



Vestnik of Geosciences **Вестник геонаук**

Сентябрь
September
2026,
№ 9 (381)

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. Андреичева, 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



geo.komisc.ru/vestnik

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

Мацеральный состав и органическая геохимия пермских углей Печорского угольного бассейна <i>О. С. Котик, С. Н. Шанина</i> 3	Maceral composition and organic geochemistry of Permian coals of the Pechora coal basin <i>O. S. Kotik, S. N. Shanina</i> 3
Геохимическая характеристика и нефтематеринские свойства органического вещества угленосных визейских отложений восточной окраины Тимано-Печорской провинции <i>О. В. Валяева, Н. Н. Рябинкина</i> 21	Geochemical characteristics and source properties of organic matter of coal-bearing Visean deposits of the eastern margin of the Timan-Pechora province <i>O. V. Valyaeva, N. N. Ryabinkina</i> 21
Нетипичный сукцинит из Дании <i>О. В. Мартиросян, М. А. Богдасаров, Е. А. Голубев</i> 30	Atypical succinite from Denmark <i>O. V. Martirosyan, M. A. Bogdasarov, E. A. Golubev</i> 30
Исследование сейсмичности в районе Нанкайского глубоководного желоба методом LURR с целью ретроспективной оценки прогноза землетрясений <i>А. С. Закупин, Д. В. Костылев, Н. В. Костылева</i> 38	Study of seismicity in the Nankai trough area using the LURR method for retrospective evaluation of earthquake prediction <i>A. S. Zakupin, D. V. Kostylev, N. V. Kostyleva</i> 38
Опыт применения анализа элементных и минеральных примесей для установления вероятного местонахождения черепа мамонта <i>Д. В. Пономарев, А. Ю. Пузаченко, И. С. Астахова, П. А. Безносков, Г. В. Игнатьев</i> 46	Application of elemental and mineral impurity analysis to determine the provenance of the mammoth skull <i>D. V. Ponomarev, A. Yu. Puzachenko, I. S. Astakhova, P. A. Beznosov, G. V. Ignatyev</i> 46

Хроника, события, факты

Chronicle, events, facts

Встреча обогатителей в Научном центре Дальнего Востока (Плаксинские чтения — 2026) 59	Meeting of enrichment specialists at the Far East Scientific Center (Plaksin Readings – 2026) 59
---	--

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting

geo.komisc.ru/vestnik/authors



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 552.57: 551.736.1(470.1)

DOI: 10.19110/geov.2026.9.1

Мацеральный состав и органическая геохимия пермских углей Печорского угольного бассейна

О. С. Котик, С. Н. Шанина

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
procko@geo.komisc.ru, shanina@geo.komisc.ru

Анализ мацерального состава исходного вещества и неоднородность его территориального распространения позволил выявить ряд особенностей углей Печорского угольного бассейна. По углепетрографическим данным выделены две ключевые фациальные области распространения разнотипных углей, согласующиеся с проведенными ранее литолого-фациальными построениями. Первая область — преимущественно паралического торфонакопления в прибрежно-морских условиях и распространения углей пестрого состава, где среди липтинитовой группы встречаются водорослевые мацералы — альгинит и битуминит. Вторая область характеризуется распространением континентальных озерно-болотных обстановок с преобладанием витринитовых углей, иногда с повышенным содержанием липтинита (споринит, кутинит, резинит). Общей особенностью углей бассейна является разнообразный состав мацералов и широкий ряд углефикации (от бурых углей до антрацитов). Состав битумоидов из углей подтверждает смешанный характер источника органического вещества, включающий продуценты гумусовой и водорослевой природы. Элементный состав нерастворимого органического вещества углей свидетельствует о преобладании III и III–II типов органического вещества, что согласуется с данными углепетрографии и органической геохимии. Состав и содержание аминокислот в углях зависят от таких факторов, как исходное органическое вещество углей, условия его консервации и преобразования.

Ключевые слова: Печорский бассейн, мацералы, битумоиды, элементный состав, аминокислоты

Maceral composition and organic geochemistry of Permian coals of the Pechora coal basin

O. S. Kotik, S. N. Shanina

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

The analysis of the maceral composition of the source material and the heterogeneity of its spatial distribution allows to identifying a number of characteristics of the coals from the Pechora coal basin. Coal-petrographic data result in the identification of two key facies zones corresponding to different coal types, consistent with previously established lithofacies models. The first zone is primarily characterized by paralic peat accumulation in nearshore marine settings and the presence of coals with varied compositions, where algal macerals — alginite and bituminite — occur within the liptinite group. The second zone is characterized by continental lacustrine-paludal environments and a predominance of vitrinite-rich coals, sometimes with elevated liptinite content (sporinite, cutinite, resinite). A common feature of the coals is diverse maceral composition and a wide range of coalification (from brown coals to anthracites). The composition of coal-derived bitumoids confirms a mixed source of organic matter, involving both humic and algal producers. The elemental composition of insoluble organic matter of coals indicates predominant Type III and Type III–II organic matter, consistent with coal-petrographic and organic geochemical data. The composition and content of amino acids in the coals depend on such factors as the initial organic matter, conditions of its preservation and transformation.

Keywords: Pechora basin, macerals, bitumoid, elemental composition, amino acids

Для цитирования: Котик О. С., Шанина С. Н. Мацеральный состав и органическая геохимия пермских углей Печорского угольного бассейна // Вестник геонаук. 2026. 9(381). С. 3–20. DOI: 10.19110/geov.2026.9.1

For citation: Kotik O. S., Shanina S. N. Maceral composition and organic geochemistry of Permian coals of the Pechora coal basin. Vestnik of Geosciences, 2026, 9(381), pp. 3–20. DOI: 10.19110/geov.2026.9.1

Введение

Гумусовые угли, являющиеся объектом промышленного использования, широко распространены на территории Печорского бассейна. Ранее угли региона составляли основу топливно-энергетической отрасли не только Республики Коми, но и всей России. В настоящее время традиционное использование углей Печорского бассейна для нужд топливно-энергетического сектора существенно сокращено, что требует поиска нового вектора их использования. В последние десятилетия по различным регионам мира изучаются генерационные возможности угленосных комплексов с позиции нетрадиционного углеводородного (УВ) источника (Wilkins, George, 2002; Farhaduzzaman, Abdullah, Islam, 2012).

Пермские угленосные отложения Печорского бассейна могут рассматриваться как источник генерации не только газовых, но и нефтяных УВ и как нетрадиционные коллекторы. Вопросы нефтегазоносности пермских отложений впервые начали рассматриваться с 60-х годов XX века (Зимаков, Степанов, 1965). Анализ генерационных показателей ($C_{орг}$, $\beta_{ХБ}$, HI , PI , T_{max} , НОВ) пермского комплекса рассматривался различными научными и научно-производственными коллективами: Института геологии Коми НЦ УрО РАН, ВНИГНИ, ВНИГРИ, ПечорНИПИнефть и Газпрома. К числу монографий по вопросам органической геохимии, включающим пермские угленосные отложения, относятся работы Анищенко и др. (2004); Баженовой и др. (2008).

Оценка потенциала генерации нефтяных УВ углями требует анализа содержания липтинитовых и витринитовых мацералов (Тиссо, Вельте, 1981; Mukhopadhyay et al., 1991). Различными исследователями были выявлены зависимости между повышенными содержаниями мацералов липтинита (до 15–30 %) и выходом жидких и газообразных УВ (Хант, 1982; Mukhopadhyay et al., 1991). Было установлено, что ряд липтинитовых мацералов — альгинит, кутинит и суберинит — обладают большим потенциалом для генерации жидких УВ-флюидов по сравнению со споринитом, липтодетринитом и резинитом (Powell et al., 1971). Источником генерации жидких УВ также могут выступать обогащенные водородом микрокомпоненты группы витринита (Тиссо, Вельте, 1981; Хант, 1982). Угли с повышенным содержанием мацералов группы липтинита, и особенно альгинитов, характеризуются большей генерацией нефтяных УВ, чем чисто гумусовые угли витринит-инертинитового состава (Хант, 1982; Mukhopadhyay et al., 1991). Ввиду последнего обстоятельства повышенное внимание было обращено на распространение данных микрокомпонентов в углях.

В статье представлено обобщение углепетрографических данных по угольным месторождениям Печорского бассейна с целью выявления особенностей распространения групп микрокомпонентов в различных литолого-фациальных зонах по опубликованным (Воркутский..., 1994; Угленосная..., 1990; Атлас..., 2000; Корельский Марго, 1973), а также нашим материалам.

В процессе седиментации и диагенеза растительное вещество меняется при последовательном воздействии биохимических и геохимических процессов, что отражается на различных геохимических свойствах

органической матрицы. Последующее погружение и воздействие температуры приводит к наложению процессов катагенетического преобразования органического вещества (ОВ) и дополнительного изменения его свойств (Тиссо, Вельте, 1981).

Одним из объектов при изучении биохимических процессов преобразования органического вещества являются аминокислоты (АК), являющиеся основными элементами всех живых белковых организмов. Доля их участия в образовании ископаемого ОВ достаточно велика, благодаря чему они часто обнаруживаются в геологических объектах (Дроздова, 1977) и выступают в качестве геохимических индикаторов изменения первичного органического вещества углей.

Вариативность исходных продуцентов ОВ и условия его преобразования отражаются на элементном составе нерастворимого органического вещества (НОВ) и углеводородном составе битумоидов, выделенных из углей (Анищенко и др., 2004; Баженова и др., 2008). В связи с этим нами была проведена оценка влияния микрокомпонентов углей и условий их трансформации на различные составляющие вещества углей (нерастворимого ОВ, битумоидов и аминокислот).

История петрографического изучения углей Печорского бассейна

Начало петрографических исследований углей Печорского бассейна относится к 1927 году. Именно тогда М. Д. Залесский, изучив под микроскопом образцы Большой Инты, пришел к выводу, что они должны спекаться. Стоит отметить, что первые микроскопические исследования ископаемых углей (в шлифах) он проводил еще с 1909 года (Атлас..., 2000).

В 1930-е годы петрографическое изучение региона охватило новые площади. Так, З. В. Ергольская (1932 г.) и И. Э. Вальц (1938 г.) исследовали угли реки Адзвы, а также Интинского и Чернореченского месторождений. В этот же период А. И. Гинзбург занималась углепетрографическим анализом высокопреобразованных углей (антрацитов) на месторождениях Пай-Хоя (Воркутский..., 1994). Углепетрографические работы по другим площадям региона проводились А. К. Матвеевым, Ф. А. Бочковским, Е. В. Корженевской, М. С. Волковым и другими (Атлас..., 2000).

Дальнейшее изучение угленосных отложений связано с именами Л. К. Смирновой, Л. И. Сарбеевой, И. Б. Волковой, Г. А. Иванова, Н. И. Родного и других исследователей. Благодаря их работам были проведены масштабные обобщения о составе и качестве углей, а также подготовлен первый «Атлас углей Печорского бассейна».

В 1970-е годы под руководством Ю. В. Степанова началось планомерное изучение и обобщение данных о петрографическом составе, показателе отражения витринита и технологических свойствах углей Печорского бассейна. Исследователи выявили ключевые закономерности их изменения на всей территории региона. В этот же период Ю. В. Степанов совместно с В. П. Куклевым, Е. П. Тарбаевой, В. П. Корельским, М. А. Юдиной, Б. В. Судаковым, Г. В. Трапездниковой, Н. В. Тимониной и другими геологами составил детальные карты вещественного состава и качества углей по всему бассейну (Атлас..., 2000).



Многолетние планомерные исследования петрографического состава, качества и степени метаморфизма углей, проведенные коллективом геологов-угольщиков, служат надежным фундаментом для геологических реконструкций истории развития региона (Угленосная..., 1990; Угольная..., 2000).

Вплоть до начала 1990-х годов объемы добычи в Печорском бассейне стабильно росли. В 1988 году они достигли исторического максимума — 28 млн тонн, из которых 20 млн тонн пришлось на воркутинский коксующийся уголь. Однако с начала 90-х годов отрасль столкнулась с резким спадом производства и частичным закрытием шахт.

Несмотря на снижение объемов добычи и закрытие ряда шахт в Печорском бассейне, изучение угленосных отложений продолжается. В настоящее время внимание ученых сосредоточено на углепетрографических исследованиях углей и рассеянного органического вещества (РОВ) в разновозрастных породах не только самого бассейна, но и сопредельных территорий Тимано-Печорской провинции. В последние годы

с целью вовлечения угленосных площадей в разработку начато изучение углей как нетрадиционного сырья (Бурцев и др., 2015; Нифонтов и др., 2019; Burdelnaya et al., 2019).

Угленосность и геологическая характеристика

Основным объектом исследований являлась пермская угленосная часть орогенной формации. Угленосность на территории севера Урала и Приуралья в основном приурочена к орогенному комплексу (Юдин, 1987). В пределах изучаемой территории расположены Юньягинское, Воркутское, Воргашорское, Елецкое, Усинское, Сейдинское, Верхнероговское, Тальбейское, Абезьское, Кочмесское, Интинское, Неченское и другие угольные месторождения (рис. 1, а). Угленосными здесь являются отложения воркутской и печорской серий, которые содержат около 290 пластов и пропластков угля и распределены довольно неравномерно по площади (Угленосная, 1990).

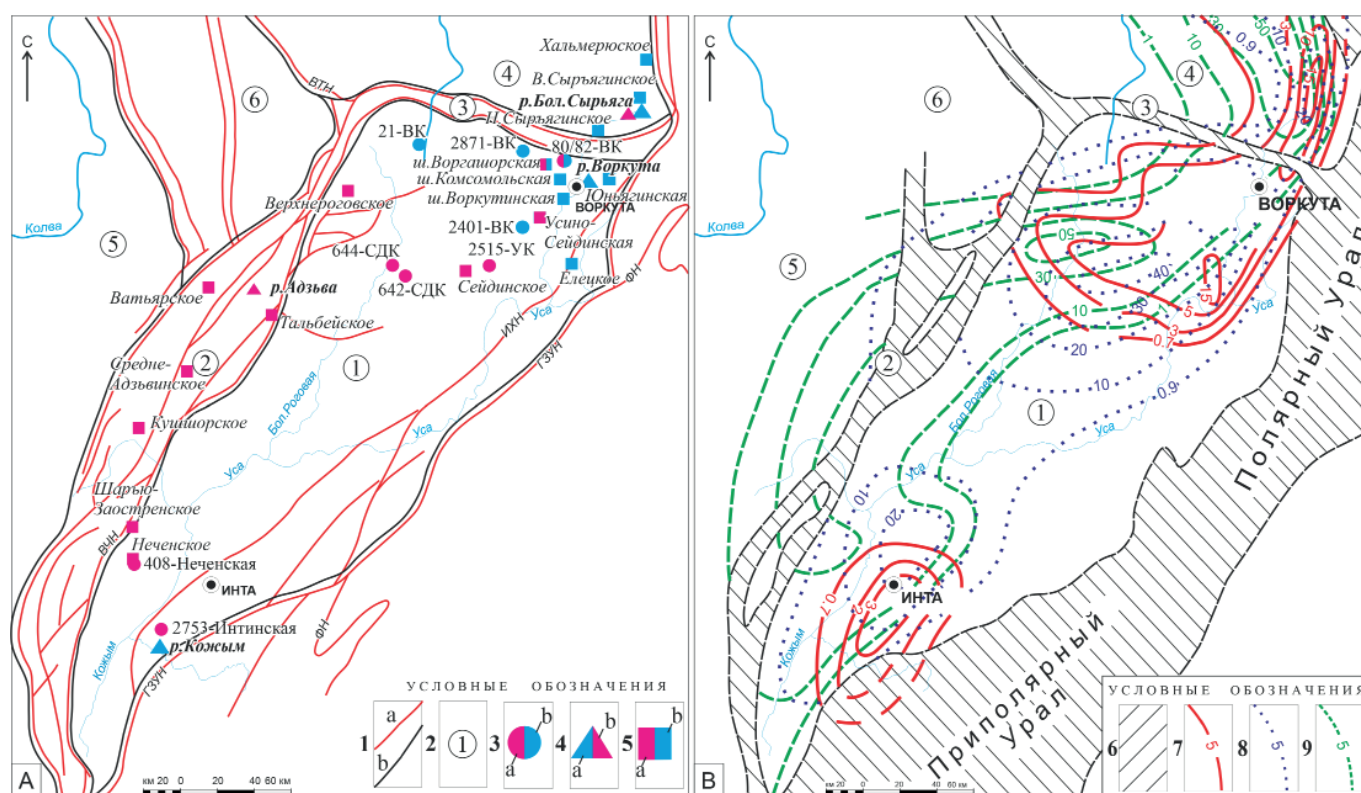


Рис. 1. Обзорная схема района работ (А) и рабочей угленосности Печорского бассейна (В)

Условные обозначения: А — 1 — границы: а — тектонических структур, б — разломов и региональных надвигов: ИХН — Интинско-Хановейского, ГЗУН — Главного Западно-Уральского, ФН — Фронтального, ВТН — Вашуткинско-Талотинского, ВЧН — Восточно-Чернышевского; 2 — структуры I порядка (цифры в кружках): 1 — Косью-Роговская впадина, 2 — гряда Чернышева, 3 — гряда Чернова, 4 — Коротаихинская впадина, 5 — Хорейверская впадина, 6 — Варандей-Адзвинская структурная зона; 3 — скважины, 4 — обнажения по рекам, 5 — месторождения углей: а — изученных разрезов казанско-татарского возраста, б — кунгурского возраста; В — 6 — основные современные положительные структуры; 7 — изопакиты угольных пластов (m) рудницкой подсвиты, 8 — интинской свиты, 9 — печорской серии (с дополнением по: Угольная..., 2000; Прищепа, 2011)

Fig. 1. General scheme of the research area (A) and operating tenor of coal of the Pechora basin (B)

Legend: A — 1 — boundaries: a — tectonic structures, b — faults and regional thrusts: ИХН — Inta-Khanovai, ГЗУН — Main West Ural, ФН — Frontal, ВТН — Vashutkinsko-Talotinsky, ВЧН — East Chernyshevsky; 2 — 1st order structures: 1 — Kosyu-Rogovskaya depression, 2 — Chernyshev ridge, 3 — Chernov ridge, 4 — Korotaikha depression, 5 — Khoreyverskaya depression, 6 — Varandey-Adzvin'skaya structural zone; 3 — wells, 4 — outcrops along rivers, 5 — coal deposits: a — studied sections of the Kazan-Tatar age, b — Kungurian age; B — 6 — main modern positive structures; 7 — isopachs of coal seams (m) of the Rudnitskaya subsuite, 8 — Intinskaya suite, 9 — Pechora series (with additions from: Ugolnaya, 2000; Prishchepa, 2011)

Распределение угленосности неравномерно по разрезу и по площади бассейна (рис. 1, b). Зона максимальной угленосности протягивается от Паэмбойского месторождения (Кортаихинская впадина) через Сейдинское, Тальбейское и Шарью-Заостренское месторождения (гряда Чернышева). В сторону платформы и осевой части Предуральского краевого прогиба количество угольных пластов и их мощности уменьшаются (Угленосная..., 1990; Угольная..., 2000).

Пермский терригенный комплекс отличается сложным циклическим строением, обусловленным сменой морского осадконакопления на континентальное на фоне интенсивного сноса материала с Уральского орогена. Палеотектонические и геоморфологические условия способствовали формированию угленосной толщи в широком диапазоне фаций — от прибрежно-морских (паралических) до континентальных (озерно-болотных), что определило разнообразие генезиса и состава ОВ (Енцова и др., 1974; Оллыкайнен, Шуреков, 1997; Биота..., 1998; Атлас..., 2000; Тимано-Печорский..., 2000). Основное поле угленосности относится к Косью-Роговской и Кортаихинской впадинам, а также к гряде Чернышева в пределах Предуральского краевого прогиба (рис. 1, b).

Для выявления отличий в составе ОВ угленосной толщи были рассмотрены два возрастных интервала — кунгурский (нижнепермский) и казанско-татарский (в объеме печорской серии) средне- и верхнепермский. Данные интервалы характеризуют различные условия торфонакопления в пермское время, обуславливающего отличия в составе групп мацералов углей.

Характеристика условий формирования угленосной толщи для кунгурского и печорского времени приводится согласно опубликованным литолого-фациальным картам (Тимано-Печорский..., 2000). Кунгурские терригенные отложения в пределах Печорского бассейна формировались в условиях прибрежной равнины с участками интенсивного паралического торфонакопления (История..., 1965; Енцова и др., 1974; Оллыкайнен, Шуреков, 1997; Биота..., 1998; Атлас..., 2000; Тимано-Печорский..., 2000). Кунгурско-уфимские отложения на территории бассейна рассматриваются в объеме воркутской серии нижней перми (рис. 2). Они представлены морскими, лагунно-морскими и континентальными образованиями. Континентальные образования слагают в основном верхнюю часть разреза и выделяются в объеме интинской свиты (Пухонто, 1998). На большей территории интинская свита представлена континентальными отложениями — озерными, торфяно-болотными и аллювиальными (Оллыкайнен, Шуреков, 1997; Пухонто, 1998; Атлас..., 2000).

Отложения воркутской серии, формировавшиеся в трансгрессивно-регрессивный этап развития краевого прогиба, характеризуют главную фазу угленакопления бассейна (Атлас..., 2000). Вышезалегающие средне- и верхнепермские отложения на рассматриваемой территории выделяются в объеме печорской серии (рис. 2). Формирование данных образований происходило в континентальных условиях, для которых характерна смена озерно-болотных и аллювиальных отложений (Пухонто, 1998; Атлас..., 2000; Тимано-Печорский..., 2000). Подобная динамика сред осадконакопления обусловила изменчивость мацерального состава углей, особенности которого рассматриваются в данной статье.

Объекты и методы исследования

Для анализа петрографического состава углей Печорского бассейна были обобщены данные по 20 месторождениям: Неченскому, Шарью-Заостренскому, Кушшорскому, Среднеадзвинскому, Тальбейскому, Ватьярскому, Верхнероговскому, Сейдинскому, Елецкому, Абезьскому, Воркутскому, Воргашорскому, Юньягинскому, Нижнесырьягинскому, Верхнесырьягинскому, Хальмерьюскому, Паэмбойскому, Силовскому, Ерьягинскому, Янгарейскому, опубликованные в монографиях (Оллыкайнен, Шуреков, 1997; Угленосная..., 1990; Угольная..., 2000; Воркутский..., 1994; Атлас..., 2000). Также использованы данные по скважинам на Воркутинской, Воргашорской, Хыльчужской, Пыжьельской, Суборской, Макарихинской, Салюкинской, Южно-Баганской площадях (Корельский, Марго, 1973; Угленосная..., 1990; Атлас..., 2000).

Для проведения комплексных исследований (углепетрографических и химико-битуминологических) были отобраны среднепластовые пробы (30 проб) по Воргашорской, Воркутинской, Юньягинской, Сырьягинской и Неченской площадям.

Для установления связи мацерального состава углей с различными составляющими органического вещества: нерастворимой частью ОВ (НОВ), битумоидами и аминокислотами — были отобраны рядовые пробы (около 200 образцов), характеризующие разные литотипы (блестящий, матовый, полублестящий, полуматовый) из обнажений и скважин по площади Печорского бассейна (рис. 1, a).

Углепетрографические компоненты ОВ углей исследовались в аншлифах, аншлифах-штуфах и тонких шлифах. Изучение шлифов проводилось в проходящем свете при увеличении $\times 120$ –500 раз, аншлифов и аншлифов-штуфов — в отраженном свете при увеличении $\times 50$ –200 раз. Дополнительно образцы (шлифы и аншлифы) исследовались в ультрафиолетовом свете (УФС) при увеличении $\times 20$ –50 раз. Детальные углепетрографические исследования проводились на микроскопе Nikon Eclipse E400Pol (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар) и на микроскопе Leica DM-2500 с установкой QD1302 (Craic Technologies) (МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва).

Для определения содержания органического углерода ($C_{орг}$, %) в породе проводилась предварительная обработка 10%-ной соляной кислотой. Содержание определялось на экспресс-анализаторе углерода АН-7529 и МЕТАВАКС-30 (более 100 обр., аналитики С. А. Забоева, В. И. Лобанов). Выделение хлороформенного битумоида (ХБА) из углей проводилось методом горячей экстракции хлороформом в аппарате Сокслета (60 обр., аналитики Н. А. Приезжева, Т. А. Зубова). Анализ нормальных и изопреноидных алканов насыщенной фракции ХБА выполнен методом газовой хроматографии (60 обр., аналитик О. В. Валяева) на хроматографе «Кристалл-2000М» (капиллярная колонка DB-5, 30 м $\times$ 0.32 мм $\times$ 0.25 мкм). Выделение НОВ из углей проводилось по стандартной методике (30 обр., аналитики Н. А. Приезжева, Т. А. Зубова) с последующим определением элементного состава (Методическое..., 1979). Элементный анализ НОВ углей определялся в Институте биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар) с использованием элементного анализатора EA 1110 (CHNSO) CE Instruments (30 обр., аналитик Е. А. Туманова).

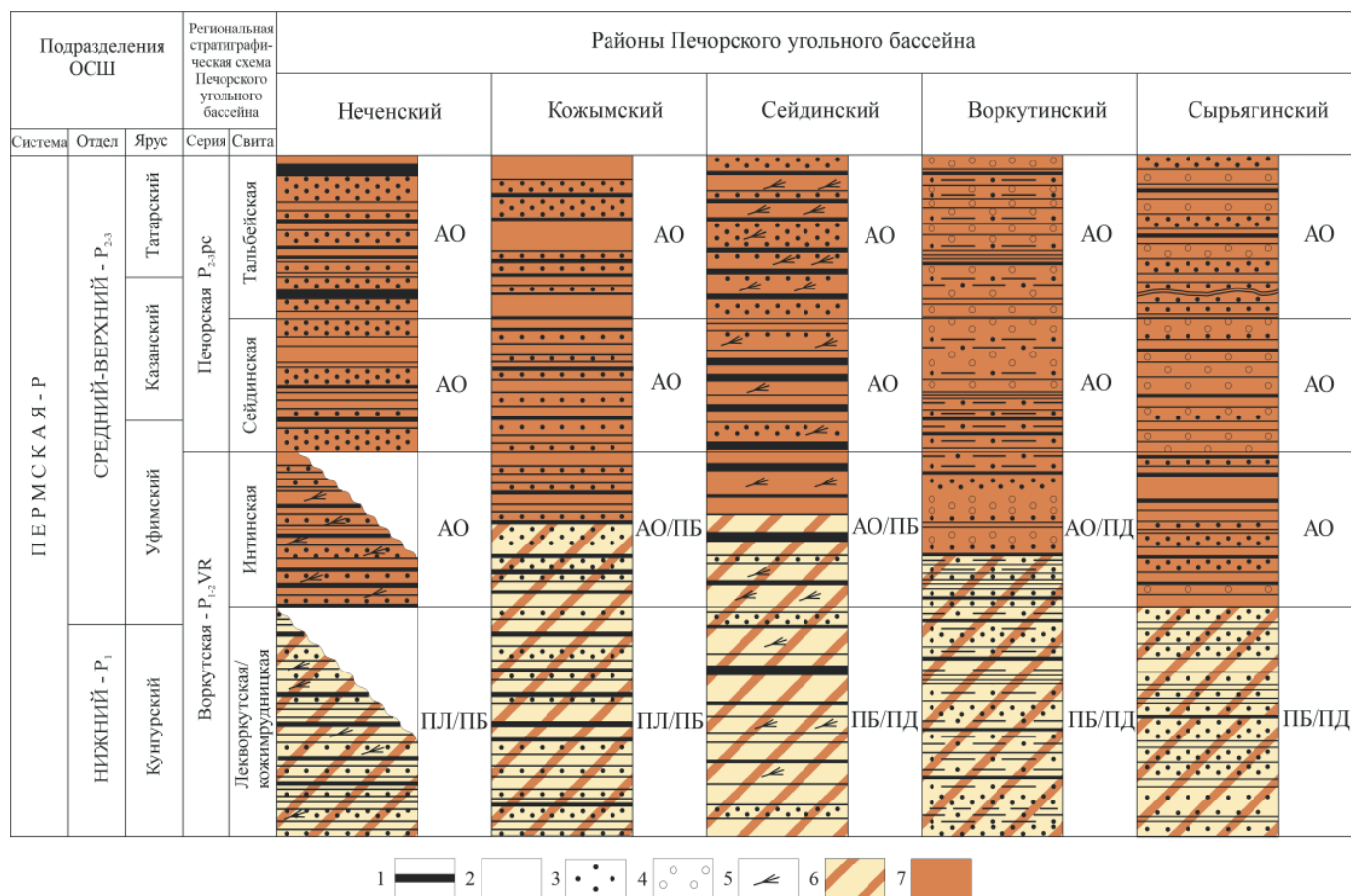


Рис. 2. Литолого-стратиграфическая характеристика угленосных отложений ряда районов Печорского угольного бассейна (составлена по: Олыккайнен, Шуреков, 1997; Пухонто, 1998; Угольная..., 2000; Воркутский..., 1994; Атлас..., 2000; Тимано-Печорский..., 2000): 1 — уголь; 2 — аргиллиты, алевролиты, 3 — песчаники, 4 — конгломераты, 5 — углистый детрит, 6, 7 — обстановки осадконакопления: 6 — паралические (ПБ — прибрежно-заболоченные, ПД — прибрежно-дельтовые, ПЛ — прибрежно-лагунные), 7 — внутриконтинентальные (АО — аллювиальные, озерно-болотные)

Fig. 2. Lithostratigraphic characteristics of coal-bearing deposits in several areas of the Pechora coal basin (compiled from: Ollykainen, Shurekov, 1997; Pukhonto, 1998; Ugolnaya, 2000; Vorkutsky, 1994; Atlas, 2000; Timan-Pechora, 2000): 1 — coal; 2 — argillites, siltstones, 3 — sandstones, 4 — conglomerates, 5 — detritus, 6, 7 — sedimentation environments: 6 — marches (ПБ — coastal-swampy, ПД — coastal-deltaic, ПЛ — coastal-lagoonal), 7 — intracontinental (АО — alluvial, lacustrine-swampy)

Выделение аминокислот включало в себя гидролиз 40 образцов, их очистку и перевод выделенных аминокислот в производные. Идентификация АК проводилась методом газовой хроматографии на хроматографе GC-17A. Подробно методика описана в работе Шаниной, Голубева (2010).

