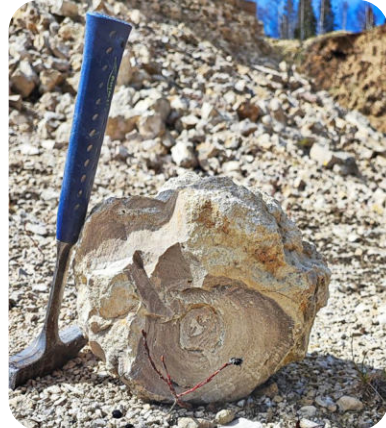


ISSN 2712-7761

№ 4 (376), апрель 2026



Вестник геонаук





Vestnik of Geosciences
Вестник геонаук

Апрель
April
2026,
№ 4 (376)

Журнал издается под научно-методическим руководством Отделения наук о Земле РАН
The journal is published under the research and methodological guidance of the RAS Department of Earth Sciences

Главный редактор *А. М. Асхабов*

Зам. главного редактора *И. Н. Бурцев*

Зам. главного редактора *О. Б. Котова*

Ответственный секретарь *И. В. Козырева*

Chief Editor *A. M. Askhabov*

Deputy Chief Editor *I. N. Burtsev*

Deputy Chief Editor *O. B. Kotova*

Executive Secretary *I. V. Kozyreva*

Редакционный совет

Л. Н. Андреева, Сыктывкар, Россия
А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
Т. М. Безносова, Сыктывкар, Россия
М. А. Богдасаров, Брест, Беларусь
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Санкт-Петербург, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
В. А. Жемчугова, Москва, Россия
А. В. Журавлев, Сыктывкар, Россия
Д. А. Зедгенизов, Екатеринбург, Россия
В. А. Каширцев, Новосибирск, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
Н. А. Малышев, Москва, Россия
М. Мартинс, Ору-Прету, Бразилия
Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия
П. Мянник, Таллин, Эстония
А. И. Николаев, Апатиты, Россия
Б. М. Осовецкий, Пермь, Россия
Ю. Ф. Патраков, Кемерово, Россия
И. В. Пеков, Москва, Россия
Д. В. Пономарев, Сыктывкар, Россия
Д. Ю. Пуцаровский, Москва, Россия
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
Ш. Сун, Мянъян, Китай
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия
В. С. Шацкий, Новосибирск, Россия

Editorial Board

L. N. Andreicheva, Syktyvkar, Russia
A. I. Antoshkina, Syktyvkar, Russia
T. M. Beznosova, Syktyvkar, Russia
M. A. Bogdasarov, Brest, Belarus
M. A. T. M. Broeckmans, Trondheim, Norway
D. A. Bushnev, Syktyvkar, Russia
Yu. L. Voytekhovskiy, St. Petersburg, Russia
A. D. Gvishiani, Moscow, Russia
V. A. Zhemchugova, Moscow, Russia
A. V. Zhuravlev, Syktyvkar, Russia
D. A. Zedgenizov, Yekaterinburg, Russia
V. A. Kashirtcev, Novosibirsk, Russia
M. Komac, Ljubljana, Slovenia
S. V. Krivovichev, St. Petersburg, Russia
S. K. Kuznetsov, Syktyvkar, Russia
N. A. Malyshev, Moscow, Russia
M. Martins, Ouro Preto, Brazil
T. P. Mayorova, Syktyvkar, Russia
P. Männik, Tallinn, Estonia
A. I. Nikolaev, Apatity, Russia
B. V. Osovetsky, Perm, Russia
Yu. F. Patrakov, Kemerovo, Russia
I. V. Pekov, Moscow, Russia
D. V. Ponomarev, Syktyvkar, Russia
D. Yu. Pushcharovsky, Moscow, Russia
A. M. Pystin, Syktyvkar, Russia
Sh. Sun, Mianyang, China
O. V. Udoratina, Syktyvkar, Russia
M. A. Fedonkin, Moscow, Russia
V. S. Shatsky, Novosibirsk, Russia

Технический редактор *А. Ю. Перетягин*

Заведующий редакцией *Т. А. Некучаева*

Technical Editor *A. Y. Peretyagin*

Managing Editor *T. A. Nekuchaeva*

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит ежемесячно. Основан в 1995 году
академиком Н. П. Юшкиным

Предыдущее название:

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Двухлетний импакт-фактор
РИНЦ журнала (2025) — 0.482



SCIENTIFIC JOURNAL

Monthly issued. Founded in 1995
by Academician N. P. Yushkin

Former title:

Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS

Two-year RSCI
impact factor (2025) — 0.482

Содержание

Content

Расчленение ниже- и среднеживетских отложений высотинского горизонта по конодонтам в разрезе Покровское (Средний Урал) <i>А. Р. Шарипова</i>3	Subdivision of the Lower and Middle Givetian deposits of the Vysotinsky regional stage by conodonts in the Pokrovskoye section (Middle Urals) <i>A. R. Sharipova</i>3
Новые данные по динамике фауны мелких млекопитающих гряды Чернышева (Большеземельская тундра) в позднеледниковье и голоцене <i>И. В. Кряжева</i> 12	New data on the dynamics of small mammal fauna of the Chernyshev Ridge (Bolshezemelskaya Tundra) in the Late Glacial and Holocene <i>I. V. Kryazheva</i> 12
Экспериментальные наблюдения за эмиссией радона на Червонослободско-Малодушинском разломе в связи с наведенной сейсмичностью в Солигорском горнопромышленном районе <i>Г. А. Аронов, А. Г. Аронов, С. Г. Котов</i> 20	Experimental observations of radon emission at the Chervonaya Sloboda-Malodusha fault due to induced seismicity within the Soligorsk Mining Region <i>G. A. Aronov, A. G. Aronov, S. G. Kotov</i> 20
Техногрунт на основе свалочного фильтрата для послойной изоляции полигонов твердых коммунальных отходов <i>В. А. Матвеева, Ю. А. Куликова</i> 25	Techno-soil based on landfill leachate for layer-by-layer isolation of solid municipal waste landfills <i>V. A. Matveeva, Yu. A. Kulikova</i> 25

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting



Расчленение ниже- и среднеживетских отложений высотинского горизонта по конодонтам в разрезе Покровское (Средний Урал)

А. Р. Шарипова

Институт геологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия; lar862010@mail.ru

Изучены конодонтовые комплексы из отложений высотинского горизонта живетского яруса среднего девона разреза Покровское (Средний Урал, восточный склон), позволившие существенно детализировать расчленение разреза. Исследование основано на биостратиграфическом методе. Проведены таксономическое определение ассоциаций конодонтов и их корреляция с зональной шкалой. Определено 15 видов конодонтов, относящихся к 8 родам: *Ancyrolepis*, *Belodella*, *Ctenopolygnathus*, *Eucostapolygnathus*, *Polygnathus*, *Linguipolygnathus*, *Icriodus*, *Tortodus*. В разрезе мощностью 2.6 м установлены последовательные стандартные конодонтовые зоны нижнего – среднего живета: *Polygnathus timorensis*, *Po. rhenanus* – *Po. varcus* и *Po. ansatus*. Зональные комплексы сравниваются с комплексами других регионов.

Ключевые слова: конодонты, средний девон, живетский ярус, зона *varcus*, высотинский горизонт, Средний Урал

Subdivision of the Lower and Middle Givetian deposits of the Vysotinsky regional stage by conodonts in the Pokrovskoye section (Middle Urals)

A. R. Sharipova

Institute of Geology UFRC RAS, Ufa, Russia

Conodont associations from the Givetian deposits of the Middle Devonian in the Pokrovskoye section (Middle Urals, Eastern slope) have been studied. The Vysotinsky regional stage of the Givetian has been subdivided in detail. This study is based on the biostratigraphic method. The taxonomic determination of the conodont associations and their correlation with the zonal scale have been conducted. Fifteen species of conodonts belonging to eight genera are identified: *Ancyrolepis*, *Belodella*, *Ctenopolygnathus*, *Eucostapolygnathus*, *Polygnathus*, *Linguipolygnathus*, *Icriodus*, and *Tortodus*. The consecutive standard conodont zones of the Lower-Middle Givetian: *Polygnathus timorensis*, *Po. rhenanus* – *Po. varcus* and *Po. ansatus* are established within a 2.6 m thick section. Zonal conodont associations are compared with those of other regions.

Keywords: conodonts, Middle Devonian, Givetian, *varcus* Zone, Vysotinsky regional stage, Middle Urals

Введение

За прошедшие десятилетия в глобальной конодонтовой шкале девона произошли очень важные изменения. Накопленные в течение этого времени новые данные позволили существенно детализировать шкалу (рис. 1). Так, в среднем девоне зона *varcus* была подразделена на 4 зоны (Bultynck, 1987). Поэтому целью настоящего исследования стало более детальное расчленение отложений нижней части высотинского горизонта, которая предыдущими исследователями относилась к нерасчлененной зоне *varcus* (Наседкина и др., 1990; Наседкина, Бороздина, 1999).

Зона *varcus* (*varca* Zone) была введена в биостратиграфию в 1957 г. Дж. Бишоффом и В. Циглером (Ziegler et al., 1976) (рис. 1). Они идентифицировали зону *varcus* в аммонитовых известняках *Maenioceras* разрезов Рейнских Сланцевых гор. На тот момент объем зоны соответствовал почти всему живету – от первого появления зонального вида *Po. varcus* Stauffer до первого появления конодонтов *Po. asymmetricus ovalis* Ziegler & Klapper и *Po. asymmetricus asymmetricus* Bischoff & Ziegler, которые были маркерами франской зоны *asymmetricus*.

В 70–80-х годах при дальнейших исследованиях конодонтовых комплексов из живетских отложений

разрезов Северной Америки, Германии и Австралии таксономия конодонтов группы *Po. varcus* была пересмотрена (Klapper et al., 1970). Во-первых, было установлено, что некоторые коллекционные экземпляры, ранее отнесенные к зональному виду *Po. varcus* Stauffer, по ряду признаков отличаются от опубликованного лектотипа (Klapper et al., 1970). Эти экземпляры Г. Клаппер с соавторами (Klapper et al., 1970) предложили выделить в новый вид *Po. timorensis*. Во-вторых, было выявлено, что первое появление вида-индекса зоны *varcus* обнаруживается выше ранее установленной нижней границы зоны *varcus*. Факты стимулировали более активное изучение этого интервала.

В 1976 г. группа авторов (Ziegler et al., 1976) предложила более детальную и обоснованную конодонтовую характеристику зоны *varcus*. Они провели систематическую ревизию таксонов, имеющих стратиграфическое значение, описали некоторые новые виды. По итогам этого изучения было предложено подразделить зону *varcus* на 3 подзоны: Lower, Middle и Upper. Lower *varcus* маркируется первым появлением *Po. timorensis*, Middle *varcus* – вида-индекса *Po. ansatus* Ziegler, Klapper & Johnson, а Upper *varcus* – по *Po. latifossatus* Wirth (рис. 1).

Для цитирования: Шарипова А. Р. Расчленение ниже- и среднеживетских отложений высотинского горизонта по конодонтам в разрезе Покровское (Средний Урал) // Вестник геонаук. 2026. 4(376). С. 3–11. DOI: 10.19110/geov.2026.4.1

For citation: Sharipova A. R. Subdivision of the Lower and Middle Givetian deposits of the Vysotinsky regional stage by conodonts in the Pokrovskoye section (Middle Urals). Vestnik of Geosciences, 2026, 4(376), pp. 3–11. DOI: 10.19110/geov.2026.4.1

Система		Конодонтовые зональные шкалы					Стратиграфические подразделения восточного склона Среднего Урала (Стратиграфические схемы..., 1993; Постановления..., 2008)											
Отдел	Ярус	Бисхофф, Зиглер, 1957	Зиглер, 1965	Зиглер et al., 1976	Бультинк, 1987; Ляо et al., 2008; Ляо, Валензуэла-Риос, 2013	Бекер et al., 2020												
Девонская	Средний	Живетский	верхний	средний	нижний	Эйф.	Польярус	varca	hermanni-cristata	hermanni-cristatus	Schmidtnognathus hermanni - Po. cristatus	U	Po. cristatus	brodovskiy				
													Schmidtnognathus hermanni					
													«Ozarkodina» semialternans					
													Po. ansatus		Po. ansatus			
													Po. rhenanus-Po. varcus		Po. rhenanus-Po. varcus			
													Po. timorensis		Po. timorensis			
													Po. hemiansatus		Po. hemiansatus			
													Po. ensensis		Po. ensensis			
													varcus		varcus	M	Po. ansatus	Po. ansatus
													varcus		varcus	L	Po. rhenanus-Po. varcus	Po. rhenanus-Po. varcus
varcus	varcus	L	Po. timorensis	Po. timorensis														
robusticostatus	ensensis		Po. hemiansatus	Po. hemiansatus														
			Po. ensensis	Po. ensensis	langur'skiy													

Рис. 1. Конодонтовые зональные шкалы живетского яруса и региональные подразделения восточного склона Урала
 Fig. 1. Conodont zonations of the Givetian stage and regional subdivisions of the eastern slope of the Urals

В результате детальных исследований на разрезах Северной Африки (Марокко) и Западной Европы (Арденны), а также анализа конодонтовых комплексов в других регионах мира, П. Бултинк предложил модернизировать существующее расчленение зоны *varcus* и выделить в ней четыре подразделения с собственными именами, соответствующими видам-индексам (Bultynck, 1987) (рис. 1). Lower *varcus* он расчленил на две зоны: *Po. timorensis* и *Po. rhenanus* — *Po. varcus*. Middle *varcus* им переименована в *Po. ansatus*, а Upper *varcus* обозначена как зона *Po. latifossatus* — «Ozarkodina» *semialternans*. Предложенное расчленение зоны *varcus* поддержано Девонской подкомиссией SDS (Bultynck, Gouwy, 2008) и, по существу, сохраняется в этом варианте до настоящего времени (Becker et al., 2020).

На восточном склоне Среднего Урала наиболее интересным и для изучения комплексов конодонтов зоны *varcus* являются отложения в разрезе Покровское. Биостратиграфические исследования средне-, верхне-девонских отложений на Среднем Урале и конкретно в разрезе Покровское активно проводились в 80–90-х годах XX в. геологами палеонтолог-стратиграфической партии УГСЭ (Наседкина и др., 1990; Наседкина, Бороздина, 1999) и сотрудниками ИГиГ УрО РАН (Бикбаев, Снигирева, 1998; Бикбаев и др., 2002; 2013). Впервые ими по конодонтам был уточнен объем высотинского горизонта. Отложения высотинского горизонта подразделены на 2 пачки. Первая пачка получила конодонтовую характеристику в объеме зоны *varcus*, а вторая пачка — в объеме зон *hermanni* — *cristatus* — *disparilis* (Наседкина и др., 1990; Наседкина, Бороздина, 1999).

Результатам проведенной нами работы по детальному расчленению нижней части высотинского горизонта посвящена настоящая статья.

Материалы и методы

В основу данной статьи положен материал, собранный в 2023 г. О. В. Артюшковой и дополненный в 2025 году нашими находками. Отобрано 84 образца. Вес проб в среднем составлял от 1.0 до 1.5 кг. Пробы

подвергались дезинтеграции в 5 % растворе муравьиной кислоты. Отбор микрофауны из нерастворимого остатка осуществлялся под стереомикроскопом МБС-9 и ЛОМО-ХС0932. Фотографирование конодонтов выполнено на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA Compact LMN С. С. Ковалевым (ИГ УФИЦ РАН). Для описания конодонтов использована терминология, принятая в «Catalogue of Conodonts» (Ziegler et al., 1973, 1981) и в «Определителе конодонтов девона и нижнего карбона» (Барсков и др., 1991).

Коллекция конодонтов под № 191 хранится в лаборатории стратиграфии палеозоя Института геологии УФИЦ РАН (г. Уфа).

Сокращения, используемые на всех рисунках и в тексте: *A.* — *Ancyrolepis*, *Ctn.* — *Ctenopolygnathus*, *Eu.* — *Eucostapolygnathus*, *Icr.* — *Icriodus*, *L.* — *Linguipolygnathus*, *Oz.* — *Ozarkodina*, *Po.* — *Polygnathus*, *m. n.* — точка наблюдения.

Описание разреза

Разрез Покровское расположен на восточном склоне Среднего Урала, в пределах одноименного села в Артемовском районе (Свердловская область). Геологически он приурочен к юго-восточной периферии Режевской подзоны Алапаевско-Теченской зоны Восточно-Уральской мегазоны. Разрез представляет собой совокупность небольших естественных обнажений живетских и франских отложений по обоим берегам р. Бобровки, а также искусственные выходы, вскрытые канавами, в дорожных колеях и в карьере (рис. 2). Сводный разрез, охватывающий стратиграфический интервал живетского и франского ярусов (высотинский и бродовский горизонты), состоит из 13 отдельных фрагментов (точек наблюдения) (Тельнова и др., 2025). В данной статье автором представлен материал из точки наблюдения (т. н.) По 1¹ (рис. 2, с), соответствующей нижней части высотинского горизон-

¹ В статье использована нумерация обнажений — точек наблюдения (т. н.) и образцов по: Тельнова и др., 2025.



та разреза Покровское (первая пачка, предположительно т. н. 88123 (Наседкина и др., 1990; Наседкина, Бороздина, 1999)).

Т. н. По 1 представляет собой разрез длиной ~ 6 м, вскрытый в придорожной канаве (рис. 3), которая расположена на пересечении переулка Белоусовского с улицей Гагарина (57° 21' 184"с. ш., 61°41'673"в. д.) на правом берегу р. Бобровки. В канаве обнажены слоистые песчаные известняки с разной степенью интенсивности окраски: вишнево-серые, серовато-розовые, розовато-серые, с отдельными прослоями серых разностей со слабым зеленоватым оттенком. В нижней части описанного разреза породы наиболее выветрелые и ярко окрашены в вишневые и красные тона. Породы средне-, тонкоплитчатые (до 10 см), биокластовые, от мелко- до грубозернистых, иногда с заметной градиционной слоистостью. Породы содержат остатки криноидей, брахиопод, остракод, фрагменты трилобитов и ихтиофауны, тентакулиты.

В разрезе последовательно снизу вверх вскрыты пачки (рис. 4):

Известняк песчаный серовато-зеленый, тонкоплитчатый, органогенный. В 0.05 м от подошвы залегает линзообразный (?) прослой мощностью 0.08 м, состоящий из изометричных угловатых обломков известняков сургучного цвета размерами в поперечнике 1 × 1 см, 2 × 2 см (рис. 2, обр. По 1-Т).

Известняк песчаный вишнево-серый, плитчатый, слоистый, биокластический. Содержит органические остатки, представленные тентакулитами, криноидеями, ядрами остракод, фрагментами трилобитов

и ихтиофауны. Образцы По 1-0А, По 1-0Б, По 1-0, По 1-1. Мощность 0.46 м.

Известняк песчаный розовато-серый, мелкозернистый, тонкоплитчатый (4–6 см), ожелезненный, трещиноватый. В каждой пробе присутствуют остатки тентакулитов, брахиопод, фрагменты трилобитов, кораллы, телодонты, акантоды. Образцы По 1-2, По 1-3Б, По 1-3А, По 1-3. Мощность 0.36 м.

Известняк песчаный розовато-серый, пятнистый, тонкослоистый, биокластический, мелкозернистый, трещиноватый. Встречаются многочисленные обломки тентакулитов, остракоды. Образцы По 1-4, По 1-4А, По 1-5А, По 1-5. Мощность 0.25 м.

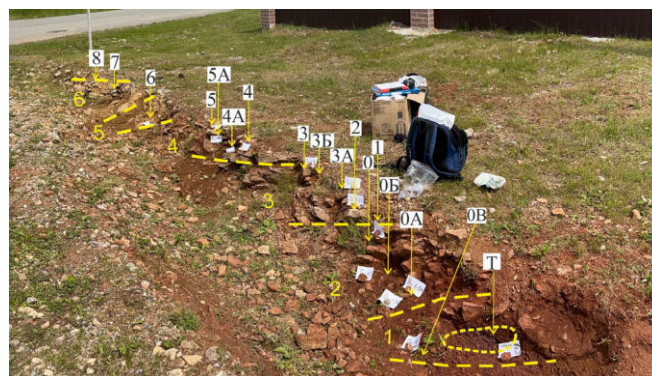


Рис. 3. Точка наблюдения По 1 (канавка в начале пер. Белоусовского). Номера образцов указаны в прямоугольниках
 Fig. 3. Point of observation Po 1 (a ditch at the beginning of Belousovsky lane). The sample numbers are indicated in the rectangles

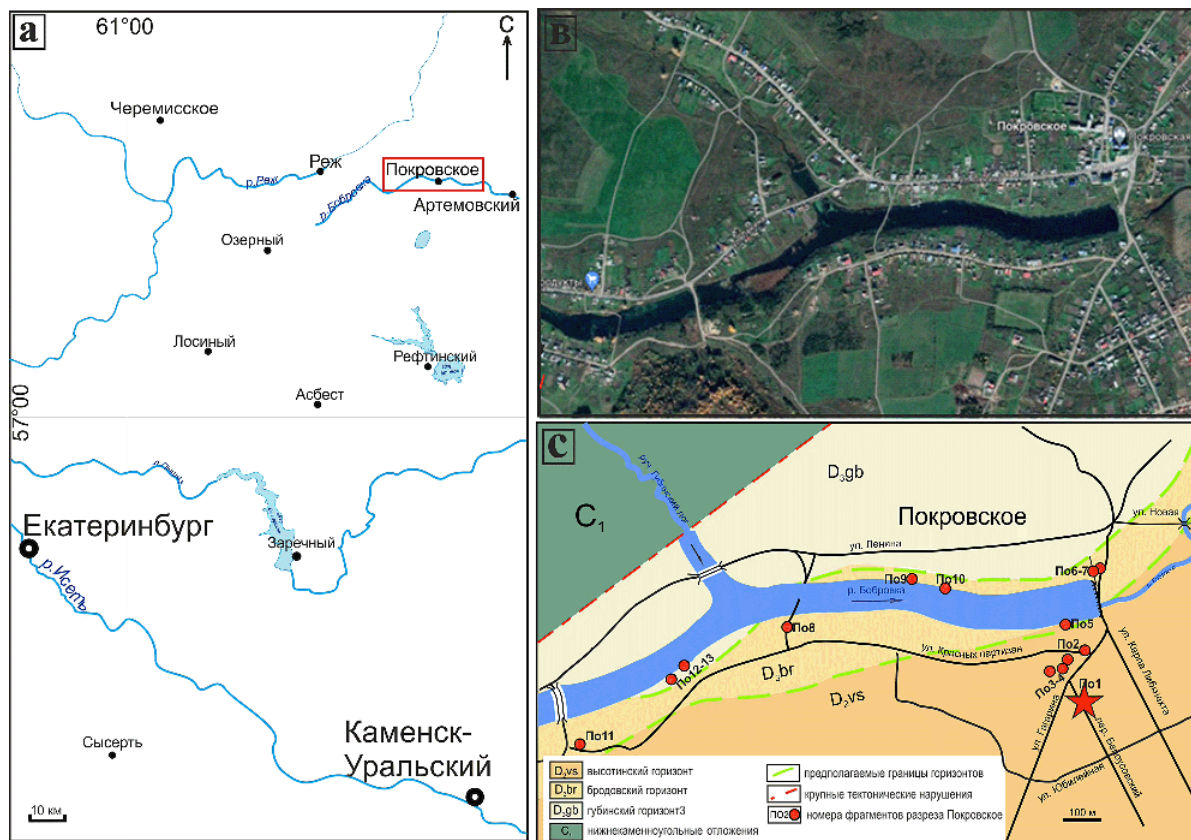


Рис. 2. Район исследования — разрез Покровское: а — на административной карте; б — на фрагменте Google-карты; в — на геологической карте с точками наблюдения (по: Тельнова и др., 2025). Звездочкой показана т. н. По 1
 Fig. 2. Study area — Pokrovskoye section: a — on the administrative map; b — on the Google map fragment; c — on the geological map with observation point (from Telnova et al., 2025). An asterisk indicates the observation point Po 1

Задернованный участок. Мощность ~ 0.33 м.

