0.95, что показывает достаточно высокое качество классификации модели, хоть и меньшее чем для предыдущего метода. Дальнейшее использование данного подхода представляет трудности из-за чрезмерного влияния соседствующих пикселей на результат работы алгоритма, что приведет к ухудшению работы модели для случаев смешанных лесов. Уменьшение размера используемого окна в рамках данного подхода значительно снижает общее качество работы модели и отрицательно влияет на осуществление точной разметки. Поэтому, несмотря на в целом неплохие результаты в рамках данного опыта, вызывает сомнение устойчивость и экстраполируемость алгоритмов, примененных в третьем подходе.

Заключение

Результаты исследования показали, что с помощью методов машинного обучения и данных дистанционного зондирования можно добиться достаточно высокой точности автоматизированной разметки пород древесной растительности



Рис. 3. Матрица ошибок для ансамбля наилучших моделей в рамках подхода с группировкой разновременных пикселей по пространственному положению (цвет онлайн)



на территории крупного лесного массива. Для дальнейшего определения устойчивости и экстраполируемости применяемых алгоритмов необходима оценка результатов использования их на других территориях.

Внедрение подобного подхода позволит оптимизировать процесс мониторинга территории лесов, а также повысить эффективность полевых исследований в данной области.

Авторам представляются следующие варианты практического применения результатов исследования.

1. Увеличение эффективности лесотаксационных мероприятий. Безусловно, даже абсолютно достоверная идентификация пород по космоснимкам не заменит полевой лесотаксации, которая включает в себя более подробное описание лесных сообществ. Но рекогносцировочные мероприятия при полевых работах или исследования в лесном хозяйстве на локальном или региональном уровне вполне могут быть осуществлены с помощью обработки данных дистанционного зондирования.

2. Выявление процессов, выступающих индикаторами глобальных изменений. Ярким примером является изменение состава растительных сообществ в результате динамики климатических процессов.

3. Определение участков, подверженных лесным пожарам, и участков выгоревшей древесно-кустарниковой растительности. Кроме того, автоматическая классификация пород может быть полезна в лесовосстановительной деятельности, в мониторинге процессов естественной или антропогенной сукцессии.

4. Мониторинг лесозаготовок и незаконных рубок древесной растительности.

5. Анализ и контроль надзорными органами лесных насаждений и лесополос

6. Мониторинг плодовых древесных и древесно-кустарниковых насаждений.

Таким образом, представленные в исследовании методы могут активно применяться в лесном хозяйстве и мониторинге геоэкологической ситуации, связанной с древесно-кустарниковыми насаждениями.

Библиографический список

1. Макаров В. З., Гусев В. А., Шлапак П. А., Решетарова Д. А. Выбор оптимального метода распознавания сельскохозяйственных культур по космоснимкам высокого разрешения (на примере саратовского Заволжья) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2020. Т. 20, вып. 3. С. 162–170. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-3-162-170>, EDN: EBJEPG
2. Ермолаев Н. Р., Юдин С. А., Белобров В. П., Ведешин Л. А., Шаповалов Д. А. Использование нейронных сетей и облачных сервисов для выделения геометрических сельскохозяйственных полей на основе данных дистанционного зондирования Земли // Исследования Земли из космоса. 2023. № 6. С. 98–105. <https://doi.org/10.31857/S0205961423060039>, EDN: ANJWSV
3. Аббасов И. Б., Дешмух Р. Р. Распознавание изображений сельскохозяйственных культур, растений и лесных массивов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2020. № 3 (213). С. 202–212. <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2020-3-202-212>, EDN: GLVQUZ
4. 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: SEEUUV
5. Данилов В. А., Морозова В. А., Фёдоров А. В., Шлапак П. А. Открытые данные дистанционного зондирования для выявления археологических объектов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 3. С. 150–158. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-3-150-158>, EDN: AQYZTX
6. Макаров В. З., Тюков Д. В., Шлапак П. А. Использование данных дистанционного зондирования Земли при изучении горных ледников (на примере ледника Алибек в Карачаево-Черкессии) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 1. С. 13–20. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-1-13-20>, EDN: IFZSKT
7. Mouret F., Morin D., Planells M., Vincent-Barbaroux C. Tree species classification at the pixel-level using deep learning and multispectral time series in an imbalanced context. URL: <https://arxiv.org/pdf/2408.08887> (дата обращения: 20.07.2025).
8. He T., Zhou H., Hu C., Hu J., Xue X., Xu L., Lou X., Zeng K., Wang Q. Deep Learning in Forest Tree Species Classification Using Sentinel-2 on Google Earth Engine: A Case Study of Qingyuan County // Sustainability. 2023. Vol. 15, iss. 3. Art. 2741. <https://doi.org/10.3390/su15032741>, EDN: JANRZL
9. Polyakova A., Mukharamova S., Yermolaev O., Shaykhtudinova G. Automated Recognition of Tree Species Composition of Forest Communities Using Sentinel-2 Satellite Data // Remote Sensing 2023. Vol. 15, iss. 2. Art. 329. <https://doi.org/10.3390/rs15020329>, EDN: JHMBXQ
10. Bolyn C., Lejeune P., Michez A., Latte N. Mapping tree species proportions from satellite imagery using spectral-spatial deep learning // Remote Sensing of Environment. 2022. Vol. 280. Art. 113205 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113205>, EDN: NGROST

Поступила в редакцию 19.04.2025; одобрена после рецензирования 20.05.2025; принята к публикации 29.05.2025; опубликована 30.09.2025

The article was submitted 19.04.2025; approved after reviewing 20.05.2025; accepted for publication 29.05.2025; published 30.09.2025

ГЕОЛОГИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 201–210

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 201–210

<https://geo.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-201-210>, EDN: RPPBFG

Научная статья

УДК 567.3:116.2(470.44)

Первая находка химеровой рыбы (Holocephali, 'Edaphodontidae') в нижнем мелу Среднего Поволжья

Е. В. Попов¹✉, Ю. В. Зенина²

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

²Общественная организация «Самарское палеонтологическое общество», Россия, 443076, г. Самара, ул. Партизанская, д. 172

Попов Евгений Валериевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры исторической геологии и палеонтологии, elasmus74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2229-0179>

Зенина Юлия Владимировна, независимый исследователь, yuliyazenina77@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-4521-6563>

Аннотация. Описывается находка мандибулярной зубной пластины химеровой рыбы *Ischyodus* sp. из нижнемеловых отложений севера Саратовского правобережья (пос. Возрождение, Хвалынский р-н). Предполагаемый возраст находки – нижний апт. Это первая находка остатков химеровых рыб в нижнемеловых (до-альбских) отложениях Среднего и Нижнего Поволжья и четвертая – в отложениях этого возраста в Восточной Европе. Обсуждается состав глобального раннемелового (до-альбского) комплекса химер, включающий 3-4 рода «эдафодонтид» и 1-2 рода ринохимерид, а также возможный путь миграции *Ischyodus thurmanni* в южное полушарие (Австралия) в раннемеловую эпоху.

Ключевые слова: Chimaeriformes, Chimaeroidei, *Ischyodus*, зубная пластина, аптский ярус, Саратовская область

Благодарность. Авторы благодарны В. П. Морозу (Самарский государственный технический университет) за организацию полевых работ в Хвалынском р-не в 2021 г. и Р. А. Гунчину (общественная организация «Самарское палеонтологическое общество») – за участие в них и всестороннюю помощь; проф. А. Ю. Гужикову (геологический факультет Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского) и проф. Е. Ю. Барабошкину (геологический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова) за обсуждение геологии нижнемеловых отложений севера Саратовской области; Н. Г. Звереву (Геологический институт РАН, Москва) – за замечания по содержанию статьи. Первый автор (ЕВП) благодарен Д. Уорду (Орпингтон, Англия), а также сотрудникам музея естествознания в Лондоне (NHMUK) д-ру Зерине Йохансон, д-ру Марте Рихтер и мисс Эмме Бернар за возможность изучения коллекций музея в 2007, 2012 и 2018 гг. соответственно.

Для цитирования: Попов Е. В., Зенина Ю. В. Первая находка химеровой рыбы (Holocephali, 'Edaphodontidae') в нижнем мелу Среднего Поволжья // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 201–210. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-201-210>, EDN: RPPBFG

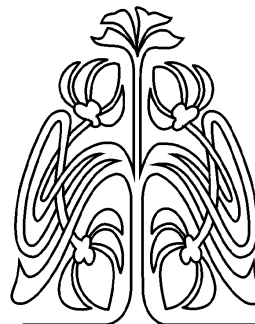
Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

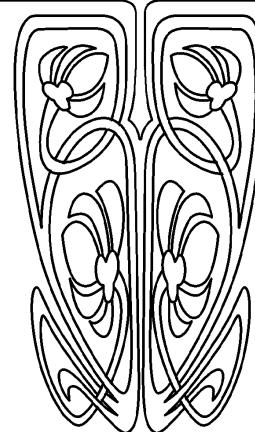
First Record of Chimaeroid Fish (Holocephali: 'Edaphodontidae') from the Lower Cretaceous of the Middle Volga Region

E. V. Popov¹✉, Yu. V. Zenina²

© Попов Е. В., Зенина Ю. В., 2025



**НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ**





¹Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

²Public organization "Samara Paleontological Society", 172 Partizanskaya St., Samara 443076, Russia

Evgeny V. Popov, elasmus74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2229-0179>

Yulia V. Zenina, yuliyazenina77@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-4521-6563>

Abstract. The record of a mandibular tooth plate of the chimaeroid fish *Ischyodus* sp. from the Lower Cretaceous deposits of the north of the Saratov Volga River Right Bank is described. The presumed age of the find is the Lower Aptian. This is the first recorded occurrence of chimaeroid remains in the Lower Cretaceous (pre-Albian) deposits of the Middle and Lower Volga regions, and the fourth record in deposits of this age in Eastern Europe. The composition of the global Early Cretaceous (pre-Albian) chimaeroid assemblage, including 3-4 genera of "edaphodontids" and 1-2 genera of rhinochimaerids, and the possible migration path of *Ischyodus thurmanni* to the southern hemisphere (Australia) in the Early Cretaceous are discussed.

Keywords: Chimaeriformes, Chimaeroidei, *Ischyodus*, tooth plate, Aptian Stage, Saratov Region

Acknowledgments. The authors are grateful to Vladimir P. Morov (Samara State Polytechnic University) for organizing the field work in Khvalynsky District in 2021 and to Roman A. Gunchin (Public organization "Samara Paleontological Society") for his participation and comprehensive assistance; to Prof. Andrei Yu. Guzhikov (Faculty of Geology, Saratov State University) and Prof. Evgeny Yu. Baraboshkin (Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University) for discussing geology of the Lower Cretaceous deposits from the north of the Saratov Region; Nikolai G. Zverkov (Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow) for remarks on the paper. The first author (Evgeny V. Popov) is grateful to Dr. David J. Ward (Orpington, UK) as well as to the staff of the Natural History Museum in London (NHMUK) – Dr. Zerina Johanson, Dr. Martha Richter and Ms. Emma L. Bernard for the opportunity to examine the museum's collections in 2007, 2012 and 2018 respectively.

For citation: Popov E. V., Zenina Yu. V. First Record of Chimaeroid Fish (Holocephali: 'Edaphodontidae') from the Lower Cretaceous of the Middle Volga Region. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 201–210 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-201-210>, EDN: RPPBFG

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

Введение

Химеровые рыбы (Holocephali, Chimaeroidei) в меловом периоде были широко распространены в мелководных эпиконтинентальных морях Лавразии [1]. В геологической летописи их остатки представлены преимущественно разрозненными зубными пластинами, реже – головными класперами самцов и спинными шипами, чрезвычайно редко – отпечатками яйцевых капсул и отпечатками скелетов [1]. Максимальное таксономическое и экологические разнообразие группы в мезозое и раннем кайнозое отмечено для альбских и сеноманских отложений Англии, Польши и европейской части России [2–5]. Анализ количества местонахождений ископаемых химер, известных с территории бывшего СССР, показал [6], что около половины их количества (23 из общего числа в 53 местонахождения) приходится на верхний мел и около четверти (12) – на отложения альба-сеномана.

При этом нижнемеловые (до-альбские) находки остатков химер в Восточной Европе исключительно редки и представлены всего тремя находками. Одна из них – отпечаток яйцевой капсулы химеры *Rhinochimaera caucasica* Obrichev, 1966¹ из нижнего (?) мела северного Кавказа [1, 11–13]. Две другие находки представлены единичными мандибулярными зубными

пластинами химеры *Stoilodon aenigma* Nessel et Averianov, 1996b, соответственно – из рязанского яруса² Подмоскovie [15] и готеривского яруса Чувашии [16]; обе были обнаружены совсем недавно.

Поволжье – особый регион для палеонтологии химеровых рыб. Именно в верхнемеловых отложениях Саратовской губернии (сеноман окрестностей г. Саратова) были сделаны одни из первых находок ископаемых химер в Российской Империи [17]. В Нижнем Поволжье располагается почти четверть (13 из 53) местонахождений их остатков в меловых и палеоценовых отложениях [6]. При этом немного позже их количество возросло до 54 [4], что превышает число всех известных местонахождений мезозоя и палеогена бывшего СССР, установленных десятилетием ранее [6]. Однако находки химер из нижнемеловых до-альбских отложений в Нижнем и Среднем Поволжье ранее совсем не были известны³, несмотря на широкое развитие морских отложений этого возраста в регионе [18], в частности – на Приволжской возвышенности (структурно – в Ульяновско-Саратовском прогибе).

В связи с этим интересна находка в нижнемеловых отложениях правого берега р. Волги в окрестностях пос. Возрождение (север Саратовского правобережья), сделанная в 2021 г. палеонтологами-любителями Самарского пале-

¹Некоторые исследователи придерживаются концепции классификации ископаемых яйцевых капсул химер по паратаксономической системе, как виды ихнорода *Chimaerotheca* Brown, 1946 [7]. Капсула с Кавказа классифицируется ими как *Chimaerotheca caucasica* (Obrichev, 1966) [6, 8–10 и др.].

²Рязанский ярус примерно соответствует берриасскому ярусу международной шкалы [14].

³Находка *Stoilodon* в готериве Чувашии [16] территориально относится к Верхнему Поволжью.



онтологического общества. Эта находка описывается в настоящей статье.

Изображенная зубная пластина хранится в Региональном музее Землеведения Саратовского государственного ун-та (коллекция СГУ № 155). Сравнительные материалы из нижнемеловых отложений Англии, цитированные в тексте, происходят из Музея естествознания в Лондоне – бывшего Британского музея (естественной истории), префикс к коллекционным номерам – NHMUK.

Местонахождение и материал

Описываемая зубная пластина происходит из правого берега р. Волги, напротив пос. Возрождение (Хвалынский р-н Саратовской области, в 15 км южнее границы с Ульяновской областью) (рис. 1). Находка была сделана в полосе прибрежья и представляет собой окатанный до гальки кусок сидеритовой конкреции с включенной в него зубной пластиной химеры неполной сохранности, а также карбонатным раковинным детритом.



Рис. 1. Схема расположения местонахождения (красная стрелка) зубной пластины химеры *Ischyodus* sp. (экз. СГУ № 155/376) на севере Саратовской области (цвет онлайн)

Обрывы правого берега р. Волги от г. Сызрань (Самарская обл.) до г. Балаково (Саратовская обл.) сложены нижнемеловыми отложениями [19]. Севернее пос. Возрождение в Хвалынском районе, в 12–14 км от места находки располагается известный разрез «Черный затон», где обнажаются барремские (до 30 м) и аптские (до 10 м) отложения [20–22]. К югу нижнемеловые отложения в целом погружаются и у следующего известного разреза «Федоровский створ» (в 2–3 км к югу от места находки) в береговых обрывах наблюдается уже сокращенная мощность баррема (около 26 м)

и увеличенная мощность нижнего апта (более 50 м) [20–21]. В шести км еще южнее (разрез «Ершовский створ») береговая часть сложена только отложениями нижнего апта (около 60 м); барремские отложения залегают уже ниже уреза воды [21]. В береговой полосе от «Черного затона» до «Ершовского створа» конкреции сидерита (как отдельные, разного размера, так и выдержанные прослои) известны из отложений пачек II и III баррема, но еще лучше они развиты в отложениях апта, присутствуя во всех выделенных здесь пачках (V–XII) нижнего и среднего апта [21].

Находки *ex situ* аммонитов зоны *volgensis* нижнего апта на бечевнике в секторе находки зубной пластины (при отсутствии ископаемых барремского яруса) позволяют условно увязать пластину химеры с прослоем сидеритов пачек XVa–XVb зоны *Deshayesites volgensis* нижнего апта (В. П. Мороз, личн. сообщ.).

Зубная пластина (рис. 2) разбита трещинами кальцита на 5 кусков разного размера, 2 медиальных из которых, вероятно, смещены относительно центрального, более крупного, так как тело симфизного тритора расположено под углом 45 град. к плоскости срединного тритора, что не характерно для мандибулярных пластин исхиодусов [23, Figs. 3F–H]. Кроме того, пластина лишена латерально-дистальной части вместе с задне-наружным тритором – очевидно окончательно попав в захоронение уже в поврежденном виде. С учетом наличия фрагментов раковинного детрита в куске породы рядом с пластиной, она могла попасть в локальное скопление детрита на дне бассейна до начала диагенеза. Структура витлокина сохранилась хорошо, имеет белый цвет. Видимая поверхность пластины разрушена вторично, на современном этапе переотложения. Распределение трабекулярного дентина (рис. 2, б: *tb*) в дистальной части образца, а более плотного склеродентина (рис. 2, б: *sot*) – в его медиальной четверти, позволяет говорить, что пластина развернута окклюзивной поверхностью вверх, на наблюдателя. На это также указывает более базальное положение передне-наружного тритора относительно срединного, в медиальном профиле пластины (рис. 2, в: *aot*).