Охарактеризованный комплекс методов выполнялся на базе ЦКП «Геонаука» в Институте геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар), ЦКП «Молекулярная биология» в Институте биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар) и на кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ (Москва).

Результаты и их обсуждение

Мацеральный состав углей

Характеристика групп мацералов и их разделение проводилась на основании международной классификации, утвержденной Международным комитетом по углетермографии (Петрологический..., 2006; ГОСТ Р 55662—2013; ГОСТ 9414.3-93; ISO 7404.3-09).

Мацералы группы витринита (Vt) являются преобладающими в углях Печорского бассейна. Их макси-

мальное содержание составляет 86–90 % и характерно для углей Воркутского и Кортаихинского районов бассейна (рис. 3, 4). Преобладающим мацералом среди витринитовой группы является коллотелинит, содержащий остатки растительной структуры (рис. 3, с, k, l). Второй по распространению компонент — гелинит, образующий линзы и слои разной толщины бесструктурного гелифицированного вещества (рис. 3, а, b, g, h). Эти два компонента составляют основу рассматриваемых углей, но содержание гелинита снижается в маломощных пластах Кожимского, Интинского, Неченского и Сырьягинского районов (рис. 3, а, b, g–i). Среди структурных разновидностей встречается телинит, компонент с хорошо сохранившейся исходной структурой растительного вещества. Образующиеся из древесной ткани ксиленины встречаются во всех основных районах, их максимальное содержание приурочено к мощным углям Воркутского и Неченского районов. Паренхимиты — компоненты, образованные из тканей листьев, преобладают преимущественно в паралических углях Кожимской, Воркутинской и Сырьягинской площадей. Нередко в углях встречаются скопления корпогелинита (рис. 3, g).

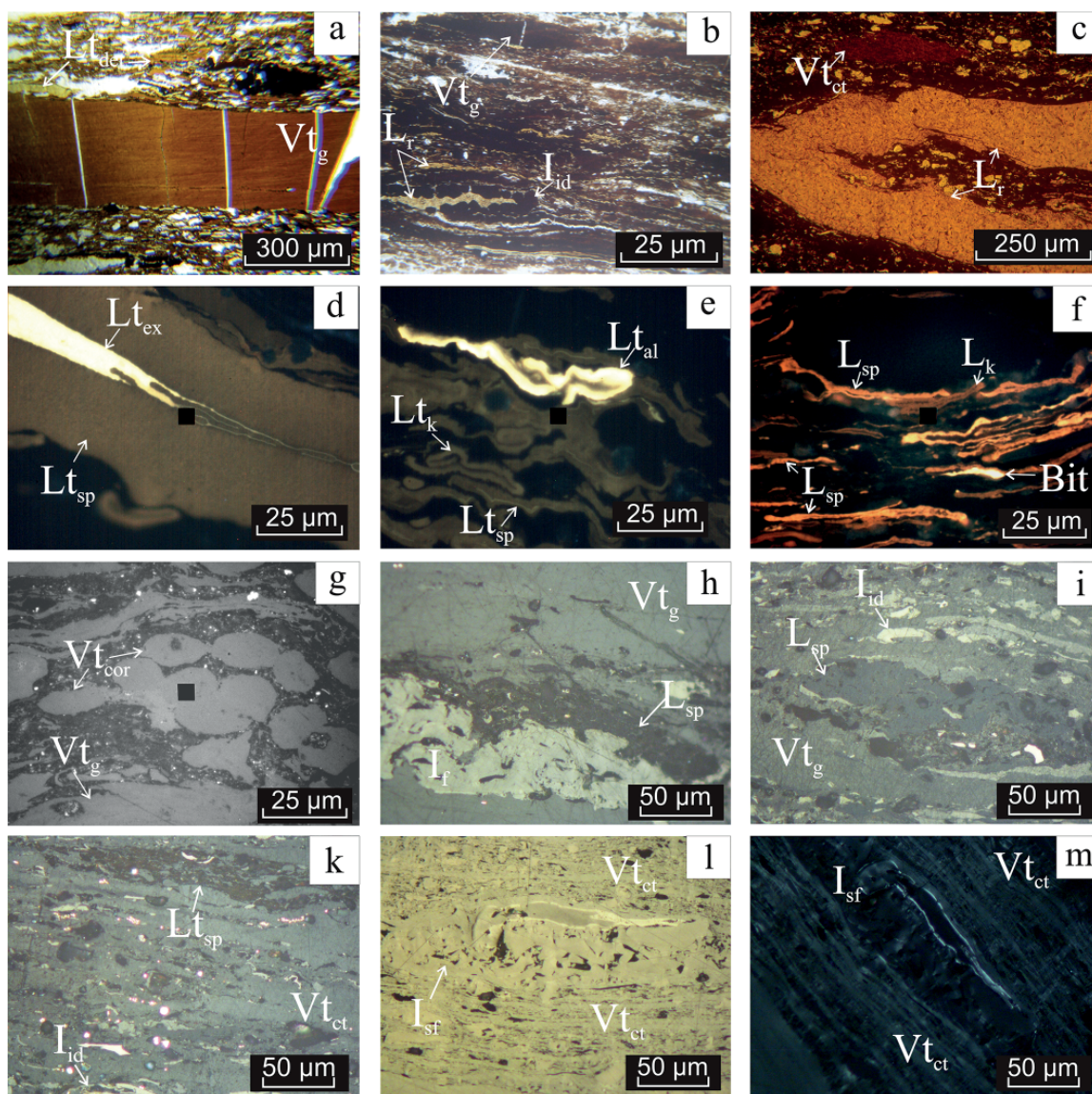


Рис. 3. Примеры органических мацералов в углях: а, d, е — р. Кожым, обн. 5, 326; b — р. Неча, скв. 408, 54; c, f, g — р. Сырьяга, обн. 124, 6-1 (c), обн. 121, 8-2/1 (f), 8-3 (g); h — скв. ВК-82/80, 4; i, k — ш. Воркутинская, 29; l, m — р. Ерьяха. а-с — проходящий свет, ув. 20–150, d-f — отраженный ультрафиолетовый свет, масляная иммерсия, g-m — отраженный свет, масляная иммерсия, метка в центре кадра 5×5 мкм, m — х-никили (анизотропия) участка l (с дополнением по: Котик, Шанина, 2019).

Vt_g — гелинит, Vt_{ct} — коллотелинит, Vt_{cor} — корпогелинит, I_f — фюзинит, I_{sf} — семифюзинит, I_{id} — инертодетринит, L_{sp} — споринит, L_r — резинит, L_k — кутиноит, L_{al} — альгинит, L_{ex} — эксудатинит

Fig. 3. Examples of organic macerals in coals: a, d, e — Kozhym River, outcrop 5, 326; b — Necha River, borehole 408, 54; c, f, g — Syryaga River, outcrop 124, 6-1 (c), outcrop 121, 8-2/1 (f), 8-3 (g); h — borehole VK-82/80, 4; i, k — Vorkutinskaya mine, 29; l, m — Yeryakha River. a-c — transmitted light, mag. 20–150; d-f — reflected ultraviolet light, oil immersion; g-m — reflected light, oil immersion; marker in the center of the frame: 5×5 μm; m — same as l, crossed nicols (anisotropy) (supplemented from: Kotik, Shanina, 2019).

Vt_g — gelinite, Vt_{ct} — collotelinite, Vt_{cor} — corpogelinite, I_f — fusinite, I_{sf} — semifusinite, I_{id} — inertodetrinite, L_{sp} — sporinite, L_r — resinite, L_k — cutinite, L_{al} — alginite, L_{ex} — exudatinite

Вторыми по распространению являются мацералы группы инертинита (I). Их встречаемость в углях неравномерна, и повышенное содержание характерно для высокосольных углей и зон выклинивания угольных пластов (рис. 3, b, h–m). Данная группа компонентов также имеет структурные и бесструктурные мацералы. К основным структурным компонентам относятся фюзинит и семифюзинит, которые встречаются во всех изученных районах. Среди фюзинита часто обнаруживается звездчатая структура. Распространение инертинитовых микрокомпонентов неравномерное,

и высокие концентрации приурочены к слоям, формирующимся в болотных условиях с высокой обводненностью и проточностью (рис. 4).

Кроме перечисленных встречаются микрокомпоненты фунгинита, представляющие собой остатки спор грибов, которые присутствуют в большинстве изученных угольных пластов. Их более высокое содержание (до 15–20 %) встречено в углях Неченского и Воркутского районов (Процько, 2011б; Котик, Котик, Каргиева, 2017). Секретиниты также присутствуют в данных углях, но в меньшем количестве. Кроме перечисленных присут-



ствуют микринит и инертдетринит, встречающиеся как в основной гелефицированной массе, так и в минеральных прослоях.

Третья группа мацералов, характеризующаяся большим разнообразием — группа липтинита (L). Обычно содержание этой группы не превышает 5–10 %. Однако в отдельных районах липтинитовые компоненты встречаются в значительном количестве (до 40 %). В группе присутствуют следующие микрокомпоненты: кутинит, споринит, резинит, суберинит, эксудатинит, и водорослевые мацералы альгинита и битуминита (рис. 3, 4). Альгиниты характерны для нижнепермских углей кунгурского интервала, которые формировались в паралических условиях (рис. 3, е). Их повышенное содержание (до 15–20 %) отмечается в Кожимском и Воркутском районах. Альгиниты обладают наибольшей интенсивностью люминесценции, эти свойства характерны для всех липтинитов, поэтому наряду с формой их можно хорошо диагностировать по яркому свечению в ультрафиолетовом свете (рис. 3, d–f). Наряду с альгинитами иногда обнаруживается битуминит в виде мелких линзовидных форм.

Угли Печорского бассейна содержат большое количество мацералов споринита, кутинита и резинита (рис. 3, d–f, h–k). Споринит встречается обычно в виде микроспоринита, редко обнаруживаются целые спорангии и крупные макроспориниты (рис. 3, d). В макроспоринитах иногда встречается эксудатинит, обладающий яркой люминесценцией в УФ-свете (рис. 3, d). Резинитовые компоненты обычно присутствуют в ви-

де мелких округлых телец (цепочкой или скоплением), вероятно выполняющих полости в растительной структуре. Редко можно наблюдать крупные и протяженные линзовидные скопления резинита (рис. 3, b, c). Кутиниты имеют разную толщину и форму, иногда будто окаймляют растительные ткани (рис. 3, e, f). Редко в углях встречаются коровые ткани суберинита, формирующие небольшие скопления в основной гелифицированной массе.

Особенности распространения микрокомпонентов углей

Сопоставление литолого-фациальных построений, по материалам предшественников и данных углепетрографического анализа показало, что различия в мацеральном составе углей зависят в том числе и от условий осадконакопления. Для большинства углей наблюдается преобладание витринитовых и инертнитовых компонентов (табл. 1, рис. 4). Липтинитовые компоненты в малых количествах встречаются практически во всех разрезах, но их повышенные скопления имеют ограниченное распространение (рис. 4–6).

Анализ вещественно-петрографического состава и параметров зольности углей по 20 месторождениям Печорского бассейна приведен на обобщенных схемах (рис. 5, 6). На рисунке 6 показаны круговые диаграммы мацерального состава рассмотренных площадей и разрезов, построенные по результатам изучения рядовых проб. Более подробно данные закономерности рассматриваются в ряде опубликованных работ (Процько, Валяева, 2014; Котик, 2016).

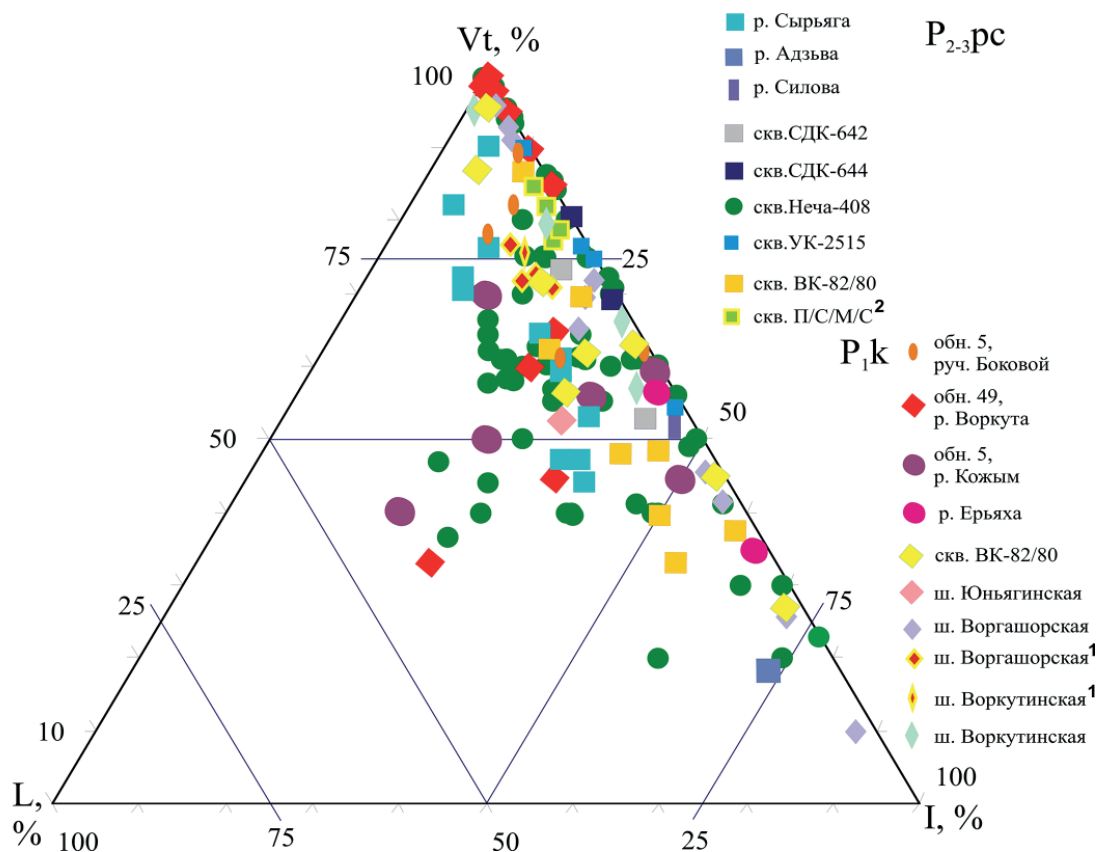


Рис. 4. Треугольная диаграмма мацерального состава печорских и кунгурских углей (с дополнением по: Корельский, Марго, 1973¹; Угленосная..., 1990²; Процько, Валяева, 2014; Котик, 2016; Мишина, Котик, 2018)

Fig. 4. Triangular diagram of the maceral composition of Pechora and Kungur coals (with additions from: Korelsky, Margo, 1973¹; Uglennosnaya, 1990²; Protsko, Valyaeva, 2014; Kotik, 2016; Mishina, Kotik, 2018)

Таблица 1. Изменение мацерального состава и показателей углей изученных площадей Печорского бассейна*
Table 1. Changes in maceral composition and coal properties in the studied areas of the Pechora Basin*

Площадь, район/Разрез Area, district/section	Возраст Age	Градации катагенеза Catagenesis grades	Изменение параметров углей изученных площадей Печорского бассейна Changes in coal parameters for the studied areas of the Pechora Basin										Содержание доминирующих АК, % Content of dominant amino acids, %			
			C _{opr} , % C _{org} , %	НП мг УВ/г НП, mg HC/g	А, %	ХБА, % СЕВ, %	Мацеральный состав, % Maceral composition, %			АК, мг/г C _{opr} Amino Acid, mg/g C _{org}						
							Vt	I	L							
Скв.408 Well 408	P ₂₋₃ pc	ПК ₃	27.8–52.4	55–200	19.7–60.0	0.058–0.28	35–97 g, ct, t, sv, vd, cor	3–35 id, f, sf, fg	1–40 sp, ld, k, sb	0.081–0.122	Gly 22–25	Glu 11–24	Asp 10–15			
			Адзвьянская площадь / Adzviinskaya area													
			Обн. 26 Outcrop 26	P ₂₋₃ pc	ПК ₃ –МК ₁	40.6–56.9	200–250	19.7–30	0.05–0.74	53–97 g, ct	3–35 id, f	1–30 r, sp, ld, k	0.28–0.3	Gly 22–25	Glu 11–24	Asp 10–15
						Кожимская площадь / Kozhinskaya area										
						Обн. 5 Outcrop 5	P ₂ in P ₁ kr	ПК ₃ –МК ₁ ПК ₃ –МК ₁	41.2–44.7 27.8–57.1	30–244 67–118	31.2–39.2 11.8–52.6	0.024–0.15 0.005–0.45	45–100 25–50 ct, t, cor	0–35 30–50 f, sf, id, mi, ma, sec	5–20 bit, sp, k, 5–25 sp, k, ld, bit	0.360–0.895 0.321–1.306
Сырьягинская площадь / Syryaginskaya area																
Обн. 124 Outcrop 124	P ₂₋₃ pc P ₁ lv	МК ₂ –МК ₃ МК ₅ –АК ₁	41.1–58.3 46.9–65.2	161–357 9–10	24.9–43.1 33–51.6	0.1–0.88 0.004–0.07	40–76 60–82 g, t, ct, cor g, ct	12–35 12–35 f, sf, ma, mc, id, sec f, mc, sf, id	12–25 1–6 ld, sp, r ld, sp, k	0.048–0.124 0.064–0.074	Gly 11–14 Ala 19	Glu 12–17 Gly 9–12	Ser/Asp/Ala/ Leu 9–13 Ser/Phe 9–17			
			Воркутинская площадь / Vorkutinskaya area													
Обн. 49 Outcrop 49	P ₁ lv P ₂₋₃ pc	МК ₃ МК ₂	56.8–84.0 58–65.0	100– 200	1.3–28.5 22.1	0.016–0.88 0.007–0.24	39–87 35–50 t, g ct, sv g, ct, vd	5–40 35–45 f, sf, id, sec f, sec, sf, id	5–27 5–15 sp, ld, sp, ld,	0.021–0.036 0.043	Gly 17–23 Ala 18	Glu 14–17 Gly 14	Leu/ Phe 15–17 Glu 11			
			Скв. ВК-82, пакет E ВН ВК-82, package E	P ₂ in	МК ₂	48.7–74.3	150–200	30.7–33.5	0.03–0.47	10–40 f, sf, id, mc, fg, sec	3–38 ld, k, sp, r	0.038–0.045	Ala 34–35	Gly 9–10	Glu/Ser 8–9	
Скв. ВК-80, пакет M ВН ВК-80, package M	P ₁ lv	МК ₃				69.5–74	–	6.3	0.05–0.34	55–69 g, ct, t	30–35 f, sf, id, fg	0–15 sp, ld	0.058	Glu 32	Ala 22	Leu 9

Воркутский район / Vorkuta district											
ш. Воргашорская, пласт IV Vorgashorskaya Mine Seam IV	P ₁ lv	МК ₃	43.6–75.1	120–160	7.0	0.36–1.0	50–70 t, ct, g, sv	30–40 id, f, sf, fg	0–10 sp, ld, k	0.026	Gly 23 Ser 18 Ala 12
ш. Воркутинская, пласт IV Vorkutinskaya Mine Seam IV	P ₁ lv	МК ₃	65.1–85.8	150–200	9.8–50.9	0.17–1.57	50–60 g, ct, cor, sv	30–45 sf, id, f, fg, ma	5–10 sp, ld, k	0.027–0.031	Gly 18–22 Glu 15–17 Leu/ Ser 13–15
ш. Комсомольская, пласт Тройной Komsomolskaya Mine Seam Тройной	P ₁ lv	МК ₃	71.4–75	341	24.1	0.13–0.52	80–100 ct, g,	0–15 sf, id, f	0–10 sp, ld	0.051	Gly 25 Ser 28 Ala 13
ш. Юньяга, пласт 11 Yunyaga Mine Seam 11	P ₁ lv	МК ₃₋₄	64–74.2	246	6.6–19	0.171–0.172	68–75 ct, t, g, sv	15–30 f, sf, id, ma, sec, fg	2–10 sp, ld, bit	0.061	Gly 19 Ser 20 Glu 10
Хальмерьюский район / Khalmeryu district											
р. Силова Silova River	P ₁ lv	АК	62.3–67	–	22.8	0.017	50 g, ct, vd	45 sf, id, f	5 sp, r?	0.059	Ser 29 Gly 17 Glu 11
	P ₂₋₃ pc	МК ₄₋₅	26.2	65	–	0.29	62 g, vd	38 id, sf, f	–	–	–
Карский район / Kara district											
р. Ерьяха Eryakha River	P ₂₋₃ pc	АК	74.8–84	–	19.4	0.023	59 ct, at, g	40 f, sf, id, ma	1 sp, ld	0.056	Gly 19 Glu 19 Ala 13

Примечание: * – в таблице приводятся вариации параметров для разных образцов. P₁lv – леворкутская свита (кунгур), P₂sd – сейдинская свита (печорская серия), P₁kr – ко-жигмрудницкая свита (кунгур), P₂in – интинская свита (уфа), P₂₋₃pc – печорская серия; АК – аминокислоты: Gly – глицин, Ala – аланин, Glu – глутаминовая к-та, Leu – лейцин, Ser – серин, Phe – фенилаланин, Asp – аспаргиновая кислота; мацералы: Vt_{sv} – семивитринит, Vt_t – телинит, Vt_{vd} – витродетринит, I_{ma} – макринит, I_{mi} – микринит, I_{sec} – секретинит, I_{fg} – фунгинит, L_{ld} – липтодетринит, L_{bit} – битуминит, L_{sb} – суберинит; остальные обозн. см. на рис. 3.

Note: * – The table presents parameter variations for different samples. P₁lv – Lekvorkut Formation (Kungurian), P₂sd – Seidin Formation (Pechora Series), P₁kr – Kozhimrudnitskaya Formation (Kungurian), P₂in – Inta Formation (Ufa), P₂₋₃pc – Pechora Series; АК – amino acids: Gly – glycine, Ala – alanine, Glu – glutamic acid, Leu – leucine, Ser – serine, Phe – phenylalanine, Asp – aspartic acid; macerals: Vt_{sv} – semivitrinite, Vt_t – telinite, Vt_{vd} – vitrodetrinite, I_{ma} – macrinite, I_{mi} – micrinite, I_{sec} – secretinite, I_{fg} – funginite, L_{ld} – liptodetrinite, L_{bit} – bituminite, L_{sb} – suberinite; other symbols see Fig. 3.