Известняк песчанистый серый со слабым коричневым оттенком, тонкорасслоенный, мелкозернистый. Органические остатки — остракоды, ихтиофауна. Образец По 1-6. Мощность 0.07 м.

Задернованный участок. Мощность 0.74 м.

Известняк песчанистый серый со слабым зеленоватым оттенком, тонкорасслоенный, мелкозернистый, биокластический. Редкие остракоды, остатки ихтиофауны. Образцы По 1-7, По 1-8. Мощность 0.33 м.

Мощность описанного разреза 2.6 м.

Биостратиграфический анализ

Фактический материал, изученный в разрезе Покровское, отличается большим таксономическим и количественным разнообразием конодонтов. Детальный отбор проб позволил оценить качество материала, провести анализ фауны и сопоставить комплексы с зонами глобальной конодонтовой шкалы (Becker et al., 2020). В т. н. По 1 проследжена последовательность конодонтовых зон *Po. timorensis*, *Po. rhenanus* — *Po. varcus* и *Po. ansatus* (рис. 4—6) глобальной конодонтовой шкалы (Becker et al., 2020).

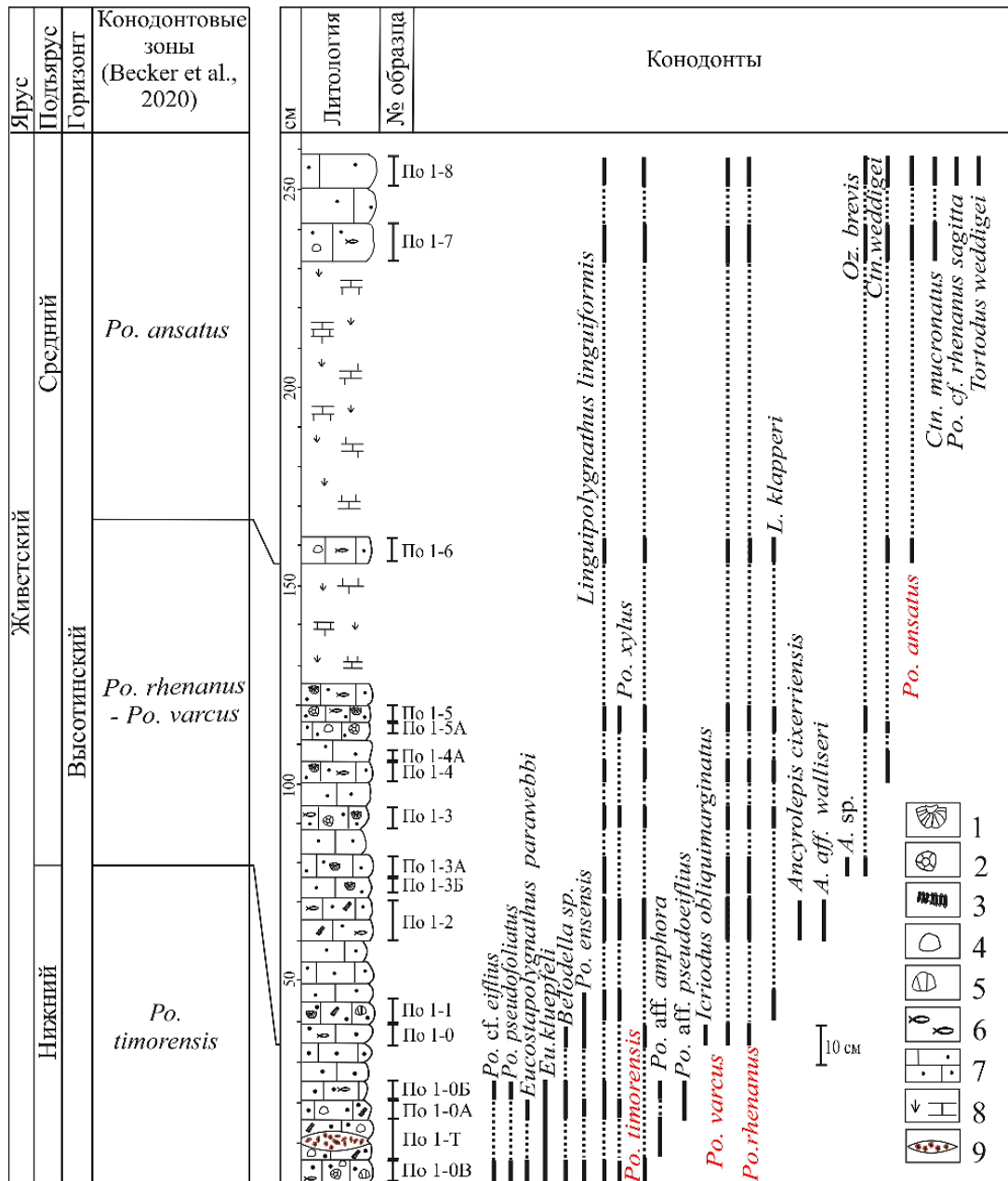


Рис. 4. Литостратиграфическая колонка и распространение конодонтов в т. н. По 1 (высотинский горизонт), красным шрифтом показаны зональные виды.

Условные обозначения: 1 — брахиоподы; 2 — криноидеи; 3 — тентакулиты; 4 — остракоды; 5 — фрагменты трилобитов; 6 — остатки ихтиофауны; 7 — известняк песчанистый; 8 — задернованный интервал; 9 — линзообразный прослой рыхлой обломочной породы

Fig. 4. Lithostratigraphic log and distribution of conodonts in the Po 1 point observation (Vysotinsky Regional stage), zonal species are shown in red font.

1 — brachiopods; 2 — crinoids; 3 — tentaculites; 4 — ostracods; 5 — trilobite fragments; 6 — ichthyofauna remains; 7 — sandy limestone; 8 — covered interval; 9 — lenticular interlayer of friable clastic rock

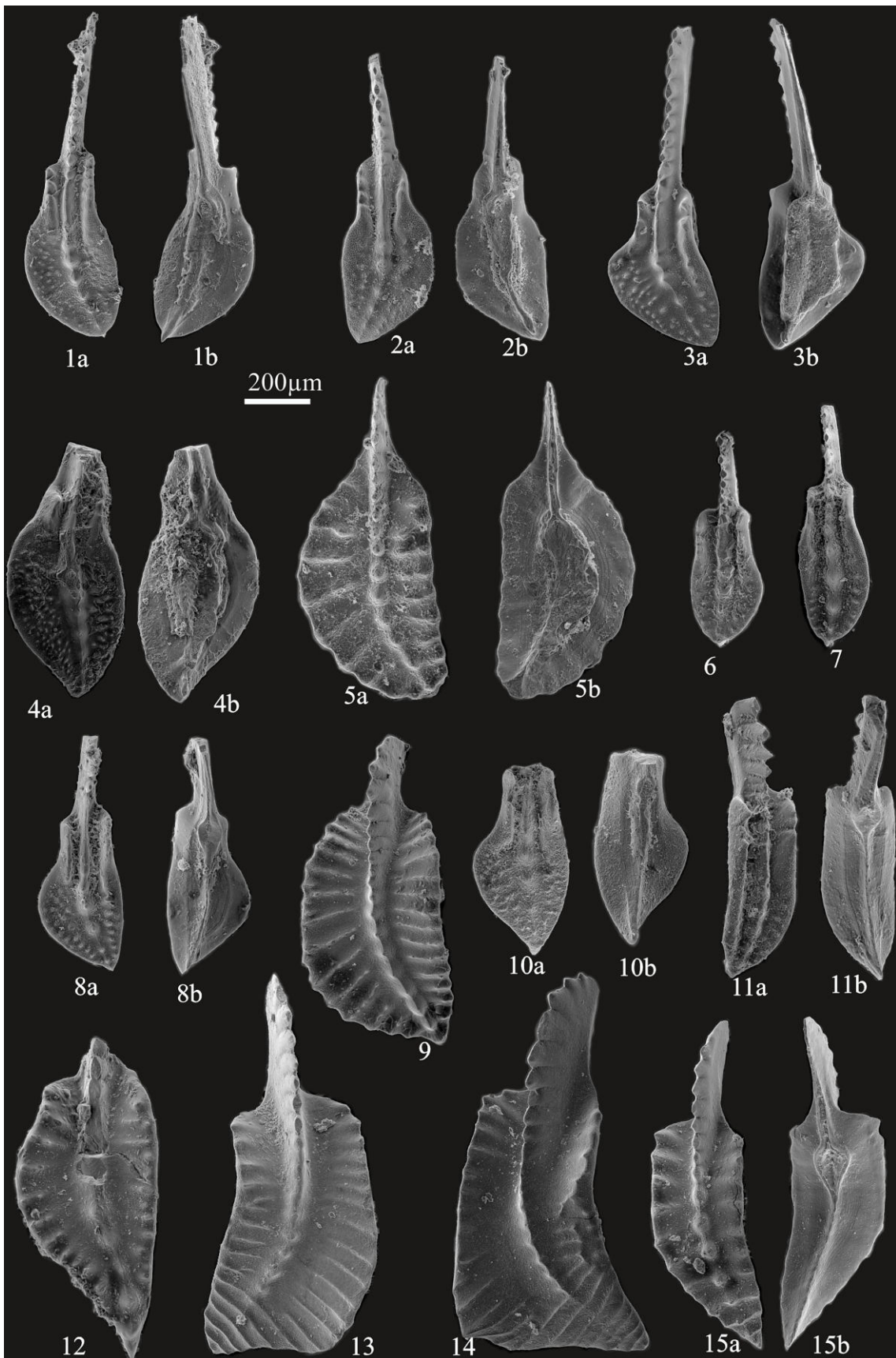


Рис. 5. Конодонты из зоны *Po. timorensis* (высотинский горизонт, первая пачка, по: Наседкина и др., 1990):

1, 2 – *Po. aff. amphora* Walliser & Bultynck, 2011: 1 – экз. № 191/1-9, а – сверху, б – снизу; 2 – экз. № 191/1-12, а – сверху, б – снизу; обр. По 1-0Б; 3 – *Po. aff. pseudoeiflius* Walliser & Bultynck, 1987: экз. № 191/1-10, а – сверху, б – снизу; обр. По 1-0Б; 4 – *Po. cf. eiflius* Bischoff & Ziegler, 1957: экз. № 191/1-19, а – сверху, б – снизу; обр. По 1-Т; 5, 9 – *Eucostapolygnathus kluepfeli* (Wittekindt), 1965: 5 – экз. № 191/1-40, а – сверху, б – снизу; обр. По 1-0А; 9 – экз. № 191/1-4, сверху; обр. По 1-0Б; 6, 7 – *Po. pseudofoliatus* Wittekindt, 1965: 6 – экз. № 191/1-26, сверху; обр. По 1-0Б; 7 – экз. № 191/1-18, сверху; обр. 1-0Б; 8, 10 – *Po. cf. amphora* Walliser & Bultynck, 2011: 8 – экз. № 191/1-11, а – сверху, б – снизу; обр. По 1-0Б; 10 – экз. № 191/1-28, а – сверху, б – снизу; обр. По 1-0Б; 11 – *Po. ensensis* Ziegler, Klapper & Johnson, 1976: экз. № 191/1-37, а – сверху, б – снизу; обр. По 1-0А;

12 — *Po. sp.*: экз. №191/1-34, сверху; обр. По 1-0А; 13, 14 — *Linguipolygnathus linguiformis* (Hinde), 1879: 13 — экз. №191/1-5, сверху; обр. По 1-0Б; 14 — экз. №191/1-2, сверху; обр. По 1-0Б; 15 — *Ctenopolygnathus weddigei* (Clausen, Leuteritz & Ziegler), 1979: экз. №191/1-3, а — сверху, б — снизу; обр. По 1-0Б

Fig. 5. Conodonts of the *Po. timorensis* Zone (Vysotinsky Regional stage, first member according to V. A. Nasedkina et al. (1990)): 1, 2 — *Po. aff. amphora* Walliser & Bultynck, 2011: 1 — specimen no 191/1-9, a — upper view, b — lower view; 2 — specimen no 191/1-12, a — upper view, b — lower view; sample По 1-0Б. 3 — *Po. aff. pseudoeiflius* Walliser & Bultynck, 1987: specimen no 191/1-10, a — upper view, b — lower view; sample По 1-0Б. 4 — *Po. cf. eiflius* Bischoff & Ziegler, 1957; specimen no 191/1-19, a — upper view, b — lower view; sample По 1-Т. 5, 9 — *Eucostapolygnathus kluepfeli* (Wittekindt), 1965: 5 — specimen no 191/1-40, a — upper view, b — lower view; sample По 1-0А; 9 — specimen no 191/1-4, upper view; sample По 1-0Б. 6, 7 — *Po. pseudofoliatus* Wittekindt, 1965: 6 — specimen no 191/1-26, upper view; sample По 1-0Б; 7 — specimen no 191/1-18, upper view; sample 1-0Б. 8, 10 — *Po. cf. amphora* Walliser & Bultynck, 2011: 8 — specimen no 191/1-11, a — upper view, b — lower view; sample По 1-0Б; 10 — specimen no 191/1-28, a — upper view, b — lower view; sample По 1-0Б. 11 — *Po. ensensis* Ziegler, Klapper & Johnson, 1976: specimen no 191/1-37, a — upper view, b — lower view; sample По 1-0А. 12 — *Po. sp.*: specimen no 191/1-34, upper view; sample По 1-0А. 13, 14 — *Linguipolygnathus linguiformis* (Hinde), 1879: 13 — specimen no 191/1-5, upper view; sample По 1-0Б, 14 — specimen no 191/1-2, upper view; sample По 1-0Б. 15 — *Ctenopolygnathus weddigei* (Clausen, Leuteritz & Ziegler), 1979: specimen no 191/1-3 a — upper view, b — lower view; sample По 1-0Б

Отложения нижнего живета представлены не в полном объеме. Нами выделена только верхняя зона *Po. timorensis* (? — неполная), нижняя зона *Po. hemiansatus* на данный момент не установлена. Отложения среднего живета расчленены с выделением двух стандартных зон: *Po. rhenanus* — *Po. varcus*, *Po. ansatus*.

Нижний живет

Зона *Po. timorensis*. В нижней части разреза основу комплекса конодонтов образуют виды группы *Po. pseudofoliatus*, в которую объединены *Polygnathus cf. eiflius* Bischoff & Ziegler, *Po. aff. pseudoeiflius* Walliser & Bultynck, *Po. amphora* Walliser & Bultynck, *Po. pseudofoliatus* Wittekindt. Вместе с зональным видом *Po. timorensis* Klapper, Philip & Jackson в комплексе встречены *Eu. kluepfeli* (Wittekindt), *Linguipolygnathus linguiformis* (Hinde), *Po. ensensis* Ziegler, Klapper & Johnson, *Po. xylus* Stauffer, *Belodella* sp, *Tortodus* sp. Большая часть видов — *Eu. kluepfeli* (Wittekindt), *Po. amphora* Walliser & Bultynck, *Po. aff. pseudoeiflius* Walliser & Bultynck, *Po. cf. eiflius* Bischoff & Ziegler, *Po. pseudofoliatus* Wittekindt — исчезают в средней части пачки 2 (см. рис. 4).

Средний живет

Зона *Po. rhenanus* — *Po. varcus*. Зона выделена по появлению зональных видов *Po. rhenanus* и *Po. varcus* в 0.13 м ниже кровли пачки 3 (рис. 4). В комплексе преобладают конодонты группы *Po. varcus*: *Po. varcus* Ziegler, Klapper & Jackson, *Po. rhenanus* Ziegler, Klapper & Jackson, *Po. xylus* Stauffer, *Po. timorensis* Klapper, Philip & Jackson, *Po. ensensis* Ziegler, Klapper & Johnson. Вместе с ними в большом количестве обнаружены *Linguipolygnathus klapperi* (Clausen, Leuteritz & Ziegler), *L. linguiformis* (Hinde), *Ctn. weddigei* (Clausen, Leuteritz & Ziegler) (рис. 3). Отмечаются обломки представителей рода *Tortodus*. В средней части пачки 3 (образцы По 1-2, По 1-3А) обнаружены 4 экземпляра, принадлежащие двум видам редко встречающегося рода *Ancyrolepis*: *Ancyrolepis cixerriensis* Olivieri и *A. aff. walliseri* (Wittekindt) (рис. 4, 6). *A. walliseri* (Wittekindt) за пределами Германии встречен лишь в Тиморских известняках Южного Уэльса (Ziegler et al., 1976). *A. cixerriensis* Olivieri впервые был описан из среднеживетских отложений в разрезе Su Nuargi (Сардиния) в зоне Middle *varcus* (Olivieri, 1984).

Зона *Po. ansatus*. Выше по разрезу в пачке 5 выделен комплекс конодонтов с зональным видом *Po. ansatus* (рис. 4). Вместе с проходящими видами из нижележащих отложений отмечаются *Ctn. mucronatus*

(Wittekindt), *Po. cf. rhenanus sagitta* Narkiewicz, *Tortodus cf. weddigei* Aboussalam (1 экз.). Заметно преобладают виды *Ctn. klapperi* Clausen, Leuteritz & Ziegler, *Ctn. weddigei* (Clausen, Leuteritz & Ziegler), *L. linguiformis* (Hinde). Сокращается численность *Po. rhenanus* Ziegler, Klapper & Jackson и *Po. varcus* Ziegler, Klapper & Jackson. В конце интервала (образец По 1-8) резко увеличивается количество *Po. ansatus* Ziegler, Klapper & Johnson, *Po. timorensis* Klapper, Philip & Jackson.

В комплексе конодонтов зоны *Po. timorensis* в разрезе Покровское, так же как и в разрезе Bou Tchrafine в Марокко (Bultynck, 1987; Bultynck, 1989; Walliser, Bultynck, 2011), преобладающими являются виды группы *Po. pseudofoliatus*, которые проходят из нижележащей зоны *Po. hemiansatus* и верхов эйфеля.

В комплексах конодонтов зоны *Po. rhenanus* — *Po. varcus* присутствуют виды рода *Ancyrolepis*. Вид *A. walliseri* (Wittekindt) описан Х.-П. Виттекиндом в 1966 г. из отложений в Рейнских Сланцевых горах (Германия), тогда же он предложил выделить особый интервал — *walliseri* horizon — внутри зоны *varcus*. Однако данное предложение было отклонено в связи с ограниченным географическим распространением данного вида (Ziegler et al., 1976). В разрезе Покровское *A. aff. walliseri* (Wittekindt) встречен в средней части интервала зоны *Po. rhenanus* — *Po. varcus* (рис. 4, обр. По 1-2), тогда как в разрезах Рейнских Сланцевых гор (Ziegler et al., 1976) он появляется в самой верхней части подзоны Lower *varcus* (= *Po. rhenanus* — *Po. varcus*) и исчезает в самой нижней части подзоны Middle *varcus* (= нижняя часть зоны *Po. ansatus*). Вид *A. cixerriensis* Olivieri впервые описан в разрезе Su Nuargi I, Италия (Olivieri, 1984) в верхней части зоны Middle *varcus*. В нашем разрезе *A. cixerriensis* Olivieri встречен в обр. По 1-2. Чуть выше по разрезу обнаружен один экземпляр *A. sp.* (рис. 4, обр. По 1-3А). Во всех перечисленных разрезах в комплексах конодонтов преобладающими являются виды группы *Po. varcus* и представители рода *Linguipolygnathus*.