Механическая препарировка медио-латеральной части (медиальнее срединного тритора) образца проводилась бормашинной Proxxon Micromot FBS 240/E (Proxxon, Германия) с твердосплавными бурами, что позволило вскрыть структуру передне-наружного тритора (рис. 2б, 2в, *aot*), который до этого не наблюдался. Зубная пластина была сфотографирована с использованием фотокамеры Nikon D5100 с макрообъективом Nikon Micro Nikkor 60 мм (Nikon, Япония) методом послойной съемки.

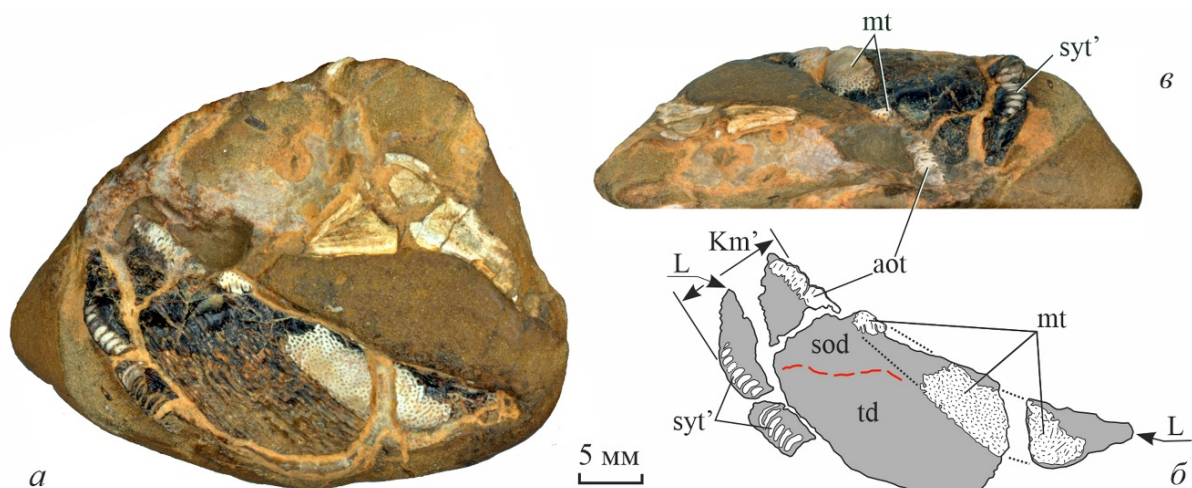


Рис. 2. Правая мандибулярная зубная пластина *Ischyodus* sp. (экз. СГУ № 155/376) из апта Среднего Поволжья и ее морфологическая интерпретация: а – окклюзивный вид; б – морфологическая интерпретация окклюзивной поверхности и основные используемые промеры. Черный точечный пунктир показывает края срединного тритора; красный пунктир показывает приблизительную границу склеродентина и трабекулярного дентина на разрушенной окклюзивной поверхности; в – медиальный вид зубной пластины. Масштабный отрезок (5 мм) универсален для всех фигур. Сокращения: aot – передне-наружный тритор; Km' – выбранная ширина (контрольный промер); L – максимальная медио-дистальная длина образца; mt – срединный тритор (васкулярный витлокин); sod – склеродентин (склеротический остеоидентин, по [32]); syt' – тело пластинчатого витлокина к симфизному тритору; td – трабекулярный дентин (цвет онлайн)

Терминология зубных пластин

Описательная терминология и измерения даны по представлениям первого автора [4, 5, 24, 25–30]. Для гиперминерализованной ткани (плеромин по [31]), формирующей давящие участки (триторы), использован термин «витлокин», следуя рекомендации британских коллег [32]. Основные обсуждаемые признаки показаны на рис. 2.

Авторы следуют системе химеровых рыб по Д. Дидье [33]; ископаемое семейство «Edaphodontidae» Owen, 1846 (*Edaphodon*, *Ischyodus*, и близкие к ним таксоны) рассматривается как сборное [15, 26].

Описание зубной пластины

Образец СГУ 155/376 (см. рис. 2, а–в) представляет собой неполную правую мандибулярную пластину, с медио-дистальной длиной 34 мм и выбранной шириной (Km') около 11 мм⁴. Имеются тела витлокина к трем триторам: васкулярному срединному (из трех частей), васкулярному передне-наружному и пластинчатому симфизному. Максимальная ширина срединного тритора 5.4 мм. Срединный тритор с овальным сечением, без бифуркации. Передне-наружный тритор сравнительно узкий, до 2 мм в ширину, расположен параллельно симфизному и приблизительно на одной линии со срединным, но имеет более

базальное заложение (тело витлокина к передне-наружному тритору расположено под срединным тритором). Наблюдаемая ширина симфизного тритора около 3 мм, витлокин тритора имеет четкую пластинчатую структуру. Другие триторы (задне-наружный, внутренний), обычные для мандибулярных пластин исхиодусов, не сохранились.

Сравнение и замечания

Комбинация пластинчатого симфизного тритора и простого по строению васкулярного срединного тритора характерна для «эдафодонтид» sensu stricto (*Ischyodus*, *Edaphodon*). Пластины эдафодонов при этом значительно латерально сжаты, и срединный тритор сильно смещен медиально, что не наблюдается в случае с экз. СГУ 155/376, а также имеет более базальное положение, чем передне-наружный тритор обсуждаемого образца [23, Fig. 3D–F; 34, рис. 1, б–в]. Комбинация сближенных триторов, подобная наблюдаемой на экз. СГУ 155/376, характерна для мандибулярных пластин химер рода *Ischyodus* Egerton, 1843 [1, Fig. 138F–K, 139D; 2, pl. IX, Figs. 1–4, 6–12; 5, Figs. 3A, 4A–B, F; 23, Fig. 3F–H].

В нижнем мелу известны два близких вида исхиодусов: *Ischyodus thurmanni* Pictet et Campiche, 1858 и *Ischyodus gubkini* Nesson in Nesson et al., 1988. Первый вид широко распро-

⁴Замер приблизительный, произведен между латеральным краем передне-наружного тритора и симфизным краем тела витлокина симфизного тритора (см. рис. 2, б) ввиду отсутствия симфизно-окклюзивного края пластины, располагавшегося над витлокином симфизного тритора [23, 30].



странён в Западной Европе – в апте-альбе Англии [1–3], альбе Швейцарии [35], верхнем альбе Польши [5, 36] и в (?) сеномане Англии [37]⁵. Также имеется находка этого вида в относительно глубоководных отложениях внешнего шельфа (outer-platform) валанжина Франции [38]⁶.

Вид *Ischyodus gubkini* был установлен по небной пластине с характерными дистальными сегментами наружного тритора, из верхнего альба Лебединского карьера в Белгородской области [40]. Как пишет Л. А. Несов с соавторами [40, с. 126]: «...есть 1–5 мелких триторов позади внешнего, они более мелкие, чем, например у *I. dolloi* из Западной Европы». С голотипом были ассоциированы «...нижнечелюстные пластинки широкие, длиной до 7.5 см, с очень большим медиальным тритором, в глубине нередко раздвоенным надвое и тесно сближенным с наружным тритором» [40, с. 126]. Массовый материал по этому виду происходит из верхнего альба – нижнего сеномана Стойленского и Лебединского карьеров в Белгородской области [4], из других местонахождений Восточной Европы зубные пластины этого вида не известны⁷. Таким образом, два нижнемеловых вида исхиодусов различаются особенностями строения небных пластин, диагностировать их по мандибулярным пластинам пока затруднительно. В связи с этим, а также с особенностями сохранности хвалынского образца – экз. СГУ 155/376 может быть классифицирован в открытой номенклатуре (*Ischyodus* sp.). Судя по размерам (Km' = 11 мм) пластина СГУ 155/376 принадлежала молодой особи. Этот размер соответствует нижнему значению в онтогенетической выборке мандибулярных пластин *Ischyodus gubkini* (Km = 10–33 мм: коллекция СГУ, [4]), а также наименьшим по размеру пластинам *Ischyodus thurmanni* в коллекции музея естествознания в Лондоне (NHMUK 47174, Km = 13 мм, NHMUK P4224, Km = 13)⁸.

Обсуждение

В мезозое отмечено два выраженных этапа диверсификации химероидей – в средней

юре и «среднем мелу» [4]. В келловейский век средней юры разнообразие химер увеличивалось до 9 родов – судя по комплексу из «оксфордской глины» Англии [42], а к концу юры сократившись до 4 родов химероидей [28, 43]. Наибольшее таксономическое и экологическое разнообразие приходится на альб-сеноман – из нескольких формаций в Западной Европе и европейской части России известно до 10–12 родов в одном комплексе [5, 37].

Нижнемеловая до-альбская летопись химеровых рыб очень скудна и представлена лишь немногочисленными находками в Англии [3, 37], по одной находке во Франции [38] и Австралии [44], а также упомянутыми ранее еще тремя находками в Европейской части России⁹. Единственный комплекс химер известен из аптских (Hyathe Bed Formation, Lower Greensand Group) отложений Англии, где определено всего два таксона: *Edaphodon sedgwicki* и *Ischyodus thurmanni*. Материал из этих отложений в коллекции музея естествознания в Лондоне (NHMUK) не превышает десятка зубных пластин (ЕВП, личн. набл.). При этом зубные пластины *Ischyodus thurmanni* характеризуются довольно крупными размерами (коллекция NHMUK: Km = 22–23 мм, Kp = 15 мм).

В подошве отложений Lower Greensand Group (или его латерального аналога Woburn Sand formation) залегает так называемый «копролитовый слой»¹⁰ («coprolite bed», Neocomian Bone bed, Neocomian Pebble Bed, и т. п.). Из него известны окатанные находки двух таксонов химер – *Edaphodon* sp. и *Ischyodus thurmanni*. Также здесь встречены и пластины титонского (портландского) вида *Ischyodus townsendi*, также – в переотложенном состоянии¹¹ [2, 37]. Это указывает на то, что нижнемеловая (до-альбская) ассоциация химер Англии могла включать 3 вида «эдафодонтид»; каллоринхиды и ринохимериды пока остаются здесь не известны.

Еще один стойлодон был описан совсем недавно из нижнемеловых (берриаский ярус) отложений западной Германии (Земля Северный Рейн-Вестфалия) [48]. Сохранившаяся часть озубления от одной особи химеры включала пару мандибулярных пластин и одну неполную

⁵Датировка вида в интервале турон-маастрихт [1, с. 137] ошибочна.

⁶Мандибулярные пластины *Ischyodus thurmanni* из сантона Новой Зеландии, первоначально описанные как *Ischyodus brevirostris* Egerton, 1843 [39], относятся, скорее всего, к региональному эндемику, близкому к *Ischyodus dolloi* Leriche, 1902 (ЕВП, личн. набл.).

⁷Совместное нахождение видов *Ischyodus gubkini* и *I. thurmanni* в сеномане и турон-сантоне Саратова [6, 41] не подтверждается, здесь встречен только один вид исхиодусов – *Ischyodus latus* Newton, 1878 [4].

⁸Наиболее крупные мандибулярные пластины *Ischyodus thurmanni* в среднем в 2 раза крупнее, например: NHMUK 47180 (Km = 28 мм), NHMUK 35147 (Km = 23 мм).

⁹*Edaphodon kelheimensis* Riess, 1887, ошибочно датированный как «апте-альб» [1, с. 140], происходит из сеноманских отложений окр. г. Келхейм (Kelheim) в Баварии, Германия (ЕВП, личн. набл.).

¹⁰В основном этот материал поступал в коллекции во времена работы «копролитовой промышленности» на юго-востоке средней Англии – т. е. разработки базальных фосфоритовых конгломератов нижнемеловых и верхнемеловых формаций как фосфатного сырья для сельского хозяйства в 1850–1870 гг. [45–47].

¹¹С учетом находки пластины *Ischyodus townsendi* (NHMUK P. 28430) в не переотложенном состоянии в альбских отложениях этот таксон является для нижнего мела транзитным [37].



небную пластину (авторы ошибочно определили ее как сошниковую). Материал был описан как новый вид *Stoilogodon lindenbergi* Hornung et al., 2024. Ассоциация находки с солоноватоводными отложениями верхней части формации Истерберг (верхний берриас), откуда известны цельноскелетные остатки плезиозавров, может подтверждать высказанную ранее идею о специализации химер этого рода на питании падалью [15, 16]. Также эта находка может указывать на эвригалинность химер рода *Stoilogodon*.

В целом в этот интервал времени в северо-западной Евразии разнообразие химер включало 3 таксона «эдафодонтид» (*Ischyodus thurmanni*, «*Ischyodus townsendi*», *Edaphodon sedgwicki*) и 2-3 таксона ринохимерид (*Stoilogodon aenigma*, *Stoilogodon lindenbergi*, *Rhinochimaera caucasica*) (рис. 3). При этом роды *Ischyodus* и *Stoilogodon* являются для данного интервала времени транзитными таксонами, а род *Edaphodon* – появляется до апта.

Носатые химеры рода *Rhinochimaera* Garman, 1901 – наиболее эволюционно продвинутый современный таксон цельноголовых в составе трех современных видов [49]. Представители рода характеризуются специализированной зубной системой кусающего (режущего) типа и редукцией витлокина в структуре зубных пластин [50]. В ископаемом состоянии зубные пластины этого рода не известны. Однако к роду относят несколько ископаемых отпечатков яйцевых капсул [1], в том числе – *Rhinochimaera arenocola* Vozin, 1968 из верхнего триаса (карний) Якутии [51], одна из древнейших находок представителей подотряда. По особенностям строения такие ископаемые яйцевые капсулы слабо отличны от капсул современной ринохимеры, но заметно отличаются как от современных, так и ископаемых капсул подсемейства харриотин (*Harriotta* spp.) [1, 7, 52, 53]¹².

Одним из вероятных кандидатов на ассоциацию зубных пластин и яйцевых капсул ринохимер является род *Stoilogodon*. Озубление стоилодона пока плохо известно, род установлен по одному типу зубных пластин, которые при первоописании были классифицированы как (?) сошниковые, но позже переопределены как мандибулярные пластины [15]. Не исключено, что зубные пластины *Stoilogodon* и отпечатки яйцевых капсул *Rhinochimaera caucasica* принадлежат одному таксону ринохимерид. Факт территории

ального сонахождения в нижнем мелу восточной Европы зубных пластин *Stoilogodon* и яйцевой капсулы *Rhinochimaera caucasica* может косвенно свидетельствовать об их связи, тем более что *Stoilogodon* первоначально классифицировался как ринохимерид [1, 55]¹³. Другие ринохимериды (*sensu* Б. Сталь [1]) с режущим озублением (*Amylodon*, *Lebediodon*) в нижнемеловых доальбских отложениях не известны. Транзитный и «скрытый» для нижнего мела (так называемый «таксон Лазаря», *Lazarus taxon*) род *Elasmodectes* с режущим озублением известен по цельноскелетным (голоморфным) образцам, у которых отсутствуют вытянутые роstralные хрящи – один из диагностических признаков семейства ринохимерид [56–59].

В южном полушарии, в Австралии, единственная нижнемеловая доальбская находка известна из аптской части «бульдожьего сланца» (*Bulldog Shale*) древнего бассейна Эроманга, первоначально описанная как вид *Edaphodon eyrensis* Long, 1985 [44, 60]. Голотип (и единственный образец) этого вида был переопределен недавно как древнейший представитель эндемичного для Австралии рода *Ptykoptychion* Lees, 1986. Также это самый ранний из известных представителей химер в полярных широтах южного полушария [23, 61]. Предполагается его эволюция из морфологического состояния «*Ischyodus thurmanni*» [23]. Такая интерпретация указывает на кругосветное распространение вида *Ischyodus thurmanni* в до-аптское время. В Австралию этот вид мог мигрировать вдоль восточного шельфа Гондваны (рис. 3)¹⁴. Попав в итоге в полуизолированный бассейн Эроманга, этот вид эволюционировал в эндемичный для Австралии род *Ptykoptychion* (апт-альб). Из среднеальбских и среднесеноманских отложений Западной Австралии известен уже вполне типичный комплекс химер, близкий к таковым из альбасеномана Европы [5]. Этот комплекс, однако, лишен представителей рода *Edaphodon*, типичного представителя позднемеловых ассоциаций химер Европы.

Таким образом, глобально раннемеловой (до-альбский) комплекс химер мог включать 3-4 рода «эдафодонтид» («*Ischyodus townsendi*» мог представлять отдельный род, отличный от основной массы юрских и меловых исхиодосов [63]) и 1-2 рода ринохимерид.

¹²Морфотипы капсул хорошо диагностируют современные семейства химеровых рыб [13, 33, 52–54].

¹³Нами ранее [15] род *Stoilogodon* был отнесен к семейству «Edaphodontidae», а немецкие палеонтологи [48] предложили рассматривать этот род в составе семейства incertae sedis надсемейства (крановой группы) Chimaeroidea. Этот вопрос нуждается в дальнейшем изучении.

¹⁴Преимущественно мелководный образ жизни, очевидно, препятствовал юрским и меловым химерам перемещаться через океанские пространства и их возможные миграции скорее всего проходили вдоль шельфа. Современные семейства химер (*Chimaeridae*, *Rhinochimaeridae*) перешли к обитанию на большие глубины континентального склона (мезо- и батипелагические обстановки) в олигоцене [6], или, менее вероятно, после мел-палеогенового вымирания [62], тогда как каллоринхиды сохранили сравнительно мелководный (прибрежный и эпипелагический) образ жизни, но были оттеснены в южное полушарие [49].