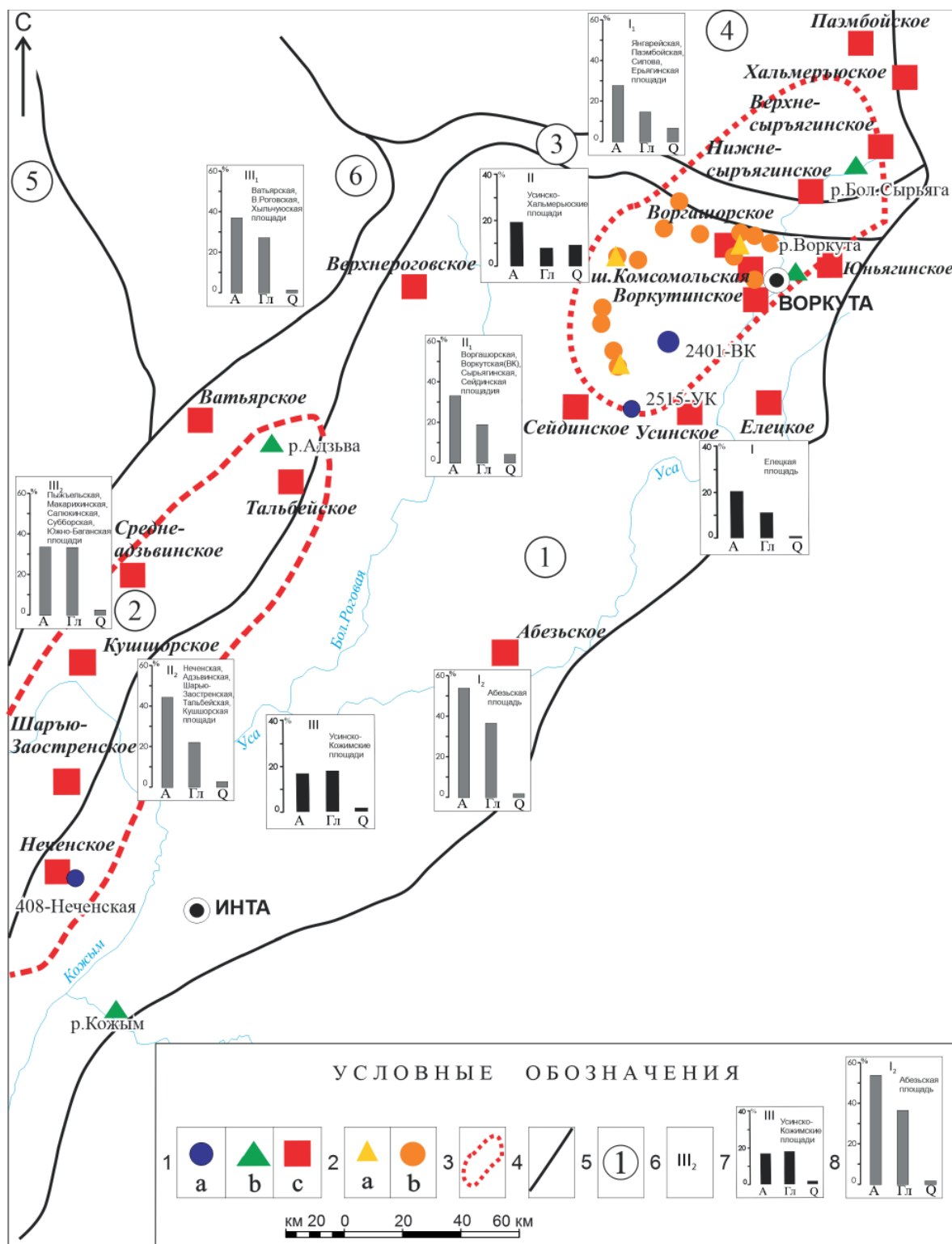


Рис. 5. Вариации параметров зольности углей на различных площадях Печорского угольного бассейна (с дополнением по: Угольная..., 2000; Корельский, Марго, 1973; Угленосная..., 1990; Воркутский..., 1994; Олыккайнен, Шуреков, 1997; Атлас..., 2000; Процько, Валяева, 2014):

1 — точки: а — скважины, b — обнажения по рекам, с — шахты; 2 — находки сапропелево-гумусовых углей P_1 kg-возраста: а — пакета n, b — пакета m; 3 — контур L_{max} ; 4 — границы структур I порядка; 5 — структуры I порядка; 6 — площади; 7, 8 — параметры углей месторождений по площадям: 7 — P_1 kg-возраста, 8 — P_{2-3pc} -возраста (А — зольность, Гл — глинистое вещество, Q — кварц). Остальные усл. обозн. см. на рис. 1

Fig. 5. Variations in coal ash content parameters across different areas of the Pechora Coal Basin (supplemented based on: Ugolnaya, 2000; Korelsky, Margo, 1973; Uglenosnaya, 1990; Vorkutsky, 1994; Ollykainen, Shurekov, 1997; Atlas, 2000; Protsko, Valyaeva, 2014)

1 — points: a — boreholes, b — river outcrops, c — mines; 2 — occurrences of sapropelic-humic coals of P_1 kg age: a — seam group n, b — seam group m; 3 — L_{max} contour; 4 — boundaries of first-order structures; 5 — first-order structures; 6 — areas; 7, 8 — coal parameters of deposits by area: 7 — P_1 kg age, 8 — P_{2-3pc} age (A — ash content, Gl — clayey matter, Q — quartz). For other legend items see Fig. 1

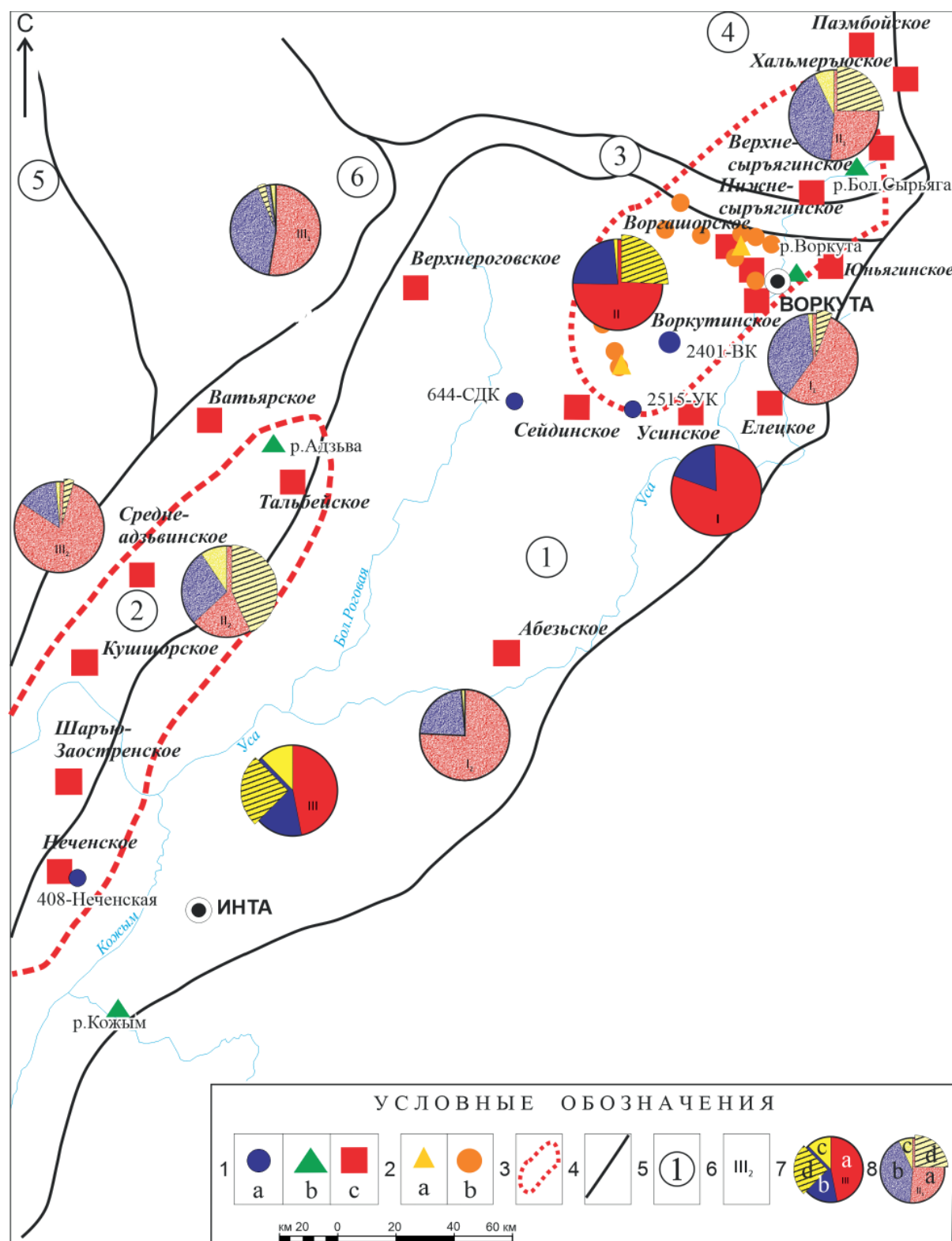


Рис. 6. Изменение состава групп мацералов углей по различным площадям Печорского угольного бассейна (с дополнением по: Угольная..., 2000; Корельский, Марго, 1973; Угленосная..., 1990; Воркутский..., 1994; Оллыкяйнен, Шуреков, 1997; Атлас..., 2000; Процько, Валяева, 2014):

1 — точки: а — скважины, b — обнажения по рекам, с — шахты; 2 — находки сапропелево-гумусовых углей P_1 kg-возраста: а — пакета n, b — пакета m; 3 — контур L_{max} ; 4 — границы структур I порядка; 5 — структуры I порядка; 6 — площади (обозначения см. на рис. 5); 7, 8 — диаграммы групп мацералов по площадям: 7 — P_1 kg-возраста, 8 — P_{2-3} pc-возраста (a — Vt, b — I, c — L, d — L_{max})

Fig. 6. Changes in the composition of coal maceral groups in different areas of the Pechora coal basin (with additions from: Ugolnaya, 2000; Korelsky, Margo, 1973; Uglenosnaya, 1990; Vorkuta, 1994; Ollykainen, Shurekov, 1997; Atlas, 2000; Protsko, Valyaeva, 2014):

1 — points: a — wells, b — outcrops along rivers, c — mines; 2 — occurrences of sapropelic-humic coals of P_1 kg age: a — seam group n, b — seam group m; 3 — L_{max} contour; 4 — boundaries of first-order structures; 5 — first-order structures; 6 — areas (for designations, see Fig. 5); 7–8 — maceral group diagrams by area: 7 — P_1 kg age, 8 — P_{2-3} pc age (a — Vt, b — I, c — L, d — L_{max})

По соотношению групп и составу микрокомпонентов выделено две разновидности углей. Первая разновидность — это нижнепермские кунгурские угли, зачастую микстогумолиты с водорослевой составляющей (битуминит, альгинит). В маршевых отложениях окраинных зон торфонакопления, где проявляется мелкая цикличность, впоследствии формировались высокозольные угли (до 30 %) с большим количеством инертнитовых мацералов (рис. 5, 6). Наряду с повышенным содержанием группы инертнита при высокой проточности приносилось большое количество (до 25 %) спор и кутикуловых тканей (липтинитовых микрокомпонентов) и формировались микстогумолиты.

В более спокойных заболоченных условиях с устойчивой обводненностью формировались обширные озера и накапливались растительные массы с большим количеством водорослевого материала. Данные условия отчетливо проявлены на северо-восточной окраине бассейна, что подтверждается находками альгинита (остатки водорослей *Pila*) в углях Воркутского и Воргашорского месторождений (Корельский, Марго, 1973). Альгинит и битуминит диагностирован в изученных углях Юньягинской, Воркутинской, Сырьягинской и Кожимской площадей (табл. 1, рис. 3, с, рис. 5, 6). Угли с повышенным (до 27 %) содержанием липтинита имеют локальное распространение в пределах северо-восточной и западной окраин Печорского угольного бассейна (контур L_{max} , рис. 5, 6).

Вторая разновидность — это угли печорской серии средней-верхней перми, с большим количеством микстогумолитов, обогащенных липтинитом континентального генезиса (рис. 3, 5). На территории гряды Чернышева широко распространены высокозольные (до 40 %) листоватые, сланцеподобные угли, обогащенные липтинитом (до 40 %, рис. 5, 6), формирование ко-

торых происходило за счет накопления торфяных масс в озерно-болотных обстановках. В этих обстановках происходила частая смена водного режима, приводящая к повышенной проточности или, наоборот, застою, что вызывало накопление торфяных масс разного состава. Впоследствии формировались угли с тонким чередованием слоев витринит-инертнитового и витринит-инертнит-липтинитового состава. Микстогумолиты с обилием (до 25–40 %) споринита, кутинита и резинита широко распространены на Неченской и Сырьягинской площадях (Процько, 2011a; Котик, Котик, Каргиева, 2017).

Таким образом, проведенный углететрографический анализ позволяет выделить две ключевые области распространения разнотипных углей. Первая область с паралическим торфонакоплением в прибрежно-морских условиях протягивается от Кожимской до Сырьягинской площади. Здесь распространены угли с липтинитовыми водорослевыми мацералами — альгинит и битуминит. Вторая область характеризуется распространением континентальных озерно-болотных обстановок от Неченской до Сырьягинской площади. В этой области преобладают витринитовые угли, иногда с повышенным содержанием континентального липтинита — споринит, кутинит, резинит.

Элементный состав и битумоиды углей

При одинаковой степени метаморфизма углей мацералы группы витринита содержат относительно больше кислорода, группы липтинита — водорода, а группы инертнита — углерода (Штах и др., 1978). Отличия исходного вещества рассматриваемых углей показаны на диаграмме элементного состава (рис. 7), где выделяются два основных поля. В поле современного и слабопреобразованного керогена попадают

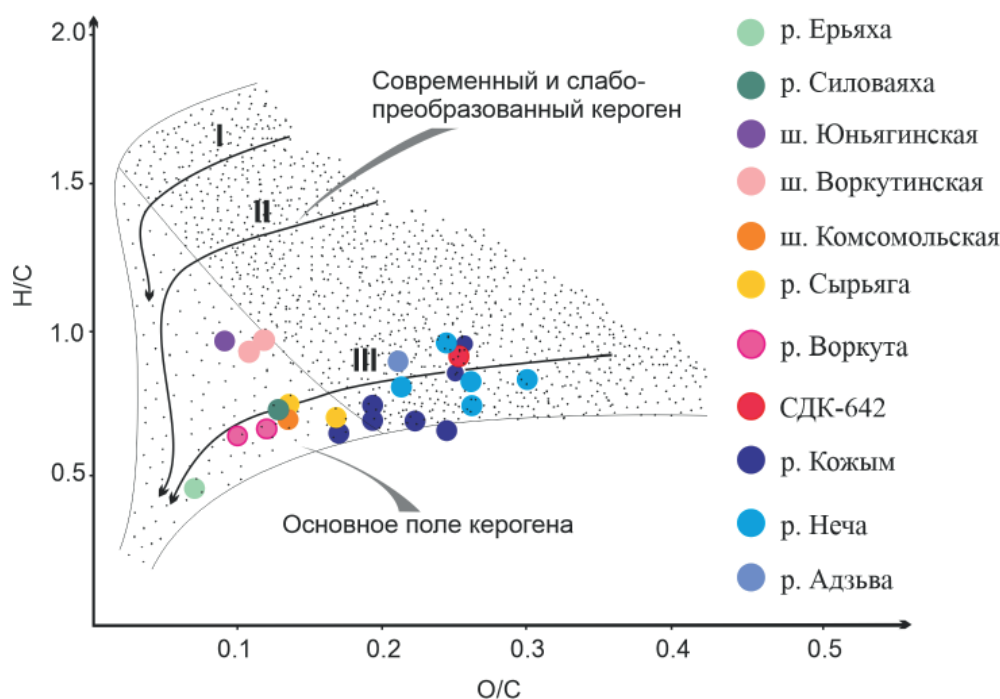


Рис. 7. Особенности элементного состава НОВ исследуемых углей (с дополнением по: Тиссо, Вельте, 1981; Котик, Шанина, 2019)

Fig. 7. Features of the elemental composition of the studied coals (with additions from: Tissot, Welte, 1981; Kotik, Shanina, 2019)



угли (табл. 1), обладающие наименьшей степенью углефикации (Неченская, Кожимская площади). Угли воркутинского района являются более преобразованными, они уже попадают в основное поле НОВ (керогена). Максимально преобразованные антрациты (р. Ерьяха) характеризуются наименьшими показателями и находятся на конечном этапе апокатагенеза (АК).

В имеющейся выборке наблюдаются небольшие различия в элементном составе. Более высокие содержания водорода выявлены для образцов Кожимской, Неченской, Адзвинской, Сейдинской, Воркутинской и Юньягинской площадей. Последнее обусловлено более высоким содержанием ряда микрокомпонентов: споринита, кутинита и альгинита. Слабая дифференциация элементного состава при незначительных колебаниях углепетрографических характеристик внутри групп показывает генетическую близость исходных продуцентов. Данный факт также свидетельствует о сходстве образующих их биоценозов и исключает наличие чистых типов ОВ в исследуемых углях.

Выходы битумоида в исследованных углях меняются в широких пределах: от первых сотых в высокопреобразованных углях Сырьягинской и Хальмерьюской площадей до 1.7 % в преобразованных углях Воркутского района (табл. 1).

Распределение *n*-алкановых и изопреноидных углеводородов в битумоидах углей разных районов

Косью-Роговской, Коротаихинской и Карской впадин зависит от исходного типа ОВ и уровня его катагенетической преобразованности (рис. 8, табл. 1).

Распределение *n*-алканов углей, сформированных в озерно-болотных условиях (Неченской и Адзвинской площадей) характеризуется четким максимумом в высокомолекулярной области с доминированием *n*-алканов состава $n\text{-C}_{25,27}$ (рис. 8, а), что связывают с присутствием восков высших растений (Ficken et al., 2000). Различия в распределении средне- и низкомолекулярных *n*-алканов отражают долю и соотношение микрокомпонентов липтинитовой группы (споринита, кутинита и др.) и влияние микробальной переработки, что нередко отмечалось в данных отложениях (Анищенко и др., 2004; Баженова, Шапиро, 2008). На более высоких стадиях метаморфизма (МК_{2-3} , Воркутинская, Сырьягинская площади) в битумоидах сохраняется повышенное содержание среднемолекулярных *n*-алканов с преобладанием *n*-алкана C_{25} (рис. 8, б, в). В мацеральном составе этих углей присутствует повышенное содержание (до 25 %) липтинита.

Угли кунгурского возраста Печорского бассейна являются примером паралического типа угленакопления, с наличием водорослевых мацералов в составе исходного вещества, которое, как указано ранее, иногда значительно (Котик, Котик, 2017). Слабопреобразованные угли (р. Кожым) характеризуются двумя максимумами распределения *n*-алканов: первый — в высокомо-

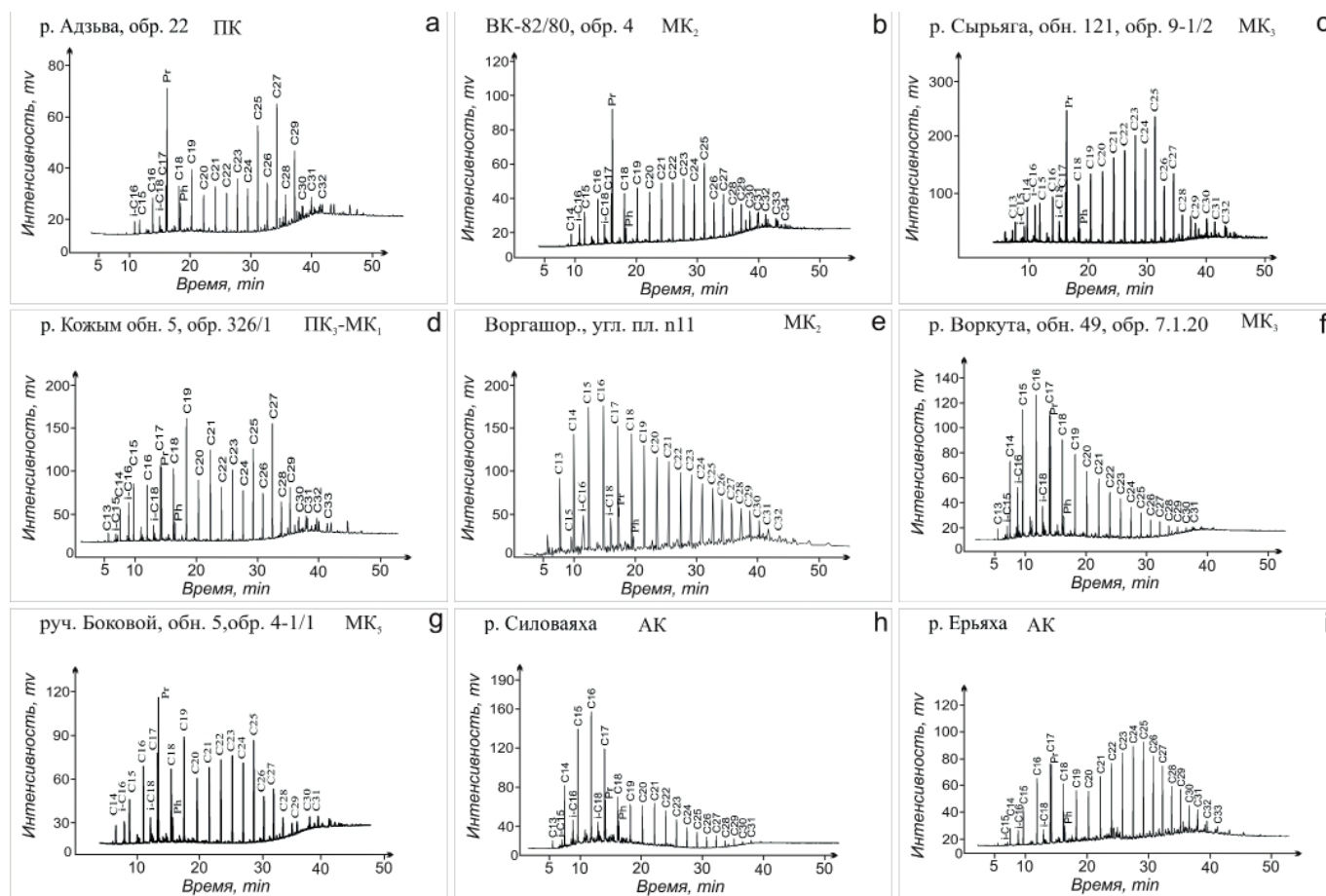


Рис. 8. Типичные хроматограммы распределения нормальных и изопреноидных алканов в битумоидах углей Печорского угольного бассейна

Fig. 8. Typical chromatograms showing the distribution of normal and isoprenoid alkanes in coal bitumoids from the Pechora coal basin

лекулярной области ($n\text{-C}_{23-27}$), а второй — в низкомолекулярной области (рис. 8, d), он обычно характерен для водорослевой растительности (Хант, 1982; Тиссо, Вельте, 1981), что подтверждается углепетрографическими данными (наличие альгинита в углях).

В битумоидах углей более высокой стадии метаморфизма (Воркутского района) при повышении генерации жидких УВ (из липтинитовых компонентов) происходит выполаживание высокомолекулярной части со смещением максимума в низкомолекулярную область (рис. 8, e, f). Такое распределение является результатом более высокого катагенетического преобразования органического вещества (Анищенко и др., 2004).

Высокопреобразованные угли кунгура ($\text{МК}_5\text{-АК}$) характеризуются низким содержанием остаточных битумоидов (табл. 1). В распределении n -алканов наряду с повышенным содержанием высокомолекулярных соединений присутствует значительное количество низкомолекулярных n -алканов состава C_{15-18} (рис. 8, g), что отмечалось ранее для аналогичных углей (Анищенко и др., 2004; Баженова и др., 2008) и обусловлено наличием аллохтонных УВ ввиду высокой сорбционной способности углей. Этот факт подтверждается бимодальным распределением n -алканов в остаточных битумоидах высокопреобразованных антрацитов на Силовской и Ерьяхинской площадях (рис. 8, h, i).

Анализ битумоидов показал, что УВ-компоненты генерированы углистым веществом III и часто с присутствием смешанного III–II типа керогена (НОВ), что подтверждается и углепетрографическими данными (Анищенко и др., 2004; Котик, Шанина, 2019). Присутствие продуцентов высшей растительности и водорослевой составляющей в битумоидах изученных углей подтверждается и по результатам исследования полициклических и ароматических УВ (Анищенко и др., 2004; Бушнев и др., 2016, 2017; Бурдельная и др., 2021).

Аминокислотный состав углей

Аминокислотный состав верхнепермских углей (печорская серия), сформированных в континентальных озерно-болотных условиях, рассмотрен по четырем площадям — Среднеадзвинской, Неченской, Воркутинской и Сырьягинской (Котик, 2016). В этих углях содержания аминокислот меняются от 0.04 до 0.12 мг/г $\text{C}_{\text{орг}}$. Большинство изученных углей характеризуются повышенной зольностью, особенно в пределах гряды Чернышева (Неченская и Среднеадзвинская площади). Зольность торфяной массы повышалась за счет периодов повышенной проточности с обильным поступлением минеральных примесей (глины, кварца и пр.) совместно с липтинитовыми (споринит, кутинит, липтодетринит) и инертинитовыми (семифюзинит, фюзинит, микринит, инертдетринит, секретинит) компонентами. В данных условиях формировались ткани с сохранившимися (ксиленит и паренхинит) или частично разложившимися (коллотелинит) растительными структурами, что способствовало накоплению таких аминокислот, как аспаргиновая и глутаминовая (табл. 1). Смена на более застойные условия сопровождалась формированием коллотелинита и гелинита в составе углей, что приводило к увеличению количества АК в углях, поскольку витринитовые компоненты характеризуются максимальными содержаниями азота среди других мацералов (Бороздина, 1965).

В подобных анаэробных средах в углях накапливаются такие аминокислоты, как глицин, аланин и глутаминовая кислота. Рост АК наблюдается также в углях, инертинитовые прослои которых содержат большое количество фунгинита (Процько, 2011а, 2116).

Паралические угли, накопление которых происходило в прибрежно-морских маршевых условиях, рассмотрены по Кожимской, Воркутинской, Сырьягинской, Юньягинской, Силовской и Ерьяхинской площадям.

В подобных углях содержания аминокислот варьируют в широком диапазоне (0.026–1.31 мг/г $\text{C}_{\text{орг}}$), что связано с разнокомпонентным составом ОВ, степенью его преобразованности и появлением в ОВ продуцентов фитопланктона. Резкое повышение содержания АК установлено в образцах с присутствием альгинита и битуминита. Угли с повышенным содержанием инертинитовых мацералов наиболее обеднены АК. В углях с максимальным содержанием микрокомпонентов витринита (коллотелинит и гелинит) преобладают глицин, аланин и глутаминовая кислота. Повышение доли структурных микрокомпонентов (теленит, семифюзинит, семифюзинит) приводит к появлению среди доминирующих АК фенилаланина и лейцина. При повышении содержания карбонатов и сульфидов в минеральной части углей среди доминирующих аминокислот обнаруживается серин (табл. 1).

В высокопреобразованных углях и антрацитах, представляющих ряд от конечных стадий мезокатагенеза (Юньягинская, Сырьягинская — МК_{4-5}) до начала апокатагенеза (Сырьягинская, Силовская и Ерьяхинская — АК_{1-2}), значительных изменений в содержании аминокислот, по сравнению с менее преобразованными образцами, не выявлено. Преобладающими аминокислотами в преобразованных объектах становятся глицин, аланин и глутаминовая кислота, что связано с высокой долей коллотелинитовых и геленинитовых мацералов (табл. 1). В тех случаях, когда в минеральной составляющей повышается содержание карбонатов и сульфидов, среди доминирующих аминокислот появляется серин. Во всех преобразованных образцах обнаружен D-аллоизолейцин, присутствие которого в геобъектах считается индикатором процессов, протекающих при высоких температурах (Bada, 1975).

Заключение

Проведенные углепетрографические исследования показали следующие особенности распространения мацералов. Основная часть изученных углей характеризуется преобладанием витринитовых и инертинитовых мацералов. Липтинитовые мацералы в малых количествах (менее 5 %) встречаются практически во всех разрезах, но их повышенные скопления (до 30 % и более) имеют ограниченное распространение. Данные компоненты (споринит, кутинит, резинит, альгинит и битуминит) определяют разделение пермских углей на две условные группы с отличием их химических свойств. Первая разновидность объединяет нижнепермские (кунгурские) многокомпонентные угли, часто с микстогумолитами с сапропелевой составляющей (битуминит, альгинит). Вторая разновидность объединяет верхнепермские (печорские) многокомпонентные угли с большим количеством микстогумолитов, обогащенных липтинитом континентального генезиса.



Проведенный анализ петрографических типов углей и фациальных обстановок позволяет выделить две различные области. Первая область с преимущественно паралическим типом угленакопления в прибрежно-морских условиях (от Кожимской до Сырьягинской площади), вторая область характеризуется распространением континентальных озерно-болотных обстановок (от Неченской до Сырьягинской площади).

Анализ алифатической фракции битумоидов углей разных районов Косью-Роговской, Коротаихинской и Карской впадины показал закономерные отличия в зависимости от исходных продуцентов и уровня катагенетической преобразованности ОВ. Битумоиды углей характеризуются неодинаковым распределением *n*-алканов с преобладанием высокомолекулярных или низкомолекулярных соединений, а также с присутствием двух максимумов. Анализ алифатической составляющей битумоидов, как и элементного состава НОВ углей, свидетельствует о смешанном составе исходного ОВ и доминировании III и III-II типов вещества.

Исходное органическое вещество углей, условия его консервации и среды торфонакопления оказывают влияние на его аминокислотный состав. Содержание аминокислот выше в случае накопления значительного количества геленита и коллотеленита среди витринитовых компонентов. Еще существеннее повышаются содержания АК при наличии в микрокомпонентном составе альгинита, битуминита и фунгинита. В углях с высокой долей коллотелинита и гелинита обычно преобладают глицин, аланин и глутаминовая кислота. Преобладание аспаргиновой и глутаминовой кислот отмечается для углей с высокими содержаниями структурных микрокомпонентов (ксиленин и паренхинит). Появление среди доминирующих АК фенилаланина и лейцина связано с накоплением мацералов семивитринита и семифюзинита.

Проведенные исследования углей показывают вариативность изменения их мацерального состава, условий накопления и наложение вторичных процессов катагенетического преобразования и миграции.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института геологии и Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН О. В. Валяевой, В. И. Лобанову, Т. А. Зубовой, Е. А. Тумановой за проведение аналитических исследований, а также сотрудникам лаборатории геологии нефтегазоносных бассейнов Д. А. Полецкому, И. Л. Мочаловой и В. А. Рябовой за помощь в графическом оформлении полученных результатов.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по темам НИР № 122040600014-6 и № 122040600010-8

Литература / References

Анищенко Л. А., Клименко С. С., Рябинкина Н. Н. и др. Органическая геохимия и нефтегазоносность пермских отложений севера Предуралья. СПб.: Наука, 2004. 214 с.
Anishchenko L. A., Klimenko S. S., Ryabinkina N. N. et al. Organic geochemistry and petroleum potential of Permian deposits in the north of the Cis-Ural foredeep. St. Petersburg: Nauka; 2004. 214 p. Russian.