Комплекс конодонтов зоны *Po. ansatus* в т. н. По 1 имеет сходство с комплексами, описанными из разрезов Юго-Западной Сардинии (Gouwy, 2013), Польши (Narkiewicz et al., 2016). Общим для них является доминирование видов *Linguipolygnathus linguiformis* (Hinde), *Ctenopolygnathus klapperi* Clausen, Leuteritz & Ziegler. Максимального количества данные виды достигают в обр. По 1-8. Совместно с ними встречен *Po. cf. rhenanus sagitta* Narkiewicz, впервые описанный из отложений среднего девона в формации Si Phai на северо-вос-

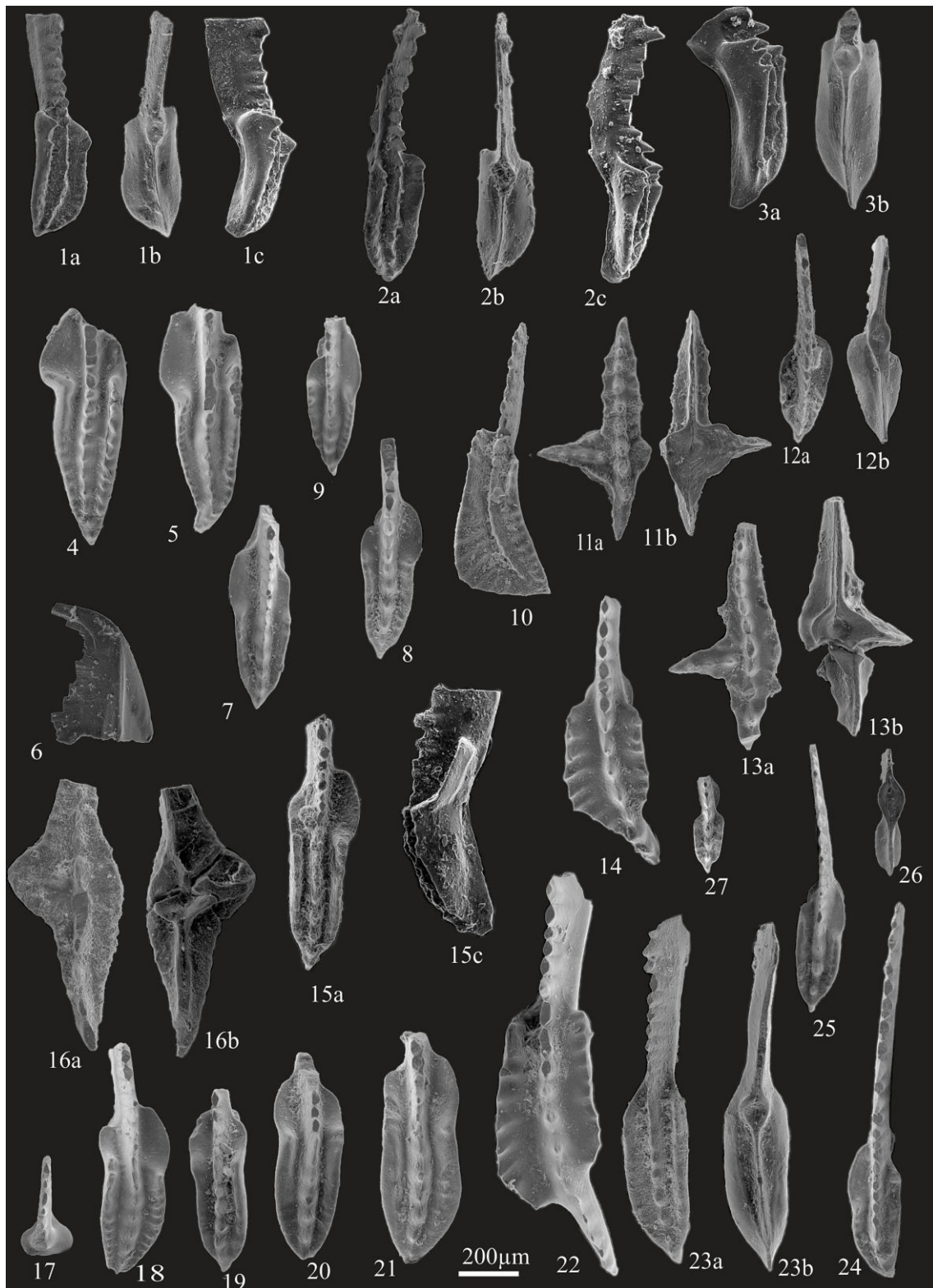


Рис. 6. Конодонты из зон *Po. rhenanus* — *Po. varcus* и *Po. ansatus*:

1–3 — *Polygnathus ensensis* Ziegler, Klapper & Johnson, 1976: 1 — экз. №191/2-16, а — сверху, б — снизу, с — сбоку; 2 — экз. №191/1-10, а — сверху, б — снизу, с — сбоку; 3 — экз. №191/1-24, а — сверху, б — снизу; обр. По 1-1; 4, 5 — *Po. cf. rhenanus sagitta* Narkiewicz, 2007: 4 — экз. №191/9-18, сверху; 5 — экз. №191/9-19, сверху; обр. По 1-8; 6 — *Belodella* sp.: экз. №191/7-6, сбоку; обр. По 1-7; 7, 9 — *Po. cf. rhenanus* Klapper, Philip & Jackson, 1970: 7 — экз. №191/9-17, сверху; 9 — экз. №191/9-21, сверху; обр. По 1-8; 8, 15, 18 — *Po. timorensis* Klapper, Philip & Jackson, 1970: 8 — экз. №191/9-22, сверху; 15 — экз. №191/9-28, а — сверху, с — сбоку; обр. По 1-3А; 18 — экз. №191/9-26, сверху; обр. По 1-8; 12, 24, 25 — *Po. rhenanus* Klapper, Philip & Jackson, 1970: 12 — экз. №191/9-5, а — сверху, б — снизу; обр. По 1-2; 24 — экз. №191/9-12, сверху; 25 — №191/8-9, сверху; обр. По 1-8; 10 — *Eu. parawebbi* Chatterton, 1974: экз. №191/2-1, сверху; обр. По 1-1; 11 — *Ancyrolepis cixerriensis* Olivieri, 1985, экз. №191/3-5, а — сверху, б — снизу; обр. По 1-2; 13 — *A. aff. walliseri* (Wittekindt), 1966: экз. №191/3-9, а — сверху, б — снизу; обр. По 1-2; 14, 22 — *Ctenopolygnathus mucronatus* Wittekindt, 1966: 14 — экз. №191/9-29, сверху; обр. По 1-8; 22 — экз. №191/8-14, сверху; обр. По 1-7; 16 — *A. sp.*, экз. №191/3-4, а — сверху, б — снизу; обр. По 1-2; 17 — *Ozarkodina brevis* (Bischoff & Ziegler, 1957): экз. №191/9-35, сверху; обр. По 1-2; 19–21 — *Po. ansatus* Ziegler, Klapper & Johnson, 1976: 19 — экз. №191/6-20, сверху; 20 — экз. №191/9-

24, сверху; 21 — экз. №191/9-20, сверху; обр. По 1-8; 23 — *Po. xylus* Stauffer, 1940: экз. №191/5-11, а — сверху, b — снизу; обр. По 1-5; 26, 27 — *Po. varcus* Stauffer, 1940: 26 — экз. №191/7-12, снизу; обр. По 1-7; 27 — экз. №191/3-20, сверху; обр. По 1-2

Fig. 6. Conodonts of the *Po. rhenanus* — *Po. varcus* and *Po. ansatus* zones in the По 1 outcrop:

1—3 — *Polygnathus ensensis* Ziegler, Klapper & Johnson, 1976: 1 — specimen no 191/2-16, a — upper view, b — lower view, c — lateral view; 2 — specimen no 191/1-10, a — upper view, b — lower view, c — lateral view; 3 — specimen no 191/1-24, a — upper view, b — lower view; sample По 1-1; 4, 5 — *Po. cf. rhenanus sagitta* Narkiewicz, 2007: 4 — specimen no 191/9-18, upper view; 5 — specimen no 191/9-19, upper view; sample По 1-8. 6 — *Belodella* sp.: specimen no 191/7-6, lateral view; sample По 1-7. 7, 9 — *Po. cf. rhenanus* Klapper, Philip & Jackson, 1970: 7 — specimen no 191/9-17, upper view; 9 — specimen no 191/9-21, upper view; sample По 1-8. 8, 15, 18 — *Po. timorensis* Klapper, Philip & Jackson, 1970: 8 — specimen no 191/9-22, upper view; 15 — specimen no 191/9-28, a — upper view, c — lateral view; sample По 1-3A; 18 — specimen no 191/9-26, upper view; sample По 1-8; 12, 24, 25 — *Po. rhenanus* Klapper, Philip & Jackson, 1970: 12 — specimen no 191/9-5, a — upper view, b — lower view; sample По 1-2; 24 — specimen no 191/9-12, upper view; 25 — specimen no 191/8-9, upper view; sample По 1-8. 10 — *Eu. parawebbi* Chatterton, 1974: specimen no 191/2-1, upper view; sample По 1-1. 11 — *Ancyrolepis cixerriensis* Olivieri, 1985, specimen no 191/3-5, a — upper view, b — lower view; sample По 1-2. 13 — *A. aff. walliseri* Wittekindt, 1966: specimen no 191/3-9, a — upper view, b — lower view; sample По 1-2. 14, 22 — *Ctenopolygnathus mucronatus* Wittekindt, 1966: 14 — specimen no 191/9-29, upper view; sample По 1-8; 22 — specimen no 191/8-14, upper view; sample По 1-7. 16 — *A. sp.*, specimen no 191/3-4, a — upper view, b — lower view; sample По 1-2. 17 — *Ozarkodina brevis* (Bischoff & Ziegler, 1957): specimen no 191/9-35, upper view; sample По 1-2. 19—21 — *Po. ansatus* Ziegler, Klapper & Johnson, 1976: 19 — specimen no 191/6-20, upper view; 20 — specimen no 191/9-24, upper view; 21 — specimen no 191/9-20, upper view; sample По 1-8. 23 — *Po. xylus* Stauffer, 1940: specimen no 191/5-11, a — upper view, b — lower view; sample По 1-5. 26, 27 — *Po. varcus* Stauffer, 1940: 26 — specimen no 191/7-12, lower view; sample По 1-7; 27 — specimen no 191/3-20, upper view; sample По 1-2

токе Вьетнама (Narkiewicz, Königshof, 2018). Обнаружен единственный *Tortodus cf. weddigei* Aboussalam, впервые описанный из отложений зоны *Po. ansatus* в разрезе Bou Tchrafine (Марокко) (Aboussalam, 2003).

Таксономический состав конодонтовых комплексов из т. н. По 1 близок к одновозрастным комплексам, описанным в разрезах Северной Америки и Германии (Klapper et al., 1970; Ziegler et al., 1976), Испании (Gouwy et al., 2013; Liao et al., 2008; Liao, Valenzuela-Rios, 2013), Италии (Olivieri, 1984; Gouwy, 2013), Марокко и Арденн (Bultynck, 1987; Bultynck, 1989; Walliser, Bultynck, 2011).

Заключение

В результате изучения нижней части разреза Покровское (т. н. По 1) впервые обосновано выделение трех последовательных зон глобальной конодонтовой шкалы: *Po. timorensis*, *Po. rhenanus* — *Po. varcus*, *Po. ansatus*.

Доказано присутствие отложений, соответствующих нижнему живету (зона *Po. timorensis*), что ранее для разреза Покровское не было подтверждено конодонтами. Выше по разрезу установлены среднеживетские зоны *Po. rhenanus* — *Po. varcus* и *Po. ansatus*.

Комплексы конодонтов зоны *Po. timorensis* характеризуются преобладанием видов группы *Po. pseudo-foliatus*. В зонах *Po. rhenanus* — *Po. varcus* и *Po. ansatus* доминируют представители группы *Po. varcus* и виды *Linguipolygnathus linguiformis* (Hinde), *Ctenopolygnathus klapperi* Clausen, Leuteritz & Ziegler.

Выявленные комплексы конодонтов обнаруживают большое сходство с одновозрастными ассоциациями из разрезов Северной Америки, Германии, Испании, Италии, Вьетнама, Марокко и Арденн.

Полученные данные по конодонтам позволяют дополнить ранее полученные результаты предшественников и могут быть использованы при совершенствовании субрегиональной стратиграфической схемы девонских отложений Урала.

Выражаем благодарность научному руководителю д. г.-м. н. О. В. Артюшковой, д. г.-м. н. Е. И. Кулагиной, к. г.-м. н. Р. Ч. Тагаревой за консультации при подготовке статьи, к. г.-м. н. С. С. Ковалеву — за помощь при

фотографировании конодонтов, рецензентам — за внимательное прочтение рукописи и конструктивные замечания.

Работа выполнена в рамках темы ГЗ «Фанерозой Южного Урала и прилегающих территорий: стратиграфия, корреляция, палеонтология, основные события и геологические процессы», FMRS-2025-0013.

Литература / References

- Барсков И. С., Воронцова Т. Н., Кононова Л. И., Кузьмин А. В. Определитель конодонтов девона и нижнего карбона. М.: Изд-во МГУ, 1991. 184 с.
- Barskov I. S., Vorontsova T. N., Kononova L. I., Kuzmin A. V. Key to conodonts of the Devonian and Lower Carboniferous. Moscow: Publishing house of Moscow State University; 1991. 184 p. Russian.
- Бикбаев А. З., Снигирёва М. П. К стратиграфии живетско-франских отложений на восточном склоне Среднего Урала // Ежегодник-1997. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 1998. С. 3—6.
- Bikbaev A. Z., Snigireva M. P. About Givetian-Frasnian units stratigraphy in the Middle Urals eastern slope. Yearbook-1997. Yekaterinburg: IGG UB RAS; 1998. p. 3—6. Russian.
- Бикбаев А. З., Снигирёва М. П., Тупицына М. А. Литологическая характеристика и конодонты верхнеживетских отложений типового разреза «Покровское» // Ежегодник-2013: Тр. ИГТ УрО РАН. 2013. Вып. 161. С. 7—14.
- Bikbaev A. Z., Snigireva M. P., Tupitsyna M. A. Sedimentology and conodonts of the Upper Givetian strata in the Pokrovskoe key section. Yearbook-2013. Yekaterinburg: IGG UB RAS. 2013;161:7—14. Russian.
- Бикбаев А. З., Снигирёва М. П., Циглер В., Иванов А. О. К стратиграфии пограничных живетско-франских отложений типового разреза «Покровское» на восточном склоне Среднего Урала // Геология девонской системы: Материалы международного симпозиума. Сыктывкар: Геопринт, 2002. С. 138—140.
- Bikbaev A. Z., Snigireva M. P., Tsigler V., Ivanov A. O. About Givetian-Frasnian boundary units stratigraphy of the Pokrovskoe key section in the Middle Urals eastern



- slope. Geology of the Devonian system: proceedings of the International Symposium. Syktyvkar: Geoprint; 2002. p. 138–140. Russian.
- Наседкина В. А., Бороздина Г. Н.* Конодонты из пограничных отложений среднего и верхнего девона на восточном склоне Среднего Урала // Проблемы стратиграфии и палеонтологии Урала / Под ред. К. К. Золоева, Н. Я. Анцыгина. Екатеринбург: Минприроды РФ, Комприроды по Свердл. обл., ОАО «УТСЭ», 1999. С. 45–51.
- Nasedkina V. A., Borozdina G. N. Upper Devonian boundary strata conodonts in the Middle Urals eastern slope. Problems of stratigraphy and paleontology of the Urals. In: K. K. Zoloev, N. Ya. Antsygin, editors. Yekaterinburg: Ministry for Nature RF, Department for Natural Resources in Sverdlov region, UGSE; 1999. p. 45–51. Russian.
- Наседкина В. А., Постоялко М. Б., Плюснина А. А., Зенкова Г. Г., Петрова Л. Г., Степанова Т. И., Черепанова Н. А., Ширшова Д. И.* К стратиграфии верхнего девона на восточном склоне Среднего Урала // Проблемы стратиграфии Урала. Свердловск: УО АН СССР, 1990. С. 22–35.
- Nasedkina V. A., Postoyalko M. V., Plyusnina A. A., Zenkova G. G., Petrova L. G., Stepanova T. I., Cherepanova N. A., Shirshova D. I. About Upper Devonian stratigraphy in the Middle Urals eastern slope. Problems of the Ural stratigraphy. Sverdlovsk: IGG UB USSR AS; 1990. p. 22–35. Russian.
- Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой) / под ред. Н. Я. Анцыгина, Б. А. Попова, Б. И. Чувашова.* Екатеринбург, 1993.
- Stratigraphic maps of the Urals (Precambrian, Paleozoic). In: N. Ya. Antsygin, B. A. Popov, B. I. Chuvashov, editors. Yekaterinburg; 1993. Russian.
- Тельнова О. П., Дуб С. А., Мельничук О. Ю., Артюшкова О. В., Евдокимова И. О.* Пограничные отложения среднего и верхнего девона в разрезе «Покровское» (восточный склон Среднего Урала): История изучения и новые результаты исследований // Геосферные исследования. 2025. № 3. С. 19–40. DOI: 10.17223/25421379/36/2
- Telnova O. P., Dub S. A., Melnichuk O. Yu., Artyushkova O. V., Evdokimova I. O. Middle and Upper Devonian boundary units in the Pokrovskoe section (Middle Urals Eastern Slope). History of study and new research results. Geosphere Research. 2025;3:19–40. Russian.
- Aboussalam Z. S.* Das “Taghanic-Event” im höheren Mittel-Devon von West-Europa und Marokko. Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie, 2003; vol. 97. 332 p.
- Becker R. T., Marshall J. E. A., Da Silva A.-C.* The Devonian period. With contributions by F. P. Agterberg, F. M. Gradstein and J. G. Ogg. In: Gradstein F. M., Ogg J. G., Schmitz M. D. & Ogg G. M., editors. Geologic Time Scale, Elsevier, Amsterdam, Oxford, Cambridge, MA. 2020;2:733–810.
- Bischoff G., Ziegler W.* Die Conodontenchronologie des Mitteldevons und des tiefsten Oberdevons. Abhandlungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung. 1957;22:1–136.
- Bultynck P.* Pelagic and neritic conodont successions from the Givetian of pre-Sahara Morocco and the Ardennes. Bulletin de l’Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Sciences de la terre. 1987;57:149–181.
- Bultynck P.* Conodonts from a potential Eifelian/Givetian Global Boundary Stratotype at Jbel Ou Driss, southern Ma’der, Morocco. Bulletin de l’Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Sciences de la terre. 1989;57:95–103.
- Bultynck P., Gouwy S.* Reference sections for the Middle Givetian substage. Subcommission on Devonian Stratigraphy Newsletter. 2008;23:21–26
- Catalogue of conodonts. Ziegler W., editor. E. Schweizerbart’sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart. 1973;1:504
- Catalogue of conodonts. Ziegler W., editor. E. Schweizerbart’sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart. 1981;4:445.
- Gouwy S.* New data on Middle Devonian conodonts from SW-Sardinia: the Su Nuargi II Section revisited. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia. 2013;119(3):257–273.
- Gouwy S., Liao J.-C., Valenzuela-Ríos J. I.* Eifelian (Middle Devonian) to Lower Frasnian (Upper Devonian) conodont biostratigraphy in the Villech section (Spanish Central Pyrenees). Bulletin of Geosciences. 2013;88(2):1–24.
- Klapper G., Philip G. M., Jackson J. H.* Revision of the Polygnathus varcus Group (Conodonta, Middle Devonian). N. Jb. Geol. Palaont. Mh., Stuttgart; 1970. p. 650–667.
- Liao J.-C., Königshof P., Valenzuela-Ríos J. I., Schindler, E.* Depositional environment interpretation and development of the Renanué section (Upper Eifelian-Lower Frasnian; Pyrenees, N. Spain. Bulletin of Geosciences. 2008;83(4):481–490.
- Liao J.-C., Valenzuela-Ríos J. I.* The Middle and Upper Devonian conodont sequence from La Guardia D’Ares Sections (Spanish Central Pyrenees). Bulletin of Geosciences. 2013;88(2):339–368.
- Narkiewicz K., Königshof P.* New Middle Devonian conodont data from the Dong Van area, NE Vietnam (South China Terrane). Paläontologische Zeitschrift. 2018;92:633–650.
- Narkiewicz K., Narkiewicz M., Bultynck P.* Conodont biofacies of the Taghanic transgressive interval (middle Givetian): Polish record and global comparisons. Devonian Climate, Sea Level and Evolutionary Events. R. T. Becker, P. Königshof, and C. E. Brett, editors. London: Geological Society; 2016. p. 201–222.
- Olivieri R.* Middle and Late Devonian conodonts from Southwestern Sardinia. Bollettino della Societa Paleontologica Italiana. 1984;23(2):269–310.
- Walliser O., Bultynck P.* Extinctions, survival and innovations of conodont species during the Kačák Episode (Eifelian-Givetian) in south-eastern Morocco. Bulletin de l’Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre. 2011;81:5–25.
- Ziegler W.* Eine Verfeinerung der Conodontengliederung an der Grenze Mittel-/ Oberdevon. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. 1966;9:647–676.
- Ziegler W., Klapper G., Johnson J. G.* Redefinition and subdivision of the varcus-Zone (Conodonts, Middle-Upper Devonian) in Europe and North America. Geologica et Palaeontologica. 1976;10:109–140.

Поступила в редакцию / Received 4.03.2026



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 569.32:551.794(470.111)

DOI: 10.19110/geov.2026.4.2

Новые данные по динамике фауны мелких млекопитающих гряды Чернышева (Большеземельская тундра) в позднеледниковье и голоцене

И. В. КряжеваИнститут геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; innageologi@mail.ru

Исследовалась фауна мелких млекопитающих из двух новых местонахождений гряды Чернышева в Полярном Предуралье вблизи гидротермальных источников. В результате выделены две фазы развития микротериофауны. Первая, позднеледниковая, отражающая суровые перигляциальные условия, характеризуется абсолютным доминированием тундровых и тундростепных видов (89–94 %). Вторая – голоценовая, с преобладанием лесных (до 43 %) и интразональных форм (до 45 %) при низкой доле тундровых и тундростепных (19–22 %). Сравнение с микротериофауной предгорий Урала и Тиманского кряжа выявило сходство динамики фауны от позднеледниковья до границы среднего и позднего голоцена (~ 4200 кал. л. н.). При переходе от среднего голоцена к позднему, когда на смену тёплому климату атлантического периода пришло резкое похолодание суббореального периода, сопровождавшееся увеличением континентальности климата, началом формирования многолетнемерзлых пород в тундре и регрессией лесной растительности к югу, на севере гряды Чернышева доля тундровых и тундростепных видов вновь начала увеличиваться, тогда как южнее (~ 66–66.5° с. ш.) их доля продолжила снижаться. Несмотря на колебания климата и смещение границ растительных зон, термальные источники Пымвашора не оказали заметного влияния на состав фауны ни в одной из фаз, а современное сообщество грызунов урочища не отличается от такового на сопредельных территориях Большеземельской тундры.