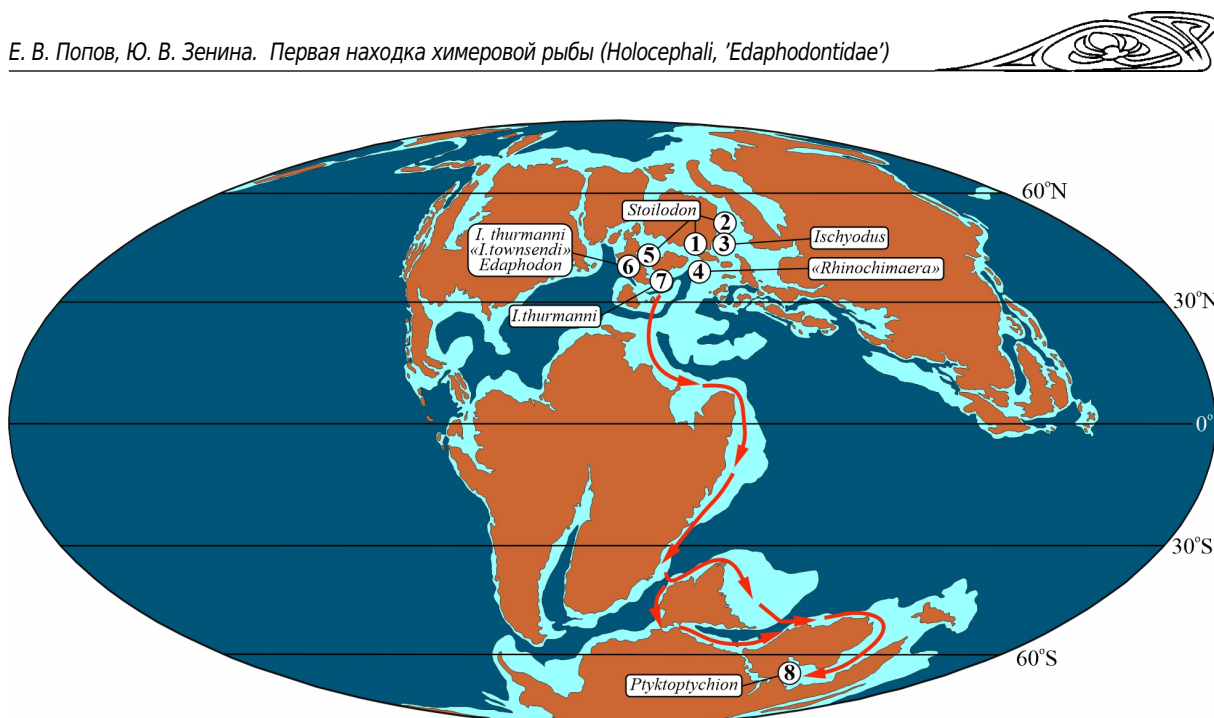


Рис. 3. Палеогеографическая карта начала аптского века (120 млн л. н.) по [67, с изменениями], и расположение известных находок нижнемеловых (до-альбских) химеровых рыб. Светло-коричневая заливка показывает массивы суши, темно-синяя – океаны, светло-синяя – шельф и мелководные моря. Красными стрелками показан возможный маршрут миграции химер *Ischyodus thurmanni* из Западной Европы в Австралию (древний бассейн Эроманга) по восточному шельфу Гондваны. Условные обозначения: места находок нижнемеловых (до-альбских) остатков химер: 1 – *Stoilodon aenigma*, рязанский ярус Подмосковья [15]; 2 – *Stoilodon aenigma*, готерив Чувашии [16]; 3 – *Ischyodus* sp., апт Саратовского Поволжья (данная статья); 4 – *Rhinochimaera caucasica* (яйцевая капсула), нижний (?) мел Северного Кавказа [12, 13]; 5 – *Stoilodon lindenbergi*, берриас Германии [48]; 6 – *Ischyodus thurmanni*, *Edaphodon sedgwicki* и «*Ischyodus townsendi*», апт Англии [2, 37]; 7 – *Ischyodus thurmanni*, валанжин южной Франции [38]; 8 – *Ptyktoptychion eyrensis*, апт Австралии [23, 44] (цвет онлайн)

Раннемеловой (до-альбский) этап низкого разнообразия химероидей, очевидно отражает глобально низкий эвстатический уровень океана, существенно уменьшивший площади шельфа и эпиконтинентальных морей [64], что привело к формированию преимущественно солоноватоводных, опресненных и/или континентальных обстановок (например, формации Вельд в Англии). Это также нашло отражение в ограниченности морских шельфовых комплексов эласмобранхий – в западной Европе их известно всего несколько [38, 65, 66]. В связи с этим дальнейший поиск новых комплексов хрящевых рыб может быть сосредоточен на районах развития эпиконтинентальных морских отложений нижнего мела. Одним из таких районов является Ульяновско-Саратовский прогиб, где широко развиты терригенные отложения нижнего мела (готерив-альб), общей мощностью до 270 м [18]. Систематический поиск здесь остатков хрящевых рыб позволит лучше оценить разнообразие группы на северо-восточной окраине бассейна Перите-тис и лучше понять особенности ее эволюции на раннемеловом этапе.

Заключение

На основании вышеизложенного можно сформулировать некоторые выводы.

1. Из аптских (предположительно нижеаптских) отложений севера Саратовского правобережья описана находка мандибулярной зубной пластины химеровой рыбы *Ischyodus* sp. (семейство «Edaphodontidae»), близкой к видам *Ischyodus thurmanni* и *Ischyodus gubkini*.

2. Это первая находка остатков химеровых рыб в нижнемеловых (до-альбских) отложениях Среднего и Нижнего Поволжья и четвертая – в отложениях этого возраста в Восточной Европе.

3. Нижнемеловые (до-альбские) находки химер в мире очень редки; по имеющимся данным глобальный комплекс химер этого времени мог включать 3-4 рода «эдафодонтид» (*Ischyodus*, «*Ischyodus townsendi*», *Edaphodon*, *Ptyktoptychion*) и 1-2 рода ринохимерид (*Stoilodon*, яйцевые капсулы «*Rhinochimaera*»).

4. Сравнительно низкое разнообразие раннемелового (до-альбского) глобального комплекса химер могло быть связано с глобально низким эвстатическим уровнем океана, существенно уменьшившим площади шельфа и эпиконтинентальных морей, где обитали химеры мелового периода.

5. Раннемеловая миграция вида *Ischyodus thurmanni* в южное полушарие (Австралия, бассейн Эроманга) могла проходить вдоль восточного шельфа Гондваны.



Библиографический список

1. Stahl B. J. Handbook of Paleoichthyology. Part 4. Chondrichthyes III. Holocephali / ed. H.-P. Schultze. Munchen, 1999. P. 1–164.
2. Newton E. T. The chimaeroid fishes of the British Cretaceous rocks // Mem. Geol. Surv. UK, 1878. Vol. 4. P. 1–62.
3. Woodward A. S. Catalogue of the fossil fishes in the British Museum (Natural History). Part 2. London : Taylor and Francis, 1891. 567 p.
4. Попов Е. В. Меловые и палеоценовые химеровые рыбы (Holocephali, Chimaeroidei) юга Европейской России (морфология, система, стратиграфическое распространение) : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Саратов, 2004. 480 с. EDN: NMTVIB
5. Popov E. V., Machalski M. Late Albian chimaeroid fishes (Holocephali, Chimaeroidei) from Annopol, Poland // Cret. Res. 2014. Vol. 47. P. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2013.09.011>, EDN: SKKBNH
6. Несов Л. А., Аверьянов А. О. Древние химерообразные рыбы России, Украины, Казахстана и Средней Азии. 1. Некоторые экологические особенности химер и обзор местонахождений // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. 1996. Вып. 1 (7). С. 3–10. EDN: TERXKV
7. Brown R. W. Fossil egg capsules of Chimaeroid fishes // J. Paleontol. 1946. Vol. 20, № 3. P. 261–266.
8. Fischer J., Licht M., Schneider J. W., Kriwet J., Buchwitz M., Kogan I. Stratigraphic record, producer assignment and phylogeny of chondrichthyan egg capsule morphotypes // Palaeobiology & Geobiology of Fossil Lagerstätten through Earth History. A Joint Conference of the “Paläontologische Gesellschaft” and the “Palaeontological Society of China” / eds. Joachim Reitner, Yang Qun, Wang Yingdong and Mike Reich. Göttingen, Germany, September 23–27, 2013. Universitätsverlag Göttingen, 2013. Abstract Volume. P. 50.
9. Harrison G. W. M., Kirkland J. I., Fischer J., San Miguel G., Wood J. R., Santucci V. L. Two Chimaeroid egg case remains from the Late Cretaceous, Mesa Verde National Park, Colorado, U.S.A. // Fossil Record 7: New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletins. 2021. Vol. 82 / eds. S. G. Lucas, A. P. Hunt, A. J. Lichtig. P. 113–120.
10. Duffin C. J., Lauer B., Lauer R. Chimaeroid egg cases from the Late Jurassic of the Solnhofen area (S Germany) // Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen. 2022. Vol. 306, № 2. P. 161–175. <https://doi.org/10.1127/njgpa/2022/1101>, EDN: UROSZU
11. Эйхгорн Т. Ф. Географическое распространение химер в мезозойско-кайнозойских морях СССР // Ежегодник ВПО. 1968. Т. XVIII. С. 366.
12. Обручев Д. В. Подкласс Holocephali. Цельноголовые, или химеры // Основы палеонтологии : справочник для палеонтологов и геологов СССР. Бесчелюстные, рыбы. М. : Наука, 1964. С. 238–266.
13. Обручев Д. В. Ископаемые яйцевые капсулы химер // Палеонтол. журн. 1966. № 3. С. 117–124.
14. Rogov M. A., Zakharov B. A., Pechevitskaya E. B., Vishnevskaya V. S., Zver'kov N. G., Baraboshkin E. Yu. Волжский ярус верхней юры и рязанский ярус нижнего мела Панбореальной биогеографической надобласти // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2024. Т. 32, № 6. С. 30–73. <https://doi.org/10.31857/S0869592X24060027>, EDN: VZMIVJ
15. Попов Е. В., Ефимов В. М. Новые находки химер рода *Stoilodon* Nessov et Averianov, 1996 (Holocephali, Chimaeroidei) в поздней юре и раннем мелу Европейской части России // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2012. Т. 12, вып. 1. С. 66–79. EDN: TBRXSV
16. Березин А. Ю., Александров А. Н. Геология и тафономия находки плезиозавра и химеровой рыбы из отложений готерива нижнего мела Присурского заповедника // Естественнонаучные исследования в Чувашии : материалы докладов региональной науч.-практ. конференции (г. Чебоксары, 17 ноября 2016 г.). Чебоксары : Рекламно-полиграфическое бюро «Плак-кат», 2016. Вып. 3. С. 38–46. EDN: EYPBZP
17. Синцов И. Ф. Об юрских и меловых окаменелостях Саратовской губернии // Материалы по геологии России. СПб. : Изд-во Император. Академии наук, 1872. Т. 4. С. 1–127.
18. Морозов Н. С., Бушинский Г. И., Ротенфельд В. М., Дубейковский С. Г. Меловая система. Нижний отдел // Геология СССР. Т. XI. Поволжье и Прикамье. Часть I. Геологическое описание / ред. Г. И. Блом, Н. А. Громо-вич, Р. Б. Давыдов, А. П. Капустин, Е. И. Тихвинская, К. Р. Чепиков. М. : Недра, 1967. С. 521–543.
19. Милановский Е. В. Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. Л. : Гостоптехиздат, 1940. 276 с.
20. Барабоскин Е. Ю., Михайлова И. А. Новая стратиграфическая схема нижнего апта Среднего Поволжья // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2002. Т. 10, № 6. С. 82–105.
21. Baraboshkin E. Early Cretaceous palaeogeography of the Russian Platform // Cretaceous Project 200. Vol. 2 : Regional Studies / eds. M. B. Hart, S. J. Batenburg, B. T. Huber, G. D. Price, N. Thibault, M. Wagreich, I. Walaszczyk. Geological Society. London. Special Publications, 2024. Vol. 545, № 1. P. 585–626. <https://doi.org/10.1144/sp545-2023-132>, EDN: NPHXFE
22. Guzhikov A. Y., Baraboshkin E. J., Birbina A. V. New palaeomagnetic data for the Hauterivian – Aptian deposits of the Middle Volga region: A possibility of global correlation and dating of time-shifting of stratigraphic boundaries // Russian Journal of Earth Sciences. 2003. Vol. 5. P. 401–430. <https://doi.org/10.2205/2003ES000137>, EDN: SCWSVX
23. Popov E. V. Systematic reassessment of *Edaphodon eyrensis* Long, 1985 (Holocephali, Chimaeroidei) from the Early Cretaceous of South Australia // Journal of Vertebrate Paleontology. 2020. Vol. 40, № 6. Art. e1884564. <https://doi.org/10.1080/02724634.2020.1884564>, EDN: UDQJMR
24. Попов Е. В. Новые данные по морфологии зубных пластин химеровых рыб рода *Ischyodus* из мела и палеогена Центральной России и Поволжья // Труды Зоологического института РАН. 1999. Т. 277. С. 67–82.
25. Попов Е. В. Новый род слоновых химер (Holocephali: Callorhynchidae) из верхнего келловоя Саратовского



- Поволжья, Россия // Палеонтол. журн. 2003. № 5. С. 59–66. EDN: OOQVUT
26. Попов Е. В., Безносоев П. А. Остатки химер (Holocephali: Chimaeroidei) из верхнеюрских отложений Республики Коми // Современная палеонтология: классические и новейшие методы – 2006 / под ред. А. Ю. Розанова, А. В. Лопатин, П. Ю. Пархаева. М. : ПИН РАН. 2006. С. 55–64.
27. Попов Е. В., Шаповалов К. М. Новые находки химеровых рыб (Holocephali, Chimaeroidei) в юре европейской части России // Современная палеонтология: классические и новейшие методы – 2007 / под ред. А. Ю. Розанова, А. В. Лопатин, П. Ю. Пархаева. М. : ПИН РАН, 2007. С. 25–47.
28. Попов Е. В., Шаповалов К. М. Новый род слоновых химер (Holocephali: Callorhynchidae) из поздней юры центральной России // Палеонтол. журн. 2021. № 4. С. 55–65. <https://doi.org/10.31857/S0031031X21040127>, EDN: NUBNPY
29. Popov E. V., Delsate D., Felten R. A new callorhynchid genus (Holocephali, Chimaeroidei) from the early Bajocian of Ottange-Rumelange, on the Luxembourg-French border // Paleontological Research. 2019. Vol. 23, № 3. P. 220–230. <https://doi.org/10.2517/2018PR021>, EDN: UPQCLA
30. Popov E. V., Johns M. J., Suntok S. A New Genus of Chimaerid Fish (Holocephali, Chimaeridae) from the Upper Oligocene Sooke Formation of British Columbia, Canada // J. Vert. Paleontol. 2020. Vol. 40, № 1. Art. e1772275. <https://doi.org/10.1080/02724634.2020.1772275>, EDN: QOGCBT
31. Ørving T. Histologic studies of ostracoderms, placoderms and fossil elasmobranchs. 5. Ptyctodontid tooth plates and their bearing on holocephalan ancestry: the condition of chimaerids // Zool. Scripta. 1986. Vol. 14. P. 55–79. <https://doi.org/10.1111/j.1463-6409.1985.tb00178.x>
32. Smith M. M., Underwood C., Goral T., Healy C., Johanson Z. Growth and mineralogy in dental plates of the holocephalan *Harriotta raleighana* (Chondrichthyes): novel dentine and conserved patterning combine to create a unique chondrichthyan dentition // Zool. Lett. 2019. Vol. 5, № 11. P. 1–30. <https://doi.org/10.1186/s40851-019-0125-3>, EDN: NBCMJX
33. Didier D. A. Phylogenetic systematics of extant chimaeroid fishes (Holocephali, Chimaeroidei) // Amer. Mus. Novit. 1995. Vol. 3119. P. 1–86.
34. Попов Е. В., Ярков А. А. Новый гигантский *Edaphodon* (Holocephali: Edaphodontidae) из березовских слоев (нижний палеоцен) Волгоградского Поволжья // Палеонтол. журн. 2001. № 2. С. 76–80.
35. Agassiz L. Recherches sur les Poissons Fossiles. 15th and 16th livraisons. Neuchâtel, 1843.
36. Radwanski A. *Ischyodus thurmanni* Pictet & Campiche and other chimaeroid fishes from the Albian-Cenomanian of the Holy Cross Mountains (Poland) // Acta Palaeontologica Polonica. 1968. Vol. 13. P. 315–322.
37. Popov E. V. A revision of the chimaeroid fishes (Holocephali, Chimaeroidei) from the British Cretaceous // Acta Geologica Polonica. 2008. Vol. 8, № 2. P. 243–247. EDN: LLAZUH
38. Guinot G., Cappetta H., Adnet S. A rare elasmobranch assemblage from the Valanginian (Lower Cretaceous) of southern France // Cretaceous Research. 2014. Vol. 48. P. 54–84. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2013.11.014>
39. Newton E. T. On two chimaeroid jaws from the Lower Greensand of New Zealand // Quarterly Journal of the Geological Society. 1876. Vol. 32, № 1–4. P. 326–331. <https://doi.org/10.1144/gsl.Jgs.1876.032.01-04.38>
40. Несов Л. А., Мертинене Р. А., Головнева Л. Б., Потанова О. Р., Саблин М. В., Абрамов А. В., Бугаенко Д. В., Налбандян Л. А., Назаркин М. В. Новые находки остатков древних организмов в Белгородской и Курской областях / отв. ред. В. С. Ипатов // Комплексные исследования биогеоценозов лесостепных дубрав : мужвуз. сб. Л. : Изд-во ЛГУ, 1988. С. 124–131.
41. Аверьянов А. О., Гликман Л. С. Остатки химер (Chondrichthyes, Holocephali) из «губкового горизонта» верхнего мела Саратова // Палеонтол. журн. 1994. № 2. С. 119–122.
42. Popov E. V., Ward D. J., Matheau-Raven E. A revision of the chimaeroid fishes (Chimaeroidei) from the Lower Oxford Clay (Middle Jurassic, Callovian) of Cambridgeshire, England // The Palaeontological Association, 56th Annual Meeting (December 16–18, 2012, Dublin, Ireland). Programme and Abstracts, 2012. P. 85.
43. Попов Е. В. Новые данные по химеровым рыбам (Chondrichthyes, Holocephali) из юры Европейской России // «Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии» : тез. докл. Всерос. совещания (г. Москва, 21–22 ноября 2005 г.), М. : ГИН РАН. 2005. С. 199–200. EDN: GPARTD
44. Long J. A. A new Cretaceous chimaeroid (Pisces, Holocephali) from southern Australia // Transactions of the Royal Society of South Australia. 1985. Vol. 109, № 2. P. 49–53.
45. Grove R. The Cambridgeshire coprolite mining rush. Cambridge : Oleander Press, 1976. P. 1–51.
46. Grove R. Coprolite mining in Cambridgeshire // The Agricultural History Review. 1976. Vol. 24, № 1. P. 36–43.
47. Kelly S. R. A., Rolfe K. R. The “coprolite” bearing Woburn Sands Formation, Lower Greensand Group (Aptian) at Upware, Cambridgeshire, UK // Proceedings of the Geologists' Association. 2020. Vol. 131. P. 334–352. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2020.03.011>, EDN: PBGJOV
48. Hornung J. J., Mulder E. W. A., Nyhuis C. J., Sachs S. A new species of *Stoilodon* (Chondrichthyes: Holocephali) from the Lower Cretaceous of Germany, representing the first record of this chimaeroid genus from Western Europe // Geologie und Paläontologie in Westfalen. 2024. Bd. 98. S. 25–41.
49. Didier D. A., Kemper J. M., Ebert D. A. Phylogeny, Biology, and Classification of Extant Holocephalans // Biology of Sharks and their Relatives (2nd ed.) / eds. J. C. Carrier, J. A. Musick, M. R. Heithaus. Boca Raton, Florida : CRC Press, 2012. P. 97–124. <https://doi.org/10.1201/b11867>
50. Herman J., Hovestadt-Euler M., Hovestadt D. C., Stehmann M. Contributions to the study of the comparative