Анищенко Л. А., Шанина С. Н. Аминокислоты в природных объектах Тимано-Печорского бассейна // Происхождение биосферы и коэволюция минерального и биологического миров (Ред. Н. П. Юшкин, В. И. Ракин, О. В. Ковалева). Сыктывкар: Ин-т геологии Коми НЦ УрО РАН. 2007. С. 95–116.
Anishchenko L. A., Shanina S. N. Amino acids in natural objects of the Timan-Pechora basin. In: Yushkin N. P., Rakin V. I., Kovaleva O. V., editors. Origin of the biosphere and coevolution of the mineral and biological worlds. Syktyvkar: Institute of Geology Komi SC UB RAS; 2007. p. 95–116. Russian.
Атлас пермских углей Печорского бассейна / В. П. Куклев, И. В. Пичугин, А. В. Подмарков и др. М.: Научный мир, 2000. 232 с.
Atlas of Permian coals of the Pechora basin / Kuklev V. P., Pichugin I. V., Podmarkov A. V., et al. Moscow: Nauchny Mir; 2000. 232 p. Russian.
Баженова Т. К., Шапиро А. И. Алифатические углеводороды синбитумоидов как показатель фациально-генетического типа органического вещества // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. Т. 3. № 3. URL: http://www.ngtp.ru/rub/1/28_2008.pdf
Bazhenova T. K., Shapiro A. I. Aliphatic hydrocarbons of synbitumoids as an indicator of the facial-genetic type of organic matter. Petroleum Geology — Theoretical and Applied Studies. 2008;3(3). Available from: http://www.ngtp.ru/rub/1/28_2008.pdf Russian.
Баженова Т. К., Шиманский В. К., Васильева В. Ф. и др. Органическая геохимия Тимано-Печорского бассейна. СПб.: ВНИГРИ, 2008. 164 с.
Bazhenova T. K., Shimanskiy V. K., Vasilyeva V. F., et al. Organic geochemistry of the Timan-Pechora basin. St. Petersburg: VNIGRI; 2008. 164 p. Russian.
Биота восточной Европейской России на рубеже ранней и поздней перми // Верхнепермские стратотипы Поволжья: Материалы к междунар. симпозиуму. / Ред. Т. А. Грунт, Н. К. Есаулова, Г. П. Канев. М.: ГЕОС, 1998. 356 с.
Grunt T. A., Esaulova N. K., Kaney G. P., editors. Biota of East European Russia at the Early-Late Permian Boundary. In: Upper Permian Stratotypes of the Volga Region: Materials for the International Symposium. Moscow: GEOS; 1998. 356 p. Russian.
Бороздина Л. А. Влияние петрографических особенностей гумусовых углей на содержание в них азота // Химическая переработка топлива (Химия и технология) / Под ред. Н. М. Караваева. М.: Наука, 1965. С. 206–216.
Borozdina L. A. Influence of petrographic features of humic coals on their nitrogen content. In: Karavaev N. M., editor. Chemical processing of fuels (Chemistry and technology). Moscow: Nauka; 1965. p. 206–216. Russian.
Бурдельная Н. С., Бушнев Д. А., Котик О. С. и др. Ароматические биомаркеры экстрактов ряда незрелых углей России // Новые идеи в геологии нефти и газа. Новая реальность — 2021: Сб. науч. тр. (по материалам Международной научно-практической конференции) М.: МГУ, 2021. С. 45–48.
Burdelnaya N. S., Bushnev D. A., Kotik O. S. et al. Aromatic biomarkers of extracts of a number of immature coals of Russia. In: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference «New Ideas in Petroleum Geology.

- New Reality-2021». Moscow: Lomonosov Moscow State University; 2021. p. 45–48. Russian.
- Бурцев И. Н., Бушнев Д. А., Котик О. С. и др. Нетрадиционные источники углеводородного сырья Арктической зоны Европейского Северо-Востока России как основа развития новых отраслей промышленности // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 3(23). С. 71–79.
- Burtsev I. N., Bushnev D. A., Kotik O. S., et al. Unconventional hydrocarbon resources of the Arctic zone of the European Northeast of Russia as a basis for the development of new industrial sectors. Proceedings of the Komi Science Centre UB RAS. 2015;3(23):71–79. Russian.
- Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С., Кузьмин Д. В. и др. Уголь Воркутского района, состав углеводородов биомаркеров, возможности получения обеззоленного концентрата // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 9. С. 3–11. DOI: 10.19110/2221-1381-2017-9-3-11
- Bushnev D. A., Burdelnaya N. S., Kuzmin D. V. et al. Coal of the Vorkuta district: composition of biomarker hydrocarbons and prospects for obtaining an ash-free concentrate. Vestnik of Institute of Geology Komi SC UB RAS. 2017;(9):3–11. Russian.
- Бушнев Д. А., Валяева О. В., Котик И. С. и др. Состав биомаркеров битумоидов из углей и вмещающих отложений северо-востока Печорского угольного бассейна // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 6. С. 3–10. DOI: 10.19110/2221-1381-2016-3-10
- Bushnev D. A., Valyaeva O. V., Kotik I. S., Burdelnaya N. S., Burtsev I. N. Composition of bitumoid biomarkers from coals and host deposits in the north-east of the Pechora coal basin. Vestnik of Institute of Geology Komi SC UB RAS. 2016;(6):3–10. Russian.
- Воркутский угленосный геолого-промышленный район: структура запасов и направления комплексного освоения / И. Б. Гранович, В. А. Дедеев, Ю. В. Степанов и др. Сыктывкар, 1994. 272 с.
- Granovich I. B., Dedeev V. A., Stepanov Yu. V. et al. Vorkuta coal-bearing geological-industrial district: reserve structure and directions of integrated development. Syktyvkar; 1994. 272 p. Russian.
- ГОСТ Р 55662—2013 (ИСО 7404-3:2009). Методы петрографического анализа углей. Ч. 3: Методы определения мацерального состава. М.: Стандартинформ, 2014.
- GOST R 55662-2013 (ISO 7404-3:2009). Methods for petrographic analysis of coals. Part 3: Methods for determination of maceral composition. Moscow: Standartinform; 2014. Russian.
- ГОСТ 9414.3-93. Методы петрографического анализа углей. Ч. 3: Метод определения групп мацералов.
- GOST 9414.3-93. Methods for petrographic analysis of coals. Part 3: Method for determination of maceral groups. Russian.
- Дроздова Т. В. Геохимия аминокислот. М.: Наука, 1977. 199 с.
- Drozдова T. V. Geochemistry of amino acids. Moscow: Nauka; 1977. 199 p. Russian.
- Енцова Ф. И., Хайтсер Л. Л., Домбовская Х. Р. и др. Стратиграфия угленосных пермских отложений Карской мегасинклинали // Совещание по нижнепермским отложениям: Тез. докл. Пермь. 1974. С. 35–37.
- Entsova F. I., Khaytser L. L., Dombovskaya Kh. R. et al. Stratigraphy of Permian coal-bearing deposits of the Kara Megasycline. Conference on Lower Permian Deposits: Abstracts. Perm; 1974. p. 35–37. Russian.
- Зимаков Б. М., Степанов Ю. В. О нефтепроявлениях в угленосной толще и перспективах нефтеносности Воркутского района // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1965. № 7. С. 57–64.
- Zimakov B. M., Stepanov Yu. V. On oil shows in the coal-bearing sequence and oil prospects of the Vorkuta district. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 1965;7:57–64. Russian.
- История угленакопления в Печорском бассейне / А. В. Мakedонов, Л. И. Сарбеева, М. А. Юдина и др. Л.: Наука, 1965. 250 с.
- Makedonov A. V., Sarbeeva L. I., Yudina M. A. et al. History of coal accumulation in the Pechora basin. Leningrad: Nauka; 1965. 250 p. Russian.
- Корельский В. П., Марго Л. Н. Палеогеография распространения и некоторые особенности образования сапропелево-гумусовых углей в Воркутском районе // Проблемы геологии и географии северо-востока европейской части СССР. Сыктывкар, 1973. С. 4–9. (Известия Коми фил. ГО СССР. Вып. 16).
- Korelskiy V. P., Margo L. N. Paleogeography of the distribution and some features of the formation of sapropelic-humic coals in the Vorkuta district. In: Problems of geology and geography of the north-east of the European part of the USSR. Syktyvkar; 1973. p. 4–9. (Proceedings of Komi Branch of the Geographical Society of the USSR; Iss. 16). Russian.
- Котик О. С. Органическое вещество, катагенетическая преобразованность и генерационный потенциал казанско-татарских отложений севера Предуральяского прогиба // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 11. С. 3–9. DOI: 10.19110/2221-1381-2016-11-3-9
- Kotik O. S. Organic matter, catagenetic transformation, and generation potential of Kazanian-Tatarian deposits in the north of the Cis-Ural foredeep. Vestnik of Institute of Geology Komi SC UB RAS. 2016;(11):3–9. Russian.
- Котик О. С., Котик И. С. Геохимия и углепетрография углей юга Косью-Роговской впадины (р. Кожым) // Новые идеи в геологии нефти и газа — 2017: Материалы науч.-практ. конф. М., 2017. С. 160–162.
- Kotik O. S., Kotik I. S. Geochemistry and coal petrography of coals in the south of the Kosyu-Rogov depression (Kozhym River). In: Proceedings of the scientific-practical conference «New Ideas in Petroleum Geology — 2017». Moscow; 2017. p. 160–162. Russian.
- Котик О. С., Котик И. С., Каргиева Т. Г. Пермские отложения юго-востока Коротаихинской впадины: углепетрография, геохимия и нефтегазогенерационный потенциал // Геология нефти и газа. 2017. № 4. С. 91–102.
- Kotik O. S., Kotik I. S., Kargieva T. G. Permian deposits of the south-east of the Korotaikha depression: coal petrography, geochemistry, and petroleum generation potential. Russian Oil and Gas Geology. 2017;(4):91–102. Russian.
- Котик О. С., Шанина С. Н. Органическое вещество осадков и пород низких стадий литификации Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна (углепетрография, битумоиды, аминокислоты) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т. 14. № 1. https://doi.org/10.17353/2070-5379/2_2019



- Kotik O. S., Shanina S. N. Organic matter of sediments and rocks of low lithification stages of the Timan-Pechora petroleum basin (coal petrography, bitumoids, amino acids). *Petroleum Geology — Theoretical and Applied Studies*. 2019;14(1). Russian.
- Методическое руководство по люминесцентно-битуминологическим и спектральным методам исследования органического вещества пород и нефтей* / Т. А. Ботнева, А. А. Ильина, Я. А. Терской и др. М.: Недра, 1979. 204 с.
- Botneva T. A., Ilyina A. A., Terskoy Y. A., et al. Methodological guide on luminescent-bituminological and spectral methods for studying organic matter of rocks and oils. Moscow: Nedra; 1979. 204 p. Russian.
- Мишина Т. Д., Котик О. С. Микрокомпонентный состав пермских углей Воркутского месторождения // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 27-й молодежной научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2018. С. 146–148.
- Mishina T. D., Kotik O. S. Microcomponent composition of Permian coals of the Vorkuta deposit. In: *Proceedings of the 27th Youth Scientific Conference «Structure, Matter, and History of the Lithosphere of the Timan-North Urals Segment»*. Syktyvkar: Geoprint; 2018. p. 146–148. Russian.
- Нифонтов Ю. А., Герасимов А. М., Бурцев И. Н., Карпунина В. П. К вопросу о переработке низкосортных углей и получении беззольного угольного топлива для прямого ввода в газовую турбину // Морские интеллектуальные технологии. 2019. Т. 45. № 3. Часть 2. С. 142–150. ISSN 2588-0233
- Nifontov Yu. A., Gerasimov A. M., Burtsev I. N., Karpunina V. P. On the processing of low-grade coals and obtaining ash-free coal fuel for direct injection into a gas turbine. *Marine Intellectual Technologies*. 2019;45(3, Pt. 2):142–150. Russian.
- Оллыкяйнен А. М., Шуреков Н. А. Угольные месторождения Интинского района (Печорский бассейн). Инта, 1997. 292 с.
- Ollykaynen A. M., Shurekov N. A. Coal Deposits of the Inta District (Pechora Basin). Inta; 1997. 292 p. Russian.
- Петрологический атлас ископаемого органического вещества России* / Ред. О. В. Петров. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. 204 с.
- Petrological Atlas of Fossil Organic Matter of Russia. Petrov O. V., editor. St. Petersburg: VSEGEI Press; 2006. 204 p. Russian.
- Прищепина О. М., Богацкий В. И., Макаревич В. Н. и др. Новые представления о тектоническом и нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011. Т. 6. № 4. С. 1–34. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2011.pdf
- Prishchepa O. M., Bogatskiy V. I., Makarevich V. N., et al. New concepts of the tectonic and petroleum-geological zoning of the Timan-Pechora petroleum province. *Petroleum Geology — Theoretical and Applied Studies*. 2011;6(4):1–34. Available from: http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2011.pdf. Russian.
- Процько О. С. Условия формирования Неченского угольного пласта (южная часть Печорского бассейна) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2011а. № 3. С. 7–11.
- Protsko O. S. Formation conditions of the Nechensky coal seam (southern part of the Pechora basin). *Vestnik of Institute of Geology Komi SC UB RAS*. 2011a;(3):7–11. Russian.
- Процько О. С. Включения фунгинита и секретинита в углях Неченского месторождения // Пермская система: стратиграфия, палеонтология, палеогеография, геодинамика и минеральные ресурсы: Материалы международной конференции. Пермь, 2011б. С. 286–289.
- Protsko O. S. Inclusions of funginite and secretinite in coals of the Nechenskoye deposit. In: *Proceedings of the International Conference "Permian System: Stratigraphy, Paleontology, Paleogeography, Geodynamics, and Mineral Resources"*. Perm; 2011b. p. 286–289. Russian.
- Процько О. С., Вальяева О. В. Типы органического вещества и генерационный потенциал кунгурских терригенных отложений севера Предуралья: краевой прогноз // Георесурсы. 2014. 2 (57). С. 51–55. DOI: <http://dx.doi.org/10.18599/grs.57.2.7>
- Protsko O. S., Valyaeva O. V. Types of organic matter and generation potential of Kungurian terrigenous deposits in the northern part of the Cis-Ural Foredeep. *Georesources*. 2014;2(57):51–55. Russian.
- Пухонто С. К. Стратиграфия и флористическая характеристика пермских отложений угольных месторождений Печорского бассейна. М.: Научный мир, 1998. 135 с.
- Pukhonto S. K. Stratigraphy and Floristic Characteristics of Permian Deposits in the Coal Fields of the Pechora Basin. Moscow: Nauchny Mir; 1998. 135 p. Russian.
- Тимано-Печорский седиментационный бассейн: Атлас геологических карт* / Н. И. Никонов, В. И. Богацкий, В. В. Мартынов и др. Ухта: ТП НИЦ, 2000. 64 с.
- Nikonov N. I., Bogatskiy V. I., Martynov V. V. et al. Timan-Pechora sedimentary basin: Atlas of geological maps. Ukhta: TP SRC; 2000. 64 p. Russian.
- Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М.: Мир, 1981. 501 с.
- Tissot B., Welte D. Petroleum formation and occurrence. Moscow: Mir; 1981. 501 p. Russian.
- Угленосная формация Печорского бассейна* / Ред. В. А. Дедеев. Л.: Наука, 1990. 176 с.
- Coal-bearing formation of the Pechora basin. Dedeev V. A., editor. Leningrad: Nauka; 1990. 176 p. Russian.
- Угольная база России. Том 1. Угольные бассейны и месторождения европейской части России* / Ред. В. Ф. Череповский. М.: Геоинформмарк, 2000. 483 с.
- Coal base of Russia. Vol. 1. Coal basins and deposits of the European part of Russia. Cherepovskiy V. F., editor. Moscow: Geoinformmark; 2000. 483 p. Russian.
- Хант Д. Геология и геохимия нефти и газа. М.: Мир, 1982. 706 с.
- Hunt J. M. Petroleum geology and geochemistry. Moscow: Mir; 1982. 706 p. Russian.
- Шанина С. Н., Голубев Е. А. Аминокислоты в шунгитах Карелии // Геохимия. 2010. Т. 48. № 9. С. 972–987.
- Shanina S. N., Golubev E. A. Amino acids in shungites of Karelia. *Geochemistry International*. 2010;48(9):972–987. Russian.
- Штах Э., Маковски М.-Т., Тейхмюллер М. и др. Петрология углей: Пер. с англ. М.: Мир, 1978. 548 с.
- Stach E., Mackowsky M.-T., Teichmüller M. et al. Coal Petrology. Translated from English. Moscow: Mir Publishers; 1978. 548 p. Russian.

- Юдин В. В. Орогенные формации севера Урала и Приуралья. Сыктывкар: Коми фил. АН СССР, 1987. 32 с. (Научные доклады: сер. препринтов; Вып. 163).
- Yudin V. V. Orogenic formations of the northern Urals and Cis-Urals. Syktyvkar: Komi Branch of the USSR Academy of Sciences; 1987. 32 p. (Scientific reports: pre-print series; Iss. 163). Russian.
- Bada J. L. Amino acid racemization reactions and their geochemical implications. *Naturwissenschaften*. 1975; 62:71–79.
- Burdelnaya N. S., Bushnev D. A., Valyaeva O. V. et al. Organic geochemistry of the Pechora basin coal and hypercoal as a perspective product of coal chemistry. *Vestnik IG Komi SC UB RAS*. 2019;10:5–11. DOI: 10.19110/2221-1381-2019-10-5-11
- Farhaduzzaman Md., Abdullah W. H., Islam Md. A. Depositional environment and hydrocarbon source potential of the Permian Gondwana coals from the Barapukuria Basin, Northwest Bangladesh. *International Journal of Coal Geology*. 2012;90–91:162–179. DOI: 10.1016/J.COAL.2011.12.006
- Ficken K. J., Li B., Swain D. L., Eglinton G. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. *Org. Geochem*. 2000; 31:745–749. doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00081-4
- ISO 7404-3: (2009). Methods for the petrographic analysis of coals — Part 3: Methods of determining macerals group composition.
- Mukhopadhyay P. K., Hatcher P. G., Calder J. H. Hydrocarbon generation from deltaic and intermontane fluviodeltaic coal and coaly shale from the Tertiary of Texas and Carboniferous of Nova Scotia. *Organic Geochemistry*. 1991; 17(6):765–783. DOI: 10.1016/0146-6380(91)90020-K
- Powell T. G., Cook A. C., McKirdy D. M. Evolution and alteration of petroleum in western Canada. *Chemical Geology*. 1971;8(3):147–170.
- Wilkins R. W. T., George S. C. Coal as a source rock for oil: a review. *International Journal of Coal Geology*. 2002;50:317–361. DOI: 10.1016/S0166-5162(02)00134-9
- Zheng Y., Zhou W., Meyers P., Xie S. Lipid biomarkers in the Zoigê-Hongyuan peat deposit: Indicators of Holocene climate changes in West China. *Org. Geochem*. 2007;38: 1927–1940. doi.org/10.1016/j.orggeochem.2007.06.012

Поступила в редакцию / Received 08.07.2026



Геохимическая характеристика и нефтематеринские свойства органического вещества угленосных визейских отложений восточной окраины Тимано-Печорской провинции

О. В. Валяева, Н. Н. Рябинкина

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

valyaeva@geo.komisc.ru

В настоящее время установлено, что генерация жидких углеводородов (УВ) возможна не только сапропелевым, но и гумусовым и сапропелево-гумусовым органическим веществом (ОВ). Поэтому весьма актуальным является вопрос формирования нефтяных УВ из угленосных отложений. В статье приведена краткая информация по нефтепроявлениям в угленосных бассейнах мира, а также уточнены геохимические характеристики и нефтематеринские свойства изученного нами ранее ОВ углистых аргиллитов и углей нижневизейского терригенного комплекса восточной окраины Тимано-Печорской провинции. Установлено, что для Вуктыльской и Северо-Вуктыльской площадей, где формирование углей и углистых аргиллитов происходило в озерных и болотно-озерных условиях, наибольший вклад в состав ОВ осуществлялся за счет сапропелевой органики, содержание которой значительно повышает генерационный потенциал комплекса в целом и благоприятно для формирования автохтонных залежей жидких УВ. Накопление исходного ОВ терригенных пород руч. Изьяель происходило в регрессивно-трансгрессивных прибрежно-морских условиях, но состав ОВ несколько различался. Степень преобразованности ОВ соответствует началу фазы «нефтяного окна», что позволяет предполагать формирование на этих территориях жидких углеводородов для нефтяных залежей. Формирование углей Еджид-Кыртинского месторождения проходило по берегам зарастающих стариц рек и озер. Слагающее угли ОВ смешанного типа. Состав углей, условия их залегания и масштабы угленосности визейской терригенной толщи позволяют рассценивать угли как источник газообразных и жидких углеводородов.

Ключевые слова: угленефтегазоносная формация, визейские отложения, углеводороды, восток Тимано-Печорской провинции, гумусовое и сапропелевое органическое вещество

Geochemical characteristics and source properties of organic matter of coal-bearing Visean deposits of the eastern margin of the Timan-Pechora province

O. V. Valyaeva, N. N. Ryabinkina

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktykvar, Russia

It is currently established that liquid hydrocarbons (HC) can be generated not only by sapropelic organic matter (OM), but also by humic and sapropelic-humic OM. Therefore, the formation of petroleum HC from coal-bearing sediments is highly relevant. This article provides a summary of oil shows in coal basins worldwide and clarifies the geochemical characteristics and source properties of the previously studied OM of carbonaceous mudstones and coals of the Lower Visean terrigenous complex on the eastern margin of the Timan-Pechora province. It has been established that for the Vuktyl and North-Vuktyl areas, where coals and carbonaceous mudstones formed in lacustrine and swamp-lacustrine conditions, the greatest contribution to the OM composition was due to sapropelic OM, the content of which significantly increases the generation potential of the complex as a whole and is favorable for the formation of autochthonous liquid HC deposits. The accumulation of the initial OM in the terrigenous rocks of the Izrael Creek occurred in regressive-transgressive coastal-marine conditions, but the composition of the OM varied slightly. The degree of OM transformation corresponds to the onset of the «oil window» phase, suggesting the formation of liquid HC for oil deposits in these areas. The coals of the Yejid-Kyrta deposit formed along the banks of overgrown oxbow lakes and rivers. The coal-forming organic matter is of a mixed type. The composition of the coals, their occurrence conditions, and the extent of coal bearing capacity of the Visean terrigenous strata allow them to be considered a source of gaseous and liquid HC.

Keywords: coal-oil-gas formation, Visean deposits, hydrocarbons, east of Timan-Pechora province, humus and sapropel organic matter

Для цитирования: Валяева О.В., Рябинкина Н.Н. Геохимическая характеристика и нефтематеринские свойства органического вещества угленосных визейских отложений восточной окраины Тимано-Печорской провинции // Вестник геонаук. 2026. 9(381). С. 21–29. DOI: 10.19110/geov.2026.9.2

For citation: Valyaeva O.V., Ryabinkina N.N. Geochemical characteristics and source properties of organic matter of coal-bearing Visean deposits of the eastern margin of the Timan-Pechora province. Vestnik of Geosciences, 2026, 9(381), pp. 21–29. DOI: 10.19110/geov.2026.9.2

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется вопросу формирования нефтяных УВ из отложений угленосных формаций. Углистые отложения рассматриваются в качестве нефтегазоматеринских пород, т. к. уже не вызывает сомнений тот факт, что генерация жидких УВ возможна гумусовым и сапропелево-гумусовым ОБ. Обоснование генерации углистыми отложениями жидких УВ приводится в работах (Контарович, Данилова, 1973; Isaksen et al., 1988; Behar et al., 1997; Killops et al., 1998; Wilkins, George, 2002; Sykes, Snowdon, 2002; Бушнев и др., 2025 и др.). Нефтегенерирующую способность углей авторы связывают с содержанием в них лейптинитовой составляющей и/или с обогащенными водородом микрокомпонентами группы витринита, достаточно высоким начальным генерационным потенциалом и необходимым уровнем зрелости.

Нефтепроявления встречаются в ряде угленосных бассейнов России: Кузнецком, Донецком, Карагандинском, Ленском, Таймырском, Печорском, Кизеловском и других. Так, на юге Кузнецкого угольного бассейна нефть в угольных пластах *верхнепермского* возраста впервые была обнаружена еще в 1955 г. (Голицын, Пронина, 2004). На северо-западе Донецкого угольно-

го бассейна наблюдалось выделение жидких УВ в *нижнекаменноугольных* отложениях. В Карагандинском бассейне в отложениях *карбона* встречены нефтепроявления в виде битуминозной массы, парафинистых и твердых битумов (Голицын, Кузнецова, 1970; Голицын, Пронина, 2004).

В последние годы появилось много работ, посвященных ОВ углистых нефтематеринских толщ *нижнеюрско-мелового* возраста Западной Сибири (Гончаров и др., 2006, 2023; Сивцев и др., 2018; Санникова и др., 2023 и др.).

Также нефтепроявления встречаются в угленосных толщах и за рубежом, например в Китае, Австралии, Юго-Восточной Азии (Fan et al., 1980; Fu et al., 1988; Huang et al., 1994; Wang et al., 1996; Killops et al., 1997; Zeng et al., 2020 и др.). В частности, в Джунгарском, Таримском и Турпанском бассейнах Китая генераторами нефти считаются *юрские* угленосные отложения с пластами угля. Тесная связь углей и нефтей отмечается в *пермских* и *юрских отложениях* Ордосского бассейна и палеогеновых отложениях месторождения Хуанхиан, где угли содержат до 20 % липтинита.

На территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПП) в осадочном чехле верхнепалеозойского возраста угленосные отложения содержатся в средне- и верхнедевонских (Алексеева, 2020; Шумилов, Тельнова, 2024), нижнекаменноугольных и пермских отложениях.

В работе Бушнев и др. (2026) показано, что «ОВ среднедевонско-нижнефранских терригенных отложений Ижма-Печорской впадины ТПП способно продуцировать парафинистые нефти при достижении достаточно высоких градаций катагенеза». Терригенные отложения среднедевонско-нижнефранского комплекса содержат ОВ, коррелирующее по составу с парафинистыми нефтями комплекса (Бушнев и др., 2022).

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись углистые аргиллиты и угли из отложений нижневизейского возраста восточной окраины ТПП (рис. 1): из отвалов шахт Еджыд-Кырты (около 40 образцов), из скважин Северо-Вуктыльской и Вуктыльской площадей Верхнепечорской впадины (более 80 образцов) и отложений из разреза по руч. Изъяём юга гряды Чернышева (более 50 образцов). Подробное описание геолого-геохимических особенностей объектов приведено нами ранее (Рябинкина и др., 2013; Рябинкина, Валяева, 2023а, 2023б).

По опубликованным данным (Рябинкина, 2006; Рябинкина, Валяева, 2023 и др.) нижневизейский терригенный нефтегазоносный комплекс (НГК) на территории ТПП развит весьма локально. Так, по мнению Прищепы и др. (2011), «мелководно-морские фации окаймляют Предуральский прогиб и представлены преимущественно аргиллитами и глинами, а переходные континентально-прибрежные имеют более широкое распространение. В морских глинистых породах ОВ сапропелево-гумусовое. Угленосные отложения визейского яруса можно рассматривать как газоматеринские, которые развиты лишь во внешней части впадин Предуральского прогиба, а также в пределах Печоро-Кожвинского мегавала в Печоро-Колвинском авлакогене».

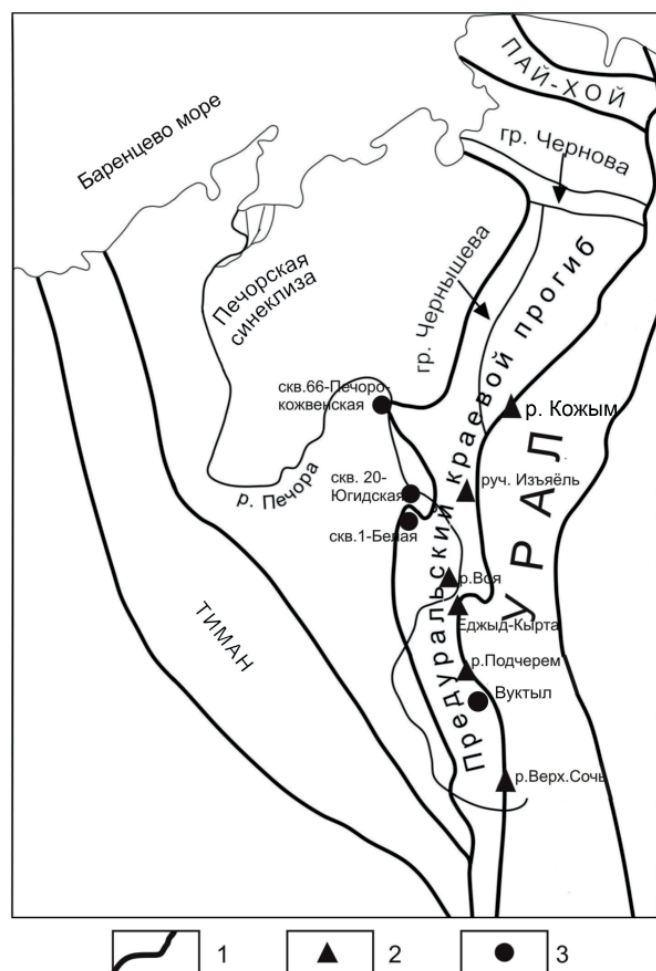


Рис. 1. Обзорная карта-схема расположения обнажений и скважин ТПП. Условные обозначения: 1 — границы тектонических элементов, 2 — обнажения, 3 — скважины

Fig. 1. Overview map of the location of outcrops and wells of TPP. Legend: 1 – boundaries of tectonic elements, 2 – outcrops, 3 – boreholes



Однако при более детальном исследовании ОБ визейских терригенных разрезов показано, что сапропелевая органика была приурочена к лагунным и озерным фациям, а гумусовая — к болотным и вдольбереговым речным отложениям. Формирование угленосных отложений происходило за счет высшей растительности, что было доказано Ю. В. Мосейчик при исследовании палеофлористических остатков в углях и аргиллитах Еджид-Кыртинского угольного месторождения и по скважинам Верхнепечорской впадины (Мосейчик, Рябинкина, 2009, 2012).