Ключевые слова: *мелкие растительоядные млекопитающие, грызуны, позднеледниковье, голоцен, гряда Чернышева, северо-восток европейской части России*

New data on the dynamics of small mammal fauna of the Chernyshev Ridge (Bolshezemelskaya Tundra) in the Late Glacial and Holocene

I. V. Kryazheva

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktывkar, Russia

The fauna of small mammals from two new localities of the Chernyshev Ridge in the Polar Urals, near hydrothermal vents, has been studied. As a result, two phases of microtheriofauna development have been identified. The first, the Late Glacial, is characterized by the absolute dominance of tundra and tundra-steppe species (89–94 %), reflecting the harsh periglacial conditions. The second is Holocene, with a predominance of forest (up to 43 %) and intrazonal forms (up to 45 %), with a low proportion of tundra and tundra-steppe (19–22 %). A comparison with the microtheriofauna of the foothills of the Urals and the Timan Ridge shows a similarity in the dynamics of the fauna from the Late Glacial to the boundary of the Middle and Late Holocene (~ 4200 cal. years ago). During the transition from the Middle to Late Holocene, when the warm conditions of the Atlantic period gave way to a pronounced Subboreal cooling, which led to greater climate continentality, onset of permafrost in the tundra, and southward retreat of forest vegetation, in the north of the Chernyshev Ridge the proportion of tundra and tundra-steppe species began to increase again, while in the south (~66–66.5° N) their share continued to decline. Despite climate fluctuations and shifts in vegetation zones, the thermal springs of Pymvashor did not have a noticeable impact on the faunal composition in any of the phases, and the modern rodent community of the site does not differ from that in the adjacent areas of the Bolshezemelskaya tundra.

Keywords: *small herbivore mammals, rodents, Late Glacial, Holocene, Chernyshev ridge, northeastern part of European Russia*

Для цитирования: Кряжева И. В. Новые данные по динамике фауны мелких млекопитающих гряды Чернышева (Большеземельская тундра) в позднеледниковье и голоцене // Вестник геонаук. 2026. 4(376). С. 12–19. DOI: 10.19110/geov.2026.4.2

For citation: Kryazheva I. V. New data on the dynamics of small mammal fauna of the Chernyshev Ridge (Bolshezemelskaya Tundra) in the Late Glacial and Holocene. Vestnik of Geosciences, 2026, 4(376), pp. 12–19. DOI: 10.19110/geov.2026.4.2



Введение

Активные горячие источники в условиях Арктики и Субарктики многие годы привлекают исследователей разных направлений, поскольку предполагается, что они не только влияют на характер растительности в районе выхода термальных вод, но и оказывают отопляющий эффект на прилегающие территории, что особенно заметно в холодных регионах. В Полярном Предуралье единственным таким объектом является урочище Пымвашор, расположенное в 140 км к западу от Воркуты.

Урочище Пымвашор изучалось археологами и палеонтологами. Интерес археологов связан с наличием пещеры в правом борту Пымвашорского лога, в которой располагается древний самоедский храм Хэмят-Пээн-зи. Во время раскопок площадки перед этим памятником найдены многочисленные костные остатки животных и каменные артефакты, свидетельствующие о посещении урочища людьми с позднего палеолита (Павлов, 1996; Mangerud et al., 1999; Svendsen et al., 2010; Hufthammer et al., 2019). Кроме того, получен материал по позднечетвертичной микротериофауне, описанный в отдельных работах (Смирнов и др., 1999; Golovachov, Smirnov, 2009), который выявил два ключевых этапа её истории — позднеледниковый и этап начальных стадий голоценового оптимума.

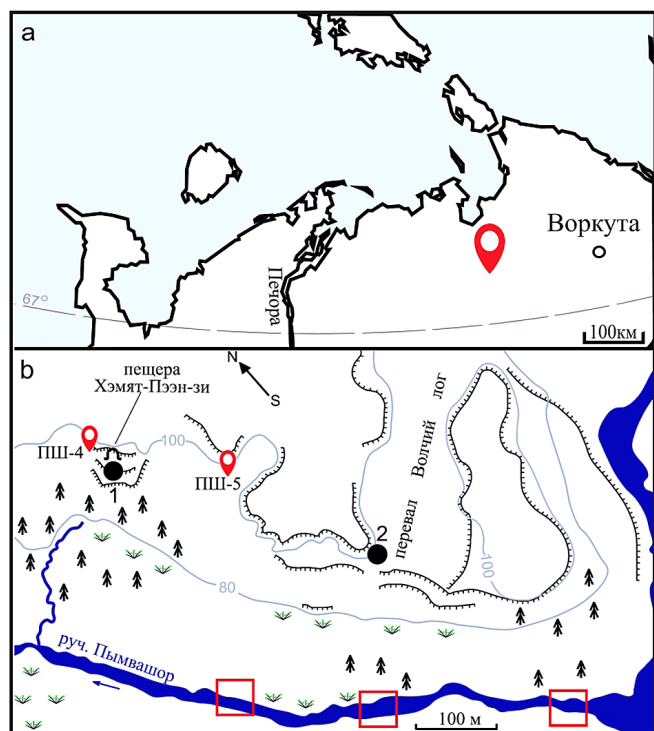


Рис. 1. Географическое положение урочища Пымвашор (а). Расположение местонахождений (б):

1 — Пымвашор (Смирнов и др., 1999), 2 — Пымвашор — Волчий Лог (Кряжева, 2025), ПШ-4 — ниша Пымвашор-4, ПШ-5 — гротт Пымвашор-5. Квадратами обозначены термальные зоны с выходом горячих источников

Fig. 1. Geographic location of the Pymvashor locality (а). Location of the sites (б):

1 — Pymvashor (Smirnov et al., 1999), 2 — Pymvashor — Volchiy Log (Kryazheva, 2025), ПШ-4 — Pymvashor-4 niche, ПШ-5 — Pymvashor-5 grotto. Squares indicate thermal zones with hot spring outlets

В настоящей работе исследованы костные остатки мелких растительноядных млекопитающих из двух новых местонахождений на гряде Чернышева, расположенных в карстовых образованиях нижнекаменноугольных известняков на правом берегу ручья Пымвашор (рис. 1) вблизи гидротермальных источников. Цель работы — реконструировать динамику фауны мелких млекопитающих в позднеледниковье и голоцене в северной части гряды Чернышева, сопоставить её с региональными закономерностями Предуралья (от Полярного до Северного Урала и Тимана) и оценить, оказывали ли термальные источники локальное отопляющее влияние на состав фаунистических сообществ в разные временные интервалы.

Объекты и методы исследования

Ниша Пымвашор-4 расположена в 20 м к северу от входа в пещеру Хэмят-Пээн-зи на высоте 20 м от уреза воды (100 м н. у. м.). Ниша представляет собой вертикальную трещину в скале высотой около 7 м (на всю высоту обнажения), шириной 1.5 м у основания. Из-за особенностей конфигурации ниши (треугольная форма пола, ограниченная стенками трещины) раскоп был заложен в виде треугольника со сторонами 1 м. Мощность рыхлых отложений составила 0.55 м. В разрезе рыхлых отложений было выделено два слоя. Сверху вниз вскрываются:

Слой 1. Обломки и щебень известняка без заполнителя. Мощность слоя 0.15 м.

Слой 2. Светло-серый алевроит с обломками известняка и растительными остатками. Мощность слоя 0.4 м.

Гротт Пымвашор-5 расположен в 150 м к югу от входа в пещеру Хэмят-Пээн-зи на высоте 20 м от уреза воды (100 м н. у. м.). Ширина входной части гротта 7 м, высота 1 м. В центре гротта заложен шурф площадью 1.2 м². Мощность рыхлых отложений составила 0.8 м. В разрезе рыхлых отложений гротта были вскрыты три слоя разного литологического состава (сверху вниз):

1. Обломки и щебень известняка без заполнителя. Мощность слоя 0.3 м.

2. Светло-серый алевроит с большим содержанием обломков и щебня известняка. Граница с нижележащим слоем отчетливая. Мощность слоя 0.2 м.

3. Коричневый глинистый алевроит с щебнем известняка. Мощность слоя 0.3 м.

Вскрытие рыхлых отложений выполнялось послойно. Мощность каждого условного горизонта не превышала 10 см. Костные остатки извлекали путём ручной промывки грунта на ситах с ячейкой 0.8 мм. Полученную смесь костных фрагментов и породы высушивали. Затем вручную отбирали остатки позвоночных, после чего проводили их дополнительную очистку в ультразвуковой ванне «ПСБ-4035». Изучение материала выполняли с использованием биологического микроскопа БИОЛАМ-МЗ.

В отложениях ниши Пымвашор-4 встречены только костные остатки грызунов. В отложениях гротта Пымвашор-5 обнаружены костные остатки северного оленя, зайца, птиц, рыб и грызунов с преобладанием последних. На всех костях заметны следы воздействия пищеварительных ферментов. Посткраниальные элементы скелета крупных млекопитающих (начиная с зайца) сильно раздроблены и несут

отметины от зубов хищников. Подобные повреждения характерны для скоплений, образованных в результате трофической активности хищных млекопитающих. Остатки грызунов чаще всего встречаются в виде изолированных зубов с частично растворённой и эродированной эмалью, а также в виде обломков нижних челюстей. Осколки черепа и трубчатые кости единичны. Такая сохранность и характер коррозии, а также высокая доля изолированных зубов характерны для остатков, происходящих из погадок хищных птиц. Таким образом, изученные отложения, вероятно, сформировались в результате смешанной аккумулятивной деятельности: остатки крупных млекопитающих связаны с трофической активностью наземных хищников, тогда как основная часть мелких млекопитающих (грызуны) поступила в отложения с погадками хищных птиц.

Из рыхлых отложений двух местонахождений было получено и определено 1634 щечных зуба грызунов (табл. 1). Все определённые виды распределили по экологическим группам на основе характеристик современных видов (Маркова и др., 2008). Выделено 4 экологические группы. К лесным видам отнесены *Sicista betulina*, *Craseomys rufocanus*, *Clethrionomys rutilus* — *glareolus*, *Myopus schisticolor*, *Microtus agrestis*. Интразональную группу составили *Arvicola amphibius* и *Alexandromys oeconomus*. Тундровые виды представлены *Lemmus sibiricus* и *Dicrostonyx*, а тундростепные включают один вид — *Lasiopodomys gregalis*.

Определение видовой принадлежности *Clethrionomys* выполняли по методике, предложенной А. В. Бородиным и соавторами (Бородин и др., 2005). Для диагностики морфологически близких видов полевок — *Alexandromys middendorffi* (полевка Миддендорфа), *Microtus agrestis* (тёмная полевка), *Lemmus sibiricus* (сибирский лемминг) и *Myopus schisticolor* (лесной лемминг) — использовали работу Н. Г. Смирнова с соавторами (Смирнов и др., 1997). Классификация видов *Lasiopodomys gregalis*, *Alexandromys oeconomus*,

Alexandromys middendorffi и *Microtus agrestis* проводилась по первому нижнему коренному зубу (m1). Подсчет долей видов проводили по общему количеству определимых остатков.

В работе принята систематика полевок по Н. И. Абрамсон и А. А. Лисовскому (2012). Исключение составляют красная и рыжая полёвки, для которых валидное название — *Clethrionomys* (Kryštufek et al., 2020).

Временные интервалы, используемые в работе:

— позднеледниковье — 14 700—11 700 кал. л. н. (календарных лет назад). В его составе выделяются: бёллинг — аллерёд — 14 700—12 900 кал. л. н. (в радиоуглеродных годах: ~ 12 700—11 000 ¹⁴C л. н.), поздний дриас — 12 900—11 700 кал. л. н. (~ 11 000—10 300 ¹⁴C л. н.); — голоцен — 11 700 кал. л. н. — настоящее время.

Он подразделяется на ранний (11 700—8200 кал. л. н.), средний (8200—4200 кал. л. н.), поздний (4200 — современность) (Vjune et al., 2022). В соответствии с климатостратиграфической схемой Блитта — Сернандера в голоцене этим интервалам соответствуют периоды: пребореальный — 11 700—10 500 кал. л. н. (10 300—9300 ¹⁴C л. н.), бореальный — 10 500—8800 кал. л. н. (9300—8000 ¹⁴C л. н.), атлантический — 8800—5300 кал. л. н. (8000 — 4600 ¹⁴C л. н.), суббореальный — 5300—2600 кал. л. н. (4600—2600 ¹⁴C л. н.), субатлантический — 2600 кал. л. н. — настоящее время (Хотинский, 1977).

Радиоуглеродные датировки калибровали с использованием рекомендованной калибровочной кривой IntCal20 (Reimer et al., 2020).

Результаты и их обсуждение

Фауна грызунов из слоя 3 грота Пымвашор-5 представлена: *Lemmus sibiricus* (39.4%), *Dicrostonyx* sp. (35%), *Lasiopodomys gregalis* (19.5%), *Alexandromys oeconomus* (2.6%), *Craseomys rufocanus* (2.3%), *Clethrionomys* ex gr. *rutilus* — *glareolus* (1.2%). Здесь доминируют тундровые и тундростепные виды, на них приходится почти 94% от всех остатков.

Таблица 1. Соотношение остатков (в %), общее число зубов и зональная приуроченность мелких растительноядных млекопитающих из местонахождений Пымвашор-5 и Пымвашор-4

Table 1. The ratio (%), the total number of remains, and biome preferences of small herbivorous mammals from the Pymvashor-5 and Pymvashor-4 localities

Вид/слой Species/layer	Пымвашор-5 / Pymvashor-5		Пымвашор-4 Pymvashor-4	Природная зона Natural area			
	Слой 2 / Layer 2	Слой 3 / Layer 3	Слой 2 / Layer 2	с	т	л	и
<i>Sicista betulina</i> Pallas 1779	-	-	0.2	-	-	+	-
<i>Craseomys rufocanus</i> Sundevall 1846	20.1	2.3	9	-	-	+	-
<i>Clethrionomys glareolus</i> Schreber 1780	7.3	0.9	2.5	-	-	+	-
<i>Clethrionomys rutilus</i> Pallas 1779	5.7	0.3	5.7	-	-	+	-
<i>Dicrostonyx</i> sp. Sanford 1870	7.8	35	1.8	-	+	-	-
<i>Lemmus sibiricus</i> Kerr 1792	12.8	39.4	17.1	-	+	-	-
<i>Myopus schisticolor</i> Liljeborg 1844	7.6	-	12.1	-	-	+	-
<i>Arvicola amphibius</i> Linnaeus 1758	4.4	-	2	-	-	-	+
<i>Lasiopodomys gregalis</i> Pallas 1779	7	19.5	-	+	+	-	-
<i>Alexandromys oeconomus</i> Pallas 1776	25.1	2.6	42.6	-	-	-	+
<i>Microtus agrestis</i> Linnaeus 1761	2.1	-	6.9	-	-	+	-
Всего зубов	383	343	908	с	т	л	и

Природная зона: с — степь, т — тундра, л — лес, и — интразональные местообитания.
Natural area/zone: с — steppe, т — tundra, л — forest, и — intrazonal habitat.



В слое 2 грота Пымвадор-5 фауна грызунов представлена: *Alexandromys oeconomicus* (25.1 %), *Craseomys rufocanus* (20.1 %), *Clethrionomys ex gr. rutilus – glareolus* (13 %), *Lemmus sibiricus* (12.8 %), *Dicrostonyx sp.* (7.8 %), *Myopus schisticolor* (7.6 %), *Lasiopodomys gregalis* (7 %), *Arvicola amphibius* (4.4 %), *Microtus agrestis* (2.1 %). Здесь преобладают лесные виды, на долю которых приходится почти 43 %, на интразональные виды – почти 30 % и на тундровые и тундростепные – 22 %.

Фауна грызунов ниши Пымвадор-4 представлена: *Alexandromys oeconomicus* (42.6%), *Lemmus sibiricus* (17.1 %), *Myopus schisticolor* (12.1 %), *Craseomys rufocanus* (9%), *Clethrionomys ex gr. rutilus – glareolus* (8.2 %), *Microtus agrestis* (6.9 %), *Arvicola amphibius* (2 %), *Dicrostonyx sp.* (1.8 %), *Sicista betulina* (единичные зубы). Здесь преоб-

ладают интразональные (45 %) и лесные (36 %) виды, на тундровые и тундростепные приходится ~ 19 %.

Состав и структура микротиериофауны из рыхлых отложений грота Пымвадор-5 и ниши Пымвадор-4 демонстрируют два различных типа сообществ, выделенных по принципу доминирования видов. Первый тип обнаружен в слое 3 грота Пымвадор-5 и характеризуется доминированием тундровых и тундростепных видов (рис. 2).

Аналогичный таксономический состав и структура сообществ выявлены в слое 5 местонахождения Пымвадор с датировкой 11125±80 ¹⁴С л. н. (ТУа-1394; калиброванный возраст 12880 – 13168 кал. л. н.), а также в слое 4 с датировкой 10250±250 ¹⁴С л. н. (ГИН-9004; калиброванный возраст 11179–11996 кал. л. н.). В этих

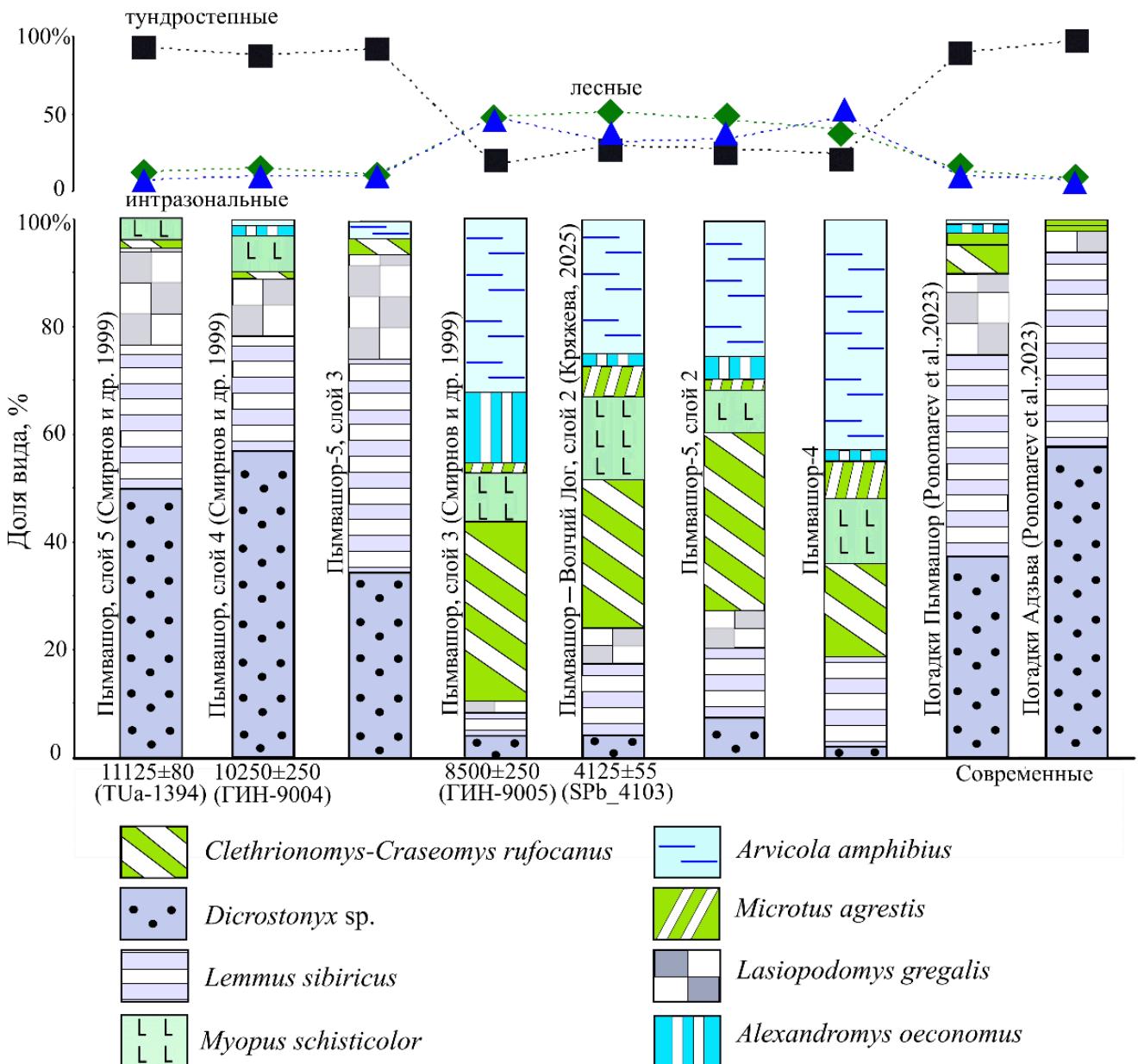


Рис. 2. Динамика зональных группировок (вверху) и соотношение долей видов грызунов (внизу) в позднеледниковых и голоценовых местонахождениях гряды Чернышева (Полярное Предуралье)

Fig. 2. Dynamics of zonal groupings (top) and proportions of rodent species (bottom) in Late Glacial and Holocene localities of the Chernyshev Ridge (the Cis-Polar Urals)

слоях доля тундровых и тундростепных видов составляет 89 и 94 % соответственно (Смирнов и др., 1999).

Стратиграфическое положение костеносного слоя 3 грота Пымвашор-5 и высокая степень совпадения видового состава с надежно датированными позднеплейстоценовыми сообществами Пымвашора позволяют предположить, что осадконакопление происходило в конце позднеледникового. В это время на северо-востоке европейской части России в предгорьях Урала и Тиманского кряжа наблюдается схожее распределение видов в сообществах мелких млекопитающих. Во всех сообществах доминируют тундровые и тундростепные виды (Смирнов, 1996; Пономарев и др., 2005; Голубева, Кряжева, 2020; Кряжева, Пономарев, Голубева, 2022). В это время в растительном покрове господствовали перигляциальные сообщества: кустарниковая тундра (севернее 61–63° с. ш.) и лесотундра (59–62° с. ш.). На участках тундростепи встречались ассоциации с *Betula nana*, *Salix*, *Ericales*, *Sphagnum*, *Selaginella*, а также сосново-берёзовые и еловые леса (Арсланов и др., 1981; Никифорова, 1982; Маркова и др., 2008; Андреичева и др., 2015; Голубева, Кряжева, 2020).

Полное сходство видового состава фауны и экологической структуры сообществ грызунов урочища Пымвашор с синхронными сообществами удалённых районов Предуралья, где термальные источники отсутствовали, свидетельствует о том, что наличие горячих источников в позднеледниковое время не оказало существенного влияния на сообщества грызунов данной территории (рис. 3). Вероятно, это объясняется тем, что их локальный обогревающий эффект, ограниченный приустьевой зоной радиусом в несколько сотен метров (Скютте, Романис, 2013), не мог компенсировать суровые региональные перигляциальные условия конца позднеледникового, когда среднегодовые температуры были на 5–7 °C ниже современных, а ландшафт представлял собой сплошную тундростепь (Величко, 2009; Смирнов и др., 2014).