- morphology of teeth and other relevant ichthyodorulites in living supraspecific taxa of Chondrichthyan fishes. Part C: Holocephali. 1: Order Chimaeriformes – Suborder Chimaeroidei – family Callorhynchidae – subfamily Callorhynchinae – genus *Callorhynchus*, family Chimaeridae – Genera: *Chimaera* and *Hydrolagus*, family Rhinochimaeridae – Genera: *Harriotta*, *Neoharriotta*, and *Rhinochimaera* // Bulletin de l'Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique. Biologie. 2001. Vol. 71. P. 5–35.
51. Вozин В. Ф. Яйцевые капсулы химер из триаса Якутии // Геология и геофизика. 1968. № 8. С. 67–77.
52. Fischer J., Licht M., Kriwet J., Schneider J. W., Buchwitz M., Bartsch P. Egg capsule morphology provides new information about the interrelationships of chondrichthyan fishes // Journal of Systematic Palaeontology. 2014. Vol. 12, № 3. P. 389–399. <https://doi.org/10.1080/14772019.2012.762061>
53. Zhao Y., Bestwick J., Fischer J., Bastiaans D., Greif M., Klug C. The first record of a shortnose chimaera-like egg capsule from the Mesozoic (Late Jurassic, Switzerland) // Swiss Journal of Palaeontology. 2025. Vol. 144, № 1. P. 1–8. <https://doi.org/10.1186/s13358-025-00352-x>
54. Dean B. Chimaeroid fishes and their development // Carnegie Institution of Washington, Publication № 32. Washington, D. C., 1906. 194 p.
55. Несов Л. А., Аверьянов А. О. Древние химерообразные рыбы России, Украины, Казахстана и Средней Азии. II. Описание новых таксонов // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. 1996. Вып 3 (21). С. 3–10.
56. Woodward A. S. The Fossil Fishes of the English Chalk. London : 1911. Part VI. P. 185–224.
57. Ward D., Bernard E., Richter M., Popov E. V. The first holomorphic fossil chimaeroid fish (Chondrichthyes, Holocephali) from the Mesozoic of Africa // The Palaeontological Association, 58th Annual Meeting. Programme, abstracts and AGM papers (December 16–19, 2014, University of Leeds). 2014. P. 102–103.
58. Popov E. V. A revision of the Late Mesozoic chimaeroid genus *Elasmodectes* (Holocephali, Chimaeroidei) // Journal of Vertebrate Paleontology, Program and Abstracts. 2014. P. 207.
59. Lauer B. H., Lauer R. H., Bernard E. L., Duffin C. J., Popov E. V., Ward D. J. Observations on the Mesozoic chimaeroid, *Elasmodectes* Newton, 1878 // 79th SVP 2019 Annual Meeting (October 9–12, 2019). Brisbane, Australia, 2019. P. 138.
60. Berrell R. W., Boisvert C., Trinajstić K., Siverson M., Alvarado-Ortega J., Cavin L., Salisbury S. W., Kemp A. A review of Australia's Mesozoic fishes // Alcheringa. 2020. Vol. 44, № 2. P. 286–311. <https://doi.org/10.1080/03115518.2019.1701078>, EDN: JUQPOG
61. Popov E. V., Rogov M. A. Polar Records of Chimaeroid Fishes (Holocephali, Chimaeroidei) from the Upper Cretaceous of Eastern Siberia // Paleontological Journal. 2024. Vol. 58, suppl. 4. P. S434–S444. <https://doi.org/10.1134/S0031030124601786>
62. Brownstein C. D., Near T. J., Dearden R. P. The Palaeozoic assembly of the holocephalan body plan far preceded post-Cretaceous radiations into the ocean depths // Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 2024. Vol. 291, № 2033. Art. 20241824. <https://doi.org/10.1098/rspb.2024.1824>, EDN: FEPMPVK
63. Попов Е. В. Новые данные по составу рода *Ischyodus* Egerton, 1843 (Pisces, Holocephali, Chimaeroidei) // Палеонтология, палеобиогеография и палеоэкология : материалы LIII сессии Палеонтол. о-ва при РАН (Санкт-Петербург, 2–6 апреля 2007 г.) / Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). СПб., 2007. С. 104–105.
64. Haq B. U. Cretaceous eustasy revisited // Global and Planetary Change. 2014. Vol. 113. P. 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.12.007>, EDN: SSWOMF
65. Underwood C. J., Mitchell S. F., Veltcamp K. J. Shark and ray teeth from the Hauterivian (Lower Cretaceous) of north-east England // Palaeontology. 1999. Vol. 42, № 2. P. 287–302. <https://doi.org/10.1111/1475-4983.00074>
66. Underwood C. J. Barremian and Aptian (Cretaceous) sharks and rays from Speeton, Yorkshire, NE England // Proceedings of the Yorkshire Geological Society. 2004. Vol. 55, № 2. P. 107–118. <https://doi.org/10.1144/pygs.55.2.107>
67. Blakey R. World paleogeographic maps. Mollweide projection. 2013. URL: <http://cpgeosystems.com/globaltext2.html> (дата обращения: 01.10.2013).

Поступила в редакцию 12.02.2025; одобрена после рецензирования 26.04.2025; принята к публикации 29.05.2025; опубликована 30.09.2025

The article was submitted 12.02.2025; approved after reviewing 26.04.2025; accepted for publication 29.05.2025; published 30.09.2025



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 211–227

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 211–227

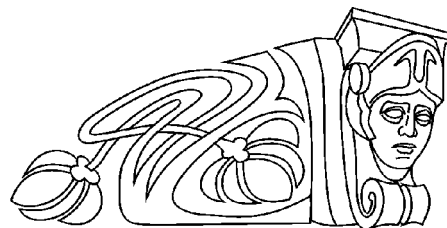
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-211-227>, EDN: TXCYRV

Научная статья

УДК 56.116.3.074.6

Граница альба и сеномана в северной части Доно-Медведицких дислокаций. Статья 1. История изучения и описание разрезов



Е. М. Первушов¹✉, Е. Ю. Барабошкин², Д. А. Шелепов¹, А. В. Бирюков^{1,3}

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Россия, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1

³Саратовский областной музей краеведения, Россия, г. Саратов, 410031, ул. Лермонтова, д. 34

Первушов Евгений Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры исторической геологии и палеонтологии, pervushovem@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7962-0274>

Барабошкин Евгений Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры региональной геологии и истории Земли, ejbaraboshkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0004-4373-1543>

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

Бирюков Алексей Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры исторической геологии и палеонтологии, palaeoanacorax@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3828-661X>

Аннотация. На территории Поволжья породы альбского-сеноманского возраста составляют единый комплекс терригенных отложений. Проведение границы отделов меловой системы обычно вызывает сложности, что обусловлено редкими находками фоссилий. В северной части Доно-Медведицких дислокаций с 50-х гг. XX в. изучаются естественные выходы отложений альбского и сеноманского ярусов в долине р. Бурлук. Авторами ранее проводились тематические исследования на разрезах Гордиенки, Красный Яр, Меловатка и Моисеево. В установленном позже местонахождении Мирошники впервые выделены палеонтологически охарактеризованные прослои фосфоритов и песчаников в пограничном интервале альбских и сеноманских отложений. Изложена история изучения стратиграфии альба-сеномана Иловлино-Медведицкой вершины Доно-Медведицкого вала. Рассмотрено строение пограничных интервалов альба-сеномана в разрезах Меловатка-5, Меловатка-6 и Мирошники.

Ключевые слова: мел, альб, сеноман, литология, песчаники, фосфориты, Поволжье, Доно-Медведицкие дислокации

Благодарности. Работа выполнена в рамках тем госзадания МГУ с использованием оборудования, приобретенного по Программе развития МГУ. Авторы благодарны П. А. Прошиной (Геологический институт РАН) за обработку и анализ микрофаунистических проб, отобранных из разреза Мирошники, В. А. Лопыреву (Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского), подготовившему фототаблицу зубов эласмобранхий. Авторы признательны Е. В. Попову за совместные полевые работы и анализ данных по эласмобранхиям.

Для цитирования: Первушов Е. М., Барабошкин Е. Ю., Шелепов Д. А., Бирюков А. В. Граница альба и сеномана в северной части Доно-Медведицких дислокаций. Статья 1. История изучения и описание разрезов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 211–227. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-211-227>, EDN: TXCYRV

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

Article

The albian-cenomanian boudary in the northern part of the Don-Medveditsa dislocations. Paper 1. The history of studying and the section descriptions

Е. М. Pervushov¹✉, Е. Yu. Baraboshkin², D. A. Shelepov¹, A. V. Biryukov^{1,3}

¹Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

²Lomonosov Moscow State University, GSP-1 Leninskie gory, Moscow 119991, Russia

³Saratov Regional Museum of Local Lore, 34 Lermontov St., Saratov 410031, Russia

Pervushov Evgeny Mikhailovich, pervushovem@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7962-0274>

Baraboshkin E. Yuryevich, ejbaraboshkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0004-4373-1543>

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

Biryukov A. Vladimirovich, palaeoanacorax@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3828-661X>

© Первушов Е. М., Барабошкин Е. Ю., Шелепов Д. А.,
Бирюков А. В., 2025



Abstract. The Albian-Cenomanian rocks compose a single complex of terrigenous deposits over the Volga Region. Delineation of the boundaries of the Cretaceous system units generally tends to cause difficulties, accounted for by rare finds of the fossils. In the northern part of the Don-Medveditsa dislocations, natural outcrops of the Albian and the Cenomanian beds in the Burluk river valley have been examined since the 1950s. The authors have earlier made some case studies on the Gordienki, Krasny Yar, Melovatka and Moiseyev sections. Within the subsequently identified Miroshniki site, the paleontologically characterized phosphorite and sandstone interlayers have been specified for the first time in the boundary interval of the Albian and Cenomanian beds. The history of studying the Albian-Cenomanian stratigraphy of the Ilovlya-Medveditsa apex of the Don-Medveditsa swell is presented. The structure of the Albian-Cenomanian boundary intervals within the Melovatka-5, -6 and Miroshniki has been considered.

Keywords: Cretaceous, Albian, Cenomanian, lithology, sandstones, phosphorites, the Volga Region, the Don-Medveditsa dislocations

Acknowledgements: The study was made within the framework of the Moscow State University state assignment topics, with the equipment acquired under the Program of the Moscow State University development. The authors are grateful to Polina A. Proshina (Geological Institute, RAS) for processing and analyzing the microfauna samples obtained from the Miroshniki section; to Vladimir A. Lopyrev (Saratov State University), who has prepared a photo table of elasmobranchian teeth. The authors are much obliged to Evgeny V. Popov for the joint field works and for analyzing the data on elasmobranchians.

For citation: Pervushov E. M., Baraboshkin E. Yu., Shelepov D. A., Biryukov A. V. The albian-cenomanian boundary in the northern part of the Don-Medveditsa dislocations. Paper 1. The history of studying and the section descriptions. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 211–227 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-3-211-227>, EDN: TXCYRV

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

Введение

В разрезе меловых отложений Поволжья терригенные образования альба-сеномана стратиграфически наименее изучены. Длительная дискуссия по разработке зональных схем сеномана этого региона не привела к появлению реализуемых на практике биостратиграфических построений. Изучение наиболее мощных и стратиграфически полных разрезов пород сеномана позволило обосновать выделение меловатской свиты с тремя подсвитами. Положение кровли сеноманских отложений в большинстве случаев однозначно определяется по прослою фосфоритовых желваков в основании карбонатных пород турона, коньяка или сантона [1, 2]. Положение подошвы этого яруса биостратиграфически достоверно не обосновано ни в одном из изученных разрезов, включая стратотип меловатской свиты. Разрез Мирошники установлен в овраге, пересекающем левый борт р. Бурлук. В этом местонахождении выделено два уровня находок аммонитов, а из одного из них, прослоя фосфоритов, изучен комплекс зубов эласмобранхий. Вертикальное распределение фоссилий с учетом их сохранности позволяет приблизиться к разработке представлений о положении границы альба-сеномана в данном разрезе и в северной части Доно-Медведицких дислокаций.

Максимальные значения мощности терригенных пород сеномана и наибольшая их стратиграфическая полнота отмечены в осевой части Рязано-Саратовского прогиба [3]. В локальных депрессиях юго-восточной части этой структуры верхний сеноман представлен песками с фосфоритами мощностью до 1–1.5 м. На южном склоне Токмовского свода Волго-Уральской антеклизы карбонатные породы турона (банновская и гулюшевская свиты) залегают на глинах верхнего альба (цнинский горизонт, парамоновская свита). Здесь установлены линзы фосфоритоносных

песчаных глин мощностью до 0.2 м, содержащих переотложенные зубы поздне-сеноманских эласмобранхий [4, 5]. Пограничный интервал альба-сеномана редко доступен для изучения в естественных разрезах [2, 6], которые приурочены к сводам и крыльям положительных структур на территории правобережного Поволжья.

История изучения пограничных интервалов альба-сеномана

Одно из первых описаний сеноманских пород Саратовской губернии представил И. Ф. Синцов, охарактеризовавший выходы этих образований в бассейне р. Медведица и ее левого притока – р. Бурлук [7–9]. Он указал на присутствие в глинисто-слюдистых песчаниках и перекрывающих их песках устриц *Exogyra conica* Sowerby [= *Amphidonte conicum* (Sow.)], *Ostrea haliotoidea* Sowerby и *O. hippopodium* Nilsson. Впоследствии И. Ф. Синцов предложил выделить в нижнем сеномане зону *Exogyra conica*/*Actinocamax primus*, а в верхнем сеномане – зону *Lingula krausei*/*Inoceramus orbicularis* [10]. Вопрос о положении подошвы сеномана в Поволжье впервые рассмотрен С. Н. Никитиным [11]. Им на основе единичных находок аммонитов [11, с. 112, 131] установлены сеноманские отложения в Саратовском Правобережье и предположен непрерывный переход от альба («гольга») к сеноману внутри песчаной толщи.

В Поволжье первые находки неопределимых аммонитов в песчаниках, подстилающих сеноманские отложения, указаны в работе А. Д. Архангельского [12]. Позже эту часть разреза А. Н. Мазарович [13] и Н. С. Шатский [14] отнесли к среднему альбу, сопроводив свои наблюдения списками аммонитов и других фоссилий. В. Н. Ефимова и А. Е. Глазунова [15] подтвердили это предположение, установив в бассейне р. Медведица в прослое песчаника («альбская плита»)



в верхней части разреза аммониты *Dimorphopholites rossiensis*, *D. burlukensis* и *Anahoplites cf. sinzowi*, характеризующие верхнюю часть среднего альба. Там же, в основании сеномана, Н. В. Бакиным [16] обнаружен фрагмент *Mortoniceras inflatum*, который рассматривался как переотложенный из верхнеальбской толщи. Эта находка впоследствии цитировалась в ряде публикаций [17, 18].