По данным отражательной способности витринита (Ro), пиролизу и индексу окраски миоспор (Стукова, 2025) стадии катагенеза визейских угленосных отложений ТПП соответствуют градациям от ПК₃–МК₁ до МК₂ (Угольная..., 2000). Индексы изменения цвета миоспор и их сохранности сопоставлены со стадиями литификации осадочных пород, палеотемпературами и нефтегазоносностью по И. И. Аммосову, а также со шкалой градаций катагенеза осадочных образований по С. Г. Неручеву, Н. Б. Вассоевичу (Ровнина, 1984).

Угленосные отложения нижнего карбона установлены на различных глубинах от 60–90 м до 250–600 м на западе (Южный Тиман) и в центральной части бассейна на Среднепечорском поперечном поднятии (Печоро-Кожвинская и Югидская площади), Еджид-Кыртинском месторождении углей и до 4000 м и более на востоке в скважинах Верхнепечорской впадины. Считается, что в настоящее время визейские угли не представляют промышленного интереса, т. к. пласты невыдержанные, строение их линзовидное, наблюдаются частые переходы углей в углистые аргиллиты. Однако доля угленосных отложений в объеме терригенного комплекса значительна и на отдельных площадях достигает 30 %, что весьма важно для углеводородного генерационного потенциала комплекса, учитывая преимущественно смешанный состав ОБ. При наличии катагенеза градаций МК_{1–2} эти породы могли генерировать значительное количество жидких УВ, которые имели все условия быть захороненными в виде залежей в ловушках одновозрастных отложений либо мигрировать в более молодые.

Методы исследования

Содержание органического углерода (C_{орг}) определялось в остатке породы, не растворимом в HCl. Полученные результаты пересчитаны на исходную породу. Содержание C_{орг} определяли на анализаторе углерода и серы Metabak CS-30 (аналитик В. А. Лобанов).

Выделение хлороформенного битумоида А (ХБА) проводилось путем 40-часовой экстракции растертой породы в аппарате Сокслета. Элементарная сера удалялась из экстракта добавлением в приемник губчатой меди (аналитик Т. А. Зубова).

Из ХБА методом осаждения 40-кратным объемом *n*-гексана выделились асфальтены. Полученная мальтеновая фракция была разделена на колонке с оксидом алюминия на аполярную (масла, 50 мл 20 % р-ра ди-хлорметана в *n*-гексане) и полярную (смолы, 50 мл смеси 1:1 этанол-бензол). Аполярная фракция была разделена на колонке с силикагелем на фракции насыщенных углеводородов (элюент — *n*-гексан) и ароматическую (элюент — бензол).

Газохроматографический анализ (ГХ) выполнялся на приборе «Кристалл-2000М». Колонка DB-5, 30 м × 0.32 мм, толщина слоя неподвижной фазы 0.25 мкм. Температура программировалась от 110 до 300 °C со скоростью 5 °C/мин. Температура инжектора и детектора 300 °C.

Пиролитические исследования были проведены на приборе Rock-Eval 6 Standard (Vinci Technologies) с определением параметров S₁, S₂, S₃, T_{max} (Москва, ВНИГНИ).

Результаты и их обсуждение

В углях Еджид-Кыртинского месторождения (образцы из отвалов шахт № 1 и № 4) концентрация C_{орг} составляет 21.7–77.9 %, выход ХБА — 0.02–1.52 %. Низкие значения коэффициента битуминозности β^{ХБ} (ХБА × 100/C_{орг}) (< 20–25 %) говорят об автохтонности битумоидов вмещающим толщам. Выход насыщенной фракции — 6.5–18.2 %.

По данным ГХ, в насыщенной фракции практически для всех образцов наблюдается преобладание низко- и среднемолекулярных алканов нормального строения (рис. 2). Исключение составляет обр. 4/5, для которого характерны высокие концентрации *n*-C₁₉–*n*-C₂₄ (45.84 %) и *n*-C₂₅–*n*-C₃₁ (44.97 %) на сумму *n*-алканов, что свидетельствует о смешанном составе исходного ОБ: высокомолекулярные *n*-алканы характерны для гумусовой органики.

Среди изоалканов идентифицированы *i*-C₁₅, *i*-C₁₆, *i*-C₁₈, пристан (Pr) и фитан (Ph). В наибольших концентрациях присутствует Pr. В целом содержание изоалканов невелико (*изо*-/*n*-алканы — 0.02–0.21, для обр. 4/5–0.64). Отношение Pr/Ph — 0.97–2.80 (обр. 4/5–7.74). Изопреноидный коэффициент K_i = (Pr+Ph)/(*n*-C₁₇+*n*-C₁₈), а также отношения Pr/*n*-C₁₇ и Ph/*n*-C₁₈ во всех образцах, за исключением обр. 4/5, не превышают единицы.

По палеофлористическим данным установлено (Мосейчик, Рябинкина, 2012), что формирование углей Еджид-Кырты происходило в континентальных условиях за счет высшей растительности по берегам болот и заболоченных рек. Это четко прослеживается и по составу органического вещества. В микрокомпонентном составе углей определяется содержание витринита — 50 %, фюзинита + семифюзинита — 20 % и споринита — 30 % (Угольная..., 2000). Значительное содержание обогащенных водородом микрокомпонентов группы витринита позволяет предположить нефтегенерирующую способность углей.

В образцах битумоидов Вуктыльской и Северо-Вуктыльской площадей (скв. 225, 226-Вуктыл и 215-Сев. Вуктыл) содержание C_{орг} изменяется от 6.9 до 75.6 %, в среднем составляя порядка 38 % (табл. 1). Минимальное значения C_{орг} отвечает углистому аргиллиту, максимальное — углю. Выход ХБА составляет 0.3–2.32 %, β^{ХБ} варьирует от 1.69 до 4.62 %.

По пиролитическим данным, водородный индекс (HI) достигает 810 мг УВ/г C_{орг} (рис. 3, а), что позволяет отнести ОБ по составу к I и, скорее всего, смешанным I–III типам. Катагенетическая зрелость для подавляющего числа образцов соответствует градациям МК₁–МК₂. Высокие значения HI и T_{max} (более 430 °C) свидетельствуют о том, что исследованные образцы являются сапропелитами. Генерационный потенциал

этих пород хороший и превосходный, в единичных образцах достигает 300–358 мг УВ/г породы (рис. 3, б).

Выход углеводородной (метаново-нафтенной) фракции изменяется в пределах от 6.8 (обр. 16/2) до 13.7 % (обр. 13/2). Большую часть битумоида пород составляют смолисто-асфальтеновые компоненты, на их долю приходится от 56.5 до 77.4 %.

Среди алканов нормального строения и изопреноидов низко- и среднемoleкулярные УВ преобладают над высокомолекулярными (рис. 4). Практически для всех исследованных образцов максимум распределения приходится на $n\text{-C}_{17}\text{--C}_{18}$. Концентрация изопреноидов невелика по сравнению с близкими по времени хроматографического удерживания n -алканами,

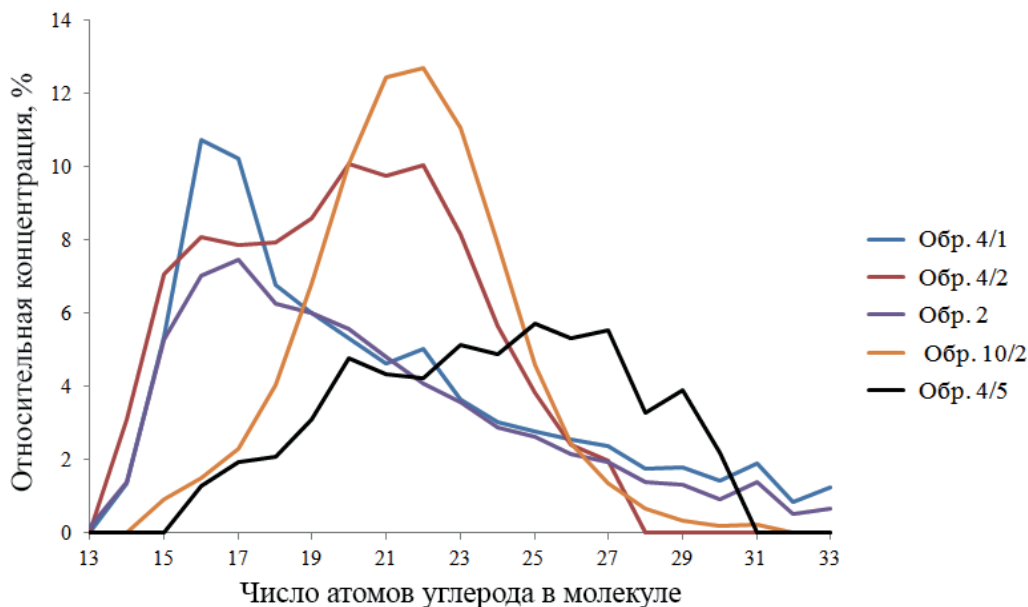


Рис. 2. Распределение n -алканов в насыщенной фракции битумоидов углей Еджыд-Кырты
Fig. 2. Distribution of n -alkanes in the saturated fraction of bitumoids from Yedzhid-Kyrtys

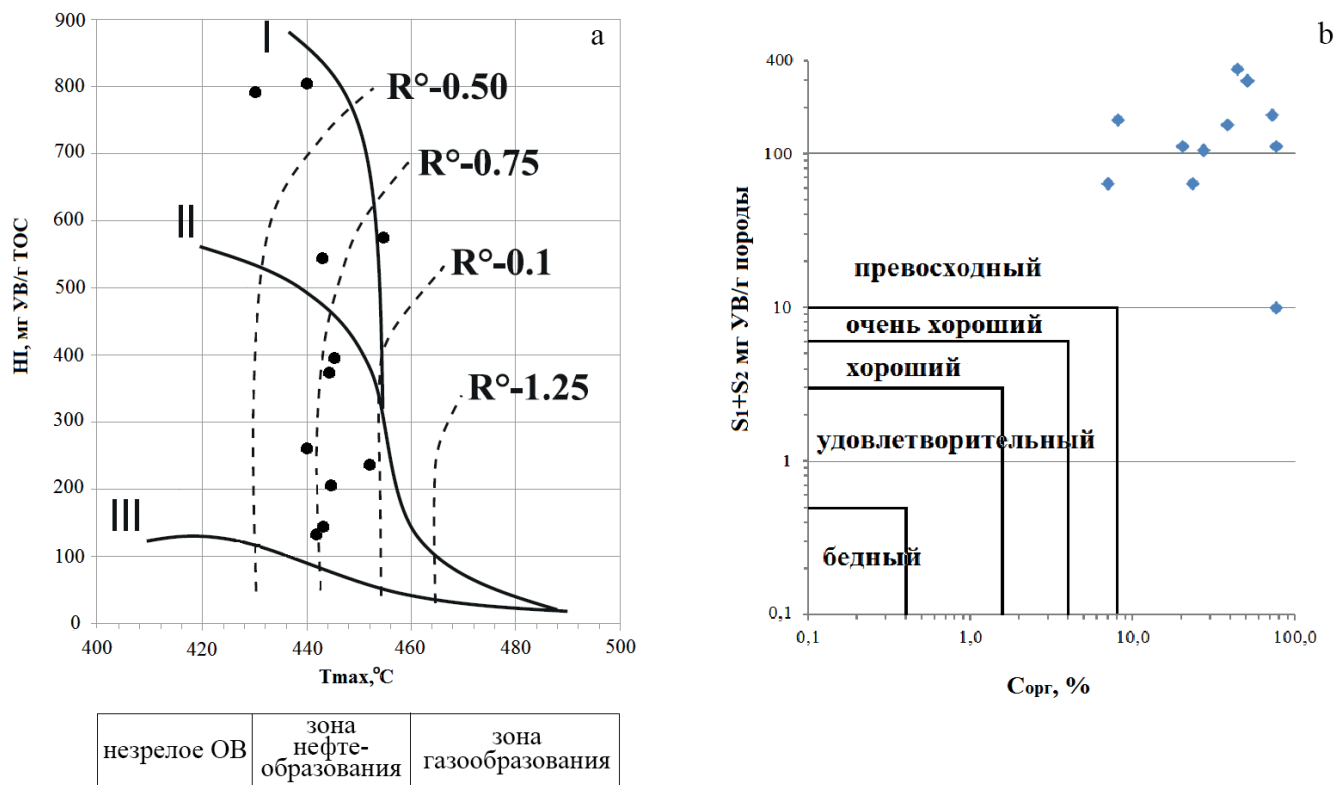


Рис. 3. Тип и степень катагенетического преобразования ОВ визейских угленосных отложений Вуктыльской и Северо-Вуктыльской площадей (а); генерационный потенциал (по Espitalie and Bordenave, 1993) визейских угленосных отложений Вуктыльской и Северо-Вуктыльской площадей (б)

Fig. 3. Type and degree of catagenetic transformation of organic matter in the Visean coal-bearing deposits of the Vuktyl and Severo-Vuktyl areas (а); generation potential (according to Espitalie and Bordenave, 1993) of the Visean coal-bearing deposits of the Vuktyl and Severo-Vuktyl areas (б)



так, коэффициент K_i изменяется от 0.11 до 0.28. Значения Pr/Ph в определенной степени обусловлены окислительно-восстановительным потенциалом среды раннего диагенеза. В битумоидах углей и углистых аргиллитов величина этого отношения составляет 0.86–4.19.

В скв. 215-Сев. Вуктыл (гл. 4334–4340 м) в составе керогена из углистых аргиллитов установлено ОВ II типа, причем 70 % составляют аморфные компоненты: водорослевые (20 %) и лейптинитовые (50 %) — и только 30 % приходится на гумусовые компоненты (Угольная..., 2000; Рябинкина, 2006).

Значительная доля лейптинита, а также высокий генерационный потенциал и высокая степень катагенеза изученных образцов делают возможным генерацию нефтяных УВ из углей на данной площади.

При изучении нижнекаменноугольных отложений в южной части гряды Чернышева в разрезе по руч.

Изяёль (Рябинкина, Валяева, 2023а) были обнаружены пропластки углей небольшой мощности (0.1–0.2 м), иногда линзовидные скопления и обломки углей в песчаниках и алевролитах. Отмечается и рассеянная углифицированная растительная органика в породах. Угли развиты в трех центральных пачках разреза.

Данные о содержании C_{org} , НОП, ХБА и β^{XB} представлены в таблице 2. Наибольшее содержание C_{org} наблюдается в углях — 48.64 %. β^{XB} характерен для битумоидов, автохтонных вмещающим толщам. В групповом составе преобладают смолисто-асфальтеновые компоненты. Содержание насыщенных УВ незначительно (3.4–10.8 %).

В насыщенной фракции идентифицированы n -алканы состава C_{12} – C_{31} (рис. 5). Наблюдается одномодальное распределение с преобладанием в низкомолекулярной области. Так, на долю n -алканов состава C_{12} – C_{18} приходится от 49.9 до 75.5 % (на сумму

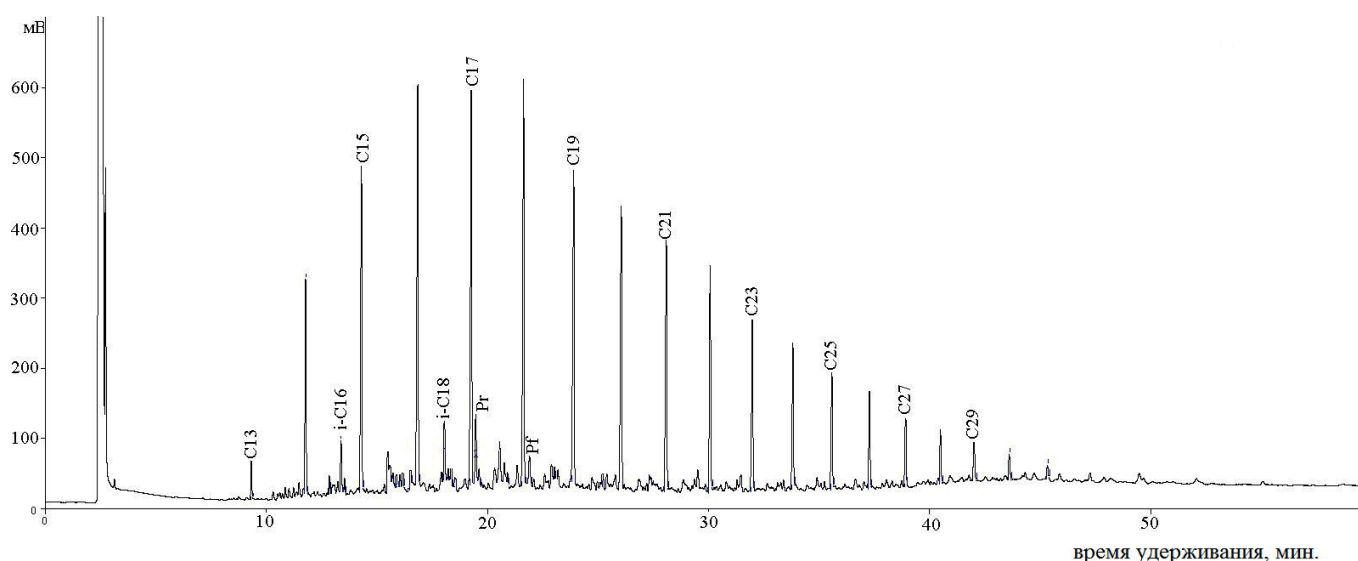


Рис. 4. Типичная хроматограмма распределения n -алканов и изопреноидов в углях Вуктыльской площади (обр. 21/2) (C_n — число атомов углерода в молекуле)

Fig. 4. Typical chromatogram of the distribution of n -alkanes and isoprenoids in the Vuktyl coal deposits (sample 21/2) (C_n number of carbon atoms in the molecule)

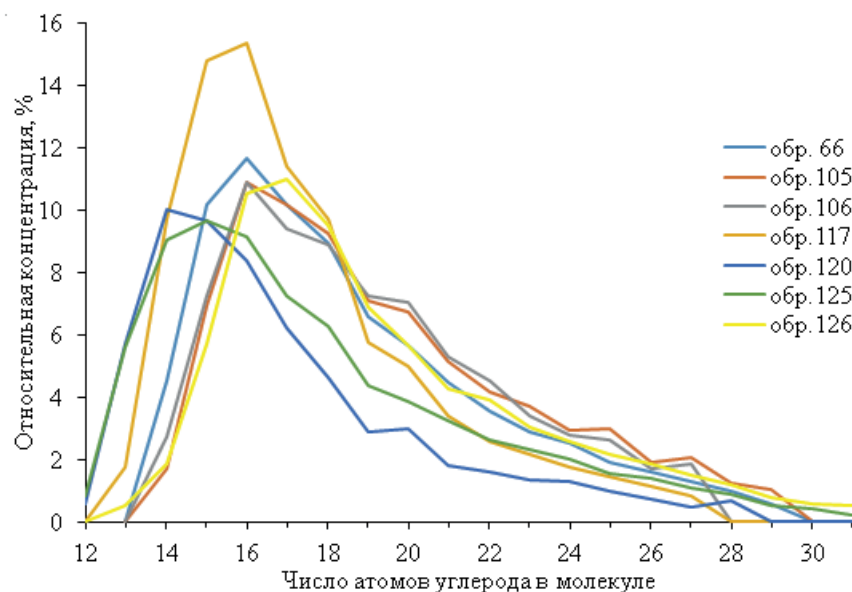


Рис. 5. Распределение n -алканов в насыщенной фракции битумоидов углей и углистых аргиллитов по руч. Изяёль

Fig. 5. Distribution of n -alkanes in the saturated fraction of coal bitumoids and coal-bearing mudstones along the Izya river



Таблица 1. Характеристика органического вещества визейских угленосных отложений Вуктыльской (скв. 225, 226), Северо-Вуктыльской (скв. 215) площадей

Table 1. Characteristics of the organic matter in the Vizeya coal-bearing deposits of the Vuktylskaya (boreholes 225, 226), Severo-Vuktylskaya (borehole 215) areas

№ обр. Sample No.	Литология Lithology	НОП, % IRC, %	C _{орг} , % TOC, %	ХБА, % CBA, %	β ^{ХБ} , % β ^{СВ} , %	S ₁ , мг УВ/г породы mg HC/g rock	S ₂ , мг УВ/г породы mg HC/g rock	T _{max} , °C	H ₁ , мг УВ/г C _{орг} mg HC/g C _{org}
Скв. 225-Вуктыльская / BH 225-Vuktylskaya									
15/1	уголь / coal	–	50.1	2.32	4.62	13.0	287.6	455	574
21/1	угл. аргиллит / coaly argillite	96.9	7.3	–	–	4.7	59.1	440	810
21/2	уголь / coal	97.8	22.7	–	–	4.7	59.1	440	260
Скв. 226-Вуктыльская / BH 226-Vuktylskaya									
13/2	уголь / coal	96.0	50.1	2.32	4.62	13.0	286.4	455	572
16/2	угл. аргиллит / coaly argillite	98.6	26.6	1.12	4.21	7.3	97.8	444	368
16/2	уголь+аргил. / coal+argillite	100	43.5	1.10	2.53	13.8	343.9	430	791
16/4	уголь+аргил. / coal+argillite	97.9	38.8	1.24	3.20	12.90	153.1	445	395
16/4	уголь / coal	100	73.3	1.20	1.64	–	–	–	–
16/5	угл. аргиллит / coaly argillite	96.0	6.9	0.28	4.06	1.0	8.8	442	128
Скв. 215-Северо-Вуктыльская / BH 215-Severo-Vuktylskaya									
34/2	угл. аргиллит / coaly argillite	98.5	9.5	0.28	2.91	–	–	–	–
38/4-2	уголь / coal	97.5	75.6	0.025	0.03	3.59	108.8	443	544
38/4-1	аргил.+уголь / argil.+coal	99.7	20.0	0.03	0.13	3.59	108.8	443	144
42/1	уголь / coal	100	71.7	1.74	2.43	8.82	170.2	452	238

Примечание: прочерк — не определялось

Note: dash — not determined

Таблица 2. Геохимическая характеристика пород и результаты ГХ-исследования углей и углистых аргиллитов по руч. Изъяёль

Table 2. Geochemical characteristics of rocks and results of GC study of coals and coal-bearing mudstones of the Izyayol stream

Образец / Sample	66	105	106	117	120	125	126
Литология Lithology	угл. аргиллит coaly argillite	угл. аргиллит coaly argillite	уголь coal	угл. аргиллит coaly argillite	уголь coal	угл. аргиллит coaly argillite	уголь coal
НОП, % / IRC, %	91.9	93.4	96.9	91.9	96.2	83.39	97.7
C _{орг} , % / TOC, %	9.13	13.38	48.64	13.89	27.08	6.66	22.83
ХБА, % / CBA, %	0.077	0.078	2.471	0.311	0.302	0.044	0.082
β ^{ХБ} , % / β ^{СВ} , %	0.84	0.58	5.08	2.24	1.12	0.66	0.36
n-алканы и изопренаны / n-alkanes and isoprenanes							
Σ n-C ₁₂ -n-C ₁₈	58.6	49.9	51.9	72.3	75.3	66.1	52.9
Σ n-C ₁₉ -n-C ₂₄	33.1	38.2	40.0	23.9	19.9	25.5	35.6
Σ n-C ₂₅ -n-C ₃₁	8.2	11.9	8.2	3.9	4.9	8.4	11.6
K _{нч} C ₁₅	1.26	1.10	1.06	1.18	1.06	1.06	0.92
K _ч C ₁₆	1.14	1.27	1.31	1.18	1.08	1.08	1.26
n-C ₂₇ /n-C ₁₇	0.13	0.20	0.19	0.07	0.08	0.15	0.13
изо- / n-алканы iso- / n-alkanes	0.10	0.14	0.22	0.15	0.21	0.12	0.09
Pr/Ph	1.8	1.7	1.9	1.4	1.5	1.3	1.4
K _i	0.20	0.32	0.42	0.18	0.23	0.13	0.16
Pr/n-C ₁₇	0.24	0.39	0.54	0.19	0.24	0.14	0.18
Ph/n-C ₁₈	0.15	0.25	0.30	0.16	0.22	0.12	0.14



н-алканов) (табл. 2). Относительная концентрация н-алканов состава $C_{25}-C_{31}$ изменяется от 3.9 до 11.6 %. Отмечается незначительно преобладание н- C_{15} и н- C_{16} над соседними гомологами; коэффициент нечётности $K_{нч}C_{15} = 2 \times C_{15}/(C_{14}+C_{16})$ изменяется от 0.92 до 1.26, $K_{ч}C_{16} = 2 \times C_{16}/(C_{15}+C_{17})$ — от 1.08 до 1.31. Отношение н- $C_{27}/н-C_{17}$ варьирует в пределах 0.08–0.20. В составе преобладают н-алканы (изоалканы/н-алканы — 0.09–0.22). Значения Pr/Ph варьируют от 1.3 до 1.9. Значения $Pr/н-C_{17}$, $Ph/н-C_{18}$ меньше единицы и составляют 0.14–0.54, 0.12–0.30 соответственно, что характерно для ОВ, накопление которого протекало в лагунных условиях в слабоумеренно-восстановительной обстановке. Невысокие значения K_i говорят о преобразованности ОВ.

Выводы

Таким образом, для Вуктыльской и Северо-Вуктыльской площадей некоторый вклад в состав ОВ осуществлялся за счет сапропелевой органики, где формирование углей и углистых аргиллитов происходило как в лагунных, так и в озерных и болотно-озерных условиях. Содержание сапропелевой органики значительно повышает генерационный потенциал комплекса в целом и благоприятно для формирования автохтонных залежей жидких УВ.

Накопление исходного ОВ терригенных пород руч. Изъяель протекало в регрессивно-трансгрессивных прибрежно-морских условиях, но состав ОВ несколько различался. Степень преобразованности ОВ соответствует началу фазы «нефтяного окна», что позволяет предполагать формирование на этих территориях жидких углеводородов для нефтяных залежей.

Формирование углей Еджыд-Кыртинского месторождения проходило по берегам зарастающих стариц рек и озер. ОВ, слагающее угли, смешанного типа.

Состав углей, условия их залегания и масштабы угленосности визейской терригенной толщи позволяют расценивать угли как источник газообразных и жидких углеводородов.

Геохимические исследования выполнены в ЦКП «Геонаука» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Работа выполнена в рамках государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН: ЕГИСУ НИОКТР — 1021051101668-0-1.5.1; FUUU-2022-0060.

Авторы статьи выражают искреннюю благодарность рецензентам за точные и конструктивные замечания, позволившие улучшить содержание и общее восприятие статьи.

Литература / References

Алексеева Т. В. Почвы девона и карбона. Современное состояние исследований в России (обзор литературы) // Почвоведение. 2020. № 10. С. 1157–1169. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20100020>
 Alekseeva T. V. Devonian and Carboniferous Soils. Current state of research in Russia (literature review). Eurasian soil science. 2020;10:1157–1169. Russian.
 Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С., Деревесникова А. А., Огданец Л. В. Геохимия нефтей среднедевонско-нижнефранского терригенного нефтегазоносного комплекса Тимано-Печорского бассейна // Геохимия. 2022.