Второй тип обнаружен в слое 2 грота Пымвашор-5 и в отложениях ниши Пымвашор-4. Для него характерно преобладание лесных (36–43 %) и интразональных (30–45 %) видов, а на долю тундровых и тундростепных приходится 19–22 % от всех остатков (рис. 2). В урочище Пымвашор известны два надежно датированных местонахождения со схожим распределением видов в ископаемых сообществах:

— слой 3 местонахождения Пымвашор с датировкой 8500±250 ¹⁴C л. н. (ГИН-9005; калиброванная дата 9130–9780 кал. л. н.) характеризуется доминированием лесных (44 %) и интразональных (45 %) видов при низкой доле тундровых и тундростепных (около 11 %) (Смирнов и др., 1999);

— слой 3 местонахождения Пымвашор — Волчий Лог с датировкой 4125±55 ¹⁴C л. н. (SPb_4103; калиброванная дата 4520–4829 кал. л. н.) также характеризуется доминированием лесных (49 %) и интразональных (27 %) видов и низкой долей тундровых и тундростепных (24 %) (Кряжева, 2025).

Значительное сходство таксономического состава и структуры этих сообществ свидетельствует о сходных природных условиях, существовавших в период накопления данных отложений, что позволяет предположить, что формирование этих комплексов проис-

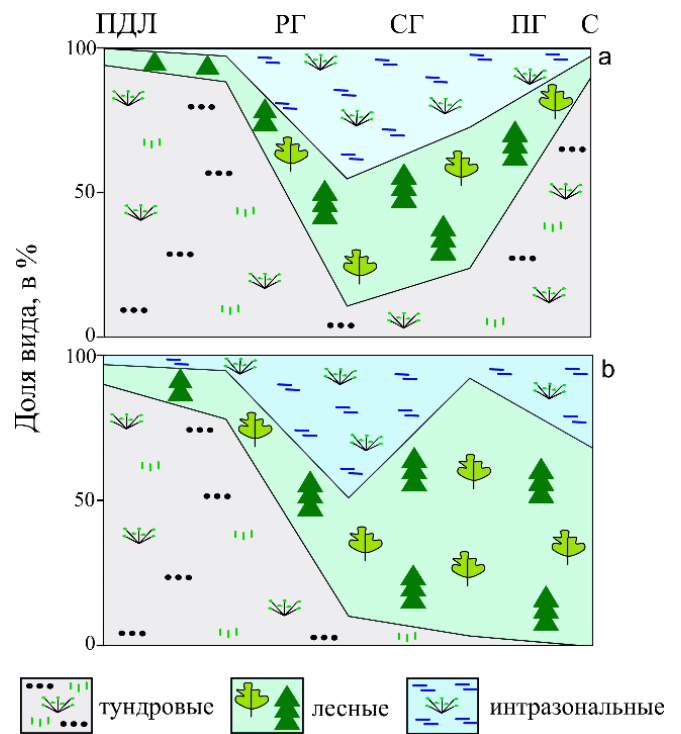


Рис. 3. Динамика фаунистических комплексов мелких млекопитающих с конца позднеледникового до современности в Полярном Предуралье (а) и Тимано-Североуральском регионе (б). ПДЛ — позднеледниковье, РГ — ранний голоцен, СГ — средний голоцен, ПГ — поздний голоцен, С — современность

Fig. 3. Dynamics of small-mammal faunal assemblages from the end of the Late Glacial till the present in the Polar Cis-Urals (a) and the Timan–Northern Ural region (b). ПДЛ — Late Glacial, РГ — Early Holocene, СГ — Middle Holocene, ПГ — Late Holocene, С — modern

ходило в ходе голоценового оптимума (в классическом широком его понимании как единого максимально теплого периода с начала бореального до конца атлантического периода), характеризовавшегося устойчиво теплым и влажным климатом, когда северная граница лесной растительности находилась значительно севернее современной и достигала побережья Баренцева моря (около 69–70° с. ш.) (Никифорова, 1982; Kultti et al., 2003; Маркова и др., 2008; Андреичева и др., 2015; Голубева, Кряжева, 2020).

В начале голоцена в предгорьях Урала и Тиманского кряжа сообщества грызунов характеризовались значительным участием тундровых и тундростепных видов (25–41 %), по мере улучшения климатических условий (повышения среднегодовых температур и расширения лесной растительности) их доля неуклонно сокращалась (~ 10 %), и эта тенденция сохранялась вплоть до современности. В северной части гряды Чернышева динамика оказалась иной: при переходе от среднего голоцена к позднему (~ 4200 кал. л. н.), когда завершился теплый атлантический период и началось похолодание суббореального периода, климатические условия существенно изменились. Усиление континентальности привело к формированию многолетней мерзлоты в тундре и отступлению лесной гра-



ницы на юг до широты ~ 66–66.5° с. ш. (верховья Печоры) (Никифорова, 1982; Kultti et al., 2003; Величко, 2009; Andreev et al., 2011; Андреичева и др., 2015). Тундровые и тундростепные формы не только восстановили свои позиции, но и вновь заняли доминирующее положение в фаунистических сообществах. Во время этого похолодания, так же как в позднеледниковье, наличие горячих источников в урочище Пымвашор не оказало заметного влияния на состав фауны, о чем свидетельствует единый характер динамики фауны разных районов Предуралья — от Полярного до Северного (Пономарев и др., 2005; Кряжева и др., 2018; Голубева, Кряжева, 2020; Кряжева, Пономарев, Голубева, 2022; Ponomarev et al., 2023; Кряжева, Голубева, 2025).

Современное сообщество мелких млекопитающих Большеземельской тундры, включая урочище Пымвашор, характеризуется абсолютным доминированием тундровых видов (90–99%), тогда как доля лесных видов не превышает 1–7%, а интразональных — 3% (Ponomarev et al., 2023). Виды, обитающие в сомкнутых лесных массивах, например обыкновенная белка, в погадках из тундровой зоны полностью отсутствуют.

Растительное сообщество урочища отличается повышенным флористическим разнообразием: здесь отмечены редкие виды, включённые в Красную книгу России (ветреница лесная, пион уклоняющийся, кизильник одноцветковый), а также фрагменты еловых лесов. Однако, согласно исследованиям (Lavrinenko et al., 2024), еловые острова в западной части Большеземельской тундры имеют голоценовое происхождение и встречаются на значительной территории вплоть до 68° с. ш., а их современная динамика связана с глобальными климатическими изменениями, а не с локальным влиянием термальных источников.

Расширение ареала ели и увеличение сомкнутости крон за последние 100 лет также связывают с потеплением климата в Арктике (Болотов и др., 2012). По данным исследователей (Боголицын, Болотов и др., 2011), отепляющее влияние источников ограничено радиусом в несколько десятков метров и не распространяется на окружающую территорию. Несмотря на то, что в урочище весной снег сходит раньше, чем в окружающей тундре, заметного влияния на состав фауны грызунов это не оказывает.

Таким образом, по составу мелких млекопитающих урочище Пымвашор не отличается от сопредельных территорий Большеземельской тундры, а его растительные сообщества отражают общие закономерности распространения лесотундровых экосистем в южной части Большеземельской тундры. Это подтверждает, что ископаемые материалы из отложений урочища отражают региональные, а не локальные процессы.

Выводы

Анализ состава и структуры микротериофауны рыхлых отложений грота Пымвашор-5 и ниши Пымвашор-4 позволил выделить два различных типа сообществ грызунов, отражающих смену климатических условий в Полярном Предуралье в конце позднеледниковья и голоцене.

Первый тип обнаружен в слое 3 грота Пымвашор-5, он характеризуется абсолютным доминированием тундровых и тундростепных видов (89–94%) и по таксономическому составу аналогичен надежно датированным позднеплейстоценовым комплексам региона. Это свидетельствует о формировании отложений в суровых перигляциальных условиях конца позднеледниковья, когда ландшафты представляли собой мозаику кустарниковых тундр и тундростепей с участками разреженных лесов.

Второй тип, выявленный в слое 2 грота Пымвашор-5 и отложениях ниши Пымвашор-4, демонстрирует смену доминирования в пользу лесных и интразональных видов (36–45%) при резком сокращении доли тундровых форм (19–22%). Сходство с голоценовыми комплексами Пымвашора позволяет отнести формирование этих отложений к периоду голоценового климатического оптимума, когда северная граница лесной растительности располагалась намного севернее современной, доходя до побережья Баренцева моря, а климат был теплым и влажным.

Сравнение микротериофаун гряды Чернышева (Пымвашор) с материалами предгорий Урала и Тиманского кряжа выявило сходство видового состава и экологической структуры сообществ грызунов в интервале от позднеледниковья до конца среднего голоцена. В этот период на всех изученных территориях доминировали тундровые и тундростепные виды, сменившиеся к середине раннего голоцена лесными и интразональными видами. Существенные различия в фауне возникли при переходе от среднего голоцена к позднему. Резкое похолодание суббореального периода, пришедшее на смену теплому климату атлантического периода, вызвало увеличение континентальности климата, сокращение лесной растительности и начало образования многолетнемерзлых пород в тундре. При этом характер фауны на севере и на юге рассматриваемого региона стал контрастным. На севере гряды Чернышева, где граница леса отступила за пределы района, доля тундровых и тундростепных видов вновь начала увеличиваться, тогда как южнее лесная растительность, хотя и отступила к югу и стала более разреженной (с господством ели и увеличением доли берёзы), сохранилась в виде сомкнутого покрова. В результате доля тундровых видов здесь продолжила снижаться, уступая место лесному комплексу грызунов.

Анализ показывает, что, несмотря на значительные климатические колебания и сдвиги растительных границ, геотермальная активность Пымвашора не оказывала существенного влияния на фаунистические сообщества на протяжении всех изученных периодов.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Эволюция биоты и среды ее обитания как основа расчленения и геологической корреляции осадочного чехла Печорской плиты и ее складчатого обрамления» № 122040600008-5.

Литература / References

Абрамсон Н. И., Лисовский А. А. Полевки // Млекопитающие России: систематико-географический справочник / Ред. И. Я. Павлинов, А. А. Лисовский. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. С. 220–276. (Сборник трудов Зоологического музея МГУ. Т. 52).

- Abramson N. I., Lisovskij A. A. The Mammals of Russia: A Taxonomic and Geographic Reference. In: Pavlinov I. Ya., Lisovskii A. A. (editors). Proceedings of Zoological Museum of MSU. V. 52. Moscow: Tov-vo Nauchn. Izd. KMK; 2012. p. 220–276. Russian.
- Андреичева Л. Н., Марченко-Вагаринова Т. И., Буравская М. Н., Голубева Ю. В. Природная среда неоплейстоцена и голоцена на Европейском Северо-Востоке России. М.: ГЕОС, 2015. 224 с.
- Andreicheva L. N., Marchenko-Vagarova T. I., Buravskaya M. N., Golubeva I. V. Neopleistocene and Holocene natural environment in the European northeast of Russia. Moscow: GEOS; 2015. 224 p. Russian.
- Арсланов Х. А., Лавров А. С., Никифорова Л. Д. О стратиграфии, геохронологии и изменении климата среднего и позднего плейстоцена и голоцена на северо-востоке Русской равнины. Плейстоценовые оледенения Восточно-Европейской равнины. М.: Изд-во АН СССР, 1981. С. 45–54.
- Arslanov H. A., Lavrov A. S., Nikiforova L. D. Stratigraphy, geochronology and climate changes of the Middle and Late Pleistocene and Holocene in the north-east of the Russian Plain. Pleistocene Glaciations of the East European Plain, Moscow: USSR AS; 1981. p. 45–54. Russian.
- Боголицын К. Г., Болотов И. Н. (ред.). Функционирование субарктической гидротермальной экосистемы в зимний период. Екатеринбург: ИЭ УрО РАН, 2011. 250 с.
- Bogolytsyn K. G., Bolotov I. N. (editors). Functioning of the subarctic hydrothermal ecosystem during the winter period. Yekaterinburg: IE UB RAS; 2011. 250 p. Russian.
- Болотов И. Н., Сурсо М. В., Филиппов Б. Ю., Гоффаров М. Ю., Тараканов А. М. Изменения древостоев в изолированных лесных островах на востоке Большеземельской тундры за последние 100 лет в условиях меняющегося климата // Известия вузов. Лесной журнал. 2012. № 5. С. 30–37.
- Bolotov I. N., Surso M. V., Filippov B. Yu., Gofarov M. Yu., Tarakanov A. M. Changes in stands in isolated forest islands in the east of the Bol'shezemel'skaya tundra over the past 100 years under changing climate conditions. Russian Forestry Journal. 2012;5:30–37. Russian.
- Бородин А. В., Коурова Т. П., Маркова Е. А. Размерные характеристики щечных зубов лесных полевок *Clethrionomys (Craseomys) rufocanus*, *Cl. (Clethrionomys) glareolus*, *Cl. (Cl.) rutilus* (Arvicolinae, Rodentia) и их использование для видовой идентификации // Зоологический журнал. 2005. Т. 84. № 2. С. 236–244.
- Borodin A. V., Kourova T. P., Markova E. A. Dimensional parameters of buccal teeth in voles *Clethrionomys (Craseomys) rufocanus*, *Cl. (Clethrionomys) glareolus*, and *Cl. (Cl.) rutilus* (Arvicolinae, Rodentia) and their use for species identification. Zool. Zh. 2005;84(2):236–244. Russian.
- Величко А. А. Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен — голоцен: Атлас-монография. М.: ГЕОС, 2009. 120 с.
- Velichko A. A. Paleoclimates and paleolandscapes of the extratropical Northern Hemisphere. Late Pleistocene — Holocene: Atlas-monography. Moscow: GEOS; 2009. 120 p. Russian.
- Голубева Ю. В., Кряжева И. В. Развитие растительности и микротерииофауны в позднеледниковье и голоцене на территории национального парка «Югыд ва» // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2020. Т. 28. № 3. С. 148–160.
- Golubeva Yu. V., Kryazheva I. V. Vegetation and microtheriofauna dynamics during the Late Glaciation and Holocene in the Yugyd-Va National Park. Stratigr. Geol. Correl. 2020;28(3):148–160. Russian.
- Кряжева И. В. Голоценовая микротерииофауна из нового местонахождения урочища Пымвашор (Большеземельская тундра) // Тезисы XI Всероссийской конференции по изучению четвертичного периода. СПб.: Институт Карпинского, 2025. С. 81–82.
- Kryazheva I. V. Holocene microtheriofauna from a new location in the Pymvashor tract (Bolshezemel'skaya tundra). Proceedings of the conference. St. Petersburg; 2025. p. 81–82. Russian.
- Кряжева И. В., Пономарев Д. В., Голубева Ю. В. Изменения фаунистических и флористических ассоциаций Печорского Урала с конца среднего валдая до позднего голоцена // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2022. Т. 30. № 6. С. 67–86.
- Kryazheva I. V., Ponomarev D. V., Golubeva Yu. V. Changes in fauna and flora associations in the Pechora Urals from the end of the Middle Valdai to the Late Holocene. Stratigr. Geol. Correl. 2022;30(6):67–86. Russian.
- Кряжева И. В., Пономарев Д. В., Т. ван Кольфсхотен, Й. ван дер Плихт. Мелкие млекопитающие голоцена из пещерных местонахождений бассейна р. Усы (гряда Чернышева, северо-восток европейской части России) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: Геопринт, 2018. С. 34–40.
- Kryazheva I. V., Ponomarev D. V., T. van Kol'fskhoten, J. van der Pliht. Holocene small mammals from caves localities of Usa river valley (Chernyshev Ridge, north-eastern part of European Russia). Vestnik of IG Komi SC UB RAS. 2018;7:34–40. Russian.
- Маркова А. К., ван Кольфсхотен Т., Бохнке Ш., Косинцев П. А., Мол И., Пузаченко А. Ю., Симакова А. Н., Смирнов Н. Г., Верпоорте А., Головачев И. Б. Эволюция экосистем Европы при переходе от плейстоцена к голоцену (24–8 тыс. л. н.) / Отв. ред. А. К. Маркова, Т. ван Кольфсхотен. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 556 с.
- Markova A. K., van Kol'fschoten T., Bohncke S., Kosintsev P. A., Mol I., Puzachenko A. Yu., Simakova A. N., Smirnov N. G., Verpoorte A., Golovachev I. B. Evolution of European ecosystems during the transition from the Pleistocene to the Holocene (24–8 ka). Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK; 2008. 556 p. Russian.
- Никифорова Л. Д. Динамика ландшафтных зон голоцена северо-востока европейской части СССР // Развитие природы территории СССР в позднем плейстоцене и голоцене. М.: Наука, 1982. С. 154–162.
- Nikiforova L. D. Dynamics of landscape zones of Holocene in the north-west of European part of the USSR. In: Development of nature of USSR area in Late Pleistocene and Holocene. Moscow: Nauka; 1982. p. 154–162. Russian.
- Павлов П. Ю. Палеонтологические памятники северо-востока европейской части России. Сыктывкар, 1996. 193 с.
- Pavlov P. Yu. Paleontological memorial of the north-east of the European part of Russia. Syktyvkar, 1996. 193 p. Russian.
- Пономарев Д. В., Смирнов Н. Г., Головачев И. Б., Коурова Т. П., Кузьмина Е. А. Фауна мелких млекопитающих из грота Пижма-1 (Средний Тиман) // Сыктывкарский па-



- леонтологический сборник, № 6. Сыктывкар, 2005. С. 86—97. (Тр. Ин-та геологии Коми научного центра УрО Российской АН. Вып. 117).
- Ponomarev D. V., Smirnov N. G., Golovachev I. B., Kourova T. P., Kuz'mina I. E. Fauna of small mammals from the Pizhma-1 grotto (Middle Timan). Syktyvkar paleontological collection. Proceedings of IG Komi SC UB RAS. Syktyvkar. 2006;117(6):86—97. Russian.
- Скютте Н. Г., Романис Т. В. Термический режим почв термального урочища Пымвашор // Аридные экосистемы. 2013. Т. 19. № 3 (56). С. 30—37.
- Skyutte N. G., Romanis T. V. Thermal regime of soils of the Pymvashor thermal tract. Arid ecosystems. 2013;19(3(56)):30—37. Russian.
- Смирнов Н. Г. Разнообразие мелких млекопитающих Северного Урала в позднем плейстоцене и голоцене // Материалы и исследования по истории современной фауны Урала. Екатеринбург: Екатеринбург, 1996. С. 39—83.
- Smirnov N. G. Small mammal diversity of Northern Urals in Late Pleistocene and Holocene. In: Materials and research on the history of the modern fauna of the Urals. Yekaterinburg; 1996. p. 39—83. Russian.
- Смирнов Н. Г., Андреичева Л. Н., Корона О. М., Зиновьев Е. В., Головачев И. Б., Павлов П. Ю., Хуфтхаммер А. К. Материалы к характеристике биоты Приуральской Субарктики в голоценовом оптимуме // Биота Приуральской Субарктики в позднем плейстоцене и голоцене. Екатеринбург: Екатеринбург, 1999. С. 23—60.
- Smirnov N. G., Andreicheva L. N., Korona O. M., Zinoviev E. V., Golovachev I. B., Pavlov P. J., Hufthammer A.-K. Materials to characterize biota of the Pre-Urals Subarctic during the Holocene optimum. In: Biota of the Ural Subarctic in the Late Pleistocene and Holocene. Yekaterinburg; 1999. p. 23—60. Russian.
- Смирнов Н. Г., Большаков В. Н., Киселёва Д. Б. Закономерности широтной изменчивости фауны мелких млекопитающих Урала в позднем плейстоцене // Экология. 2014. № 6. С. 411—419.
- Smirnov N. G., Bol'shakov V. N., Kiseleva D. B. Patterns of latitudinal variability of the small mammal fauna of the Urals in the late Pleistocene. Ecology. 2014;6:411—419. Russian.
- Смирнов Н. Г., Головачев И. Б., Бачура О. П., Кузнецова И. А., Чепраков М. И. Сложные случаи определения зубов грызунов из отложений позднего плейстоцена и голоцена тундровых районов Северной Евразии // Материалы по истории и современному состоянию фауны севера Западной Сибири. Рифей. Челябинск, 1997. С. 60—90.
- Smirnov N. G., Golovachev I. B., Bachura O. P., Kuznetsova I. A., Cheprakov M. I. Complicated cases of identifying rodent teeth from Late Pleistocene and Holocene deposits of tundra regions of Northern Eurasia. In: Materials on the history and current state of the fauna of northern Western Siberia. Riphean. Chelyabinsk; 1997. p. 60—90. Russian.
- Хотинский Н. А. Голоцен Северной Евразии: опыт транс-континентальной корреляции этапов развития растительности и климата. М.: Наука, 1977. 200 с.
- Khotinsky N. A. Holocene of Northern Eurasia: an experiment of transcontinental correlation of stages of vegetation and climate development. Moscow: Nauka; 1977. 200 p. Russian.
- Andreev A. A., Tarasov P. E., Klimanov V. A., Melles M., Lisitsyna O. M., Hubberten H.-W. The Holocene thermal maximum and late-Holocene cooling in the tundra of NE European Russia. Quaternary Research. 2011;75(3):564—574.
- Bjune A. E., Alsos I. G., Brendryen J., Edwards M. E., Haflidason H., Johansen M. S., Mangerud J., Paus A., Regnéll C., Svendsen J. I., Clarke C. L. Rapid climate changes during the Lateglacial and the early Holocene as seen from plant community dynamics in the Polar Urals, Russia. Journal of Quaternary Science. 2022.;37():805—817.
- Golovachov I. B., Smirnov N. G. The Late Pleistocene and Holocene rodents of the Pre-Urals Subarctic. Quaternary Int. 2009;201:37—42.
- Hufthammer A. K., Svendsen J. I., Pavlov P. Animals and humans in the European Russian Arctic towards the end of the last Ice Age and during the mid-Holocene time. Boreas. 2019;48:387—406. <https://doi.org/10.1111/bor.12343>. ISSN 0300—9483.
- Kryštufek B., Tesakov A. S., Lebedev V. S., Bannikova A. A., Abramson N. I., Shenbrot G. Back to the future: the proper name for red-backed voles is *Clethrionomys Tilesius* and not *Myodes Pallas*. Mammalia. 2020;84(2):214—217.
- Lavrinenko O. V., Lavrinenko I. A., Simonova K. I. State of island spruce forests in the western part of the Bolshezemelskaya tundra after 23 years. Epoch of Global Climate Change. 2024;15(1):30—67.
- Mangerud J., Svendsen J. I., Astakov V. I. Age and extent of the Barents and Kara ice sheets in Northern Russia. Boreas. 1999;28:46—80.
- Ponomarev D. V., Kryazheva I. V., van Kolfschoten T., van Der Plicht J. The rodent fauna of the second half of the Late Holocene in Northeastern European Russia. Paleontological Journal. 2023;57(8):60—74.
- Reimer P. J., Austin W. E. N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P. G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P. M., Guilderson T. P., Hajdas I., Heaton T. J., Hogg A. G., Hughen K. A., Kromer B., Manning S. W., Muscheler R., Palmer J. G., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Turney C. S. M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S. M., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A. and Talamo S. Radiocarbon. 2020;62:725—757. <http://dx.doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Svendsen J. I., Heggen H. P., Hufthammer A. K., Mangerud J., Pavlov P., Roebroeks W. Geo-archaeological investigations of Palaeolithic sites along the Ural Mountains — on the northern presence of humans during the last Ice Age. Quaternary Sci. Rev. 2010;29:3138—3156.