На Правобережье Саратовской губернии описывались нерасчлененные пески и песчаники гольта-сеномана с прослоями глин [19]. А. Н. Мазарович [13] сомневался в наличии литологически выраженного горизонта на границе «гольта» и сеномана, считая возможным проведение четкой границы лишь в отдельных районах [13, 20, 21]. В первой трети XX в. выявление районов распространения сеноманских отложений и их изучение было обусловлено поиском залежей фосфоритов [22, 23] как одного из источников минеральных удобрений. Одним из результатов этих изысканий стала разработка биостратиграфической схемы сеномана Поволжья. В этой схеме в нижнем сеномане установлена зона *Echoceras conica*/*Actinocamax plenus*, а в верхнем – слои с *Lingula krausei* (в настоящее время данный вид рассматривается как синоним *Lingularia similis* Biernat et Emig, 1993 [24]) [25]. Среди характерных сеноманских фоссилий указывались двустворчатые моллюски, брахиоподы, зубы акул и кости морских рептилий. Отмечалось, что находки фоссилий приурочены к верхним интервалам сеноманских отложений, к прослоям фосфоритов, скоплениям устриц и брахиопод. В нижних интервалах, среди фосфоритов в подошве песчаников, отмечались сеноманские *Schloenbachia* sp. Из альбских отложений указывались редкие ядра нижне- и среднеальбских аммонитов. В 1950-е гг. разрабатывалась схема биостратиграфического расчленения нижнемеловых отложений Доно-Медведицких дислокаций на основе двустворчатых моллюсков [26–31].

Результаты геолого-съемочных и тематических работ по литологии альба-сеномана и их палеонтологической характеристике на территории Поволжья представлены в объяснительных записках [32–34], публикациях [35–37] и обобщающих сводках [38–42]. В работах отмечается неопределенность положения подошвы сеномана на территории Волго-Донского междуречья, особенно там, где породы этого яруса подстилаются альбскими образованиями сходного состава. Изучался минеральный состав отложений и прослеживались уровни повышенного содержания аксессуарных рудных компонентов [43] и маркирующие горизонты [44].

Характеристика подошвы сеноманских отложений рассматривается в ряде публикаций. В бассейне р. Иловля она считалась отчетливой и соотносилась с фосфоритовой плитой [20].

Присутствие фосфоритового горизонта в подошве сеномана отмечено и по правому берегу р. Медведица в разрезе Меловатка [21]. В бассейне р. Хопер в подошве сеномана также указывалось на присутствие фосфоритового горизонта [15] и предполагалось выделение зоны *Pecten asper*/*Pecten orbicularis*. Положение границы альба и сеномана в разрезе Красный Яр (север Доно-Медведицких дислокаций) предполагалось на основе элasmобранхий [45, 46]. При крупномасштабном геологическом картировании территории г. Саратова выделен объединенный альбско-сеноманский интервал [47], хотя ранее, в отчетах, отмечался фосфоритовый горизонт в основании сеноманских глин в южной части города. В пограничном интервале альба и сеномана Заволжья прослежены три фосфоритовых горизонта и отмечен значительный перерыв [48].

В первой половине XX в. в Поволжье при проведении полевых работ местные стратиграфические подразделения не использовались. Позже, помимо ярусных и подъярусных подразделений, в практику полевых исследований вошло использование биозон. В унифицированной схеме [49] двучленное разделение сеноманского яруса было дополнено биоэонами: в нижнем сеномане – зона *Neohibolites ultimus*/*Pecten asper*, в верхнем – зона *Acanthoceras rothomagensis*/*Actinocamax plenus*. Эти представления прослеживаются и в последующих биостратиграфических схемах [50, 51]. По итогам совещания по уточнению унифицированных схем [52] в сеномане была установлена нижняя зона *Actinocamax primus* и верхняя – *Actinocamax plenus*. А. Е. Глазунова [53] для нижнего сеномана Поволжья предложила зону *Actinocamax primus* с подзонами *Synciclonema orbicularis* и *Amphidonta conica*, а в верхнем – зону *Actinocamax plenus*/*Lingula krausei*.

В постановлении Межведомственного стратиграфического комитета [54] было предложено трехчленное деление сеномана и выделение зон *Mantelliceras mantelli*, *Acanthoceras rothomagensis* и *Acanthoceras jukesbrownei*. В дальнейшем [55] в нижнем подъярусе была установлена зона *Mantelliceras mantelli*/*Mantelliceras dixonii*, а в верхнем – зона *Acanthoceras jukesbrownei*/*Calycoceras guerangeri*. В Поволжье реализация этой стратиграфической схемы затруднительна, что объясняется неравномерной палеонтологической охарактеризованностью альбско-сеноманского интервала и редкими находками зональных форм [56].

В последние годы было предпринято изучение рассматриваемого интервала палеонтологическими (иноцерамы, цефалоподы, брахиоподы, губки, морские позвоночные, наннопланктон), литологическими, палео- и петромагнитными методами [48, 57, 58]. По итогам проведенных исследований разработана Стратиграфическая



Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов пограничных интервалов пород альба-сеномана: а – полигон исследований на территории Саратовского-Волгоградского правобережья и расположение изученных разрезов в стратотипическом районе меловатской свиты (сеноман). Условные обозначения: Опорные разрезы циннской (альб) и меловатской (сеноман) свит: 1 – Мирошники, 2 – Мирошники-1, Мирошники-2, 3 – Красный Яр, 4 – Моисеево, 5 – Меловатка-5, Меловатка-6. Разрез пограничных интервалов пород альба-сеномана (1 – Шаблиха) и опорный разрез среднего сеномана (2 – Нижняя Банновка). Пути сообщения: — железная дорога, — шоссе, — — — — — грейдер (цвет онлайн)



Рис. 2. Модель фациального строения базального горизонта сеномана, формировавшегося в условиях предполагаемого рельефа дна в начале раннесеноманского осадконакопления. Условные обозначения: 1 – песок кварцевый, 2 – алевропесчаник кремнистый, 3 – алевропесчаник “ризолитовый”, 4 – алевролит, 5 – глина, 6 – цементация ихнофоссилий, 7 – слюда, 8 – алевропесчаники железистые, 9 – очаговая цементация окислами железа, 10 – ихнофоссилии, 11 – фосфориты желваковые, 12 – фосфориты веретенообразные, 13 – глауконит, 14 – галька пелитового и алевролитового состава, 15 – слоистость косая мульдобразная, 16 – слоистость косая диагональная параллельная, 17 – аммониты, захоронение: а – автохтонное, б – аллохтонное, 18 – зубы эласмобранхий, 19 – зубные пластины химер, 20 – телеостеи, 21 – фосфатные раковины брахиопод, 22 – гастроподы, 23 – двустворчатые моллюски, 24 – лопатоногие моллюски, 25 – детрит фосфатной древесины, 26 – интервалы отбора образцов: а – шифры, б – микрофоссилии (цвет онлайн)

схема верхнемеловых отложений Восточно-Европейской платформы [59–61], в которой сеноманский ярус в Поволжье рассматривается в объеме меловатской свиты. Изучение опорных разрезов Правобережья Волгоградской и Саратовской областей с привлечением промыслово-геофизических данных позволило выделить в составе меловатской свиты три подсвиты [2], отражающие регрессивное строение сеномана [58, 62].

С целью обоснования границы альба и сеномана были проведены работы по изучению тафономии конденсированных и концентрированных захоронений [63, 64] в разрезах Меловатка-5 и Меловатка-6, Красный Яр-1 (рис. 1). В них пограничный интервал пород альба и сеномана характеризуется близким литологическим составом, а редкие фоссилии (зубы эласмобранхий, брахиоподы) были ранее собраны из прослоев фосфоритов нижних интервалов сеномана. Разрез Мирошники изучался в 2014–2019 гг., где, помимо зубов эласмобранхий, найдены аммониты из прослоя фосфоритовых желваков и подстилающих песчаников.

О положении подошвы сеноманского яруса в Поволжье

Вопрос обоснования подошвы сеноманского яруса в Поволжье до сих пор не имеет однозначного решения, что объясняется рядом обстоятельств.

1. На юго-востоке Рязано-Саратовского прогиба и на северо-восточном склоне Воронежской антеклизы пограничный интервал альба-сеномана сложен однообразными породами: песками (Доно-Медведицкие дислокации), песками с прослоями алевропесчаников (Хоперская моноклинал, южная часть Ртищевско-Баландинского вала) или алевроитистыми глинами (Саратовские дислокации). Граница между альбом и сеноманом определялась по литологическим и минералогическим данным [41]. Отличительным признаком сеноманских отложений считалось повышенное содержание глауконита, а пески альба описывались как исключительно кварцевые. Предполагалось, что изучение типов слоистости также позволит обособить интервалы альбских и сеноманских пород. За подошву сеномана принимали основание одного из прослоев фосфори-



тов или железистого алевропесчаника с галькой фосфоритов и подстилающих пород [35, 41].

Предполагается, что структурный план и геодинамический режим территории в раннем сеномане обусловил разнообразие литологического состава базальных образований. В основе этого предположения анализ литологического состава базальных образований сеномана в разных структурно-фациальных зонах (рис. 2). В сводах положительных структур, выделявшихся в рельефе дна раннесеноманского бассейна отмелями, формировались железистые кирасы, а в условиях верхней сублиторали и супралиторали концентрировалась галька и фосфоритовые окатыши [65]. В пониженные интервалы бассейна проникали прохладные воды и кремнепродуцирующие организмы. После гибели кремниевых губок и диатомовых водорослей, в процессе диагенеза, кремнезем их скелетов послужил цементирующей массой вмещающих алевроитов и песков.

2. Пограничные интервалы пород альба-сеномана почти не содержат фоссилий. С одной стороны, это определено закономерностями развития представителей эпибентосной биоты. В раннем сеномане верхнюю сублитораль локально заселяли монотипные поселения брахиопод с фосфатной раковиной, зарывающихся (*Lingula*) и прикрепляющихся (*Discinisca*), и декапод. Проявления инвазии и прохореза моллюсков, кремниевых губок и замковых брахиопод отмечаются на протяжении среднего и позднего сеномана [66]. С другой стороны, отчасти, отсутствие фоссилий определяется терригенным составом пород, в которых редки автохтонные захоронения фоссилий и низкое содержание биогенного карбоната. В прослоях глин, опробованных в пограничном интервале альба-сеномана в разрезах Красный Яр-1, Меловатка и Мирошники выделены редкие радиолярии и одноосные кремниевые спиккулы. Фоссилии присутствуют в терригенных породах альба-сеномана благодаря фосфатизации их раковин и скелетов. В породах альба равномерно рассеянных и концентрированных захоронений фоссилий не установлено.

3. При диагенезе рассматриваемых отложений происходило растворение раковин и скелетов карбонатпродуцирующих организмов. Вследствие этого консервация фоссилий происходила лишь в условиях замещения соединениями фосфора или кремнезема. Единичные фрагменты аммонитов описаны из фосфоритовых и кремнистых прослоев в породах среднего альба-сеномана [15, 16, 18, 67]. Створки иноцерамид и ростры белемнитов встречаются редко. Зубы эласмобранхий доминируют в сеноманских ориктоценозах, что позволяет использовать их для задач биостратиграфии [68]. Химеровые рыбы (*Holocerphali*: *Chimaeroidei*) сеномана менее пригодны для этих целей [69].

4. Неоднозначность представлений о положении границы альба-сеномана не позволяет проследить величину стратиграфического среза подстилающих образований до сеноманского осадконакопления. Поверхности перерывов, прослой и линзы глин, фосфоритов и «ракушечных мостовых», отмечены внутри пород сеномана, пространственное распространение которых не прослеживается [57]. Величина эрозионного среза верхних интервалов сеноманских отложений устанавливалась на основе тафономических методов, при сопоставлении серии близрасположенных стратифицированных разрезов [63, 64].

Методика работ

При изучении разрезов альбских-туронских пород прослеживались прослой концентрации псефитового материала. С каждого уровня фосфоритов отбиралась проба терригенного материала на площади 1 м² с учетом мощности этого образования. Из состава проб выделялись стратиграфические комплексы фоссилий, а в их составе – палеоэкологические и тафономические группировки [63, 64]. При изучении эласмобранхий собирались объемные весовые пробы с последующим анализом концентрата.

В разрезе Мирошники из прослоя фосфоритов (слой 10, рис. 3) отобрано шесть проб общим объемом 1388 л. Материал проб отмылся на ситах с размером ячеек 2.5 мм и 1 мм при последовательной выборке и определении фоссилий. После просушки разбор концентрата проводился под микроскопом МБС-9 (АО «Лыткаринский завод оптического стекла», Россия). В итоге собрана коллекция из 1390 зубов эласмобранхий, среди которых 1/3 (493 экз.) была определена до уровня рода и вида, а около 40% представлено фрагментами коронок зубов ламнообразных акул (*Lamniformes* gen. indet.). В этом же разрезе песчаниковые ядра аммонитов найдены в пористых песчаниках и тальвеге оврага, вблизи выхода этих же пород. Фосфоритовые ядра и фрагменты аммонитов извлечены из проб и собраны из слоя 10.

В разрезах Меловатка-5 и Меловатка-6 пробы из прослоев фосфоритов в нижней части сеномана отбирались неоднократно [68]. В микрофаунистических пробах из прослоев глин (см. рис. 3) установлены спиккулы кремниевых губок. При минералого-петрографических исследованиях использовался поляризационный микроскоп Карл Цейс Аксиолаб А1POL (Германия). Фотографии шлифов выполнены камерой Canon 650D (Canon, Япония) при увеличении 100× и 200×.

Разрез Мирошники

Разрез расположен на левом борту р. Бурлук, близ с. Мирошники (Волгоградская область).

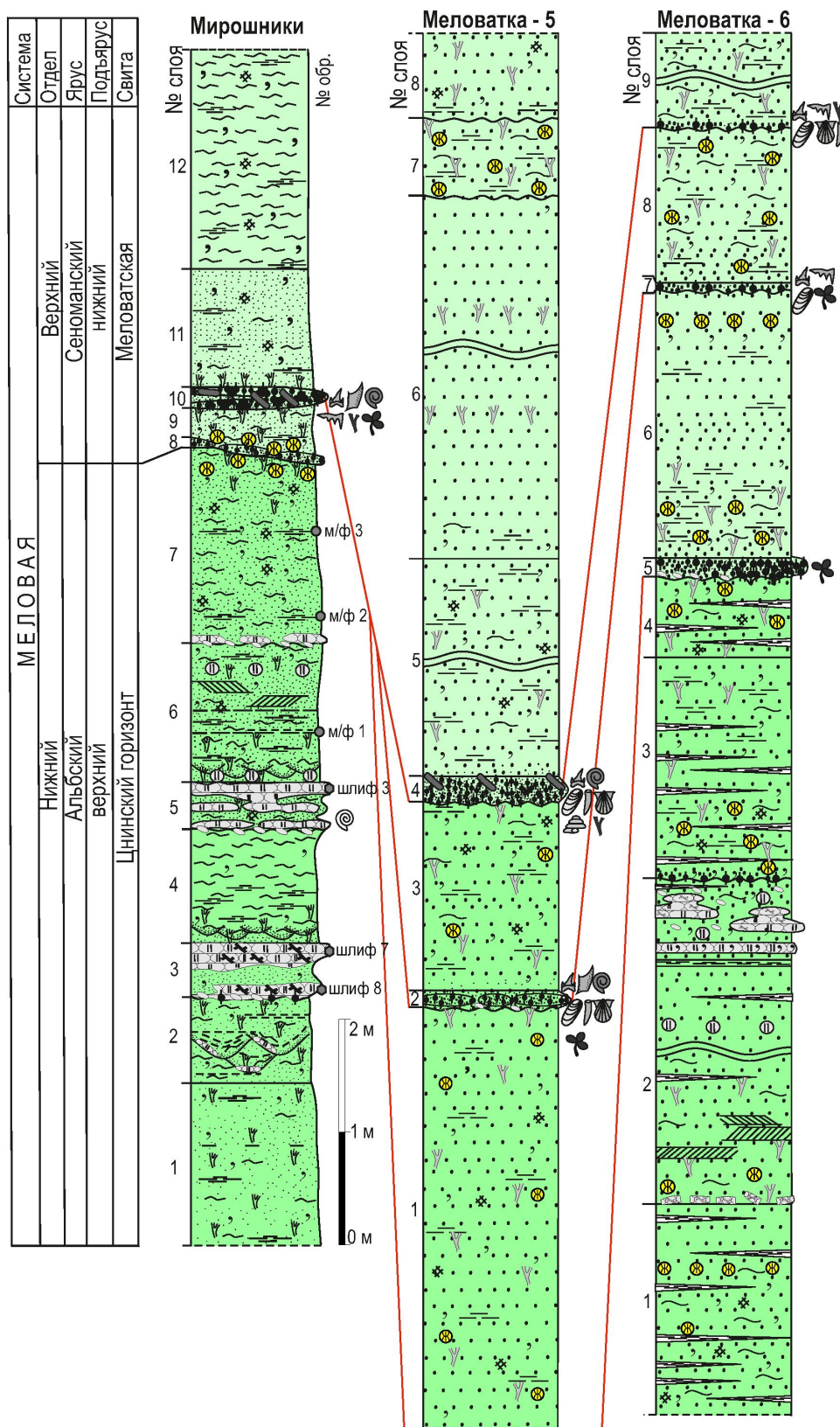


Рис. 3. Сопоставление пограничных интервалов альбских-сеноманских отложений в разрезах Мирощники – Меловатка-5 – Меловатка-6. Условные обозначения см. рис. 2 (цвет онлайн)



Он установлен при изучении обнажений на северо-западном крыле Доно-Медведицкого вала: Красный Яр, Меловатка и Моисеево (см. рис. 1), где Л. С. Гликман предполагал присутствие альбских отложений на основе изучения эласмобранхий [45]. Полого погружающиеся на юго-запад породы альба-сеномана вскрыты оврагом глубиной до 7 м (рис. 4, а–г). Описание приведено снизу вверх (см. рис. 3).