Т. 67. № 4. С. 339–349. DOI: 10.31857/S0016752522030025
 Bushnev D. A., Burdel'naya N. S., Derevesnikova A. A., Ogdanets L. V. Geochemistry of Oils in the Middle Devonian–Lower Frasnian Terrigenous Petroleum System of the Timan-Pechora Basin. Geochemistry International. 2022;60(4):345–354. DOI: 10.1134/s0016702922030028
 Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С., Ондар С. А., Смирнова Н. А. Образование углеводородов при термическом созревании Каа-Хемского угля // Геохимия. 2025. Т. 70. № 12. С. 966–977. DOI: 10.7868/S3034495625120027
 Bushnev D. A., Burdel'naya N. S., Ondar S. A., Smirnova N. A. Formation of hydrocarbons during the thermal maturation of Kaa-Khem coal. Geochemistry International. 2025;63(12):1084–1095. DOI: 10.1134/S0016702925600749
 Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С., Пронина Н. В., Котик О. С., Трушков П. В. Органическое вещество среднедевонских-нижнефранских отложений Ижма-Печорской впадины по данным пиролитических и углпетрографических исследований // Геология и геофизика. 2026. Вып.: online first. С. 1–13. DOI: 10.15372/GiG2026184
 Bushnev D. A., Burdel'naya N. S., Pronina N. V., Kotik O. S., Trushkov P. V. Organic matter of the Middle Devonian–Lower Frasnian deposits of the Izhma-Pechora basin based on pyrolytic and coal petrographic studies. Russian Geology and Geophysics; 2026. Russian.
 Голицын М. В., Пронина Н. В. Нефть в угольных бассейнах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 5. С. 13–9.
 Golitsyn M. V., Pronina N. V. Oil in coal basins. Mining informational and analytical bulletin. 2004;5:13–9. Russian.
 Голицын М. В., Кузнецова А. А. Метаморфизм каустобиолитов Карагандинского бассейна. М.: Наука, 1970. 135 с.
 Golitsyn M. V., Kuznetsova A. A. Metamorphism of caustobiolites in the Karaganda basin. Moscow: Nauka, 1970. 135 p. Russian.
 Гончаров И. В., Веклич М. А., Обласов Н. В., Самойленко В. В., Фадеева С. В., Кашапова Р. С., Жердева А. В., Смирнова Н. А. Природа углеводородных флюидов месторождений севера Западной Сибири (геохимический аспект) // Геохимия. 2023. Т. 68. № 2. С. 115–138. DOI: 10.31857/S0016752523020048
 Goncharov I. V., Veklich M. A., Oblasov N. V., Samoilenko V. V., Fadeeva S. V., Kashapov R. S., Trushkov P. V., Zherdeva A. V., Smirnova N. A. Nature of hydrocarbon fluids at the fields in the north of Western Siberia: the geochemical aspect. Geochemistry International. 2023;61(2):103–126. DOI: 10.1134/s0016702923020040
 Гончаров И. В., Обласов Н. В., Самойленко В. В., Носова С. В. Углистое органическое вещество нижней и средней юры Западной Сибири и его роль в формировании углеводородных скоплений // Нефтяное хозяйство. 2006. № 8. С. 19–23.
 Goncharov I. V., Oblasov N. V., Samoilenko V. V., Nosova S. V. Carbonaceous organic substance of Lias and Dogger of Western Siberia and its role in formation of hydrocarbon accumulation, on an example of Tomsk area. Oil Industry. 2006;8:19–23. Russian.
 Контарович А. Э., Данилова В. П. Нефтегазообразование в угленосных осадочных толщах (на примере мезозойских и палеозойских отложений юга Западной и Средней Сибири) // Новые данные по геологии и не-

- фтегазоносности Сибирской платформы. Новосибирск, 1973. С. 73–82. (Труды СНИИГТИМС; Вып. 167)
- Kontorovich A. E., Danilova V. P. Oil and gas formation in coal-bearing sedimentary strata (using the Mesozoic and Paleozoic deposits of the south of Western and Central Siberia as an example). New data on the geology and oil and gas potential of the Siberian platform. Proceedings of Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Raw Materials. 1973;167:73–82. Russian.
- Мосейчик Ю. В., Рябинкина Н. Н. Новые данные по ископаемой флоре визейского терригенного комплекса Печорского бассейна // Докл. АН. 2009. Т. 427. № 2. С. 224–228.
- Moseichik Yu. V., Ryabinkina N. N. New Data on Fossil Flora from the Visean Terrigenous Complex of Pechora Basin. Doklady Earth Sciences. 2009;427(5):764–767.
- Мосейчик Ю. В., Рябинкина Н. Н. К познанию визейской флоры Печорского Приуралья // Lethaea rossica. Российский палеоботанический журнал. 2012. Т. 6. С. 1–31.
- Moseychik Yu. V., Ryabinkina N. N. On the knowledge of the Visean flora of the Pechora Urals. Lethaea rossica. Russian Paleobotanical Journal. 2012;6:1–31. Russian.
- Прищепа О. М., Баженова Т. К., Богацкий В. И. Нефтегазные системы Тимано-Печорского осадочного бассейна (включая акваториальную печороморскую часть) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 8. С. 1129–1150.
- Prischepa O. M., Bazhenova T. K., Bogatskii V. I. Petroleum systems of the Timan-Pechora sedimentary basin (including the offshore Pechora sea). Russian Geology and Geophysics. 2011;8:888–905.
- Ровнина Л. В. Классификация органического вещества осадочных пород на основе палинологического метода // Проблемы современной палинологии: Сб. статей совет. палинологов к VI Междунар. палинол. конф. Новосибирск: Наука, 1984. С. 31–34.
- Rovnina L. V. Classification of organic matter of sedimentary rocks based on the palynological method. In: Problems of modern palynology: Collection of articles. Novosibirsk: Nauka, 1984. p. 31–34. Russian.
- Рябинкина Н. Н. Условия формирования и перспективы нефтегазоносности визейского терригенного комплекса Печорского бассейна. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 104 с.
- Ryabinkina N. N. Conditions of Formation and Prospects for Oil and Gas Potential of the Visean Terrigenous Complex of the Pechora Basin. Yekaterinburg: UB RAS, 2006. 104 p. Russian.
- Рябинкина Н. Н., Валяева О. В. Литотипы пород и геохимия органического вещества терригенных отложений нижнего карбона южной части гряды Чернышева // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2023a. Т. 18. № 2. DOI: 10.17353/2070-5379/19_2023
- Ryabinkina N. N., Valyaeva O. V. Lithotypes of rocks and geochemistry of organic matter of the Lower Carboniferous terrigenous section of the southern part of the Chernyshev ridge. Petroleum Geology — Theoretical and Applied Studies. 2023a; 18(2). Available from: URL: http://www.ngtp.ru/rub/2023/19_2023.html (date of access: 01.06.2026). Russian.
- Рябинкина Н. Н., Валяева О. В. Визейские угленосные отложения северо-востока европейской части России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2023b. Т. 18. № 4. DOI: 10.17353/2070-5379/37_2023
- Ryabinkina N. N., Valyaeva O. V. Visean coal-bearing strata of the northeast european part of Russia. Petroleum Geology — Theoretical and Applied Studies. 2023; 18(4). Available from: URL: http://www.ngtp.ru/rub/2023/37_2023.html (date of access: 01.06.2026). Russian.
- Санникова И. А., Калачева Д. Ю., Морозов Н. В., Пронина Н. В., Бакай Е. А. Органическое вещество углистых нефтематеринских толщ нижней-средней юры центральной части Западной Сибири: геохимия, углепетрография, кинетические спектры // Геохимия и петрография, горючих сланцев и битуминозных пород: Материалы Российской научной конференции. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2023. С. 99–100.
- Sannikova I. A., Kalacheva D. Yu., Morozov N. V., Pronina N. V., Bakai E. A. Organic matter of carbonaceous oil source strata of the Lower-Middle Jurassic of the central part of Western Siberia: geochemistry, coal petrography, kinetic spectra. Proceedings of conference. Syktyvkar; 2023. p. 99–100. Russian.
- Сивцев А. И., Чалая О. Н., Зуева И. Н. Верхнеюрско-нижнемеловой нефтегазоносный комплекс востока Сибирской платформы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2018. № 1(33). С. 81–87. DOI: 10.20403/2078-0575-2018-1-81-87
- Sivtsev A. I., Chalaya O. N., Zueva I. N. Upper Jurassic — Lower Cretaceous petroleum complex of the Eastern Siberian platform. Geology and mineral resources of Siberia. 2018;1(33):81–87. Russian.
- Стукова Т. В. Палинологическая характеристика палеопочв раннего карбона на юго-востоке Пермского Прикамья (северо-восток Волго-Уральского субрегиона) // Lethaea rossica. Российский палеоботанический журнал. 2025. Т. 29. С. 52–63. DOI: 10.34756/GEOS.2025.17.39420
- Stukova T. V. Palynological characteristics of Early Carboniferous paleosols in the southeast of the Perm Kama region (northeast of the Volga-Ural subregion). Lethaea rossica. Russian Paleobotanical Journal. 2025;29:52–63. Russian.
- Угольная база России. Т. I. Угольные бассейны и месторождения европейской части России (Северный Кавказ, Восточный Донбасс, Подмосковный, Камский и Печорский бассейны, Урал). М.: Геоинформмарк, 2000. 483 с.
- The Coal Base of Russia. Vol. I. Coal Basins and Deposits in the European Part of Russia (North Caucasus, Eastern Donbas, Moscow, Kama and Pechora Basins, Ural). Moscow: Geoinformmark, 2000. 483 p. Russian.
- Шумилов И. Х., Тельнова О. П. Инситу корневые системы в девонских палеопочвах Среднего Тимана // Почвоведение. 2024. № 1. С. 5–13. DOI: 10.31857/S0032180X24010011
- Shumilov I. Kh., Telnova O. P. In situ root systems in the Devonian paleosols of the Middle Timan. Eurasian soil science. 2024;57(1):1–8.
- Behar F., Vandenbroucke V., Tang Y., Marquis F., Espitalie J. Thermal cracking of kerogen in open and closed systems: determination of kinetic parameter and stoichiometric coefficients for oil and gas generation. Organic Geochemistry. 1997;26(5–6):321–339.
- Espitalie J., Bordenave M. L. Rock-Eval pyrolysis. In: M. L. Bordenave, editor. Applied Petroleum Geochemistry. Paris: Technip ed., 1993:237–361.



- Fan P., Luo B., Huang R.* Formation and migration of continental oil and gas in China. *Scientific Sinica*. 1980;23:1286–1295.
- Fu J., Guoying S., Dehan L.* Organic geochemical characteristics of major types of terrestrial petroleum source rocks in China (eds. A. J. Fleet, K. Kelts, M. R. Talbot In *Lacustrine Petroleum Source Rocks*). Geological Society Special Publication. Blackwell, Oxford. 1988;40:279–289.
- Huang D., Zhang D., Li J., Huang X.* Hydrocarbon genesis of Jurassic coal measures in the Turpan basin, China. *Organic Geochemistry*. 1991;17:673–680.
- Isaksen G. H., Curri D. J., Yeakel J. D., Jenssen A. I.* Controls on the oil and gas potential of humic coals. *Organic Geochemistry*. 1998;29(1–3):23–44. DOI: 10.1016/S0146-6380(98)00042-4
- Killops S. D., Funnell R. H., Suggate R. P., Sykes R., Peters K. E., Walters C., Woolhouse A. D., Weston R. J., Boudou J. P.* Predicting generation and expulsion of paraffinic oil from vitrinite-rich coals. *Organic Geochemistry*. 1998;29:1–29. DOI: 10.1016/S0146-6380(98)00087-4
- Zeng L., Huang W., Pan C., Jin J., Ma W., Yu S., Xu H., Liu D., Liao Y., Liu J.* Assessment of oil potentials for humic coals on the basis of flash Py-GC, Rock-Eval and confined pyrolysis experiments. *Organic Geochemistry*; 2020. p. 148. DOI: 10.1016/j.orggeochem.2020.104097
- Sykes R., Snowdon L. R.* Guidelines for assessing the petroleum potential of coaly source rocks using Rock-Eval pyrolysis. *Organic geochemistry*. 2002;33(12):1441–1455. DOI: 10.1016/S0146-6380(02)00183-3
- Wang C., Cheng K., Xu I., Zhao H.* Geochemistry of jurassic coal-derived hydrocarbon of Turpan-Hami basin. Petroleum industry press. Beijing, China, 1996. 260 p.
- Wilkins R. W.T., George S. C.* Coal as a source rock for oil: a review. *International Journal of Coal Geology*. 2002;50(1–4):317–361. DOI: 10.1016/S0166-5162(02)00134-9

Поступила в редакцию / Received 02.07.2026

Нетипичный сукцинит из Дании

О. В. Мартиросян¹, М. А. Богдасаров², Е. А. Голубев³

¹ Геологический институт РАН, Москва, Россия, *mov@ginras.ru*

² Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, Брест, Беларусь, *bahdasarau@gmail.com*

³ Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия, *golubev@geo.komisc.ru*

Методами инфракрасной спектроскопии и дифференциального термического анализа впервые изучен образец ископаемой смолы из Дании. Показано, что ископаемая смола идентифицируется как сукцинит, но имеет отличные от него термические характеристики. Повышенная степень окисленности и смещение температурных максимумов позволяют предположить, что образец претерпел меньшую степень постдиагенетической трансформации, что может быть связано с его более молодым возрастом и/или длительным поверхностным окислением. Актуальность работы обусловлена отсутствием систематических физико-химических исследований ископаемой смолы из Дании и нерешённостью вопроса о ее происхождении и соотношении с другими сукцинитами Европы. Полученные результаты расширяют представления о внутривидовой изменчивости сукцинитов в зависимости от возраста и условий захоронения.

Ключевые слова: ископаемая смола, сукцинит, ИК-спектроскопия, ДТА

Atypical succinite from Denmark

O. V. Martirosyan¹, M. A. Bogdasarov², E. A. Golubev³

¹ Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Brest State University named after A. S. Pushkin, Brest, Belarus

³ Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktvykar, Russia

For the first time, a fossil resin sample from Denmark has been studied by infrared spectroscopy and differential thermal analysis. It is shown that the fossil resin is identified as succinite but with different thermal characteristics. The elevated degree of oxidation and the shift of temperature maxima suggest that the sample underwent a lower degree of post-diagenetic transformation, which may be related to its younger age and/or prolonged surface oxidation. The relevance of this study is due to the lack of systematic physicochemical investigations of fossil resins from Denmark and the unresolved questions regarding their origin and relationship to other succinites in Europe. The obtained results expand the understanding of intraspecific variability of succinites depending on age and burial conditions.

Keywords: fossil resin, succinite, IR spectroscopy, DTA

Введение

Ископаемые смолы встречаются на территории Королевства Дания с древнейших времён, в том числе в её арктической части — на острове Гренландия (Мартиросян, 2025). Уже в эпоху неолита (IV тысячелетие до н. э.) «янтарь» занимал важное место в материальной и духовной культуре местных племён. Об этом говорят масштабные находки: близ Рандерса обнаружено более 4 тысяч обработанных бусин общим весом свыше 8 кг, а на севере Ютландии, в Моллерупе, — до 12 тысяч янтарных бусин (Bortolotti, 1993; Bech et al., 2018).

Однако происхождение смолоносных отложений, из которых могли быть вымыты ископаемые смолы, в настоящее время неизвестно. Основным регионом их нахождения и сбора является западное побережье Ютландии. Согласно С. Г. Ларссону (Larsson, 1978), именно здесь береговой «янтарь» находили в значительных количествах от о. Фанё до фьорда Ниссум-Бреднинг, причём большая часть была собрана на участке меж-

ду Блавандсшуком и Хвидесанде. О. Е. Хайе (Haie, 1967) также подтверждает, что большинство датского янтаря происходит именно с этой части побережья. Кроме того, ископаемые смолы находят на побережье островов Фанё, Лесё (Simonsen, 2008), Борнхольм (Langenheim, 1969; Larsson, 1978), в формации Фур в районе Лим-фьорда (Pedersen, Pedersen, 2013), в среднеэоценовой глине близ Мариагер-фьорда (Nørregaard, 1903), близ Копенгагена (в песчаных карьерах на Вальбю Бакке) совместно с бурым углем и растительными остатками (Sarauw, 1897), а также на побережье пролива Каттегат (Ravn, 1897) (рис. 1).

С. Г. Ларссон (Larsson, 1962; 1978) предположил, что датская ископаемая смола была переотложена в миоценовые лигниты Ютландии из эоценовых лесов южной Швеции (юго-западных территорий Фенноскандии). Это означает, что датская ископаемая смола имеет обособленное географическое происхождение и не связана с переотложением в районе Гданьского залива (Drohojowska et al., 2024). Отложение данной ископаемой смолы в Ютландии могло произойти не

Для цитирования: Мартиросян О. В., Богдасаров М. А., Голубев Е. А. Нетипичный сукцинит из Дании // Вестник геонаук. 2026. 9(381). С. 30–37. DOI: 10.19110/geov.2026.9.3

For citation: Martirosyan O. V., Bogdasarov M. A., Golubev E. A. Atypical succinite from Denmark. Vestnik of Geosciences, 2026, 9(381), pp. 30–37. DOI: 10.19110/geov.2026.9.3



Рис. 1. Места находок ископаемых смол Дании: 1 — г. Варде, 2 — о. Фанё, 3 — маяк Блаванндшук, 4 — Ниссум-Бреднинг-фьорд, 5 — Лим-фьорд, 6 — Маригер-фьорд, 7 — о. Лесё, 8 — Вальбю Бакке, 9 — г. Могенstrup, 10 — Файё, 11 — о. Бранхёльм

Fig. 1. Localities of fossil resin occurrences in Denmark: 1 — Varde; 2 — Fanø Island; 3 — Blåvandshuk Lighthouse; 4 — Nisum Bredning Fjord; 5 — Limfjord; 6 — Mariager Fjord; 7 — Læsø Island; 8 — Valby Bakke; 9 — Mogenstrup; 10 — Fejø; 11 — Brantholm Island

ранее миоцена, поскольку до этого периода устье «Балтийской реки» не находилось на территории Германии и Дании (Tshernyshev et al., 2025). Гипотеза С. Г. Ларссона о южно-шведском происхождении датского янтаря долгое время не получала широкого признания; доминирующей оставалась концепция единого источника для всего «балтийского янтаря» (Szwedo, Sontag, 2009). Однако новейшие палеозоологические исследования (Nadein et al., 2016; Simutnik et al., 2020) вновь подтвердили её обоснованность. В пользу этого свидетельствуют и данные по ископаемой фауне (Heie, 1967, 1972; Heie, Wegierek, 2011; Nadein et al., 2016). При этом фауна, найденная в датской ископаемой смоле, демонстрирует большее сходство с ровенской ископаемой смолой (Украина), чем со смолой из Пальмникенского месторождения (Калининград) (Perkovsky, 2016, 2017).

Датскую ископаемую смолу традиционно относят к «балтийской группе» сукцинита (Baltik amber) — собирательному термину для сукцинитов из разных мест, наиболее известными из которых являются Калининград (Россия) и Гданьск (Польша). «Балтийский сукцинит» является одним из самых распространенных и наиболее изученных видов ископаемых смол (Фракей, 1990; Rice, 1999). В настоящее время инфракрасная спектроскопия позволяет безошибочно идентифицировать сукцинит, и его характеристика широко обсуждалась в научной литературе, начиная с первых работ С. С. Савкевича и К. В. Бека (Савкевич, Шахс, 1964; Beck et al., 1965).

Однако кроме сукцинита на территории Дании могут встречаться и другие виды ископаемых смол, которые в своем химическом составе не имеют янтар-

ную кислоту и, возможно, относятся к группе ретинитов. Это ископаемая смола из миоценовой слюистой глины, найденная в карьере кирпичного завода Хессельхё к северу от г. Варде (Nørregaard, 1903), и олигоценовая смола из Могенstrup (Madsen, 2012). По данным последней работы, ИК-спектр показал отсутствие «балтийского плеча», но авторы не привели сам ИК-спектр, и более точной информации не имеется.

Ископаемые смолы из Дании остаются наименее изученными среди европейских ископаемых смол (Nadein et al., 2016). До настоящего времени систематические физико-химические исследования ископаемых смол из Дании фактически отсутствуют, а имеющиеся сведения ограничиваются палеозоологическими описаниями. Настоящая работа восполняет этот пробел, впервые представляя данные инфракрасной спектроскопии и дифференциального термического анализа для ископаемой смолы из Дании.

Материалы и методы

Описанный в данной работе экземпляр (МБ-041) взят из коллекции С. С. Савкевича. Сбор произведен в современной пляжевой россыпи на территории Дании, точное местонахождение на этикетке не указано. Образец ископаемой смолы желто-коричневого цвета, полупрозрачный. Для сравнительного анализа были привлечены сукциниты из эталонных местонахождений: Пальмникенского (Калининградская область, Россия), Клесовского (Ровненская область, Украина) и Биттерфельдского (Саксония-Анхальт, Германия) месторождений (табл. 1, рис. 2).

ИК-спектроскопия. Для определения молекулярных особенностей ископаемых смол применялся метод инфракрасной спектроскопии (ИКС). ИК-спектры поглощения изученных образцов смол получены в Институте геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар). Образцы предварительно перетирали с бромидом калия, при помощи пресса изготавливали таблетки, которые исследовали на ИК-Фурье спектрометре «Инфралюм ФТ-801» фирмы «Люмэкс-Сибирь» (Россия) в диапазоне 4000—500 см⁻¹ с разрешением 4 см⁻¹, числом сканирований 32. Образцы готовили прессованием 1.5—8.0 мг смолы с 800 мг оптически чистого KBr (диаметр ободки 20 мм) с вакуумированием и использованием гексахлор-1,3-бутодиена для снижения гигроскопичности. Оптическую плотность полос (D) определяли методом базисных линий по высоте пиков. Оптическая плотность — это безразмерная величина, равная десятичному логарифму отношения потока излучения F_0 , падающего на слой вещества, к потоку прошедшего излучения F , ослабленного в результате поглощения и рассеяния: $D = \lg(F/F_0)$. Расшифровку ИК-спектров проводили, ссылаясь на результаты подобных исследований (Kosmowska-Ceranowicz, 1999; Pagacz et al., 2020; Natkaniec-Nowak et al., 2023), а также в соответствии с данными, приведенными в специальной литературе по ИКС (Беллами, 1971). В табл. 2 представлена расшифровка значений встречаемых на ИК-спектре исследуемых ископаемых смол характеристических частот.

Дифференциальный термический анализ. К числу свойств, структурно-чувствительных к особенностям молекулярного состава ИС, относятся их теплофизические свойства. ДТА природных смол может обе-

Таблица 1. Образцы ископаемых смол

Table 1. Samples of fossil resins

Образец / Sample	Происхождение / Origin	Цвет / Color	Возраст / Age
МБ-041	Дания Denmark	Желто-коричневый, полупрозрачный Yellow-brown, subtransparent	?
МБ-030	Биттерфильд (Германия) Bitterfield (Germany)	Желтый, полупрозрачный Yellow, subtransparent	Олигоцен-миоцен Oligocene-Miocene
АБ-044	Пальмникен (Россия) Palmnicken (Russia)	Жёлтый, полупрозрачный Yellow, subtransparent	Эоцен-олигоцен Eocene-Oligocene
АБ-041	Клесов (Украина) Klesov (Ukraine)	Желтый, полупрозрачный Yellow, subtransparent	Эоцен-олигоцен Eocene-Oligocene

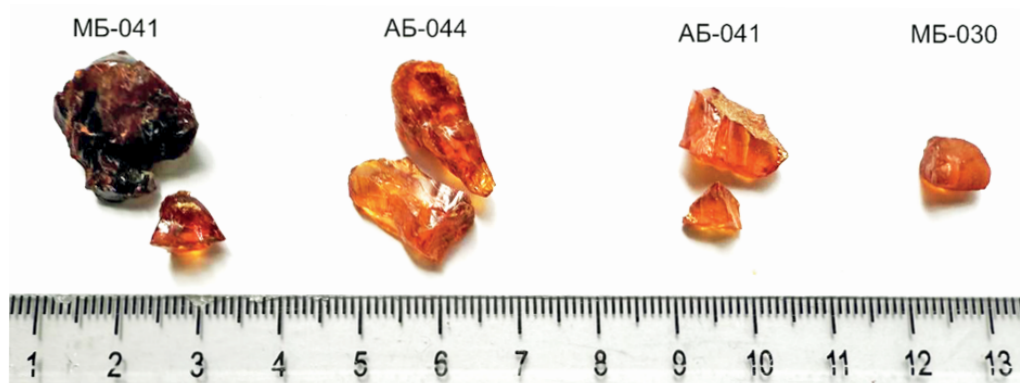


Рис. 2. Изученные образцы ископаемых смол

Fig. 2. The studied fossil resin samples

спечить альтернативный подход к изучению процессов их созревания. Дифференциальный термический анализ порошковых материалов проводили в ЦКП Института химии ФИЦ Коми НЦ Уро РАН на синхронном термоанализаторе STA-409 PC/4/H Luxx (NETZCH GmbH, Германия). Образцы нагревали в платинородиевом тигле в температурном интервале: 25–1000 °C при скорости нагрева 0.01–100 °C/мин. Полное сгорание ископаемых смол заканчивалось при температуре около 600 °C.

Обсуждение результатов

Инфракрасная спектроскопия. Все изученные образцы демонстрируют идентичный качественный состав функциональных групп, что подтверждает их принадлежность к одному типу ископаемых смол, а именно сукциниту. Диагностическое значение имеет область 1250–1120 см⁻¹. Ключевым спектральным признаком сукцинита является характерный «балтийский зубец»: широкая горизонтальная площадка в диапазоне 1250–1195 см⁻¹, переходящая в острый пик максимумом около 1160 см⁻¹ с резким спадом поглощения (1250 < 1160 см⁻¹) (рис. 3). Эта особенность наблюдается и на спектре датского образца.

Кроме того, присутствуют алифатические CH₂- и CH₃-группы, что подтверждается полосами валентных колебаний в области 2800–3000 см⁻¹. Плоскостные деформационные колебания δ(CH) этих групп проявляются в интервале 1340–1450 см⁻¹. О наличии ненасыщенных связей C=C в структуре смол свидетельствует полоса 1640 см⁻¹, обусловленная валентными

колебаниями этой связи ν(C=C), а также полосы при 3080 см⁻¹, вызванные соответственно валентными ν(CH) и неплоскими деформационными ν(CH) колебаниями =CH- и =CH₂-групп при ненасыщенной C=C-связи. Важно отметить, что в анализируемых образцах ароматические соединения отсутствуют — нет характерных интенсивных полос в интервалах 650–800 см⁻¹ и 1480–1600 см⁻¹.

В составе изученных образцов представлены разные кислородосодержащие группы. О наличии карбоксильных групп можно судить по интенсивной полосе в области 1700–1730 см⁻¹. Сложный контур этой полосы обусловлен наложением колебаний ν(C=O) сложноэфирной (1730 см⁻¹) и карбоксильной (1700 см⁻¹) групп. Интенсивности этих полос могут быть равными либо обычно доминирует сложноэфирная компонента (1730 см⁻¹). Сложноэфирные группировки помимо полосы ν(C=O) дают полосы ν(C–O) кислот и эфиров, положение которых в значительной степени зависит от соседних в молекуле групп и связей и находится в диапазоне 1160–1240 см⁻¹. Спиртовые OH-группировки обуславливают поглощение в области 3400 см⁻¹ — валентные колебания ν(OH). Наличие водородных связей возможно и определяет трехмерный характер структуры ископаемых смол.