Поступила в редакцию / Received 2.03.2026

Экспериментальные наблюдения за эмиссией радона на Червонослободско-Малодушинском разломе в связи с наведенной сейсмичностью в Солигорском горнопромышленном районе

Г. А. Аронов, А. Г. Аронов, С. Г. Котов

Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь; info@cgm.by

Солигорский горнопромышленный район (СГПР) включает в себя Старобинское месторождение калийных солей, которое разрабатывается с начала 60-х годов, и сопредельные территории с зоной жилой застройки. Район добычи калийных солей входит в Старобинскую центриклиналь северо-западной части Припятского прогиба, древнего палеорифта. За время разработки месторождения наблюдалось активное проявление сейсмических событий небольшой магнитуды, ряд землетрясений имели ощутимый характер. Актуальной задачей для СГПР является проведение непрерывных наблюдений за геодинамическими и геохимическими процессами в разломных зонах.

Экспериментальные исследования по измерению объемной активности радона проводились в осенне-летний период 2025 года в южной части Старобинского месторождения калийных солей на Червонослободско-Малодушинском региональном разломе. Для проведения экспериментальных наблюдений объемной активности радона использовался измерительный комплекс «Альфарад плюс», оснащенный системой передачи данных. Измерения проводились в соответствии со схемами и режимами, рекомендуемыми производителем комплекса (Руководство..., 2021).

Получены первые результаты эмиссии радона и выявлен ряд аномальных значений за некоторое время до проявления сейсмических событий.

Ключевые слова: горнопромышленные работы, сейсмичность, мониторинг, разлом, радон, эмиссия

Experimental observations of radon emission at the Chervonaya Sloboda-Malodusha fault due to induced seismicity within the Soligorsk Mining Region

G. A. Aronov, A. G. Aronov, S. G. Kotov

Centre of Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

The Starobin deposit of potassium salts is the largest one in Europe, it was discovered in 1949 and has been developed since the early 1960s. Together with the town of Soligorsk and its adjacent territories it forms the Soligorsk mining region. This region is located in the Starobin centrocline within the Pripjat Trough northwestern part and is characterized by a high level of man-made impact on the subsoil due to the underground development of potash horizons. The problem of increased geodynamic activity monitoring within the territory of the Soligorsk mining region has become extremely urgent since the end of the 1970s, when the first significant earthquake occurred there on the 10th of May, 1978 (Aronov et al., 2010).

Experimental investigations, aimed at measuring the radon volume activity, were carried out on the outskirts of Minsk in the winter period 2024–2025 and in the southern part of the Starobin potassium salt deposit within the Chervonay Sloboda-Malodusha fault in the autumn–summer period 2025. Measuring System “Alpharad plus” for radon volume activity monitoring equipped with data transmission capability was used for experimental observations. Measurements were carried out in accordance with the diagrams and modes recommended by the System manufacturer (Manual, 2021).

First results of the radon emission monitoring were obtained, and a series of anomalous radon emission values was observed prior to the occurrence of seismic events.

Keywords: mining activities, seismicity, monitoring, fault, radon, emission

Введение

Проведение непрерывного сейсмологического мониторинга на эксплуатируемых крупных месторождениях калийных солей позволяет сформировать оценку и прогноз сейсмической опасности района. Сейсмические события в СГПР приурочены к актив-

ным зонам тектонических разломов и связаны с изменениями напряжений в горизонтах за счет природных тектонических сил. Пространственное распределение сейсмической активности охватывает не только зону шахтной выработки, но и большую часть сопредельных территорий. Пространственное развитие

Для цитирования: Аронов Г. А., Аронов А. Г., Котов С. Г. Экспериментальные наблюдения за эмиссией радона на Червонослободско-Малодушинском разломе в связи с наведенной сейсмичностью в Солигорском горнопромышленном районе // Вестник геонаук. 2026. 4(376). С. 20–24. DOI: 10.19110/geov.2026.4.3

For citation: Aronov G. A., Aronov A. G., Kotov S. G. Experimental observations of radon emission at the Chervonaya Sloboda-Malodusha fault due to induced seismicity within the Soligorsk Mining Region. Vestnik of Geosciences, 2026, 4(376), pp. 20–24. DOI: 10.19110/geov.2026.4.3



геодинамического процесса в виде проявления сейсмичности охватывает как территории, приуроченные непосредственно к зоне горных работ, так и площади, в несколько раз превосходящие размер контура шахтных полей. Осредненные характеристики сейсмичности слабо зависят от особенностей технологии проведения выемок пород и определяются в первую очередь геометрией разломов в регионе и характером региональных тектонических напряжений, накопившихся в течение эксплуатации и техногенного воздействия в разломно-блоковой структуре верхней части земной коры. Проведение сейсмологических наблюдений в районе Старобинского месторождения калийных солей ведется с 1980-х годов и по настоящее время. За период наблюдений зарегистрировано и обработано более 2000 сейсмических событий в ди-

апазонах энергетического класса $K = 4.1-9.5$, а в единицах локальной магнитуды $M = 0.1-3.1$ (рис. 1). За период проведения наблюдений показано, что эпицентры сейсмических событий расположены как на территории шахтных полей, так и за их пределами. Ежегодно регистрируется до 100 сейсмических событий, ряд из них имели ощутимый характер. Наиболее сильное землетрясение (локальная магнитуда $M = 3.1$) зарегистрировано 17 октября 1985 г. в 10 км к западу от г. Глуска и в 70–80 км к северо-востоку от г. Солигорска.

В районе Старобинского месторождения калийных солей функционирует локальная сеть сейсмологического мониторинга из 8 пунктов наблюдений: Волоты (код – VOL), Тесово (TES), Устронь (UST), Чижовка (CHJ), Копачевичи (KAP), Новый Луг (NVL), Махновичи

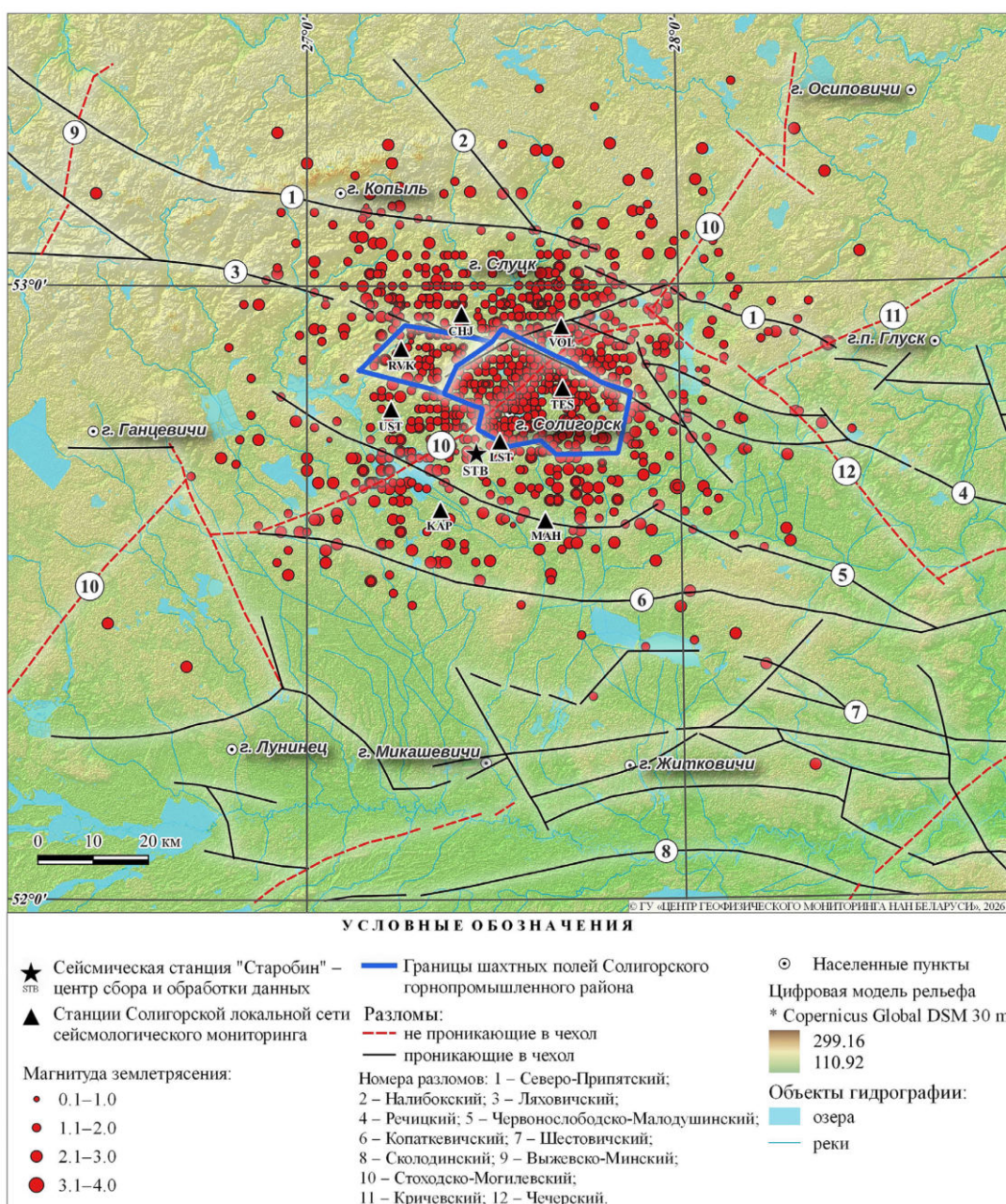


Рис. 1. Карта расположения сети сейсмических наблюдений и проявления сейсотектонических процессов в Солигорском горнопромышленном районе за период 1983–2025 гг.

Fig. 1. Map of the location of the seismic observation network and seismotectonic processes in the Soligorsk mining region within 1983–2025

(МАН), Листопадовичи (LST) — для регистрации сейсмических событий.

Центр обработки и сбора данных функционирует на сейсмической станции «Старобин».

Разрешающая способность локальной сети наблюдений позволяет регистрировать сейсмические события на всей территории СГПР с уровня локальной магнитуды $M \geq 1.0$. На рис. 1 приведена схема расположения локальной сети сейсмических станций в СГПР.

Анализ информации о пространственно-временных закономерностях развития сейсмической активности позволяет получить сведения о деформационных процессах в регионе. Такая информация необходима в целях слежения за развитием сейсмической активности. Кроме того, важным фактором является заблаговременность установки сети мониторинга не только для проведения сейсмологических наблюдений, но и организации наблюдений за информативными геофизическими параметрами, сопутствующими или предшествующими сейсмическим событиям.

В связи с этим следует отметить, что объемная активность почвенного радона (далее — ОАР) достаточно часто используется как информативный параметр изменений напряженно-деформированного состояния верхней части геологической среды. Существует несколько моделей подготовки тектонического события, и практически все они описывают соотношение «напряжение — деформация» с некоторыми отличиями по стадиям трещинообразования. При этом за счет изменения напряженного состояния геологической среды в ней образуются зоны сжатия и растяжения.

ОАР напрямую зависит от изменения пористости и проницаемости среды и меняется в зависимости от зоны. Так, в зоне сжатия происходит вытеснение радона из порового пространства до максимальных значений с последующим уменьшением их до фоновых в связи с уплотнением массива и уменьшением пор и трещин. В зоне растяжения за счет образования новых пор и трещин появляется избыточный радон, и его активность растет до критических значений напряженности. Работы, связанные с изучением радона, охватывают широкие области исследования, начиная от экологических проблем и радиационной безопасности и заканчивая прогнозом природных катастрофических событий, таких как землетрясения и горные удары (Козлова и др., 2022; Рудаков, 2009; Baskaran, 2016).

Методы исследования

Из литературных источников (Разломы..., 2007; Рудаков, 2009; Baskaran, 2016) хорошо известно, что повышенная объемная активность радона, как правило, наблюдается в местах разлома земной коры. На рис. 1 видно, что из 8 пунктов наблюдений с установленными сейсмическими станциями только два пункта — Махновичи и Волоты — находятся на разломах соответственно Червонослободско-Малодушинском и Северо-Припятском. Дооснащение пунктов наблюдений за пространственно-временными и энергетическими параметрами очагов сейсмических событий в СГПР приборами мониторинга объемной активности радона позволит соотносить результаты указанных наблюдений с результатами мониторинга объемной активности радона в той же точке. Наличие тех-

нических возможностей для удаленной передачи всего объема интересующих данных на пункте Махновичи послужило основанием для выбора в первую очередь данного пункта.

Циклические экспериментальные наблюдения за ОАР проводились в осенне-летний период 2025 года на пункте сейсмологических наблюдений «Махновичи», который расположен в южной части СГПР в зоне Червонослободско-Малодушинского разлома. Этот разлом имеет простирание с юго-востока на северо-запад и относится к региональным разломам, проникающим в чехол (рис. 1, разлом № 5).

Основные параметры разлома:

- длина — 120 км (в пределах площади СГПР);
- зона динамического влияния — 3–5 км;
- средний азимут простирания — 105–109°;
- глубинность — мантийный;
- характеристика плоскости — листрический;
- время формирования разлома — платформенный период;
- степень сейсмической активности — сейсмогенный (Разломы..., 2007).

За период 1983–2021 гг. зарегистрировано 130 землетрясений с эпицентрами в пределах сейсмоактивного участка Червонослободско-Малодушинского разлома в диапазоне энергетических классов $K = 4.8–8.6$ (локальная магнитуда $M = 0.4–2.5$).

Следует также отметить, что в районе 52.71° северной широты и 27.30° восточной долготы расположен узел пересечения Червонослободско-Малодушинского регионального разлома и Стоходско-Могилевского суперрегионального разлома.

Для проведения экспериментальных наблюдений ОАР использовался измерительный комплекс «Альфарад плюс», оснащенный системой передачи данных. Измерение активности радона-222 с использованием комплекса «Альфарад плюс» основано на электростатическом осаждении заряженных ионов ^{218}Po из отобранной пробы воздуха на поверхность полупроводникового детектора. Объемная активность ^{222}Rn определяется по количеству зарегистрированных альфа-частиц при распаде атомов ^{218}Po , осевших на полупроводниковом детекторе.

При циклических измерениях ОАР в районе Червонослободско-Малодушинского регионального разлома отбор проб воздуха осуществлялся в соответствии со схемой перевода пробы в блок измерения объемной активности без специального пробоотборника. Измерения проводились в режиме «Циклический отбор воздуха» ежечасно в периоды с 30 июня по 30 июля 2025 г. и со 2 по 25 сентября 2025 г. (Руководство..., 2021).

Результаты и обсуждение

Предел допустимой основной относительной погрешности измерения ОАР в пробах составляет $\pm 20\%$ (Руководство..., 2021). В связи с этим исходные графики измерений характеризуются большой «изрезанностью». Для изучения характера изменений ОАР во времени были разработаны алгоритм и программа сглаживания полученных данных.

В разработанном алгоритме последовательно анализируются все полученные значения: «дата/время — объемная активность радона — абсолютная погреш-



ность измерения объемной активности радона» передаваемые от прибора «Альфарад плюс». Все первые нулевые значения ОАР игнорируются и находится первое значение, отличное от нуля. Для этого значения исходя из абсолютной погрешности измерения объемной активности радона находится диапазон возможного значения ОАР.

Выбирается следующее значение из массива данных, для которого находится диапазон возможного значения ОАР. Анализируется перекрытие двух диапазонов значений объемной активности радона. Если два диапазона перекрываются, оба значения объемной активности радона заносятся в промежуточный массив. Затем выбирается следующее значение из массива данных «дата/время — объемная активность радона — абсолютная погрешность измерения объемной активности радона» и процесс расчета и анализа повторяется.

Очевидно, что на каком-то этапе диапазоны значений перестают перекрываться. Тогда проверяется условие наличия в промежуточном массиве не менее двух значений. Если условие выполняется, то на основе данных ОАР массива находится среднее значение объемной активности радона, которое и присваивается всем элементам массива. Значение ОАР, вышедшее за диапазон, присваивается первому элементу промежуточного массива и процесс расчета и анализа повторяется снова.

Для реализации данного алгоритма разработана программа AverageRadonValue.exe. С помощью данной программы получены сглаженные зависимости «дата/время — объемная активность радона» в периоды с 30 июня по 30 июля 2025 г. (рис. 2) и со 2 по 25 сентября 2025 г.

Как видно на рис. 2, 10 июля 2025 года было два сильных «выброса» значений ОАР (рис. 2), первый — 10 599 Бк/м³ — в 14 ч. 37 мин. и второй — 12074 Бк/м³ — в 16 ч. 35 мин. На следующий день, 11 июля 2025 года, в 8 ч. 56 мин. зарегистрировано сейсмическое событие магнитудой $M = 1.4$ на расстоянии 59 км от пункта измерения ОАР.

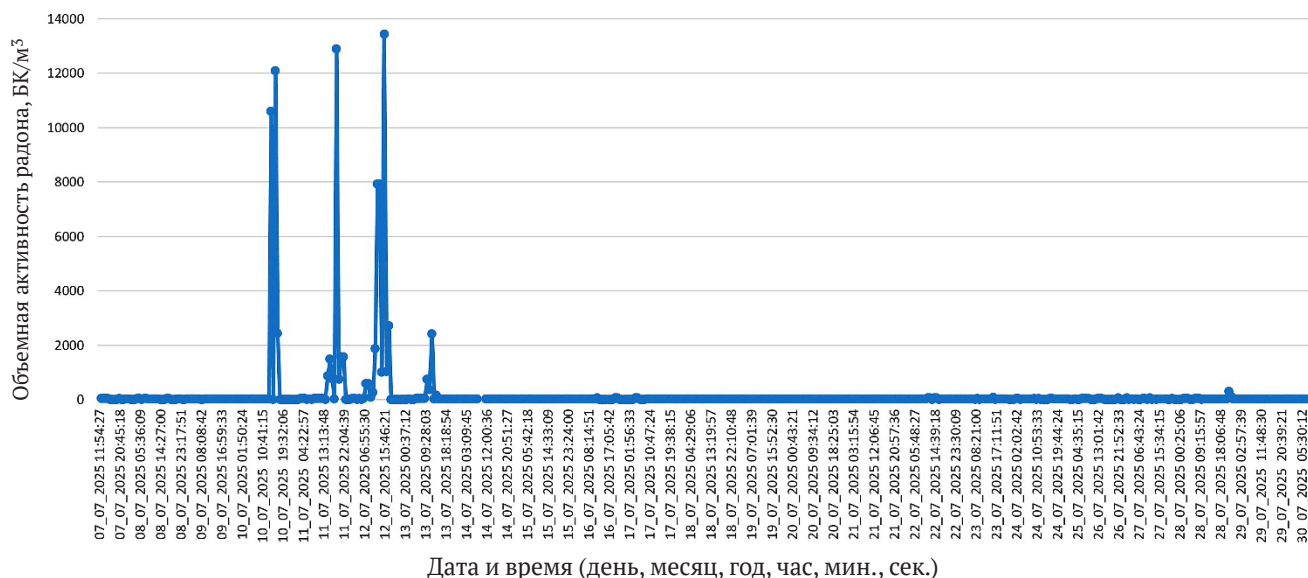


Рис. 2. Сглаженная объемная активность радона (Бк/м³) в период 7–30 июля 2025 г.

Fig. 2. Smoothed radon volume activity (Bq/m³) within July 7–30, 2025

В этот же день, 11 июля 2025 года, измеренное в 19 ч. 07 мин. значение ОАР составило 12 879 Бк/м³ (рис. 2), а 12 июля 2025 года в 07 ч. 43 мин. зарегистрировано сейсмическое событие магнитудой $M = 1.8$ на расстоянии 41 км от пункта наблюдений ОАР.

Позднее, 12 июля 2025 года, измеренное в 15 ч. 46 мин. значение ОАР составило 13 427 Бк/м³ (рис. 2), а 13 июля 2025 года в 08 ч. 48 мин. произошло сейсмическое событие магнитудой $M = 2.4$ на расстоянии 20 км от пункта наблюдений ОАР.

Следует отметить, что 13 июля 2025 года значение ОАР, измеренное в 12 ч. 25 мин., также оказалось достаточно высоким — 2 420 Бк/м³ (рис. 2), однако последующей сейсмической активности в пределах СГПР не наблюдалось. В период с 16 по 17 июля 2025 года максимальные значения ОАР составили 52–60 Бк/м³.

За весь период цикла наблюдений таких высоких значений ОАР, которые предшествовали местным сейсмическим событиям, больше не наблюдалось. Измеренные значения ОАР были достаточно стабильны и находились в пределах 40–300 Бк/м³.

Пространственное расположение сейсмических событий, зарегистрированных в пределах СГПР в период проведения мониторинга ОАР в 2025 году, представлено на рис. 3. На рисунке видно, что сейсмические события группируются в одном направлении. При этом сейсмические события 12 июля и 23 июля 2025 г. находятся практически на одном луче с разными эпицентрными расстояниями, из которых для ближнего расстояния наблюдались высокие значения ОАР, а для дальнего отсутствовали.

Выводы

Выявлены признаки реакции объемной активности радона, предшествующей местным сейсмическим событиям в Солигорском горнопромышленном районе, что обосновывает необходимость проведения дальнейшего мониторинга объемной активности радона для изучения ее связи с происходящим сейсмическими событиями в Солигорском горнопромышленном районе.