1. Песок кварцевый мелкозернистый, алевритистый и глинистый. Порода пятнистая, серая

и зеленовато-желтая, с многими ихнофоссилиями. Видимая мощность 1–1.5 м.

2. Переслаивание песков кварцевых белых, светло-серых с глинами темно-синими и алевритами серо-желтыми. Слоистость пологая косая мульдобразная, с прослоями песка зеленого глауконитового. Спорадические проявления сливных песчаников. Мощность 0.7–0.8 м.

3. Алевропесчаник глауконито-кварцевый (табл. 1), мелкозернистый (0.08–0.35–0.21–0.25 мм) с кремнистым цементом (25–30%),

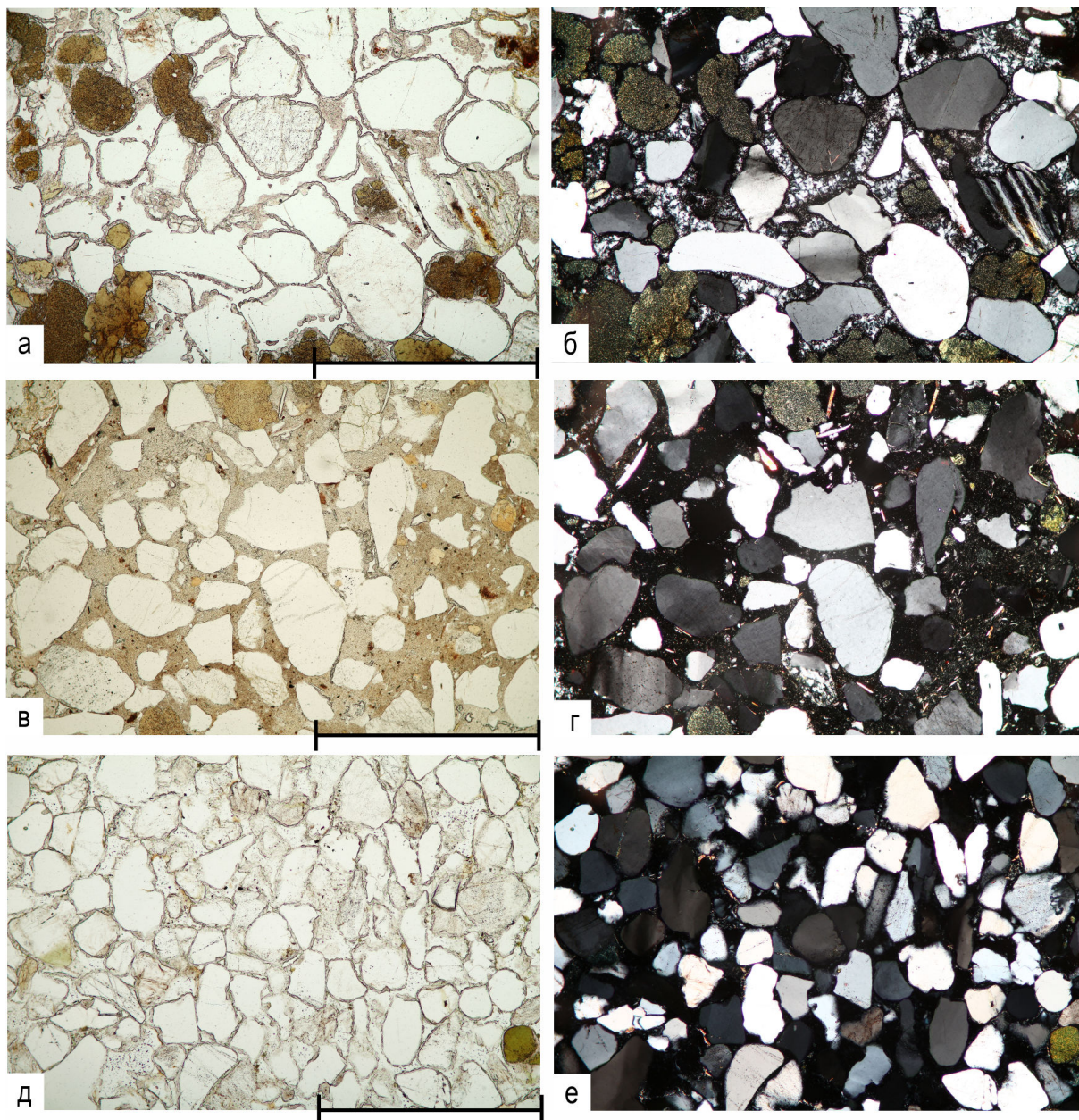


Таблица 1. Разрез Мирошники, слой 3. Шлифы алевропесчаников верхнего альба. Ув. 100×. а, б – глауконито-кварцевый алевропесчаник с опал-халцедоновым крустификационным цементом: а – ник. II, б – ник. +; в, г – глауконито-кварцевый песчаник с опаловым базальным цементом: в – ник. II, г – ник. +; д, е – глауконито-кварцевый алевропесчаник с опаловым крустификационным цементом, сильно пористый: д – ник. II, е – ник. +. Длина масштабной линейки 1 мм (цвет онлайн)

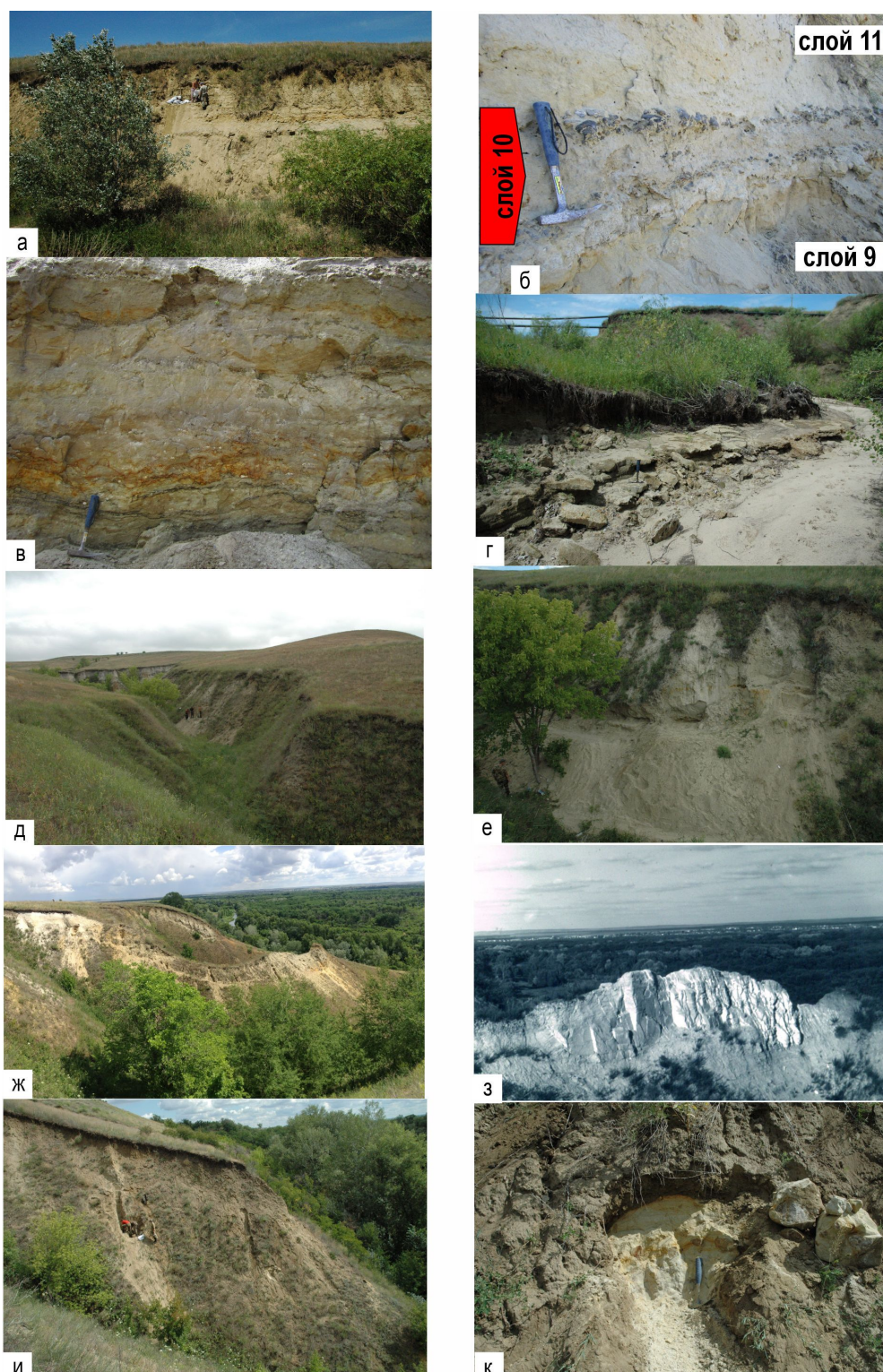


Рис. 4. Разрезы, в которых изучены пограничные интервалы альбских-сеноманских отложений. Разрез Мирошники: а – слой 10, отбор объемной пробы из прослоя фосфоритов (2016 г.); б – слой 10, прослои желваковых фосфоритов (2014 г.); в – слой 6: в верхней части косяя слоистость кварцевых песков, в подошве тонкие прослои, обогащенные глауконитом и перекрытые линзами глин (2016 г.); г – слой 5, плита песчаника. Разрез Меловатка-5: д – вид разреза с устьевой части оврага (2010 г.); е – отбора объемной пробы из прослоя фосфоритов (2012 г.). Разрез Меловатка-6: ж – общий вид местонахождения (2014 г.); з – центральная часть местонахождения (1994 г.); и – пограничный интервал пород альба-сеномана с «рогульчатыми» песчаниками (2012 г.); к – слой 2, кварцевые пески с «рогульчатыми» песчаниками (2012 г.). Фото Е. М. Первушова (цвет онлайн)



состоящий из кварца (60–65%), глауконита (10–15%), обломков кремнистых пород, единичных зерен полевых шпатов (микроклин, ортоклаз, кислые плагиоклазы), мусковита (1–3%). Из-за неравномерной цементации формируют протяженные линзы мощностью 0.1–0.2 м. Верхний прослой плотный, с корочковым опалово-халцедоновыми поровым и халцедоновым цементами, с мелкими горизонтальными норами, исходящими из одного центра. В подошве песчаника залегают прослой и линзы светло-серых глин и алевроитов мощностью до 7–15 см. Нижний прослой песчаника рыхлый, ячеистый из-за неравномерной цементации по крупным ходам *Ophiomorpha* с нодулярной поверхностью. Отличается от вышележащего степенью цементации (см. табл. 1) и опаловым составом корочкового цемента. Поровое пространство, выполненное в вышележащем песчанике халцедоном, в нижнем прослое остается пустым. Степень цементации нижнего прослоя песчаника и его мощность не выдержаны. Между плитами сливных песчаников прослеживается более рыхлый песчаник мощностью 0.15–0.2 м. Для «ризолитовых» песчаников характерна селективная цементация стенок и полостей нор *Skolithos*, *Ophiomorpha* и *Thalassinoides*. Подошва песчаников четкая или постепенно переходящая в нижележащий слой, насыщенный *Thalassinoides* и *Ophiomorpha*. В основании редкая галька фосфатных алевроитов и скопления интракластов глин диаметром до 2–3 см. Мощность 0.5 м.

4. Алевроит кварцевый глауконитистый, темно-серый и зеленоватый, пятнистый, с ихнофоссилиями. В нижней части переслаивание песков кварцевых светло-серых косослоистых с глинами синими жирными. В подошве обилие псаммитовых зерен кварца. Мощность 0.5–1.0 м.

5. Алевропесчаник глауконито-кварцевый мелко-среднезернистый (0.07–0.27 мм, редко до 0.45 мм) с кремнистым цементом (25–30%). Микроскопически (табл. 2) порода состоит из кварца (60–65%), глауконита (5–10%), полевых шпатов, кремнистых зерен, мусковита (1–3%). Цвет породы темно-серый и серо-зеленый с коричневым оттенком. Цемент контактово-поровый, опал-кристаллитовый, с примесью глинистых минералов, кварца, серицита и биогенного детрита (спикулы губок, радиолярии, фораминиферы). Псевдоморфозы по раковинам фораминифер заметны за счет заполнения их камер глауконитом. Слоистость пологая мульдобразная. В средней части много нор ракообразных *Ophiomorpha nodosa* Lundgren, 1891 и *Thalassinoides callianassae* Ehrenberg диаметром до 3–5 см и *Skolithos* isp., ориентированных вертикально и диагонально. Ближе к кровле присутствуют горизонтальные норы *Ophiomorpha irregulare* Frey, Howard et Pryor, диаметром 1–2 см. Поверхность песчаников неровная,

скульптурирована сцементированными организованными системами нор *Thalassinoides callianassae* и *T. suevicus* длиной 10–15 см или многими пересекающимися ходами ракообразных субгоризонтальной ориентации диаметром 2–2.5 см. Кровля слоя резкая, с редкими плоскими гальками фосфатных алевролитов и глин диаметром 2–3 см. Подошва ровная и резкая. Из слоя происходят фосфатные песчаные ядра аммонитов: *Mortoniceras* (*Mortoniceras*) *fallax* Breistroffer и *Mortoniceras* (*Mortoniceras*) sp. Ранее образования, слагающие слои 3 и 5, описывались как «ризолитовые» или «фигурные». Мощность 0.5–0.8 м.

6. Тонкое переслаивание песков и глин. Песок кварцевый, средне- и мелкозернистый, серо-желтый и коричневатый, слюдястый, с редкими черными и светло-серыми включениями (1–1.5 мм), угловатыми зернами глауконита и темноцветных минералов. Отдельные прослой с табулярной слоистостью, падающей на 20 градусов. Глина серо-синяя и черная пластичная, листоватая, толщиной до 1 см. В прослоях песков мощностью до 2–3 и 5 см заметна селективная цементация ихнофоссилий диаметром до 1–1.5 см. В нижнем интервале слоя распространены линзы алевроитов и глин толщиной 3–4 см, с тонкими вертикальными норами *Skolithos*. В подошве отмечена пологая мульдобразная слоистость. Порода плитчатая, с кольцами Лизеганга. Мощность 0.6–1.3 м.

7. Песок кварцевый мелко- и тонкозернистый, светло-серый, желтоватый, с редкими зернами глауконита. Тонкие прослой темно-серых глин перекрыты плитчатыми ярко-желтыми алевролитами. Вертикальные норы *Skolithos* длиной до 2–3 см выполнены светлым кварцевым песком с зернами глауконита. Поверхности прослоев глин, глинистого и фосфатного песка мощностью до 5 см, неровные, ячеистые из-за обилия ходов *Ophiomorpha nodosa* и *Thalassinoides*. В нижней части прослеживается локальное окремнение породы до степени сливных песчаников. В подошве залегает галька светло-серых алевролитов, ядра ихнофоссилий (1–2 см), интракласты глин. Мощность 0.3–1.5 м.

8. Уровень линз и разрозненных черных фосфоритовых галек. Фосфориты образованы по песчаникам и глинам, серые и серо-коричневые, разных размеров и очертаний, угловатые и со следами биоэрозии. Подошва неровная и резкая. В юго-западном направлении линзы срезаются слоем 10. Мощность 5–10 см.

9. Песок кварцевый мелко- и тонкозернистый, с зернами глауконита, серо-желтоватый, пятнистый, алевроитистый, с линзами синих и черных глин, с чешуйками слюды. Мощность 0.3–0.5 м.