Сравнение ИК-спектров сукцинитов из разных местонахождений показало, что различия между образцами касаются лишь содержания функциональных групп (табл. 3). Образец МБ-041 является наиболее окисленным по сравнению с другими сукцинитами (АБ-044 и АБ-041). Высокое содержание алифатических групп указывает на то, что он содержит больше

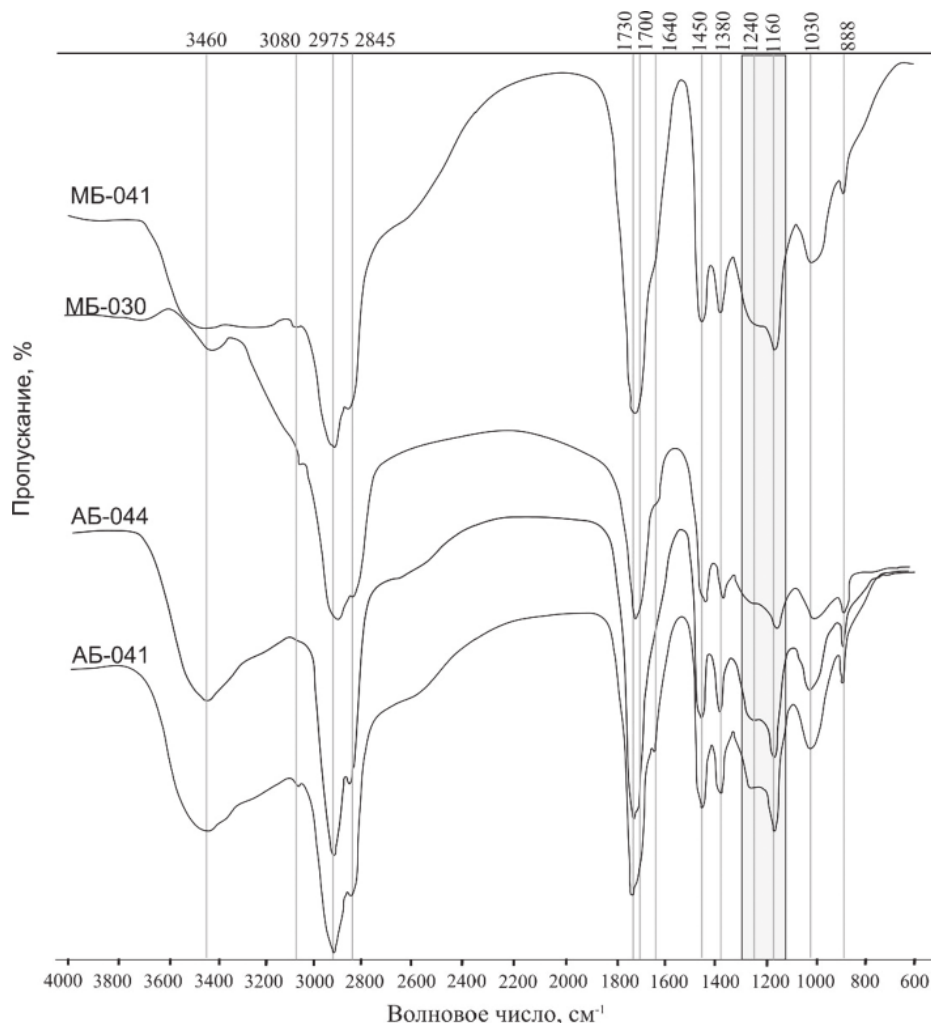


Рис. 3. ИК-спектры сукцинитов

Fig. 3. IR spectra of succinites

длинных алкильных заместителей. Образцы АБ-044 и АБ-041 имеют меньшую степень окисления, а именно содержание карбоксильных эфирных групп почти в два раза меньше МБ-044.

Дифференциальный термический анализ. Основу структуры сукцинита составляет полилабдановый скелет, образованный из смоляных карбоксильных кислот (коммунола, коммуновой и янтарной кислот) (Anderson et al., 1995). Наличие янтарной кислоты (3–8 %), которая вшита в структуру сукцинита в виде сложноэфирных связей, дополнительно укрепляет его полимерное строение, образуя густую сетку поперечных связей. Возможно, именно поэтому на кривой нагревания в основном представлены экзоэффекты (рис. 4).

Термические превращения изученных ископаемых смол выражаются довольно однообразной серией термических эффектов — эндотермического и нескольких экзотермических (см. табл. 4). При этом датский сукцинит несколько выделяется более узкими и интенсивными экзотермическими пиками № 1 и 2.

Для сукцинитов характерна серия из трех экзотермических событий. Первое — слабое и широкое, оно наблюдается при 20–270 °C и объясняется процессами испарения воды и летучих компонентов и низкомолекулярных соединений (Nissenbaum, Yaker, 1995; Feist et al., 2007). Известно, что при температуре выше 200–

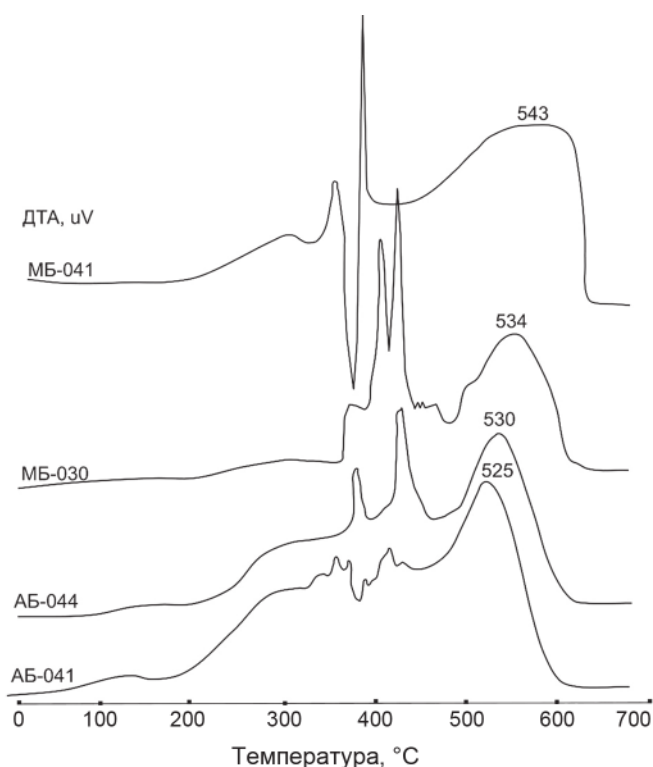


Рис. 4. Кривые нагревания сукцинитов

Fig. 4. Heating curves of succinites

Таблица 2. Характеристика полос поглощения различных функциональных групп

Table 2. Features of absorption bands for different functional groups

Частота, см ⁻¹ Frequency, cm ⁻¹	Характеристика полос поглощения Characteristics of absorption bands
3644—3200	Валентные колебания связанной ОН в фенольных, спиртовых и карбоксильных группах Stretching vibrations of bound OH in phenol, alcohol, and carboxyl groups
3080	Валентные колебания и неплоские деформационные колебания =CH ₂ и =CH-групп при ненасыщенной C=C-связи Stretching vibrations and out-of-plane deformation vibrations of =CH ₂ and =CH-groups with unsaturated C=C bonds
2940—2960	Валентные симметричные колебания групп CH ₃ Symmetrical stretching vibrations of CH ₃ groups
2850 и 2930	Валентные симметричные колебания групп CH ₂ Symmetrical stretching vibrations of CH ₂ groups
1722—1736	Валентные колебания C=O в эфирах, >C=C-OOR Stretching vibrations of C=O in esters, >C=C-OOR
1700—1710	Валентные колебания C=O карбоновых кислот Stretching vibrations of C=O in carboxylic acids
1640—1645	Валентные колебания ненасыщенных связей C=C-типа R ₁ HC=CHR ₂ в терпеноидах Stretching vibrations of unsaturated C=C bonds of the R ₁ HC=CHR ₂ type in terpenoids
1452—1458	Антисимметричные деформационные колебания групп CH ₃ Antisymmetric deformation vibrations of CH ₃ groups
1377—1385	Симметричные деформационные колебания групп -C-(CH ₃) ₂ Symmetrical deformation vibrations of -C-(CH ₃) ₂ groups
1250—1230	Валентные колебания C-O карбоновых кислот Stretching vibrations of C-O of carboxylic acids
1160—1180	Валентные колебания C-O в сложных эфирах и деформационные колебания ОН в карбоксильных кислотах Stretching vibrations of C-O in esters and deformation vibrations of OH in carboxylic acids
1010—1030	Перекрывающие полосы колебаний связей C-O в фенольных гидроксильных и S=O в сульфоксидных группах Overlapping bands of vibrations of C-O bonds in phenolic hydroxyls and S=O in sulfoxide groups
888	Внеплоскостные деформационные колебания C-H в экзоциклической ненасыщенной связи >C=CH ₂ в терпеноидах Out-of-plane deformation vibrations of C-H in the exocyclic unsaturated bond >C=CH ₂ in terpenoids

235 °C расплавленная янтарная кислота, отдавая воду, переходит в янтарный ангидрид, что выражается началом экзотермического подъема на кривой ДТА, который заканчивается при температуре 270 °C. Потеря массы за этот интервал составляет менее 3 %.

Второе — основное — наблюдается при 270—470 °C и отвечает за активное окисление ископаемых смол, декарбоксилирование жирных и смоляных кислот. При температуре > 400 °C они легко отщепляют воду и углекислый газ, превращаясь в углеводороды разной молекулярной массы (этот процесс идет и при низких температурах). Смоляные кислоты очень легко окисляются, образуя стойкие нелетучие продукты (наряду с летучими). Потеря массы составляет от 40 до 60 %.

Выгорание стойких нелетучих продуктов преимущественно высокомолекулярных веществ, основными из которых являются конденсированные ароматические углеводороды, происходит на третьем — финальном — этапе при 460–600 °C. Наличие конденсированных ароматических соединений подтверждается экспериментально (Мартиросян, Богдасаров, 2014). При нагревании сукцинита в атмосфере кислорода до 450 °C на их ИК-спектрах появляется ряд полос, свойственных ароматическим структурам, а также полосы, ха-

рактерные для конденсированных соединений с пятью и шестью конденсированными ядрами (пицен, фульминен). Потеря массы на этом этапе составляет до 30 %.

Заметим, что образец из Дании отличается от остальных изученных сукцинитов наличием в области 350—400 °C резкого эндотермического эффекта. Такое поведение говорит о том, что, возможно, в структуре образца из Дании присутствуют вещества с более низкой молекулярной массой (или наименее сшитые фрагменты); они плавятся при нагревании, поглощая энергию (эндоэффект). В других преобладает, вероятно, жесткая, сшитая полимерная сетка, которая не плавится, а сразу разлагается экзотермически.

Полученные данные позволяют предложить, что исследуемый образец сукцинита из Дании в течение длительного времени подвергался воздействию окислительной среды (находился на поверхности), что привело к его частичной деструкции. Длительное окисление привело к тому, что часть длинных полимерных цепей сукцинита разрушилась (деполимеризовалась) и образовались низкомолекулярные фрагменты, которые при нагревании плавятся. Последующий мощный экзотермический пик обусловлен реакцией окис-



ления (горения): термораспада основной полимерной матрицы, активно взаимодействующей с кислородом воздуха.

Кроме того, датский образец может иметь более молодой геологический возраст, чем эоцен-олигоценые сукциниты. Тем более что миоцен-олигоценые смолы встречаются на территории Дании (Nørgaard, 1903; Madsen, 2012). За более короткое геологическое время его полимерная структура не успела достичь высокой степени поперечной сшивки, характерной для зрелых сукцинитов. В пользу этого предположения свидетельствуют параметры кривых нагрева (табл. 5).

Для датского образца наблюдается смещение главного экзотермического пика в область более низких температур (393 °C) по сравнению с образцами из Биттерфельда (425 °C), Пальмникена (434 °C) и Клесова (418 °C). Одновременно с этим температура полного сгорания датского образца, напротив, выше (543 °C), чем у более зрелых (530–534 °C). Подобная тенденция была замечена ранее для других образцов ископаемых смол (Мартиросян, Богдасаров, 2025, 2026).

Таким образом, совокупность данных ИК-спектроскопии и ДТА свидетельствует о том, что датский образец, сохраняя все диагностические признаки сукцинита (включая «балтийский зубец»), претер-

Таблица 3. Содержание химических групп в молекулярном составе сукцинитов

Table 3. Content of chemical groups in the molecular composition of succinites

Образец Sample	3400 OH	3080 C=C	Алифатические группы Aliphatic groups (CH ₂ /CH ₃)	1730 C=O эфир ester	1700 C=O кислота acid	1640 C=C	1250 C–O эфир ester	1160 C–O кислота acid	1010 C–O	888 =CH ₂
МБ-041	0.37	0.39	4.62	1.03	0.96	0.29	0.49	0.96	0.31	0.17
АБ-044	0.33	0.19	4.19	0.96	0.85	0.21	0.37	0.52	0.28	0.17
АБ-041	0.38	0.25	4.23	0.78	0.68	0.25	0.34	0.48	0.26	0.15
МБ-030	0.30	0.15	4.20	0.95	0.83	0.20	0.35	0.46	0.27	0.15

Примечание: *алифатические группы — сумма оптических плотностей полос при 2975, 2845, 1460, 1450, 1380 см⁻¹.

Note: *aliphatic groups — sum of optical densities of the bands at 2975, 2845, 1460, 1450, 1380 cm⁻¹.

Таблица 4. Температуры термических экстремумов на кривых нагрева сукцинитов, °C

Table 4. Temperatures of thermal extrema on DTA heating curves of succinites, °C

Максимумы термических эффектов Thermal effect maxima	Объекты / Objects				Характеристика эффектов* Effect characteristics*	Интерпретация авторов Authors' interpretation
	Дания Denmark	Пальмникен (Россия) Palmnicken (Russia)	Клесов (Украина) Klesov (Ukraine)	Биттерфильд (Германия) Bitterfield (Germany)		
Эндотермический Endothermic	170–175	170–200	170–200	171	Дегидратация органического вещества Dehydration of organic matter	Первое экзотермическое событие First exothermic event
Экзотермический широкий Wide exothermic	300	300	295	295	Пик 1 — выгорание термически нестойкого органического вещества (липидного) Peak 1 — burnout of thermally unstable organic matter (lipid)	Второе экзотермическое событие — выгорание относительно нестойких органических веществ Second exothermic event — burnout of relatively unstable organic matter
Экзотермический узкий № 1 Narrow exothermic No. 1	365	376	370	360–385 (двойной) (double)		
Экзотермический узкий № 2 Narrow exothermic No. 2	400	421 и 436 (двойной) (double)	473	415	Пик 2 — выгорание термически относительно стойкого органического вещества (белкового) Peak 2 — thermal burnout of relatively stable organic matter (Protein)	Третье экзотермическое событие — выгорание стойких органических веществ Third exothermic event — burnout of stable organic matter
Экзотермический широкий (финальный) Wide exothermic (final)	513	534	530	525		

Примечание: *опыт термических исследований ископаемого органического вещества.

Note: *experience with thermal studies of fossil organic matter.

Таблица 5. Основные характеристики кривых нагревания сукцинитов

Table 5. Main characteristics of DTA curves of succinites

Образец Sample	Возраст Age	Главный пик, °C Main Peak, °C	Температура полного сгорания, °C Complete combustion temperature, °C
МБ-041	?	393	543
МБ-030	Олигоцен-миоцен / Oligocene-Miocene	425	534
АБ-044	Эоцен-олигоцен / Eocene-Oligocene	434	530
АБ-041		418	525

пел меньшую степень постдиагенетической трансформации по сравнению с другими образцами сукцинитов, что может быть связано с его более молодым возрастом и/или специфическими условиями захоронения.

Закключение

Комплексное исследование датского образца ископаемой смолы методами ИК-спектроскопии и дифференциального термического анализа позволило подтвердить его принадлежность к сукцинитам и одновременно выявить отличия от балтийских аналогов.

Установлено, что, несмотря на идентичный молекулярный состав, характерный для сукцинитов (включая диагностический «балтийский зубец» в области 1250–1160 см⁻¹ и набор алифатических, карбоксильных и сложноэфирных групп), датский образец демонстрирует другое термическое поведение. В отличие от типичных сукцинитов, разлагающихся исключительно экзотермически, без стадии плавления, на его ДТА-кривой зафиксирован эндотермический эффект в интервале 350–400 °C. Это свидетельствует о наличии в структуре низкомолекулярных или слабосшитых фрагментов, способных к плавлению.

Повышенная степень окисленности образца, установленная по данным ИК-спектроскопии, указывает на длительное воздействие окислительной среды, что привело к деструкции полимерных цепей и накоплению низкомолекулярных продуктов. Сопоставление температурных параметров ДТА (смещение главного пика в низкотемпературную область и более высокая температура полного сгорания) позволяет предположить, что датский сукцинит претерпел меньшую степень постдиагенетической трансформации, что может быть обусловлено его более молодым возрастом по сравнению с изученными в данной работе эоцен-олигоценовыми сукцинитами.

Полученные результаты существенно расширяют представления о внутривидовой изменчивости сукцинитов и демонстрируют, что даже в пределах одной группы ископаемых смол термические и спектральные характеристики могут сильно варьировать в зависимости от возраста и условий захоронения. Планируется дальнейшее изучение данного образца другими физико-химическими методами.

Работа выполнена в рамках темы НИР Геологического института РАН (ФММГ-2023-0009), экспериментальная часть работы — в рамках темы НИР Института геологии им. Н. П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН ГР № 122040 600009-2. Дифференциальный термический анализ порошковых материалов проводили в ЦКП Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Литература / References

- Беллами Л. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул. М.: Мир, 1971. 318 с.
Bellamy L. New Data on IR Spectra of Complex Molecules. Moscow: Mir; 1971. 318 p. Russian.
- Мартirosян О. В. Мел-палеогеновые ископаемые смолы арктической части Дании (о. Гренландия) // Вестник геонаук. 2024. № 5(353). С. 29–35. DOI: 10.19110/geov.2024.5.3
Martirosyan O. V. Cretaceous–Paleogene fossil resins from the Arctic part of Denmark (Greenland). Vestnik of Geosciences. 2024;5(353):29–35. Russian.
- Мартirosян О. В., Богдасаров М. А. Ископаемые смолы: диагностика, классификация и структурные преобразования в условиях термального воздействия // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 4. С. 10–15.
Martirosyan O.V., Bogdasarov M.A. Fossil resins: diagnostics, classification and structural transformations under thermal impact. Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS. 2014;(4):10–15. Russian.
- Мартirosян О. В., Богдасаров М. А. Молекулярный состав и термические свойства ископаемых смол Карско-Хатангской смолоносной субпровинции // Записки РМО. 2025. Ч. 154. № 5. С. 96–118. DOI:10.7868/S2658435225050063
Martirosyan O. V., Bogdasarov M. A. Molecular composition and thermal properties of fossil resins from the Kara-Khatanga resin-bearing subprovince. Proceedings of the Russian Mineralogical Society. 2025;154(5):96–118. Russian.
- Мартirosян О. В., Богдасаров М. А. Ископаемые смолы из меловых отложений полуострова Таймыр: молекулярный состав и термические свойства // Литология и полезные ископаемые. 2026. № 1. С. 57–73. DOI: 10.7868/S3034537526010048
Martirosyan O. V., Bogdasarov M. A. Fossil resins from the Cretaceous deposits of the Taimyr Peninsula: molecular composition and thermal properties. Lithology and Mineral Resources. 2026;(1):57–73. DOI: 10.1134/S002449022570035X
- Савкевич С. С., Шахс И. А. Инфракрасные спектры поглощения балтийского янтаря (сукцинита): Ч. 1–3 // Журнал прикладной химии. 1964. Ч. 1. № 4. С. 930–931.; Ч. 2. № 5. С. 1120–1122.; Ч. 3. № 12. С. 1515–1520.
Savkevich S. S., Shaks I. A. Infrared absorption spectra of Baltic amber (succinite): Parts 1–3. Journal of Applied Chemistry. 1964;1(4):930–931; 2(5):1120–1122; 3(12):1515–1520. Russian.
- Фракей Э. Янтарь. М.: Мир, 1990. 198 с.
Frakey E. Amber. Moscow: Mir, 1990. 198 p.



- Anderson K. B., Winans R. E., Botto R. E. The nature and fate of natural resins in the geosphere. II. Identification, classification and nomenclature of resinates. *Organic Geochemistry*. 1992;18:829–841. DOI: 10.1016/0146-6380(92)90051-X
- Beck C. W., Wilbur E., Meret S., Kossove D., Kermani K. The infrared spectra of amber and the identification of Baltic amber. *Archaeometry*. 1965;8:96–109.
- Bech J.H., Kristiansen K., Eriksen B.V. Bronze Age settlement and land-use in Thy, Northwest Denmark. Højbjerg: Jutland Archaeological Society; 2018. 278 p.
- Bortolotti G. Northern gold: trade and spread of amber in antiquity. *Universo*. 1993.73(4):442–458.
- Drohojowska J., Śladowska J., Szewdo J. First whiteflies from the Eocene amber of Denmark. *Acta Palaeontologica Polonica*. 2024;69(4):649–676. DOI: 10.4202/app.01173.2024
- Heie O. E. Studies on fossil aphids (Homoptera: Aphidoidea). *Spolia Zoologica Musei Hauniensis*. 1967;26:1–274.
- Heie O. E. Some new fossil aphids from Baltic amber in the Copenhagen collection (Insecta, Homoptera: Aphididae). *Steenstrupia*. 1972;2:247–262.
- Heie O. E., Wegierek P. A list of fossil aphids (Hemiptera, Sternorrhyncha, Aphidomorpha). *Monographs of the Upper Silesian Museum*. 2011;6:1–82.
- Kosmowska-Ceranowicz B. Succinite and some other fossil resins in Poland and Europe (deposits, finds, features and differences in IRS). *Estudios del Museo de Ciencias Naturales de Alava*. 1999;14(2):73–117.
- Krause K. Die Bernsteininsel Fanø. *Fossilien*. 2007;(5):304–308.
- Langenheim J. H. Amber: a botanical inquiry. *Science*. 1969;163:1157–1169. DOI: 10.1126/science.163.3872.1157
- Larsson S. G. The Copenhagen collection of amber-fossils. *Entomologiske Meddelelser*. 1962;31:323–326.
- Larsson S. G. Baltic Amber: A Paleobiological Study (Entomograph). Vol. 1. Klampenborg: Scandinavian Science Press Ltd.; 1978. 192 p.
- Madsen H. Fund fra Oligocæn og miocæn i Thy, Salling og på Mors. <https://www.vestjyskstenklub.dk/galleri/Alt%202012/OLIGOCAEN/Andet/Rav%20teksten.html>
- Nadein K. S., Perkovsky E. E., Moseyko A. G., Labandeira C. C. New late Eocene Chrysomelidae (Insecta: Coleoptera) from Baltic, Rovno and Danish ambers. *Papers in Palaeontology*. 2016;2:117–137. DOI: 10.1002/spp2.1034
- Natkaniec-Nowak L., Drzewicz P., Stach P. The overview of analytical methods for studying of fossil natural resins. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2023;21:1–23. DOI: 10.1080/10408347.2023.2200855
- Nissenbaum A., Yaker D. Stable isotope composition of amber. In: *Amber, Resinite, and Fossil Resins*. Washington: ACS; 1995. p. 32–42.
- Nørregaard E. M. Rav og Retinit fra danske Tertiæraflejringer. *Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening*. 1903;(9):67–69.
- Pagacz J., Naglik B., Stach P., Drzewicz P., Natkaniec-Nowak L. Maturation process of natural resins recorded in their thermal properties. *Journal of Materials Science*. 2020;55(10):4504–4523. DOI: 10.1007/s10853-019-04302-0
- Pedersen G. K., Pedersen S.A.S. Geology of the early Eocene Fur Formation, a unique deposit in the North Sea Basin. Excursion guide to geological key localities on Mors and Fur, northern Denmark. Prepared for Wintershall Norge AS. GEUS. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport. 2013;47:1–55. <https://doi.org/10.22008/gpub/29566>
- Perkovsky E. E. Tropical and Holarctic ants in late Eocene ambers. *Vestnik Zoologii*. 2016;50:111–122. DOI: 10.1515/vzoo-2016-0014
- Perkovsky E. E. Comparison of biting midges of the early Eocene Cambay amber (India) and late Eocene European ambers supports the independent origin of European ambers. *Vestnik Zoologii*. 2017;51:275–284. DOI: 10.1515/vzoo-2017-0033
- Ravn J. P. J. Nogle Bemærkninger om danske tertieraflejringeres alder? *Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening*. 1897;1(4):1–16.
- Rice P. C. *Amber: the golden gem of the ages*. 3rd ed. Geoscience Press; 1999. 289 p.
- Saraauw G.F.L. Cromer-skovlaget i Frihavnen og trælevningerne i de ravførende sandlag ved København. *Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening*. 1897;1(4):17–44.
- Simonsen S. Bernsteinsuche auf der Insel Fanø. *Arbeitskreis Paläontologie Hannover*. 2008;36:122–128.
- Simutnik S. A., Perkovsky E. E., Vasilenko D. V. Efesus trufanovi Simutnik gen. et sp.n. (Hymenoptera: Chalcidoidea: Encyrtidae) from late Eocene Danish amber. *Russian Entomological Journal*. 2020;29(3):298–302. DOI: 10.15298/rusentj.29.3.10
- Szewdo J., Sontag E. The traps of the «amber trap». Amber-trapped insects trap scientists with enigmas. In: Berning B., Podenas S., eds. *Amber: Archive of the Deep Time*. Denisia. 2009;26:155–169.
- Tshernyshev S. E., Alekseev V., Bukejs A., Vasilenko D. V., Legalov A. A., Perkovsky E. E. First record of the family Melyridae (Coleoptera: Cleroidea) in late Eocene European ambers with description of a new tribe, a new genus and seven new species. *Zootaxa*. 2025;5696(4):542–566. DOI: 10.11646/zootaxa.5696.4.5

Поступила в редакцию / Received 29.07.2026

Исследование сейсмичности в районе Нанкайского глубоководного желоба методом LURR с целью ретроспективной оценки прогноза землетрясений

А. С. Закупин¹, Д. В. Костылев^{1,2}, Н. В. Костылева^{1,2}

¹ Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

² Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск, Россия
dikii79@mail.ru, d.kostylev@imgg.ru, n.kostyleva@imgg.ru

Нанкайский глубоководный желоб представляет собой геологический объект с высокой сейсмической опасностью, особенно в южной части, в районе японского острова Кюсю, где в 2016 и 2024 годах произошли землетрясения магнитудой более 7.0. Целью исследования являлся ретроспективный прогноз сильных землетрясений в южном сегменте Нанкайского глубоководного желоба за период 2010–2025 годы с использованием метода среднесрочного прогноза Load/Unload Response Ratio (LURR). Расчёты параметра LURR выполнены в девяти круговых областях, равномерно покрывающих очаговые зоны землетрясений магнитудой 7.3 в 2016 году и 7.1 в 2024 году. Выявленные аномалии LURR сопоставлялись во временной и пространственной областях с целевыми землетрясениями магнитудой более 6.0. Установлено, что близко расположенные сейсмические очаги характеризуются высокой чувствительностью к землетрясениям $M > 6.0$, вызывающим резкие изменения параметра LURR. Такие наведённые аномалии составили до половины всех ложных признаков. После исключения этих событий из статистического анализа результаты продемонстрировали приемлемую эффективность метода для оценки сейсмической опасности исследуемого района: все восемь землетрясений $M > 6.0$ имели прогностические признаки, составившие 72 % от общего числа выявленных аномалий. Средняя продолжительность периода тревоги составила около шести месяцев. Полученные результаты подтверждают перспективность применения метода LURR для среднесрочного прогноза сильных землетрясений в зонах субдукции.

Ключевые слова: сейсмичность, землетрясение, LURR, аномалия, прогноз

Study of seismicity in the Nankai trough area using the LURR method for retrospective evaluation of earthquake prediction

A. S. Zakupin^{1,2}, D. V. Kostylev^{1,2}, N. V. Kostyleva^{1,2}

¹ Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

² Sakhalin Branch FRC «Geophysical Survey RAS», Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

The Nankai Trough is a geological feature characterized by a high level of seismic hazard, particularly in its southern part near the Japanese island of Kyushu, where earthquakes with magnitudes greater than 7.0 occurred in 2016 and 2024. The aim of this study is to conduct a retrospective forecast of strong earthquakes in the southern segment of the Nankai Trough during the period 2010–2025 using the Load/Unload Response Ratio (LURR) method for medium-term earthquake prediction. LURR calculations were performed in nine circular areas uniformly covering the source zones of earthquakes with magnitudes of 7.3 in 2016 and 7.1 in 2024. The detected LURR anomalies were compared with target earthquakes with magnitudes greater than 6.0 in both the temporal and spatial domains. The results showed that closely located seismic sources exhibit high sensitivity to earthquakes with $M > 6.0$, causing sharp changes in the LURR parameter. These induced anomalies accounted for up to half of all false precursors. After excluding these events from the statistical analysis, the results demonstrated an acceptable efficiency of the method for assessing seismic hazard in the study area: all eight earthquakes with $M > 6.0$ were preceded by precursory signals, which accounted for 72 % of the total number of detected anomalies. The average duration of the alarm period was approximately six months. The results confirm the potential of the LURR method for medium-term forecasting of strong earthquakes in subduction zones.