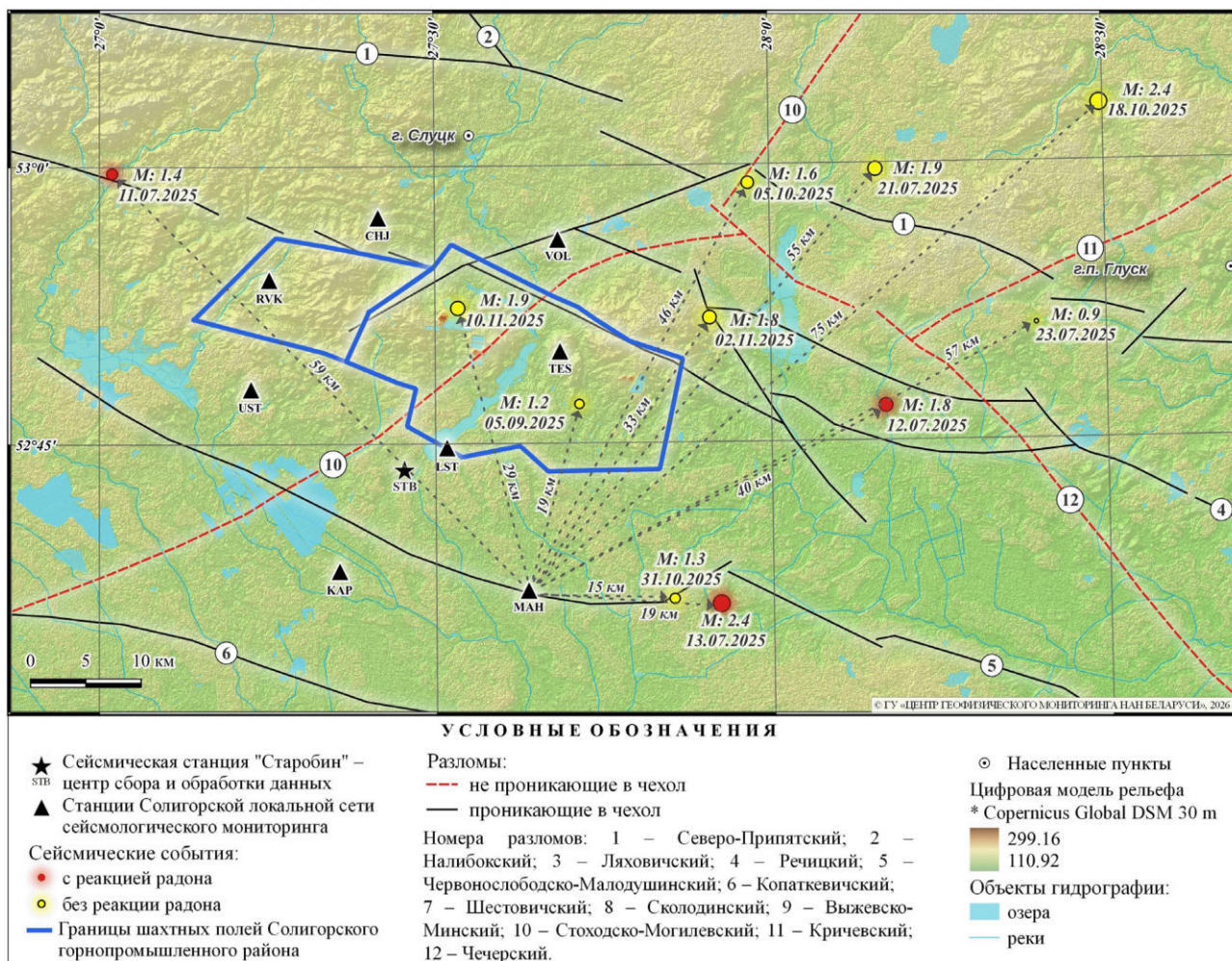


Рис. 3. Сейсмические события во время мониторинга объемной активности радона в 2025 году на Старобинском месторождении калийных солей

Fig. 3. Seismic events recorded during radon volume activity monitoring in the Starobin potassium salt deposit in 2025

Литература / References

Козлова И. А., Юрков А. К., Бирюлин С. В. Вариации объемной активности радона при техногенных и тектонических сейсмических событиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 5—1. С. 119—130.

Kozlova I. A., Yurkov A. K., Birjulin S. V. Variations of the radon volumetric activity during man-made and tectonic seismic events. Mining Informational and Analytical Bulletin. 2022;5(1):119—130. Russian.

Матвеев А. В., Автушко М. И., Исаченко С. А. О влиянии атмосферных осадков и лунно-солнечного гравитационного воздействия на концентрацию радона в поровом воздухе дисперсных грунтов // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2022. Т. 66, № 2. С. 223—228.

Matveyev A. V., Avtushko M. I., Isachenko S. A. About the influence of the atmospheric precipitation and lunar and solar gravity effect on the radon concentration in the pore air in dispersed soils. Doklady NAS of Belarus. 2022;66(2):223 — 228. Russian.

Разломы земной коры Беларуси: монография / Р. Е. Айзберг и др.; под ред. Р. Е. Айзберга. Минск: Красико-Принт, 2007. 372 с.

Faults of the Earth's Crust of Belarus. Aizberg R. Ye. et al. R. Ye. Aizberg — editor. Minsk: Krasiko-Print; 2007. 372 p. Russian.

Рудаков В. И. Эманионный мониторинг геосред и процессов. М.: Высшая школа, 2009. 176 с.

Rudakov V. I. Emanation monitoring of geological environments and processes. Moscow: Vysshaya Shkola; 2009. 176 p. Russian.

Руководство по эксплуатации БВЕК 590000.001 РЭ. Руководство по эксплуатации комплекса для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов «Альфарад плюс РП». М., 2021. 81 с.

Operation Manual for BVEK 590000.001 RE. Operation manual for the measuring system for monitoring radon, thoron, and their progeny products "Alpharad plus RP". Moscow, 2021. 81 p. Russian.

Aronov A. G., Seroglazov R. R., Aronova T. I. Seismicity of Belarus. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica. 2010;45(3 September):324—339.

Baskaran M. Radon: A tracer for geological, geophysical and geochemical studies. Springer Geochemistry; 2016. 260 p.

Поступила в редакцию / Received 4.03.2026



Техногрунт на основе свалочного фильтрата для послойной изоляции полигонов твердых коммунальных отходов

В. А. Матвеева¹, Ю. А. Куликова²

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

² ООО «Протех Лаб», Санкт-Петербург, Россия; yuliyakulikova1997@mail.ru

В статье описаны негативные аспекты складирования твердых коммунальных отходов (ТКО) на полигонах и обоснована необходимость их послойной засыпки с инертными материалами. Рассмотрены основные применяемые для послойной изоляции материалы и предложена идея использования техногрунта на основе стабилизированного шлаками доменного производства свалочного фильтрата с массовым отношением компонентов 1:1:0.027 (фильтрат, доменный шлак, коагулянт). Проведены лабораторные исследования для обоснования возможности применения техногрунта в качестве послойно изолирующего материала: определен химический и фазовый состав; установлен IV класс опасности; доказано, что содержание токсичных веществ в водной вытяжке из техногрунта ниже или на уровне их содержания в свалочном фильтрате; определен интегральный показатель окисляемости, равный 260 мгО₂/л. В рамках эксперимента также установлены крупность частиц техногрунта, его хорошая уплотняемость, газопроницаемость к свалочным газам, а также водопроницаемость к инфильтрующимся атмосферным осадкам. Растворимость техногрунта составила менее 3 мас. %. Комплексом лабораторных исследований доказана возможность использования техногрунта на основе стабилизированного доменным шлаком свалочного фильтрата в качестве инертного материала при эксплуатации полигонов ТКО.

Ключевые слова: коммунальные отходы, полигон ТКО, свалочный фильтрат, доменный шлак, техногрунт, изоляция полигона ТКО

Techno-soil based on landfill leachate for layer-by-layer isolation of solid municipal waste landfills

V. A. Matveeva¹, Yu. A. Kulikova²

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

² Protech Lab LLC, St. Petersburg, Russia

The article describes the main negative aspects of storing municipal waste at landfills and substantiates the need for their layer-by-layer backfill with inert materials. The main materials used for layer-by-layer isolation were considered and the idea of using techno-soil based on landfill leachate stabilized with blast furnace slag with a mass ratio of components of 1: 1: 0.027 (filtrate, blast furnace slag and coagulant) was proposed. Invitro studies were conducted to substantiate the possibility of using techno-soil as a layer-by-layer insulating material: the chemical and phase composition of the techno-soil was determined; hazard class IV of the waste-based material was established; it was proven that the content of toxic substances in the aqueous extract from the material was lower than or equal to their content in the leachate of landfill; the integral oxidation index was measured and equal to 260 mgO₂/l; the particle size of the material, its good compactibility and gas permeability to landfill gases, as well as water permeability to infiltrating atmospheric precipitation were established; the solubility of the material was less than 3 % by weight. Thus, the possibility of using techno-soil based on landfill leachate stabilized with blast furnace slag as an inert material in the operation of solid municipal waste landfills was proven.

Keywords: municipal waste, solid municipal waste landfill, landfill leachate, blast furnace slag, techno-soil, solid municipal waste landfill isolation

Введение

По мере развития цивилизации происходит постоянный рост объемов образования твердых коммунальных отходов (ТКО). Ежедневно в мире растет количество предметов и товаров, используемых в целях удовлетворения личных и бытовых нужд, которые, потеряв свои потребительские свойства, поступают на свалку. Отсутствие надлежащего обращения с такими отхода-

ми становится причиной загрязнения атмосферного воздуха, почвенного покрова и водных ресурсов.

Несмотря на развитие технологий переработки ТКО, в большинстве стран мира основным способом обращения с коммунальными отходами остается их размещение на полигонах. Согласно данным государственного доклада за 2024 год, объем образования ТКО в России превысил 47.7 млн тонн, подавляющая часть

Для цитирования: Матвеева В. А., Куликова Ю. А. Техногрунт на основе свалочного фильтрата для послойной изоляции полигонов твердых коммунальных отходов // Вестник геонаук. 2026. 4(376). С. 25–32. DOI: 10.19110/geov.2026.4.4

For citation: Matveeva V. A., Kulikova Yu. A. Techno-soil based on landfill leachate for layer-by-layer isolation of solid municipal waste landfills. Vestnik of Geosciences, 2025, 4(376), pp. 25–32. DOI: 10.19110/geov.2026.4.4

которых (83 %) была размещена на свалках¹. Негативным аспектом складирования отходов является нерациональное использование земель: под свалки в России отведено более 4 млн га.

Помимо использования территорий под хранение отходов, полигоны ТКО становятся источником масштабного загрязнения окружающей среды (Кирильчук и др., 2021). Происходит выделение в атмосферу отравляющего биогаза и образование токсичных сточных вод, загрязняющих почвы и водоёмы (Петров, Данилов, 2023; Мор, Ravindra, 2023). В целях предотвращения распространения загрязняющих веществ за пределы полигона ТКО существует необходимость проведения промежуточной изоляции складированных отходов в течение всего срока эксплуатации полигона.

Согласно инструкции по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов ТКО, изоляция осуществляется инертными материалами после достижения уплотненным слоем отходов мощности 2 м (Инструкция..., 1996). Изоляцию необходимо проводить не реже одного раза в течение 1–3 дней в зависимости от времени года слоем 0.15–0.25 м.

К традиционным материалам, используемым для послойной изоляции складированных отходов, относятся природные грунты. При добыче природного грунта происходит загрязнение почвенного покрова, а также в ряде случаев наблюдается изменение гидрологического режима водных объектов. Помимо этого, процесс извлечения природных грунтов требует существенных финансовых вложений. Как следствие, создается необходимость поиска альтернативного материала для послойной изоляции, который будет соответствовать требованиям и целям полигона ТКО.

Согласно действующей нормативной базе (Инструкция..., 1996; СП 320.1325800.20, 2018; ИТС 17-2024, 2024) и на основании научных трудов (Забелина и др., 2022; Titova et al., 2022; Патент № 2600681 РФ, 2016) для изоляции полигона ТКО могут быть использованы отходы строительной, деревообрабатывающей, стекольной, металлургической и прочих отраслей промышленности. Однако рассматриваемые отходы яв-

ляются неоднородными по составу и содержат недопустимые элементы, например металлические примеси, лимитирующие их использование.

Ранее была разработана рецептура техногрунтов на основе свалочного фильтрата, стабилизированного шлаками металлургического производства (Пашкевич, Куликова, 2024; Патент № 2807336 РФ, 2023). Техногрунт на основе свалочного фильтрата и шлака доменного производства потенциально может быть использован в нуждах полигона ТКО, что одновременно решит и проблему утилизации двух типов токсичных отходов.

Целью научной работы является исследование возможности использования техногрунта на основе свалочного фильтрата, стабилизированного доменным шлаком, в качестве послойно изолирующего материала при эксплуатации полигонов ТКО. Применимость материала будет установлена посредством определения его физико-механических и химических свойств и сопоставления полученных результатов с нормативными значениями.

Материалы и методы

Объектом исследования является техногрунт на основе свалочного фильтрата, полученный по технологии литификации — отвердевания материала с помощью вяжущего компонента, представленного шлаком доменного производства (Пашкевич, Куликова, 2024). В результате происходит переход фильтрата из жидкого состояния в твердое с получением готового материала — техногрунта. Ранее рядом экспериментов авторами была установлена оптимальная по времени отвердевания рецептура техногрунта в массовом соотношении компонентов 1:1:0.027 — фильтрат плотностью 1.5 т/м³, доменный шлак крупностью 1–2 мм и сульфат алюминия в качестве коагулянта для осаждения растворенных в фильтрате органических примесей. По истечении 7–14 дней с начала эксперимента техногрунт полностью твердеет и готов к использованию (рис. 1).

При использовании отходов производства в качестве послойно изолирующего материала необходимо



Рис. 1. Схема получения техногрунта на основе свалочного фильтрата

Fig. 1. Scheme for obtaining techno-soil based on landfill leachate

¹ О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году: Проект Государственного доклада. М.: Минприроды России; ВНИИ Экология, 2025. 721 с. URL: <https://www.mnr.gov.ru/> (дата обращения: 19.09.2025 г.).



соблюдение следующих требований (Инструкция..., 1996; СП 320.1325800.2017, 2018):

- крупность частиц не более 0.25 м;
- высокая степень уплотняемости;
- газопроницаемость в сочетании с сорбционными свойствами для нейтрализации запахов разложения;
- водопроницаемость при сохранении структурной целостности под воздействием атмосферных осадков (нерастворимость);
- класс опасности отходов не выше IV;
- содержание токсичных веществ в водной вытяжке из отхода (при компонентном соотношении 1:1) ниже или наравне с теми же показателями в свалочном фильтрате;
- интегральный показатель потребляемости кислорода (БПК₂₀ и ХПК) в водной вытяжке не более 300 мгО₂/л.

Крупность частиц техногрунта определялась методом лазерной дифракции на анализаторе размеров частиц HORIBA модификации LA-950 (HORIBA, Франция), оснащенный системой сухого диспергирования.

Степень уплотняемости техногрунта определяется через коэффициент уплотнения, который рассчитывается как отношение насыпной плотности к максимальной (Чунюк и др., 2023). Насыпная плотность регламентируется ГОСТ 32721-2014 и отражает массу некоторого объема материала в естественном неуплотненном состоянии. Максимальная плотность представляет собой наибольшую возможную плотность сухого материала при его механическом уплотнении. Для определения максимальной плотности в соответствии с ГОСТ 22733-2016 необходимо найти значение оптимальной влажности техногрунта, при которой будет достигаться наибольшая плотность. Расчет производится в пересчете на сухой материал с учетом оптимальной влажности как отношение массы влажного техногрунта к занимаемому им объему (1):

$$\rho_{\text{сух}} = \frac{\rho_{\text{вл}}}{1 + 0.01\omega_{\text{опт}}}, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{сух}}$ – максимальная плотность техногрунта, г/см³; $\rho_{\text{вл}}$ – плотность влажного техногрунта, г/см³; $\omega_{\text{опт}}$ – оптимальная влажность техногрунта, %.

Газопроницаемость техногрунта зависит от его пустотности, то есть объема межчастичного пространства, поскольку именно через эти пустоты газ будет проходить сквозь материал (Kiru et al., 2022). Таким образом, чем больше пустот, тем выше газопроницаемость. Значение пустотности исходя из ГОСТ 32721-2014 определяется по формуле (2):

$$V_{\text{мат}} = \left(\frac{\rho_{\text{ист}} - \rho_{\text{нас}}}{\rho_{\text{ист}}} \right) \cdot 100, \quad (2)$$

где $V_{\text{мат}}$ – пустотность техногрунта, %; $\rho_{\text{ист}}$ и $\rho_{\text{нас}}$ – истинная и насыпная плотность техногрунта соответственно (г/см³).

Истинная плотность техногрунта, в отличие от насыпной, определяется при условии абсолютно плотного состояния, исключая наличие пустот, и в соответствии с ГОСТ 32722-2014 рассчитывается по следующей формуле (3):

$$\rho_{\text{ист}} = \frac{(m - m_1) \cdot \rho_{\text{в}}}{m - m_1 + m_2 - m_3}, \quad (3)$$

где m – масса пикнометра с техногрунтом, г; m_1 – масса пустого пикнометра, г; m_2 – масса пикнометра с дистиллированной водой, г; m_3 – масса пикнометра с техногрунтом и дистиллированной водой, г; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, г/см³.

Растворимость техногрунта определялась гравиметрическим методом по потере массы. Для этого из техногрунта готовилась водная вытяжка в массовом соотношении твердого к жидкому 1:5, а далее полученная смесь перемешивалась в течение часа и фильтровалась. Оставшийся на фильтре нерастворившийся осадок был высушен и взвешен без учета массы фильтра. По отношению массы растворившегося осадка к первоначальной массе навески техногрунта можно определить его растворимость.

Для характеристики проницаемости техногрунта по отношению к фильтрующей воде согласно ГОСТ 25584-2023 используют такой показатель, как коэффициент фильтрации, показывающий скорость прохождения воды через полностью насыщенный материал при единичном градиенте напора. Определение проводится с использованием трубки Г. Н. Каменского (рис. 2).

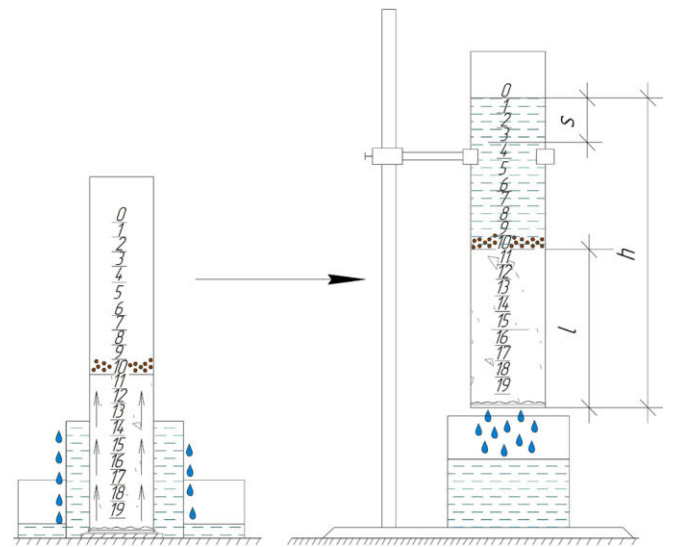


Рис. 2. Определение коэффициента фильтрации техногрунта в трубке Г. Н. Каменского

Fig. 2. Determination of the filtration coefficient of technosoil in the G. N. Kamensky tube

После полного насыщения техногрунта на нем формируют слой воды и засекают время ее прохождения определенного пути (риск). Согласно стандартизированной документации коэффициент фильтрации рассчитывается по следующей формуле (4):

$$K_{\phi} = \left(\frac{l}{t} \right) \cdot f\left(\frac{S}{h} \right), \quad (4)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, см/с; l – высота столба техногрунта, см; t – время прохождения водой столба техногрунта l , с. Величина $f(S/h)$ является табличным значением, где S – высота столба воды, прошедшая через техногрунт за время t , см; h – первоначальная высота столба воды (напор), см.

При проведении расчетов необходимо учитывать реальные среднегодовые температурные условия фильтрационных вод, поэтому коэффициент фильтрации $K_{\phi 10}$ пересчитывается с учетом температурной поправки ТП для предполагаемой (10 °С) и реальной температур по следующей формуле (5):

$$TP = 1 + 0.0337 \cdot T + 0.000221 \cdot T^2. \quad (5)$$

Расчет итогового коэффициента фильтрации техногрунта производится с учетом температурных поправок по формуле (6):

$$K_{\phi 10} = \frac{K_{\phi} \cdot TP_{10}}{TP_{\text{реал}}}. \quad (6)$$

Для установления безопасности применения техногрунта на основе отходов (доменного шлака и свалочного фильтрата полигонов ТКО) проводилось определение его класса опасности методом биотестирования на культуре водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris*) по ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04. Для этого рассчитывалась кратность разбавления вытяжки из техногрунта (ТКР), при которой происходит изменение оптической плотности относительно дистиллированной воды — снижение более чем на 20 % или повышение свыше 30 %. При подавлении прироста более чем на 20 % ТКР рассчитывается по следующей формуле (7):

$$TKP = 10 \frac{(lgP_6 - lgP_M) \cdot (I_M - 0,2)}{I_M - I_6} + lgP_M, \quad (7)$$

где P_6 — кратность разбавления (наибольшая), при которой процент отклонения был ниже критерия токсичности (20 %); P_M — кратность разбавления (меньшая), при которой процент отклонения был выше критерия токсичности; I_6 и I_M — отклонения от контроля, соответствующие этим разбавлениям, выраженные в долях.

Помимо определения кратности разбавления вытяжки из техногрунта был выполнен расчет степени опасности отхода для окружающей среды (К) в соответствии с приказом Минприроды России № 536 (Об утверждении..., 2015).

Определение химического состава техногрунта проводилось методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием сканирующего рентгенофлуоресцентного спектрометра XRF-1800 (Shimadzu, Япония). Фазовый состав техногрунта был получен методом рентгеновской порошковой дифрактометрии с использованием дифрактометра «Колибри» (ИЦ «Буревестник», Россия) и параметрами съемки: анод — Cu; 40kV_10mA. Идентификация данных порошковой дифрактометрии проводилась с использованием базы данных COD.