10. Прослой фосфоритов, по простиранию распадающийся на два (см. рис. 4, б). Матрикс

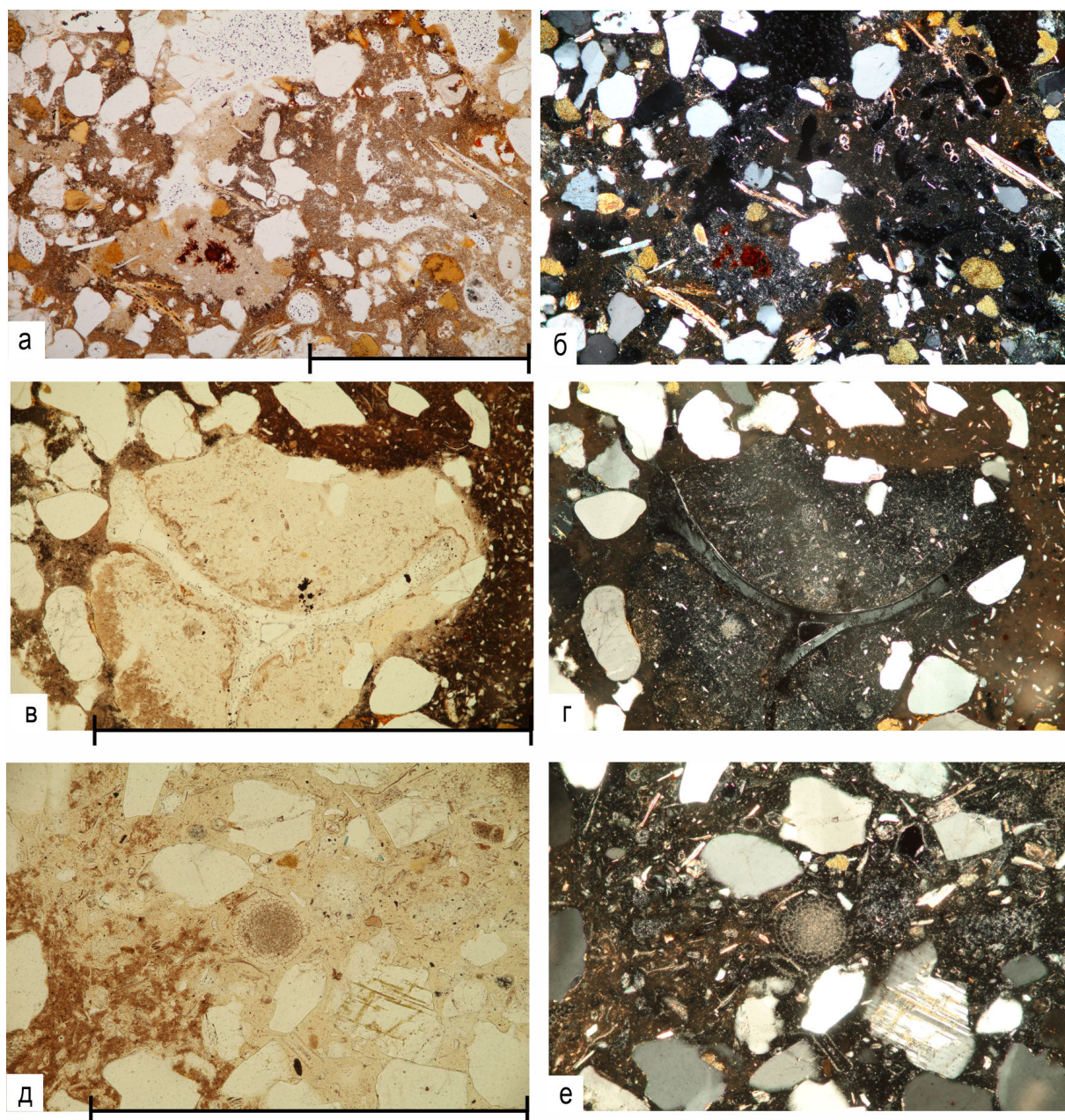


Таблица 2. Разрез Мирошники, слой 5. Шлифы алевропесчаников верхнего альба; а, б – кварц-глауконитовый алевропесчаник на кремнистом (опаловым) цементе, с органогенным детритом. Ув. 100×: а – ник. II, б – ник. +; в – глауконито-кварцевый алевропесчаник с фрагментом спикюлы в опаловой массе. Ув. 200×: в – ник. II, г – ник. +; д, е – глауконито-кварцевый алевропесчаник с фрагментами фораминифер в опаловой массе. Ув. 200×: д – ник. II, е – ник. +. Длина масштабной линейки 1 мм (цвет онлайн)

состоит из зелено-коричневого тонко- и мелкозернистого кварцевого алевроитистого песка с зернами глауконита. В верхней части сконцентрированы черные песчаные фосфоритовые гальки и их сцементированные агрегаты. В основании слоя много крупных черных веретенообразных фосфоритов, иногда глянцевого, длиной до 0.2–0.3 м, образованных по норам. Распространены плоские овальные гальки фосфоритов, образованные по линзам и прослоям глин, и ку-

половидные песчаные фосфориты диаметром до 0.2–0.25 м, пронизанные ходами, диаметром до 2–3 мм. Много мелких листовидных «дырчатых» галек фосфатных глин. Две генерации фосфоритов. Первая генерация – это многочисленные агрегаты фосфоритов размером 0.1–0.2 м, реже до 0.3 м, высотой до 5–7 см. Кровля агрегатов ровная, подошва неровная, с цилиндрическими глубокими понижениями. В агрегатах много копрогенного и костного материала рыб, древес-



ного детрита. Вторая генерация – это редкие массивные округлые и сферические фосфориты размером до 0.1–0.15 м со следами биоэрозии. Поверхность включений черная, на сколе они темно-коричневые. Галька по алевролитам плоская светло-серая, слабо окатанная, диаметром 7–10 см и толщиной 1–2 см.

Выделены ядра аммонитов *Mortoniceras* sp. ind., *Mortoniceras* (M.) sp., *Mortoniceras* (*Mortoniceras*) aff. *nanum* Spath и *Callihoplites leptus* (Seeley), зубы эласмобранхий, зубные пластины химеровых рыб, фрагменты костей морских рептилий, копролиты декапод, ядра двустворчатых моллюсков (*Arctica* sp.) и фосфатная древесина размером 0.2×0.03–0.05 м, со следами биоэрозии. Мощность 0–0.15 м.

11. Песок кварцево-глауконитовый серый и коричневато-зеленоватый, тонко- и мелкозернистый, алеврито-глинистый, с чешуйками слюды, с косыми прослоями серо-желтых алевритов. В нижней части распространены субвертикальные норы диаметром до 0.5–1 см, выполненные светло-серым песком. Мощность 0.8–1 м.

12. Алеврит кварцево-глауконитовый, серопалевый. Видимая мощность до 2 м.

Разрез Меловатка-5

Расположен на севере Волгоградской области, восточнее с. Меловатка (см. рис. 1). Описание и отбор проб проводились в овраге по правому борту р. Медведица (см. рис. 4, д, е). Описание приведено снизу вверх (см. рис. 3).

1. Песок кварцево-глауконитовый, темно-серый пятнистый, мелкозернистый, глинистый и слюдистый. Много вертикальных нор диаметром 0.5–3 см, заполненных черной глиной. Видимая мощность 2.0 м.

2. Линзы фосфоритовых желваков в песке. Черные фосфориты хорошо окатаны, округлые и уплощенные, глянцевые, некоторые со следами биоэрозии. Коричневые фосфориты редки и слабо окатаны, образованы по среднезернистым кварцевым пескам с интракластами глин, с «зернистой» поверхностью. Размеры черных и коричневых фосфоритов от 0.5 до 12 см. Установлены ядра двустворчатых моллюсков (1 экз.), фрагменты аммонитов (3 экз.), скалопод (3 экз.), брахиопод (*Lingula* sp. 8 экз., *Discinisca* spp., 13 экз.), декапод (7 экз.), фрагменты фосфатной древесины (7 экз.). Из проб, отобранных в 2011–2015 гг., извлечено 1652 зуба эласмобранхий: *Polyacrodus* sp., *Acrodus* sp., *Paraorthacodus recurvus* (Trautschold), *Squatina cranei* (Woodward), *Cederstroemia* cf. *triangulate* Siverson, *Protosqualus glickmani* Averianov, *Heterodontus canaliculatus* (Egerton in Dixon), *Anomotodon principalis* Cappetta 1975, *Eostriatolamia subulata* (Agassiz),

Paraisurus macrorhiza (Pictet et Campiche, 1858)*; *Archaeolamna* cf. *kopingensis* (Davis), *Cretolamna* ex gr. *borealis* (Priem, 1897), *Cretoxyrhina vracensis* (Zhelezko, 2000), *Pseudoscapnorhynchus compressidens* Herman, *Protolamna* cf. *sokolovi* Cappetta, *Johnlongia allocotodon* Siverson, 1996, *Pseudomegachasma casei* (Nessov, 1999), *Palaeanacorax volgensis* Glückman 1971; *Synechodus dubrisiensis* (Mackie), *Squatirhina draytoni* Guinot et al., *Turonibatis cappettai* Landemaine, 1991. Обнаружен фрагмент режущего края зуба *Squalicorax* sp., с характерно обособленными зубцами. Выделены кости ихтиозавров, зубные пластины химер. Мощность 0.1–0.2 м.

3. Песок кварцево-глауконитовый, мелкозернистый, темно-серый пятнистый, глинистый и слюдистый. Много вертикальных нор диаметром 0.5–3 см, сложенных черной глиной, и сегментов железистых ихнофоссилий диаметром до 5 см. Мощность 1.8 м.

4. Прослой фосфоритов. Галька темно-коричневая и черная, песчанистая, с «зернистой» поверхностью, неправильных очертаний и размером до 4×10 см. Включения плотно сгружены и находятся в матриксе из красно-желтого среднезернистого кварцевого песка. В кровле залегают овально-вытянутые ихнофоссилии размером до 7×20 см. В пробах, отобранных в 1990-х гг., выделены ядра мелких двустворчатых моллюсков (*Arctica* sp., *Venus* sp., 25 экз.), гастропод (123 экз.), фрагменты аммонитов (3 экз.), скалопод (2 экз.), брахиопод (*Lingula* sp., 59 экз., *Discinisca* spp., 359 экз.), декапод (8 экз.) [63, 64]. В пробах 2011–2015 гг. эласмобранхии редки. Мощность 0.1–0.3 м.

5. Песок кварцево-глауконитовый, светло-серый, мелкозернистый, глинистый и слюдистый. Много субпараллельных линзовидных прослоев песка глинистого и глин синих толщиной до 1–2 см. Ихнофоссилии различно ориентированы, диаметром 1–3 см. Мощность 3 м.

6. Песок кварцевый, белый, средне- и мелкозернистый, слюдистый. В верхней части с линзами крупных зерен кварца. Зерна глауконита сконцентрированы близ кровли и подошвы. В 0.7 м ниже кровли залегает прослой среднезернистого песка толщиной до 0.8 м. Ориентированные хаотично ихнофоссилии диаметром 1–10 см составляют прослой мощностью до 0.4 м. В нижней части слоя песок глауконитовый, мелкозернистый, глинистый и алевритистый. Переход к нижележащему слою постепенный. Мощность около 10 м.

7. Песок кварцевый, среднезернистый, желто-красный, пронизан *Ophiomorpha* размером 0.7×5 см и 0.5×2 см. Мощность 0.8 м.

8. Песок кварцево-глауконитовый, мелкозернистый и слюдистый, желтовато-серый. Много

* Два известных зуба сильно окатаны и, вероятно, переотложены из подстилающих пород.



ихнофоссилий разных очертаний и размером 1×3 см. В нижнем интервале распространены редкие линзы глинистого серо-коричневого песка толщиной до 1 см. Видимая мощность 0.7 м.

Нижняя часть разреза Меловатка-6

Обрыв высокого правого берега излучины р. Медведица (см. рис. 2), прорезанный короткими глубокими оврагами (см. рис. 4, ж–к). Нижние интервалы разрезов Меловатка-5 и Меловатка-6 палеонтологически охарактеризованы. Описание приведено снизу вверх (см. рис. 3).

1. Песок кварцево-глауконитовый, серый и серо-зеленый мелкозернистый, глинисто-алевритовый, слюдистый. Слоистость горизонтальная, с прослоями глинистого песка толщиной 2–8 см. В подошве порода более глинистая и темная. Видимая мощность около 2 м.

2. Песок кварцевый, крупно- и среднезернистый, светло-серый и желтоватый, с линзами зеленоватых жирных глин толщиной до 1 см. В 0.3 м ниже кровли распространены «рогульчатые» кварцевые песчаники размером до 0.2–0.3 м. Поверхность песчаников неровная из-за полостей ходов диаметром до 1–2 мм и их ядер диаметром до 1–1.5 см. Крупные субгоризонтальные сегменты *Thalassinoides* и *Ophiomorpha* диаметром до 5–7 см сливаются в крупные стяжения размером до 0.5–0.7 м. Подстилают песчаники пески серые кварцево-глауконитовые, средне- тонкозернистые, с линзами мелких плоских интракластов темно-синих и темно-серых глин мощностью до 1 см. В 0.7 м ниже кровли залегает сливной серо-зеленый песчаник кварцево-глауконитовый разнозернистый, с четкими и ровными поверхностями, тонко горизонтально слоистый, мощностью 0.1–0.15 м. В песках распространены кремнистые ядра ходов диаметром 1–2 мм. В 1.0 м ниже кровли выделен прослой светло-серых глин, линзы и окатыши глин с гнездами кварцевого разнозернистого песка. На глубине 2.2–2.3 м от кровли прослежен уровень неравномерно окремнелых ходов диаметром 2 мм и неравномерно сцементированных разнозернистых рыхлых песчаников. От кровли слоя к кремнистым песчаникам уменьшается зернистость песков, – до тонкозернистых. В 2.5 м ниже кровли, под «рогульчатыми» стяжениями, увеличивается содержание глин.

Нижний интервал слоя мощностью 4.3–4.5 м составляет песок кварцево-глауконитовый, мелко- и тонкозернистый, алевритистый и глинистый, неравномерно-зеленый, коричневатый. В верхней части интервала песок желтый, пронизанный ихнофоссилиями. В нижней части интервала, в прослоях наблюдается табулярная косая слоистость, которая чередуется с тонкими линзами серо-синих биотурбированных глин. В основании прослежено тонкое переслаивание темно-

синих глин и кварцевых средне- и мелкозернистых песков, мощность прослоев 0.5–1 см. Здесь же, в интервале 0.1–0.15 м, прослежены гнезда размером 2–3 см и гальки светло-серых фосфатных кварцевых песков. Мощность 5.8–6.0 м.

3. Песок кварцево-глауконитовый, мелкозернистый, серо-зеленоватый, слюдистый. В 0.4 м ниже кровли прослой пятнистого красно-желтого биотурбированного песка мощностью 0.35–0.4 м, с редкими песчаными гальками. Подстилающий песок неравномерно-зеленый глинистый, тонко линзовидно-слоистый, с прослоями глин мощностью 2–5 мм. Ниже песок более темный, глинистый пятнистый и биотурбированный. Плотность песка возрастает к подошве слоя, где порода окрашена в красный цвет.

В нижнем интервале выделен прослой песка кварцево-глауконитового, мелкозернистого и глинистого, темно-серого, с обилием окислов железа (3–8 см). Кровля этих плотных фосфатных песков конгломератовидного сложения сглаженная. В подошве песков мелкая плоская галька, сформированная по фосфатной вмещающей породе, сгружена в линзы. Подошва этого прослоя характеризуется выступающими фосфатными ядрами разно ориентированных ихнофоссилий диаметром до 1 см и длиной 1–2 см. Здесь же линзы песка кварцевого среднезернистого глауконитистого, светло-серого, зеленоватого, с пятнистым окремнением по ихнофоссилиям. Мощность линз до 5–7 см. Мощность 1.8–2.0 м.

4. Песок кварцевый, среднезернистый, серый, зеленоватый и пятнистый, глауконитистый и глинистый, линзовидный, биотурбированный. В верхней части песок плотный, обогащен глауконитом и пронизан тонкими ходами. Рассеяны мелкие интракласты глин и кварцево-глауконитовых зеленых песков диаметром 1–2 см. В нижнем интервале распространены линзы глин мощностью до 1 см, серо-зеленого и черного цвета, с мелкими чешуями слюды. Мощность 0.6–0.7 м.

5. Фосфоритовая плита сложена фосфоритовыми гальками разных генераций, глинистыми и песчаными, неравномерно распределенными по простиранию и сцементированными в агрегаты. На поверхности галек и крупных агрегатов присутствует фосфатная пленка. На сколе агрегаты серого и серо-коричневого цвета. Многие гальки со следами биоэрозии. Размер песчаноглинистой гальки от 3–5 до 6–8 см. Кровля плиты сглажена. В подошве плиты распространены короткие ихнофоссилии диаметром 1–1.5 см и рассеянные фосфориты. В подошве гнезда кварцево-глауконитового зеленого песка. Найдена чешуя костистых рыб и ядро двустворчатого моллюска. Мощность 0.08–0.15–0.2 м.

6. Песок кварцево-глауконитовый, мелкозернистый, глинистый и слюдистый, грязно-



зеленый и желтоватый. В 0.2–0.3 м ниже кровли выделен прослой ожелезненных стяжений размером 2–3 см и прослой ярко-желтого горизонтально слоистого алеврита. В средней части залегает кварцевый белый песок, крупнозернистый, мощностью до 0.5 м. В нижней части порода пятнистая биотурбированная. В подошве песок серый крупно- и среднезернистый, кварцево-глауконитовый. Мощность 2.6 м.

7. Прослой фосфоритов. Галька одной генерации: фосфатно-алевролитового, фосфатно-песчаного и пелитового состава, окатанная, плоская, размером от 2–3 мм до 2–3 см. Из проб выделены редкие фосфатные раковинные брахиоподы, зубы эласмобранхий и костных рыб, дресва древесины. Мощность 0.02–0.05 м.

8. Песок кварцево-глауконитовый, мелкозернистый, желтовато-зеленый, при растирании – ярко-зеленый. Песок биотурбированный, с линзами глин и алевритов, обилием крупных чешуй слюды. Распространены веретенообразные пустотные стяжения по ходам длиной до 0.15–0.2 м и диаметром 3–5 см. Мощность 1.6–1.7 м.

9. Песок кварцевый разнозернистый, размер зерен уменьшается к подошве. Горизонтальная и пологая косая слоистость подчеркнута прослоями серо-синих глин. Распространены железистые красно-коричневые сферические пустотные стяжения образовавшихся по вертикальным сегментам ихнофоссилий размером 5–8×10–12 см. В нижней части песок более глинистый и алевритистый, биотурбированный. По мере глинизации породы ее цвет становится темным, неравномерно-серым, возрастает содержание глауконита и крупных чешуй слюды. В основании слоя песок светло-серый с темно-серыми пятнами ходов из вышележащего глинистого песка (мощность до 0.3–0.4 м). В подошве слоя залегает галька светло-серая песчано-фосфатная угловатая размером 0.5–1 до 3–4 см. В пробах из подошвы слоя определены фосфатные раковинные брахиоподы, ядра двусторчатых и лопатоногих моллюсков, остеологический материал эласмобранхий и костистых рыб, копролиты декапод. Из 400 экз. материала объемной пробы 370 экз. – это стенки и ядра ихнофоссилий. Мощность 10–11 м.

Продолжение следует

Библиографический список

1. Первушов Е. М., Рябов И. П., Гужиков А. Ю., Сельцер В. Б., Калякин Е. А., Фомин В. А. Био-магнитостратиграфия туронских-коньякских отложений разреза Нижняя Банновка, юго-восток Русской плиты // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2024. Т. 32, № 1. С. 58–90. <https://doi.org/10.31857/S0869592X24010058>, EDN: ZJJEVT
2. Первушов Е. М., Сельцер В. Б., Калякин Е. А., Ильинский Е. И., Рябов И. П. Туронские – коньякские отложения юго-западной части Ульяновско-Саратовского прогиба // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2019. № 5. С. 10–27. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-5-10-27>, EDN: ILHSCY
3. Зозырев Н. Ю. Меловатская свита (сеноман правобережного Поволжья): новые данные по стратиграфическому положению и объему // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2006. Т. 6, вып. 1. С. 31–39. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2006-6-1-31-39>, EDN: JVXVJB
4. Бирюков А. В., Попов Е. В., Морова А. А., Мороз В. П. Новый комплекс эласмобранхий (Chondrichthyes) из базального горизонта турона Самарского Предволжья // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии : материалы IX Всероссийского совещания / ред. Е. Ю. Барабошкин, Т. А. Липницкая, А. Ю. Гужиков. Белгород : ПОЛИТЕРРА, 2018. С. 58–61. EDN: YUFDBR
5. Бирюков А. В., Попов Е. В., Морова А. А., Мороз В. П. О сеноманских эласмобранхиях (Pisces, Chondrichthyes) в базальном горизонте турона Самарского Предволжья // Фундаментальная и прикладная палеонтология : материалы LXIV сессии Палеонтологического общества при РАН. СПб. : ВСЕГЕИ, 2018. С. 178–179.
6. Гужикова А. А., Первушов Е. М., Рябов И. П., Фомин В. А. Магнитозона обратной полярности в туроне-коньяке северного окончания Доно-Медведицких дислокаций // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2020. Т. 20, вып. 4. С. 262–277. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-4-262-277>, EDN: PVJWZG
7. Синцов И. Ф. Геологический очерк Саратовской губернии // Записки Императорского Санкт-Петербургского минералогического общества. Вторая серия. Ч. 5. СПб. : Типография Императорской Академии Наук, 1870. С. 105–160.
8. Синцов И. Ф. Предварительный отчет о геологических исследованиях, проведенных в 1883 г. в Саратовской губернии и Земле Войска Донского // Известия геологического комитета. Т. II, № 8. СПб. : Типография Императорской Академии Наук, 1883. С. 186–192.
9. Синцов И. Ф. Общая геологическая карта Европейской России. Лист 93-ий. Западная часть. Камышин // Труды Геологического комитета. Т. 2, № 2. СПб. : Типография А. Якобсона, 1885. С. 1–109.
10. Синцов И. Ф. О верхнемеловых осадках Саратовской губернии // Записки Императорского Санкт-Петербургского минералогического общества. Вторая серия. Ч. 50. СПб. : Типография Императорской Академии Наук, 1915. С. 133–162.
11. Никитин С. Н. Следы мелового периода в центральной России // Труды геологического комитета. Т. 5, № 2. СПб. : Типографич М. М. Стасюлевича, 1888. 163 с.
12. Архангельский А. Д. О меловых и третичных отложениях Камышинского уезда Саратовской губернии. Отчет по исследованиям 1905 г // Материалы для геологии и минералогии России. Т. 23, вып. 2. СПб. :



- Типография Императорской Академии Наук, 1908. С. 431–489.
13. Мазарович А. Н. О гольте южного Поволжья // Бюллетень МОИП. Отд. геол. Новая серия. Т. 31. Приложение к протоколу. М., 1917. С. 23–35.
14. Шатский Н. С. Балыклейский грабен и дизъюнктивные дислокации Южного Поволжья // Вестник Московской горной академии. М., 1922. Т. 1, № 1. С. 13–43.
15. Ефимова В. Н., Глазунова А. Е. Новые данные по стратиграфии альбских отложений р. Медведицы // Информационный сборник ВСЕГЕИ. Л., 1960. № 24. С. 37–48.
16. Бакин Н. В. О следах зоны *Mortoniceras inflatum* Sow. в бассейне р. Голый (приток р. Балыкля Сталинградский округ) // Труды Нижне-Волжского общества краеведения. Геологический сборник. Саратов : Издательство Нижне-Волжского общества краеведения, 1930. С. 39–45.
17. Курлаев В. И., Семенов В. П. К вопросу об альбских и сеноманских отложениях района среднего и нижнего течения р. Хопра // Ученые записки Саратовского университета. Саратов : Издание СГУ, 1951. Т. 28. Вып. геол. С. 256–260.
18. Луппов Н. П., Пославская Г. Г. О находке альбских аммонитов в бассейне среднего течения реки Дона // Ученые записки Саратовского университета. Харьков : Издательство Харьковского государственного университета, 1955. Т. 45. Вып. геол. С. 13–20.
19. Архангельский А. Д., Добров С. А. Геологический очерк Саратовской губернии // Материалы изучения ест.-производ. условий Саратовской губернии. Вып. 1. М. : Печатня С. П. Яковлева, 1913. 256 с.
20. Мазарович А. Н. О верхнемеловых отложениях р. Иловли, в Саратовской губ. // Бюллетень МОИП. Отд. геол. Т. 2, № 3. М., 1924. С. 1–10.
21. Мазарович А. Н. Основные черты строения северного конца Доно-Медведицкого вала // Бюллетень МОИП. Отд. геол. Т. 4, № 1-2. М., 1926. С. 46–73.
22. Архангельский А. Д., Добров С. А., Семихатов А. В. Отчёт об исследованиях залежей фосфоритов в Саратовской губернии в 1910 году // Труды Комиссии Московского сельскохозяйственного института по исследованию фосфоритов. Серия 1. Т. 3. М. : Типография В. Рихтера, 1911. С. 31–186.
23. Архангельский А. Д. Стратиграфия и геологические условия образования русских фосфоритов // Фосфориты. Л. : Издательство Геологического комитета, 1927. С. 13–21.
24. Bitner M. A., Emig C. C. On the type species of *Lingularia*, and description of *Eolingularia* n. gen. // *Carnets Geol. Madrid*. 2016. Vol. 16, № 22. P. 543–555. <https://doi.org/10.4267/2042/56006>, EDN: YWKVRZ
25. Архангельский А. Д. Верхнемеловые отложения востока Европейской России // Материалы для геолог. России. СПб. : Типография Императорской Академии Наук, 1912. Т. 25. 631 с.
26. Пославская Г. Г. К вопросу о нижнемеловых отложениях зоны Доно-Медведицких дислокаций // Ученые записки Саратовского университета. Саратов : Издание СГУ, 1951. Т. 28. Вып. геол. С. 137–157.
27. Пославская Г. Г. Нижнемеловые отложения северного окончания Доно-Медведицких поднятий // Тезисы конференции по стратиграфии мезозоя и палеогена Нижнего Поволжья. Саратов : Издание Саратовского университета, 1955. С. 46–48.
28. Пославская Г. Г. К вопросу о стратиграфическом расчленении нижнемеловых отложений Нижнего Поволжья и среднего течения р. Дона // Труды Всероссийского совещания по разработке унифицированной схемы стратиграфии мезозойских отложений Русской платформы. Л. : Гостоптехиздат, 1956. С. 229–231.
29. Пославская Г. Г. Палеонтологическое обоснование стратиграфии нижнего мела Медведицко-Иловлинских понятий // Труды конференции по стратиграфии мезозоя и палеогена Нижнего Поволжья. Саратов : Издательство Саратовского университета, 1958. С. 195–208.
30. Пославская Г. Г. О возможности использования пелелипод для стратиграфии нижнемеловых отложений Медведицко-Иловлинских поднятий // Ученые записки Саратовского университета. Саратов : Издательство Саратовского университета, 1960. Т. 74. Вып. геол. С. 43–51.
31. Пославская Г. Г. О некоторых условиях обитания и захоронения раннемеловой фауны междуречья Медведицы и Иловли // Организм и среда в геологическом прошлом. М. : Наука, 1966. С. 116–122.
32. Геологическая карта СССР. Серия Волжская. Лист М-38-VIII. Масштаб 1 : 200 000. Объяснительная записка. М. : Госгеолтехиздат, 1958. 43 с.
33. Геологическая карта СССР. Серия Нижне-Волжская. Лист М-38-XIV. Масштаб 1 : 200 000. Объяснительная записка. М. : Госгеолтехиздат, 1958. 45 с.
34. Геологическая карта СССР. Лист М-38-XV. Масштаб 1 : 200 000. Объяснительная записка. М. : Госгеолтехиздат, 1958. 71 с.
35. Рыков С. П. О стратиграфии верхнего мела бассейна р. Медведицы // Ученые записки Саратовского университета. Саратов : Издание СГУ, 1951. Т. 28. Вып. геол. С. 84–93.
36. Бондарева М. В., Морозов Н. С. Сеноманские, туронские и коньякские отложения междуречья Медведицы и Волги в пределах Волгоградского Правобережья // Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. Саратов : Издательство Саратовского университета, 1984. Вып. 24. С. 62–70.
37. Салтыков В. Ф., Первушов Е. М. Верхнемеловые местные стратиграфические подразделения Терсинской впадины (Волгоградская область) // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии : сб. науч. тр. / под ред. Е. М. Первушова. Саратов : Издательство Саратовского университета, 2007. С. 204–221.
38. Девиз Т. Л., Дорохов В. Я., Денисенкова Е. И., Иванова А. Н., Хабарова Т. Н. Волго-Уральская нефтеносная область. Юрские и меловые отложения //



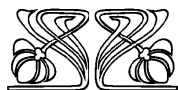
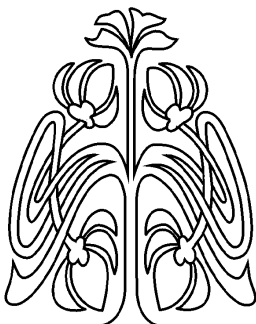
- Труды ВНИГРИ. Вып. 145. Л. : Гостоптехиздат, 1959. 367 с.
39. Милановский Е. В. Геологический очерк Поволжья. Путеводитель по Среднему Поволжью (от Сызрани до Сталинграда). М. : Издательство Сабашниковых, 1927. 142 с.
40. Милановский Е. В. Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. М. ; Л. : Гостоптехиздат, 1940. 220 с.
41. Морозов Н. С. Верхнемеловые отложения междуречья Дона и Северного Донца и южной части Волго-Донского водораздела. Саратов : Издательство Саратовского университета, 1962. 177 с.
42. Морозов Н. С., Орехова В. М. Меловая система. Верхний отдел // Геология СССР. Т. 46. Ростовская, Волгоградская, Астраханская области и Калмыцкая АССР. Геологическое описание. М. : Недра, 1969. С. 318–361.
43. Ахлестина Е. Ф., Задумина М. И., Курлаев В. И., Черняева А. Ф. Особенности распределения тяжелых акцессорных терригенных минералов в верхнемеловых отложениях Саратовского Правобережья // Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. Вып. 14. Саратов : Издательство Саратовского университета, 1977. С. 16–32.
44. Камышева-Елпатьевская В. Г., Морозов Н. С., Полевая Г. Г. Маркирующие горизонты мезозойских отложений северного окончания Доно-Медведицких дислокаций // Ученые записки Саратовского университета. Харьков : Издательство Харьковского государственного университета, 1953. Т. 37. Вып. геол. С. 135–150.
45. Гликман Л. С. О возрасте нижнего фосфоритового горизонта в окрестностях Красного Яра Сталинградской области // Труды геологического музея имени А. П. Карпинского АН СССР. Вып. 1. Л. : 1957. С. 118–120.
46. Гликман Л. С. Эволюция меловых и кайнозойских ламноидных акул. М. : Наука, 1980. 248 с.
47. Салий Э. П., Подгорный Ю. И. Отчет о гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях территории г. Саратова в связи с подтоплением. Всесоюзный геологический фонд, Территориальный географический фонд, 1986 г. 344 с.
48. Гужигов А. Ю., Бирбина А. В., Копачев Л. Ф., Вишневская В. С., Орлова Т. Б., Ямпольская О. Б. Опорный разрез границы альбского и сеноманского ярусов Саратовского Заволжья // Недра Поволжья и Прикаспия. Саратов : НВ НИИГТ, 2002. Вып. 31. С. 21–29.
49. Решения Всесоюзного совещания по разработке унифицированной схемы стратиграфии мезозойских отложений Русской платформы. Л. : Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горнотопливной литературы, 1955. 90 с.
50. Флёрова О. В., Гурова А. Д. Новые данные по стратиграфии и палеогеографии верхнемеловых отложений Ульяновско-Саратовского Поволжья и среднего течения р. Дон // Вопросы стратиграфии, палеонтологии и литологии мезозоя Европейской части СССР. Труды ВНИГНИ. Вып. 7. М. : Гостоптехиздат, 1956. С. 145–165.
51. Флёрова О. В., Гурова А. Д. Верхнемеловые отложения центральных областей Русской платформы // Мезозойские и третичные отложения центральных областей Русской платформы / ред. О. В. Флёрова. М. : Гостоптехиздат, 1958. С. 185–226.
52. Решения Всесоюзного совещания по уточнению унифицированной схемы стратиграфии мезозойских отложений Русской платформы. Л. : Гостоптехиздат, 1962. 90 с.
53. Глазунова А. Е. Палеонтологическое обоснование стратиграфического расчленения меловых отложений Поволжья. Верхний мел. М. : Недра, 1972. 204 с.
54. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 19. Л. : ВСЕГЕИ, 1981. 89 с.
55. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 24. Л. : ВСЕГЕИ, 1989. 74 с.
56. Зональные подразделения и межрегиональная корреляция палеозойских и мезозойских отложений России и сопредельных территорий : в 2 кн. Кн. 2. Мезозой. СПб. : ВСЕГЕИ, 1994. 185 с.
57. Первушов Е. М., Иванов А. В., Гужигов А. Ю., Гришанов А. Н. Результаты комплексного изучения альбских – сеноманских отложений в разрезах Меловатка-6 и Красный Яр-1 (Волгоградская область) // Труды НИИ геологии СГУ. Новая серия. Т. 1. Саратов : Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1999. С. 65–78.
58. Первушов Е. М., Иванов А. В., Попов Е. В. Местная стратиграфическая схема верхнемеловых отложений правобережного Поволжья // Труды НИИ геологии СГУ. Новая серия. Т. 1. Саратов : Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1999. С. 85–94.
59. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1000 000 (третье поколение). Лист М-38 (Волгоград). Объяснительная записка. СПб. : Издательство ВСЕГЕИ, 2006. 354 с.
60. Олферьев А. Г., Алексеев А. С. Стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Восточно-Европейской платформы. Объяснительная записка. М. : ПИН РАН, 2005. 204 с.
61. Стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Восточно-Европейской платформы. СПб. : ВСЕГЕИ, 2004. 6 схем на 10 листах.
62. Гончаренко О. П., Соломон М. В., Первушов Е. М. Типоморфизм кластогенного кварца из разрезов Меловатка-5 и Меловатка-6 (сеноман юго-востока Русской плиты) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2016. Т. 16, вып. 2. С. 98–104. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2016-16-2-98-104>, EDN: WDCVYR
63. Первушов Е. М. Биогенная составляющая фосфоритового горизонта среднего турона в разрезе Сеноманская стенка. Статья 1. Материал и палеоэкологический анализ // Известия Саратовского



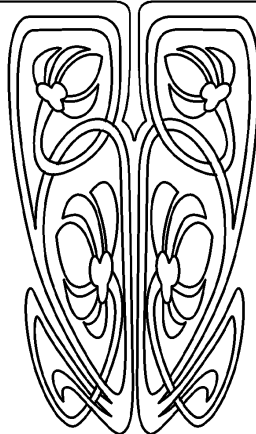
- университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 268–282. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-4-268-282>, EDN: GCBTJW
64. Первушов Е. М. Биогенная составляющая фосфоритового горизонта среднего турона в разрезе Сенноманская стенка. Статья 2. Биостратиграфический анализ // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 39–52. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-1-39-52>, EDN: SIRVNL
65. Первушов Е. М., Иванов А. В., Гудошников В. В. Фациальный профиль «маркирующих» горизонтов верхнемеловых отложений Правобережного Поволжья // Недр Поволжья и Прикаспия. Вып. 26. Саратов : НВ НИИГГ, 2001. С. 3–10.
66. Первушов Е. М., Иванов А. В., Попов Е. В. Средне- и позднемеловая биота юго-востока Европейской палеобиогеографической области // Палеонтологический журнал, 1997. № 3. С. 1–7.
67. Baraboshkin E. Early Cretaceous palaeogeography of the Russian Platform // Cretaceous Project 200. Vol. 2: Regional Studies. Geological Society, Special Publications, № 545 / eds. M. B. Hart, S. J. Batenburg, B. T. Huber, G. D. Price, N. Thibault, M. Wagreich, I. Walaszczyk. London, 2024. P. 1–42. <https://doi.org/10.1144/SP545-2023-132>, EDN: NPHXFE
68. 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
69. Попов Е. В. Меловые и палеоценовые химеровые рыбы (Holocephali, Chimaeroidei) юга Европейской России (морфология, система, стратиграфическое распространение) : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Саратов, 2004. 480 с. EDN: NMTVIB

Поступила в редакцию 12.05.2024; одобрена после рецензирования 24.05.2024;
принята к публикации 29.05.2025; опубликована 30.09.2025

The article was submitted 12.05.2024; approved after reviewing 24.05.2024;
accepted for publication 29.05.2025; published 30.09.2025



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 (8452) 27-16-69

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. 2025. Том 25, выпуск 3

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