Содержание токсичных веществ в водной вытяжке из техногрунта при соотношении 1:1 определялось методом атомно-абсорбционной спектрометрии с использованием спектрометра AA-7000 (Shimadzu, Япония). Для установления содержания в водной вытяжке из техногрунта органических веществ были определены показатели химического и биологического потребления кислорода (ХПК и БПК₂₀). ХПК определялось спектрофотометрическим методом с использованием спектрофотометра DR 5000 (HACH-LANGE, Германия) (ФР.1.31.2013.16588, 2013), БПК₂₀ — манометрическим методом с помощью системы БПК OxiTop (WTW, Германия) (ФР.1.31.2015.20690, 2015).

Результаты и обсуждение

Рассмотрим возможность использования полученного на основе свалочного фильтрата техногрунта, стабилизированного шлаком доменного производства, в качестве изоляционного материала при эксплуатации полигона ТКО.

Физико-механические характеристики техногрунта

Крупность. Для эффективной изоляции полигона ТКО необходимо, чтобы размер частиц используемого материала не превышал 0.25 м. Техногрунт на основе свалочного фильтрата является хрупким материалом и легко самоизмельчается после отвердевания при контакте с ним. Анализ размеров частиц техногрунта показал, что наибольшая крупность включений материала составила 1.3 мм, что сопоставимо с частицами природного грунта, размер которых варьируется в пределах 0.01—2.0 мм в соответствии с ГОСТ 12536-2014 (рис. 3).

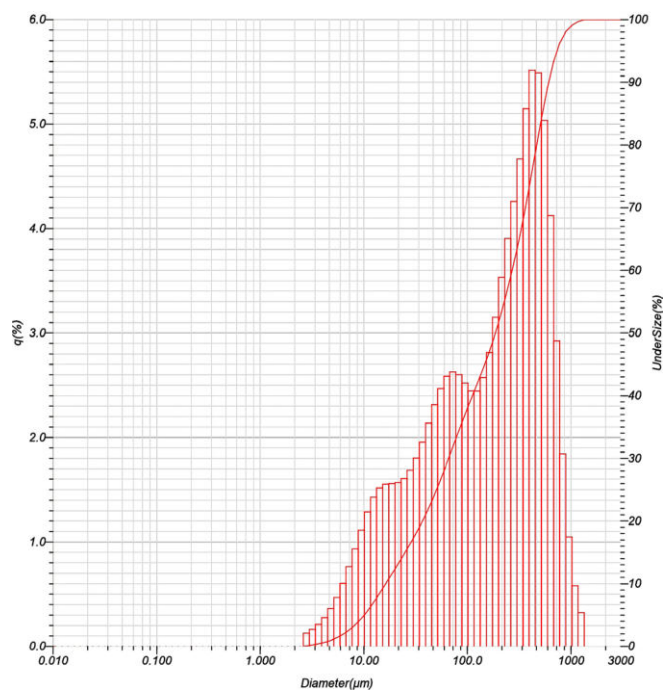


Рис. 3. Распределение размеров частиц техногрунта

Fig. 3. Distribution of particle sizes of techno-soil

Уплотняемость. Далее проводилось определение насыпной и максимальной плотности. Насыпная плотность техногрунта составила (1.58 ± 0.10) т/м³, что сопоставимо с природными грунтами, среднее значение насыпной плотности которых варьируется в диапазоне 1.0—2.0 т/м³ (от легких до плотных скальных пород). Максимальная плотность техногрунта составила (2.16 ± 0.10) т/м³. Таким образом, коэффициент уплотняемости материала составит 0.73, что является низким показателем. Однако полученного коэффициента уплотняемости техногрунта достаточно для решения поставленных задач на полигоне: недопущение проникновения животных, птиц и грызунов в изолируемые отходы. Помимо прочего, техногрунт будет находиться во влажных условиях при выпадении атмос-



ферных осадков и разложении отходов, что увеличит его уплотняемость.

Газопроницаемость. По результатам испытаний было установлено, что истинная плотность техногрунта составляет (1.90 ± 0.10) г/см³ при насыпной (1.58 ± 0.10) т/м³. Таким образом, пустотность материала составляет 17 % от общего объема материала, что подтверждает его способность к пропусканию сквозь толщу техногрунта свалочных газов (Feng et al., 2023). Однако помимо пустотности на газопроницаемость будут влиять условия эксплуатации грунта, которые необходимо подбирать с учетом свойств рассматриваемого материала.

Водопроницаемость. Для природных грунтов, используемых для изоляции полигона ТКО, коэффициент фильтрации в среднем составляет: для суглинков — менее 0.1 м/сут, а для супесей и пылеватых песков — 0.1–1.0 м/сут (ГОСТ 25100-2020). Для предлагаемого техногрунта был установлен коэффициент фильтрации в диапазоне 0.65–0.75 м/сут, что сопоставимо со значениями для используемых природных грунтов.

Растворимость. При испытании материала на растворимость было установлено, что при его взаимодействии с водой любого генезиса (атмосферные осадки, собственная влажность ТКО, очищенные фильтрационные, дренажные и технологические воды, используемые для гидроорошения полигонов ТКО) вымывается порядка 3 % от массы исходного образца. Потеря массы материала происходит за счет растворимых соединений, преимущественно кальция, натрия, калия и магния (Пашкевич, Куликова, 2024). В дальнейшем вымывание будет наблюдаться незначительное, так как общее содержание подвижных форм элементов, которые переходят в раствор в слабокислой среде, чуть выше 3 %.

Химический и фазовый состав техногрунта

Химический состав. Химический состав представлен в таблице 1, из которой видно, что основными компонентами техногрунта являются кальций, кремний, алюминий и магний.

Фазовый состав. Результаты анализа методом рентгеновской порошковой дифрактометрии показали, что основной идентифицируемой фазой в техногрунте является минерал мелилитовой группы (обобщенная формула — $(Ca,Na)_2(Al,Mg,Fe^{2+})[(Al,Si)SiO_7]$) — акерманит ($Ca_2MgSi_2O_7$), который составляет основную часть доменных шлаков, также идентифицируются натрийсодержащий мелилит ($CaNaAl(Si_2O_7)$), примеси арагонита ($CaCO_3$) и оксида алюминия (рис. 4). Фазовый состав согласуется с данными элементного состава, полученными методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии.

Химическая и биологическая токсичность техногрунта

Класс опасности отхода. По результатам токсикологических исследований методом биотестирования на культуре водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris*) установлена токсичная кратность разбавления водной вытяжки из полученного техногрунта (48.5), при которой происходит подавление роста величины оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris*), выращенной в водной вытяжке из техногрунта, на 20 % по сравнению с ее ростом на контрольной среде, приготовленной на дистиллированной воде. Согласно приказу Минприроды России № 536, при кратности разведения водной вытяжки от 1 до 100 отход можно отнести к IV классу опасности.

Помимо кратности разведения водной вытяжки из техногрунта расчетным методом была определена степень его опасности для окружающей среды (К), ко-

Таблица 1. Химический состав техногрунта на основе свалочного фильтрата

Table 1. Chemical composition of techno-soil based on landfill leachate

Содержание основных компонентов (в пересчете на абс. сухое состояние), %										
Content of main components (calculated on an absolute dry basis), %										
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	ППП
41.0	38.15	8.6	7.4	1.0	0.7	0.55	0.38	0.28	0.14	1.8

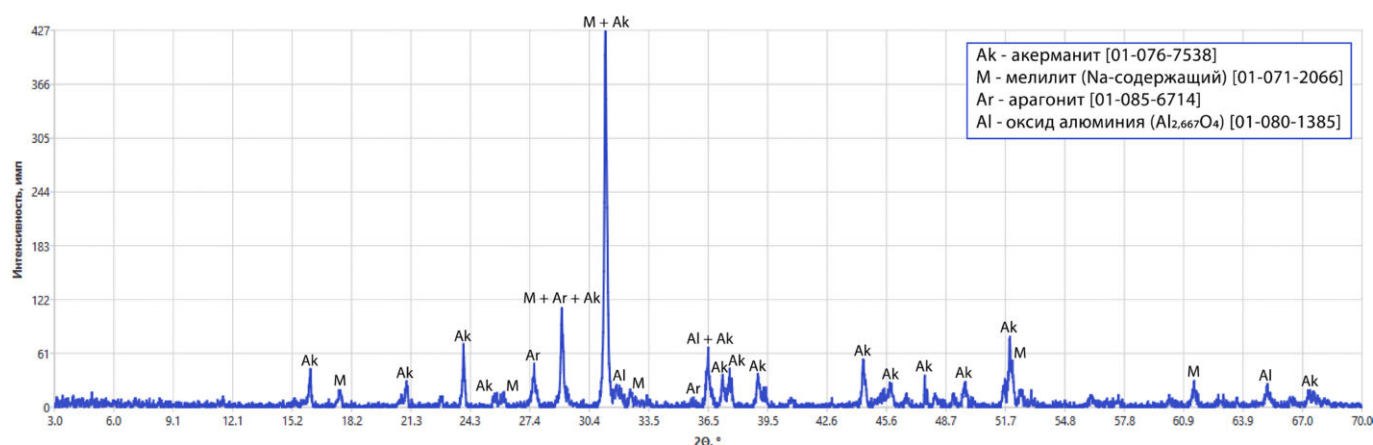


Рис. 4. Дифрактограмма техногрунта

Fig. 4. X-ray diffraction pattern of of techno-soil

торая составила менее 10, что соответствует V классу опасности согласно приказу Минприроды России № 536.

Таким образом, для полученного материала по двум показателям установлен IV класс опасности отхода, так как при несовпадении определенного методом биотестирования и рассчитанного классов опасности присваивается установленный исходя из кратности разведения водной вытяжки из отхода.

Содержание токсичных веществ. Применение полученного техногрунта для послойной изоляции полигонов ТКО допускается при условии содержания токсичных веществ в его водной вытяжке на уровне или ниже, чем в свалочном фильтрате. В таблице 2 приведен сравнительный анализ параметров водной вытяжки из техногрунта и свалочного фильтрата, из которого был приготовлен образец техногрунта.

Таблица 2. Содержание токсичных веществ (мг/дм³) в водной вытяжке из техногрунта и свалочном фильтрате

Table 2. Content of toxic substances (mg/dm³) in aqueous extract from industrial soil and landfill leachate

Компонент Component	Водная вытяжка из техногрунта (1:1) Water extract from techno-soil (1:1)	Фильтрат с полигона ТКО Landfill leachate
Cu	0.30	0.35
Cd	<	0.27
Hg	<	<
Pb	<	<
As	<	<
Zn	0.10	6.50
Ni	0.40	0.48

Из полученных данных следует, что концентрации токсичных веществ, в частности тяжелых металлов, в техногрунте на уровне и ниже, чем в свалочном фильтрате, что позволяет использовать его в качестве пересыпного изолирующего материала на полигоне ТКО.

Помимо этого, использование техногрунта ограничено суммарным показателем окисляемости в его водной вытяжке (не более 300 мгО₂/л). По результатам анализа интегральная потребляемость кислорода в водной вытяжке из техногрунта ниже в 25 раз по сравнению с тем же показателем в свалочном фильтрате и составляет 260 мгО₂/л, где ХПК — 173 мгО₂/л, а БПК₂₀ — 87 мгО₂/л.

Закключение

Проведённые исследования свидетельствуют о соответствии физико-механических и химических свойств полученного на основе свалочного фильтрата техногрунта ключевым требованиям, предъявляемым к материалу для послойной изоляции полигонов ТКО. Результаты лабораторных исследований показали, что техногрунт преимущественно состоит из соединений кремния, кальция, алюминия и магния; основными фазами в техногрунте являются акерманит, мелилит, арагонит и оксид алюминия; крупность частиц мате-

риала не превышает 1.3 мм; уплотняемость техногрунта ниже, чем у природного грунта, однако для целей полигона является оптимальной (коэффициент уплотняемости 0.73); техногрунт является газопроницаемым благодаря своей пористой структуре (пустотность 17%), однако конечное значение будет зависеть от степени укатки грунта и климатических условий; при прохождении осадков сквозь толщу отходов, а также при выделении ими собственной влаги в процессе разложения из техногрунта будет вымываться менее 3% компонентов по массе, что свидетельствует о его стабильности; техногрунт является водопроницаемым, что обеспечит увлажнение нижних слоев отходов для ускорения процессов их разложения и в целях пожаробезопасности (коэффициент фильтрации 0.65—0.75 м/сут); техногрунт является малоопасным и имеет IV класс опасности отхода; содержание токсичных веществ в водной вытяжке из техногрунта ниже, чем в фильтрате, а интегральный показатель окисляемости составил 260 мгО₂/л.

Таким образом, результаты исследования подтверждают возможность использования полученного на основе свалочного фильтрата техногрунта, стабилизированного доменным шлаком, на полигонах ТКО для послойной изоляции складированных коммунальных отходов. При этом полученные характеристики техногрунта сопоставимы с показателями применяемого на сегодняшний день на полигонах ТКО природного грунта. Данная технология позволит сократить затраты на добычу грунта, не нарушать гидрологический режим при его добыче, а также снизить экологическую нагрузку от многотоннажного образования доменного шлака и фильтрата полигонов ТКО путем их совместной утилизации.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSRW-2024-0005).

Литература / References

- ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 2019. 23 с.
GOST 12536-2014. Soils. Methods of laboratory granulometric (grain-size) and microaggregate distribution. Moscow: Standartinform; 2019. 23 p. Russian.
- ГОСТ 22733-2016. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. М.: Стандартинформ, 2019. 14 с.
GOST 22733-2016. Soils. Laboratory method for determining of maximum density. Moscow: Standartinform, 2019; 14 p. Russian.
- ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2020. 41 с.
GOST 25100-2020. Soils. Classification. Moscow: Standartinform; 2020. 41 p. Russian.
- ГОСТ 25584-2023. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. М.: Российский институт стандартизации, 2023. 19 с.
GOST 25584-2023. Soils. Laboratory methods for determining the filtration coefficient. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2023. 19 p. Russian.
- ГОСТ 32721-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный и дробленый. Определение



- насыпной плотности и пустотности. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.
- GOST 32721-2014. Public roads. Natural and crushed sand. Determination of bulk density and void content. Moscow: Standartinform; 2019. 8 p. Russian.
- ГОСТ 32722-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный и дробленный. Определение истинной плотности. М.: Стандартинформ, 2019. 9 с.
- GOST 32722-2014. Public roads. Natural and crushed sand. Determination of true density. Moscow: Standartinform; 2019. 9 p. Russian.
- Забелина А. В., Молодкина Н. Р., Сергиенко О. И. Особенности применения технологического грунта, полученного методом компостирования твердых коммунальных отходов // Московский экономический журнал. 2022. № 6. С. 293—301. DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_6_388
- Zabelina A. V., Molodkina N. R., Sergienko O. I. Features of the application of technological soil obtained by composting municipal solid waste. Moscow Economic Journal. 2022;6:293—301. Russian.
- Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов. М.: Министерство строительства Российской Федерации, 1996. 56 с.
- Guidelines for Design, Operation, and Remediation of Solid Consumption Waste Disposal Sites. Moscow: Ministry of Construction of the Russian Federation; 1996. 56 p. Russian.
- ИТС 17-2024. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Размещение отходов производства и потребления: Утв. Приказом Росстандарта от 24.12.2024 № 3070. М.: Стандартинформ, 2024. 156 с.
- ITR 17-2024. Information technology reference book on accessible technologies. Waste disposal. (approved by Order of Rosstandart dated 24.12.2024 No. 3070). Moscow: Standardinform; 2024. 156 p. Russian.
- Кирильчук И. О., Иорданова А. В., Филлист С. А. Совершенствование методов оценки негативного воздействия объектов размещения отходов на окружающую среду и здоровье населения // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11. № 1. С. 82—97.
- Kiriichuk I. O., Iordanova A. V., Filist S. A. Improving Methods for Assessing the Negative Impact of Waste Disposal Facilities on the Environment and Public Health. Proceedings of the Southwest State University. Series: IT Management, Computer Science, Computer Engineering. Medical Equipment Engineering. 2021;11(1):82—97. Russian.
- Об утверждении «Критериев отнесения отходов к I—V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду»: Приказ Минприроды России от 04.12.2014 № 536 (зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2015 № 40330)
- Approval of the criteria for classifying waste into I—V hazard classes according to the degree of negative impact on the environment. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 04.12.2014 No. 536. Russian.
- Патент № 2600681 РФ. Материал для промежуточной изоляции уплотненных слоев твердых коммунальных отходов на полигоне / Я. И. Вайсман, М. Ф. Гайдай, К. Г. Пугин, Л. В. Рудакова, И. С. Глушанкова. Опубл. 27.10.2016. Бюл. № 30.
- Vajsman Ya. I., Gajdaj M. F., Pugin K. G., Rudakova L. V., Glushankova I. S. Patent No. 2600681 RU. Material for intermediate insulation of compacted layers of solid community wastes at landfill. Publ. 27.10.2016. Bul. No. 30 Russian.
- Патент № 2807336 РФ. Способ получения инертного грунта / В. А. Матвеева, И. М. Валиулин, М. А. Чукаева, Ю. Д. Смирнов. Опубл. 14.11.2023. Бюл. № 32.
- Matveeva V. A., Valiulin I. M., Chukaeva M. A., Smirnov Yu. D., inventors. Method of obtaining inert soil. Patent 2807336 RU. Publ. 2023 Nov 14. Bul. No. 32. Russian.
- Пашкевич М. А., Куликова Ю. А. Литификация доменным шлаком фильтрата полигонов ТКО // Записки Горного института. 2024. Т. 267. С. 477—487.
- Pashkevich M. A., Kulikova Yu. A. Lithification of leachate from municipal solid waste landfills with blast furnace slag. Journal of Mining Institute. 2024;267:477—487. Russian.
- Петров Д. С., Данилов А. С. Гидрохимическая характеристика и экологическое состояние водных экосистем в зоне влияния предприятия по производству минеральных удобрений // Горный журнал. 2023. № 9. С. 83—88. DOI: 10.17580/gzh.2023.09.12
- Petrov D. S., Danilov A. S. Hydrochemistry and ecology of aquatic ecosystems in influence zones of mineral fertilizers production. Mining Journal. 2023;9:83—88. Russian.
- ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04/Т 16.1:2:2.2:2.3:3.7-04. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, донных отложений, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. М.: ФЦАО, 2021. 38 с.
- PND FT 14.1:2:3:4.10-04/Т 16.1:2:2.2:2.3:3.7-04 Toxicological control methods. Methodology for measuring the optical density of the chlorella algae culture (*chlorella vulgaris beijer*) to determine the toxicity of drinking, fresh natural and waste water, aqueous extracts from soils, sewage sludge, production and consumption waste. Moscow: FCAO; 2021. 38 p. Russian.
- СП 320.1325800.2017. Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2018. 21 с.
- SP 320.1325800.2017. Polygons for solid communal waste. Projecting, operation and reclamation. Moscow: Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation; 2018. 21 p. Russian.
- Чунюк Д. Ю., Коптева О. В., Сельвиан С. М. Определение характеристик уплотняемых песчаных и глинистых грунтов полевыми и лабораторными методами // Новые технологии в строительстве. 2023. Т. 9. № 4. С. 183—193. DOI: 10.24412/2409-4358-2023-4-183-193
- Chunyak D. Y., Kopteva O. V., Selviyan S. M. Determination of characteristics of compacted sandy and clay soils using field and laboratory methods. New Technologies in Construction. 2023;9:183—193. Russian.
- ФР.1.31.2013.16588. Методика выполнения измерений биохроматной окисляемости воды (ХПК) в питьевой, поверхностной природной, сточной, морской воде, в во-



- де бассейнов и технологической воде спектрофотометрическим методом. М.: Экоинструмент. 2013. 15 с. FR.1.31.2013.16588. Methodology for measuring the dichromate oxidizability of water (COD) in drinking, surface natural, waste, sea water, in swimming pool water and process water using the spectrophotometric method. Moscow: Ecoinstrument; 2013. 15 p. Russian.
- ФР.1.31.2015.20690. Количественный химический анализ природных и сточных вод: Методика измерений биохимического потребления кислорода в пробах природных и сточных вод по изменению давления газовой фазы (манометрический метод). М.: Экоинструмент, 2015. 30 с.
- FR.1.31.2015.20690. Quantitative chemical analysis of natural and waste water. Methodology for measuring biochemical oxygen demand in samples of natural and waste water based on changes in gas phase pressure (manometric method). Moscow: Ecoinstrument; 2015. 30 p. Russian.
- Feng S., Huang S. F., Jiang J. L., Zhan L. T., Li G. Y., Guan R. Q., Guo H. W., Liu H. W. Effects of Pore-Size Distribution on the Gas Diffusion Coefficient and Gas Permeability of Compacted Manufactured Sand Tailing–Bentonite Mixtures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2023;149(11):1–23. DOI: 10.1061/JGGEFK.GTENG-1130.
- Kiuru P., Palviainen M., Marchionne A., Gronholm T., Raivonen M., Kohl L., Lauren A. Pore network modeling as a new tool for determining gas diffusivity in peat. *Biogeosciences Discussions*. 2022;2022:1–25. DOI: 10.5194/bg-19-5041-2022.
- Mor S., Ravindra K. Municipal solid waste landfills in lower- and middle-income countries: Environmental impacts, challenges and sustainable management practices. *Process Safety and Environmental Protection*, 2023;174:510–530. DOI: 10.1016/j.psep.2023.04.014.
- Titova A., Shmandiy V., Kharlamova O., Rygas T., Malovanyy M. Technological aspects of landfill reclamation using industrial waste. *Water supply and wastewater disposal: Designing, Construction, Operation and Monitoring IV*; 2022. p. 305–323.

Поступила в редакцию / Received 28.01.2026

Редакторы издательства:

О. В. Габова, К. В. Ордин (английский)

Компьютерная верстка

А. Ю. Перетягина

Выписка из реестра средств массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 29.05.2026. Формат бумаги 60 × 84 ¹/₈. Печать RISO. Усл. п. л. 4.0. Тираж 130. Заказ 1265. Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Редакция, издатель: Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Адрес редакции, издателя, типографии: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru.

На обложке использованы фото Е. Антроповой, А. Перетягина, М. Сокерина, Р. Шуктомова

На обложке: Мраморный карьер. Горный парк «Рускеала». Фото А. Перетягина

On the cover: Marble Quarry Ruskeala Mountain Park. Photo by A. Peretyagin

Журнал включен в международные базы цитирования, ядро РИНЦ (RSCI),
а также Перечень ВАК. Распространяется бесплатно

The Journal is included in Russian and International information databases (incl. RSCI WoS)
and in the list of Higher Attestation Commission. Free of charge