Keywords: earthquake, seismic activity, LURR anomaly, prediction

Введение

Метод среднесрочного прогноза землетрясений LURR известен с 1991 года, когда появились первые публикации китайских ученых (Yin X., Yin C., 1991).

Последние работы в данном направлении были сфокусированы на разработке метода ретроспективных прогнозов землетрясений (Yin X.C. et al., 2006), оползней (Zhang W.J. et al., 2006), а также экспериментах на образцах горных пород для изучения их физико-

Для цитирования: Закупин А. С., Костылев Д. В., Костылева Н. В. Исследование сейсмичности в районе Нанкайского глубоководного желоба методом LURR с целью ретроспективной оценки прогноза землетрясений // Вестник геонаук. 2026. 9(381). С. 38–45. DOI: 10.19110/geov.2026.9.4

For citation: Zakupin A. S., Kostylev D. V., Kostyleva N. V. Study of seismicity in the Nankai trough area using the LURR method for retrospective evaluation of earthquake prediction. Vestnik of Geosciences, 2026, 9(381), pp. 38–45. DOI: 10.19110/geov.2026.9.4



механических свойств (Gong F.-Q. et al., 2006; Zhu F.C. et al., 2016; Zhao F., He M.C., 2017).

Одно из новейших исследований посвящено комплексованию отклика LURR в деформационном и геоэлектрическом полях (Yu C. et al., 2022). Результаты многочисленных работ рассматривались в целом позитивно с точки зрения прогноза, и это, несомненно, вызвало интерес и за пределами Китая. Так, с 2016 года метод LURR активно применяется в России, в Институте морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН (ИМГиГ ДВО РАН). Специально разработанное программное обеспечение (Zakupin, 2016) позволило проводить многочисленные расчёты для тестирования методики на различных сейсмических каталогах и оптимизировать настройки для получения лучших результатов.

В 2016 и 2017 годах удалось применить полученные наработки в реальном прогнозе. Прогнозы рассматривались на заседаниях Сахалинского отделения Российского экспертного совета по чрезвычайным ситуациям (СФ РЭС) (протокол № 3 от 11.05.2016 г., протокол № 2 от 16.03.2017 г.). Оба прогноза были признаны полностью реализованными после Оморского ($M_w = 5.8$, 14.08.2016 г.) и Крильонского ($M_w = 5.0$, 23.03.2017 г.) землетрясений (Zakupin et al., 2018; Закупин, Семенова, 2018). При этом в активе сахалинских исследователей оказались многочисленные работы по ретроспективному прогнозу землетрясений в различных сейсмоактивных регионах мира (Закупин, 2026).

Продолжением исследований стал запуск эксперимента по мониторингу территории о. Сахалин в режиме реального времени для своевременного выявления аномалий и подготовки прогнозов. Эксперимент был запущен в 2022 году ИМГиГ ДВО РАН и Сахалинским филиалом Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (СФ ФИЦ ЕГС РАН). Подобным в практике российских исследований является продолжительный эксперимент в реальном времени с методами M8 и MSc (Kossobokov, 2011). Как утверждает автор, данные мировой сети обрабатывались каждые 6 месяцев, а результаты в режиме закрытого доступа публиковались на внутреннем сайте Института теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН. При этом даже при относительно скромной статистике целевых землетрясений (17 землетрясений с магнитудами >8.0) с 1992 по 2010 год в работе отсутствуют данные по всем землетрясениям, а приведены лишь некоторые примеры. Судя по итоговым результатам данного моделирования, представленных позже (Kossobokov, 2013), последними в цепочке успешных прогнозов стали землетрясения в Чили (2010 г.) и в Японии (2011 г.).

Известно, что данное исследование продолжается и в настоящее время. Эффективность эксперимента на о. Сахалин к 2026 году выражается в шести оформленных прогнозах, четырех реализованных, одном неуспешном и одном действующем. Результаты проведенной работы опубликованы в ряде статей (Закупин и др., 2023; Закупин, 2025). При этом авторы отмечают, что основной проблемой остаётся процент ложных тревог, который неизбежно будет сохраняться ввиду низкого уровня фоновой сейсмической активности в рабочем диапазоне магнитуд (от 3.3 до 5). В регионах с высокой сейсмической активностью, таких как

Япония или Турция, результаты ретроспективных исследований оказались лучше, поэтому возникает желание продолжать апробацию метода на таких каталогах, пусть и в ретроспективе. При выборе очередной цели для исследования принималось во внимание не только качество данных и уровень активности в регионе, но и наличие фактора ожидания сильных землетрясений по данным долгосрочных оценок. Таковой стала зона на стыке Филиппинской и Евразийской плит в районе о. Кюсю и о. Хонсю (Япония), где одним из интереснейших объектов является Нанкайский глубоководный желоб.

Нанкайский желоб — это подводная впадина, расположенная к югу от региона Нанкайдо на о. Хонсю примерно на 900 км от берега. Подстилающий её разлом Нанкай является источником разрушительных землетрясений. Вдоль Нанкайской впадины на юго-западе Японии Филиппинская морская плита субдуцирует под Евразийскую плиту, и здесь неоднократно происходили крупные межплитные землетрясения. Последним крупным надвиговым землетрясением в центральной части Нанкайской впадины у полуострова Кии было землетрясение Тонанкай 1944 года ($M_w = 8.2$) (Tanioka et al., 2004). Сейсмичность в зоне субдукции, вероятно, связана с балансом напряжений во входящей и субдуцирующей плитах, а также со взаимодействием между субдуцирующей и перекрывающей плитами (Obana et al., 2005). Исторические данные о крупных межплитных землетрясениях, зарегистрированных с VII века, указывают на интервал повторяемости в 100–200 лет. Эти крупные землетрясения представляли собой межплитные надвиговые землетрясения, вызванные субдукцией Филиппинской морской плиты под Юго-Западную Японию.

В августе 2024 года, после землетрясения с магнитудой $M_w = 7.1$, произошедшего у восточного побережья острова Кюсю, Японское метеорологическое агентство (Japan Meteorological Agency — JMA) заявило, что вероятность крупномасштабного землетрясения в районе разлома Нанкай выше обычного (URL: https://www.jma.go.jp/jma/press/2408/08e/NT_202408081945sv.pdf, дата обращения: 27.04.2026). Агентство отметило, что нельзя определить конкретно период, когда может случиться землетрясение, тем не менее предупреждение о возможном катаклизме было разослано в 707 муниципалитетов в 29 префектурах, которые могут пострадать в случае сильных подземных толчков. В этом же месяце Япония отменила состояние повышенной готовности к сильному землетрясению в районе Нанкайского жёлоба, но сохранила прогноз вероятности сильнейшего землетрясения в районе разлома Нанкай на ближайшие 30 лет.

Целью работы является изучение и оценка сейсмической опасности в районе Нанкайского глубоководного желоба методом LURR.

Данные и методы

Метод LURR (Yin X., Yin C., 1991; Yin X.C. et al., 1995; Yin X.C. et al., 2006) хорошо описан в монографии (Закупин, 2026), а потому сфокусируемся на нашей практике его использования в методологическом плане. Проводимые расчёты методом LURR позволяют делать среднесрочные оценки сейсмической опас-

ности. По ранее полученным данным для о. Сахалин и ряда других регионов, более 85 % случаев успешных ретроспективных прогнозов реализовывались в период до 2 лет с момента появления аномалий и определения зоны прогноза (Закупин, 2026). В этой связи традиционно используем данный период для нашего исследования.

В методике расчетов параметра LURR важную роль играет выбор подхода для определения расчетных областей, а также дискриминация аномалий и формирование зон прогноза. И в данном случае все эти принципы полностью соответствуют тем, что определены на каталоге достаточной глубины (за период 1997–2019 гг.) сейсмического режима о. Сахалин (Закупин, 2026). Отметим, что в качестве базового параметра для расчета LURR используется корень из сейсмической энергии (деформация Беньоффа), как и в большинстве расчетов, проводимых китайскими коллегами (Yin X.C. et al., 1995).

При вычислении параметра используется покрытие территории расчетными областями (окружности радиусом в один градус с шагом через полградуса). Параметры для математической обработки — скользящее окно в 360 суток и шаг в 5 дней. Итоговая рабочая выборка землетрясений в круговой области расчета дополнительно ограничена в диапазоне магнитуд от 3.3 до 5.0 («магнитудный cutoff», согласно Yin X.C. et al., 1995). Все перечисленные параметры обработки ранее прошли апробацию в многочисленных экспериментальных исследованиях и доказали свою состоя-

тельность (Закупин, 2026) не только для сахалинских каталогов. В качестве инструмента для выделения аномалий применяется порог дискриминации, который равен 3 и при превышении которого параметр находится в области аномальных значений. Если в период тревоги в зоне прогноза происходит землетрясение с заявленной магнитудой ($M \geq 5.0$), то прогноз считается реализовавшимся и наблюдение завершается.

Исходным материалом для проведенных исследований послужили каталоги JMA с 2010 по 2025 год включительно (URL: <https://www.fnet.bosai.go.jp/event/search.php?LANG=en>, дата обращения: 15.05.2026). Метод LURR в первоисточнике (Yin X., Yin C., 1991) связывает появление аномалии с подготовкой в расчетной зоне землетрясения с магнитудой выше верхней границы расчетной выборки. При этом нижняя граница расчетной выборки устанавливается произвольно для отсека слабой (фоновой) сейсмичности. Верхняя же граница показывает минимальную магнитуду ожидаемого землетрясения (главного толчка). Оба этих порога подбираются с учетом характера региональной сейсмичности. Нами экспериментально установлено, что приемлемым вариантом при расчетах нижней границы может быть выбрана $M = 3.5$. Выборка землетрясений расположена в координатах 30–34° северной широты и 130–134° восточной долготы. В данную область попадают 9 расчетных областей, показанных на рис. 1 в виде пронумерованных кругов. Всего количество землетрясений, попавших в выборку, составило 1056, из них с магнитудой $M > 6.0$ — 10.

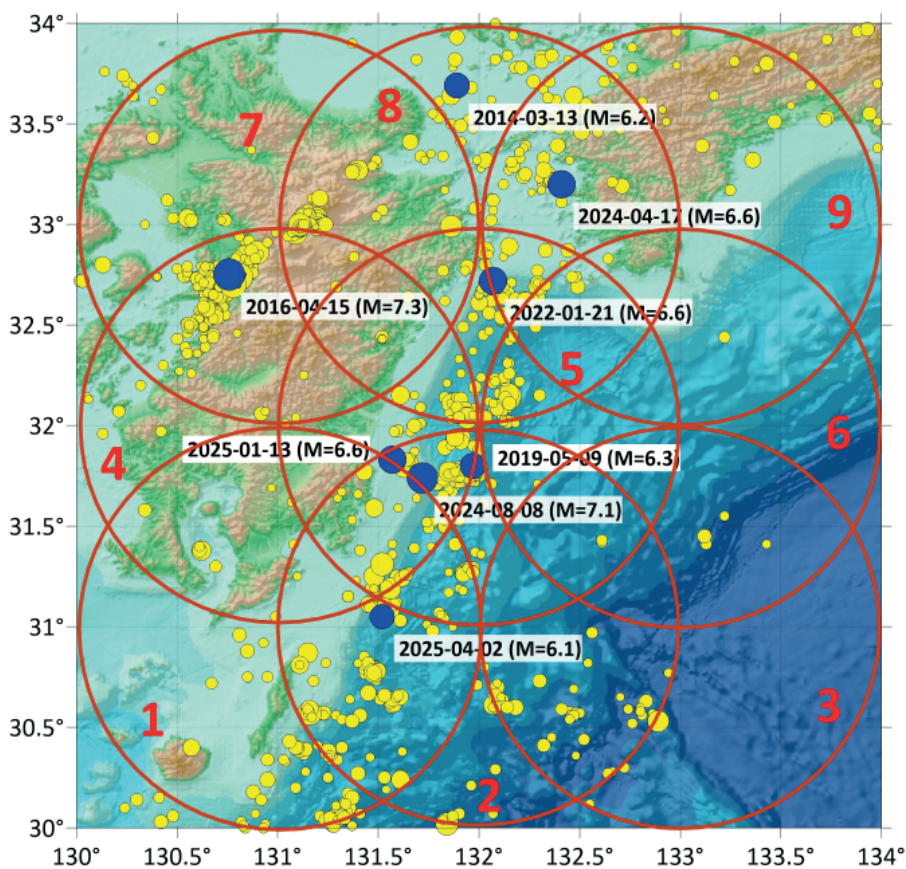


Рис. 1. Карта района исследования: красные круги — расчетные области, желтыми маркерами показаны землетрясения с $M \geq 3.5$, синими маркерами — с $M > 6.0$ за период 2010–2025 гг. (после декластеризации)

Fig. 1. Map of the study area: red circles represent the calculated areas, yellow markers show earthquakes with $M \geq 3.5$, and blue markers show earthquakes with $M > 6.0$ for the period 2010–2025 (after declustering)



Для определения целей прогноза необходимо было провести декластеризацию. Декластеризация выполнена с использованием кластерного метода (Reasenber, 1985), позволяющего корректировать различные параметры идентификации афтершоков путем связывания землетрясений с кластерами в соответствии с пространственными и временными зонами взаимодействия. Использовался программный комплекс ZMAP (Wiemer, 2001), в котором данный алгоритм реализован. После декластеризации исходного каталога в нём осталось 873 события, из них с магнитудой $M > 6.0 - 8$. Эти землетрясения также показаны на карте (рис. 1) в виде синих кружков.

Результаты и обсуждение

Перед тем как приступить к работе, в произвольных ячейках необходимо выполнить расчёты в круговых областях (радиус, как и во всех наших работах, равен одному градусу) с центрами в эпицентрах наиболее сильных землетрясений. Таких у нас два, в 2016 и в 2024 годах (рис. 2, а, б).

Как можно видеть на графиках, в эпицентре первого землетрясения (15.04.2016 г., $M = 7.3$) параметр LURR 4 раз выходит в область аномальных значений (рис. 2, а), причём аномалия в 2015 году появилась за 10 месяцев до землетрясения и явилась его предвестником. Две аномалии параметра в эпицентре второго землетрясения (08.08.2024 г., $M = 7.1$) в июле 2016 года

и декабре 2021 года (рис. 2, б) не являются предвестниками данного землетрясения. В итоге предвестник зафиксирован только для землетрясения 2016 года.

Результаты расчётов в девяти произвольных областях, равномерно покрывающих исследуемую область, должны показать прежде всего минимальные отклонения от эпицентральных расчётов, то есть выделенные на рис. 2, а, б аномалии должны повторяться хотя бы в некоторых из произвольных расчётных областей. Результаты расчётов представлены в таблице 2, а графики — на рис. 2, с–i. В двух из девяти расчётных областей количество данных оказалось недостаточным для проведения расчётов (области 3 и 6). В последнем столбце таблицы 2 (информация по аномалиям внутри отдельных расчётных областей) зеленым цветом отмечены аномалии, которые подходят в качестве предвестников (произошли в период до двух лет перед землетрясением) для тех из восьми землетрясений из таблицы 1 (13.03.2014 г., 15.04.2016 г., 09.05.2019 г., 21.01.2022 г., 17.04.2024 г., 08.08.2024 г., 13.01.2025 г., 02.04.2025 г.), которые входят в расчётную область и указаны в столбце 3 таблицы 2.

Фиолетовым цветом отмечены аномалии, произошедшие перед землетрясениями, которые не попали в область расчёта, но находятся в зоне нашего исследования (из списка в таблице 1) или имеют значительное влияние на региональную сейсмичность (как, например, землетрясение Тохoku в марте 2011 года). Красным цветом отмечены ложные аномалии, не име-

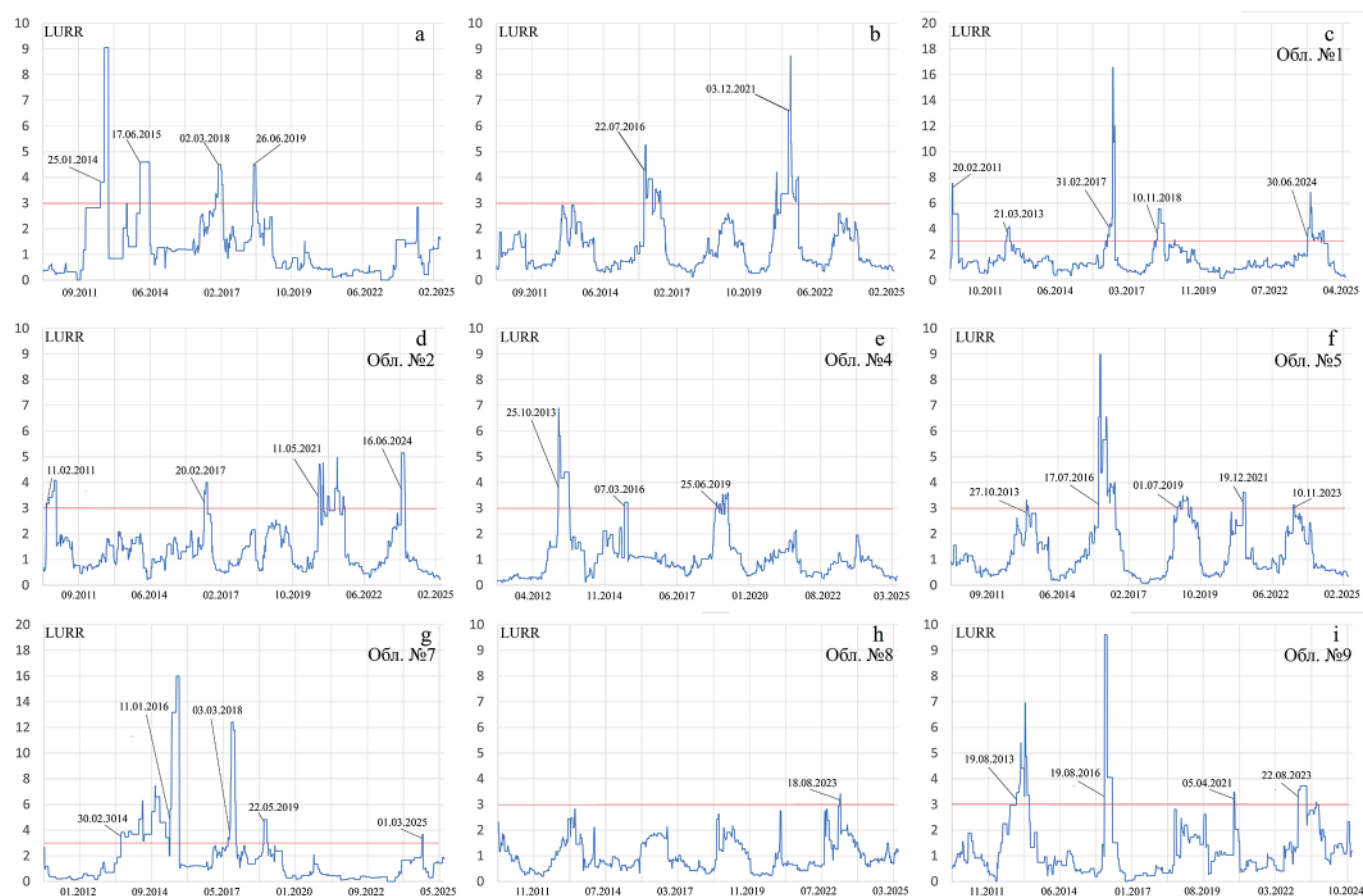


Рис. 2. Графики LURR-параметра для эпицентральных областей землетрясений 15.04.2016 г. (а) и 08.08.2024 г. (б), а также семи произвольных областей в районе исследования (с–i)

Fig. 2. LURR parameter graphs for the epicentral regions of the earthquakes of 15.04.2016 (a) and 08.08.2024 (b), as well as 7 arbitrary regions in the study area (c–i)



ющие «целевых» землетрясений. В столбце 3 таблицы 2 указаны даты землетрясений, которые попали в расчётную область, а также те, которые вне её пределов на расстоянии не более 10 % от линейного размера геометрической фигуры (круга), то есть 0.2°. Зелёным цветом отмечены те землетрясения, которые имели свои аномалии в данной расчётной области, а красным — которые не имели, это так называемые «пропущенные цели». Относительно красных записей в обоих столбцах есть интересные нюансы, которые обсудим позже, а пока, следуя чёткому формализму, будем их считать ложными аномалиями (фиолетовые также попадают в список ложных) и «пропущенными целями».

На основании данных таблицы 2 можно предложить самую простую статистическую оценку. Из 27 аномалий 11 (41 %) попадают в периоды тревоги (два года) для 8 землетрясений. Соответственно, 59 % (16 ано-

маний) — ложные. Такая статистика помещает результат работы на уровень среднестатистический и ничем особо не выделяющийся. При этом из 16 ложных аномалий немалое количество (половина) по времени подходит к землетрясениям из списка (фиолетовый цвет), но в пространстве расчётные области, в которых они фиксируются, не состыковываются со своими возможными целями.

Надо отметить, что из восьми таких аномалий в пяти случаях эпицентры выпадают из зоны расчёта не более чем на 0.3–0.8° (за исключением области 1 и 2, где значительно отклоняются три фиолетовые аномалии) и при прогнозе по данным аномалиям в реальных условиях могли бы быть признаны предвестниками. При этом возможная цель для двух из трёх фиолетовых аномалий в первой и второй расчётных областях находится вне области нашего исследования, но выглядит очень интересно. Аномалии в феврале 2011 года

Таблица 1. Независимые землетрясения в районе исследования с $M > 6.0$

Table 1. Independent earthquakes in the study area with $M > 6.0$

Год Year	Месяц Month	Число Day	Час Hour	Минута Minute	Широта, °с. ш. Latitude, °N	Долгота, °в. д. Longitude, °E	Глубина, км Depth, km	Магнитуда, M Magnitude, M
2014	3	13	17	6	33.69	131.89	78	6.2
2016	4	15	16	25	32.75	130.76	12	7.3
2019	5	9	23	48	31.80	131.97	25	6.3
2022	1	21	16	8	32.72	132.07	45	6.6
2024	4	17	14	14	33.20	132.41	39	6.6
2024	8	8	7	42	31.74	131.72	31	7.1
2025	1	13	12	19	31.83	131.57	36	6.6
2025	4	2	14	3	31.05	131.52	36	6.1

Таблица 2. Аномалии параметра LURR в девяти расчётных областях

Table 2. LURR parameter anomalies in nine calculation areas

№	Центр расчётной области Center of the calculation area	Землетрясения из табл. 1, попадающие в область прогноза (внутри круга $\pm 10\%$ от диаметра) Earthquakes from Table 1 that fall within the forecast area (inside the circle $\pm 10\%$ of the diameter)	Даты выхода параметра в область аномальных значений (аномалии) Dates of the parameter entering the area of anomalous values (anomalies)
1	31° с. ш. 131° в. д. 31° N 131° E	02.04.25 (6.1), 13.1.25 (6.6), 9.5.19 (6.3), 8.8.24 (7.1)	20.02.2011, 21.03.2013, 31.02.2017, 10.11.2018, 30.06.2024
2	31° с. ш. 132° в. д. 31° N 132° E	02.04.25 (6.1), 13.1.25 (6.6), 9.5.19 (6.3), 8.8.24 (7.1)	11.02.2011, 20.02.2017, 11.05.2021, 16.06.2024
3	31° с. ш. 133° в. д. 31° N 133° E	n/a	n/a
4	32° с. ш. 131° в. д. 32° N 131° E	15.4.16 (7.3), 02.04.25 (6.1), 13.1.25 (6.6), 9.5.19 (6.3), 8.8.24 (7.1)	25.10.2013, 07.03.2016, 25.06.2019
5	32° с. ш. 132° в. д. 32° N 132° E	9.5.19 (6.3), 8.8.24 (7.1), 13.1.25 (6.6), 02.04.25 (6.1), 21.1.22 (6.6), 17.4.24 (6.6)	27.10.2013, 17.07.2016, 1.07.2019, 19.12.2021, 10.11.2023
6	32° с. ш. 133° в. д. 32° N 133° E	n/a	n/a
7	33° с. ш. 131° в. д. 33° N 131° E	15.4.16 (7.3), 13.3.14 (6.2), 21.1.22 (6.6)	30.02.2014, 11.01.2016, 03.03.2018, 22.05.2019, 01.03.2025
8	33° с. ш. 132° в. д. 33° N 132° E	13.3.14 (6.2), 21.1.22 (6.6), 17.4.24 (6.6)	18.08.2023
9	33° с. ш. 133° в. д. 33° N 133° E	17.4.24 (6.6), 21.1.22 (6.6)	19.08.2013, 19.08.2016, 05.04.2021, 22.08.2023



появились менее чем за месяц до мегаземлетрясения Тохоку 11 марта 2011 года ($M = 9$). И в этом случае очень короткий временной фактор и масштаб события перекрыли бы любые расстояния от расчётной области до эпицентра (1345 км). Впрочем, пока для чистоты результата по-прежнему считаем все фиолетовые аномалии ложными.

Далее посчитаем максимальные значения для тревожных периодов перед каждым землетрясением (из 8 землетрясений у нас нет ни одного без аномалий перед ним), то есть будем рассматривать самые первые аномалии в двухлетнем периоде.

В случае землетрясения 13 марта 2014 года единственная аномалия появилась 30 февраля, за две недели до землетрясения (область 7). Первая аномалия до самого сильного землетрясения 15 апреля 2016 года ($M = 7.3$) была зафиксирована 11 января 2016 года (область 7). Здесь период тревоги составил 3 месяца. В случае землетрясения 9 мая 2019 года единственная аномалия (область 1) соответствует периоду тревоги 6 месяцев. Землетрясение 21 января 2022 года имеет два предвестника (области 5 и 9), первый из которых появился 5 апреля 2021 года, то есть за 9 месяцев. Для землетрясения 17 апреля 2024 года самая первая аномалия появилась 18 августа 2023 года и период тревоги в данном случае составляет 8 месяцев. Другое землетрясение в 2024 году произошло 8 августа, но находилось от апрельского на значительном удалении, а из двух аномалий в областях расчёта 5 и 8 преимуществом пользуется первая, которая находится в одной области с эпицентром (без допустимых отклонений). В этом случае после появления аномалии 10 ноября 2023 года до землетрясения прошло 9 месяцев. Перед землетрясением 13 января 2025 года появляется аномалия 16 июня 2024 года, которая была выделена в области 2 и произошла за 5 месяцев до события. И последнее землетрясение, 2 апреля 2025 года, имеет в областях 1 и 2 схожие аномалии в июне 2024 года, которые хорошо территориально подходят к данному событию. Здесь период тревоги составляет 10 месяцев. То есть для всех землетрясений период тревоги составил менее одного года, что в половину меньше нами установленного предела. Средний же период по 8 землетрясениям и вообще составляет около 6.3 месяца, (максимальный — 10, а минимальный — 0.5).

На рис. 3 показаны карты и представлены землетрясения, для которых в конкретной расчётной области выделены аномалии, включая те, на которые указали аномалии, отмеченные фиолетовым цветом. На представленных картах для каждой расчётной области показаны землетрясения (красные маркеры), на которые в расчётных областях фиксировались аномалии (предвестники), и преимущественно эти землетрясения в зоне или поблизости ретроспективно имели прогноз. Наиболее проблемная в данной связи область 4, где целая группа землетрясений не имела предвестников (желтые маркеры на картах). Однако, если посмотреть на карте сейсмичности района (рис. 1), в 4-ю расчётную область оказались вовлечены практически полностью две совершенно разные очаговые области (с эпицентрами сильнейших землетрясений 2016 и 2024 гг.). Результат такого расчёта вряд ли может быть очевидным, и то, что в этой области всё-таки выявлена аномалия на землетрясение 2016 года, на-

верное, лучшее, что можно было ожидать. Также интересно выглядит землетрясение 2019 года, на которое в ряде областей, которые включали в себя его эпицентр, аномалий обнаружено не было.

А теперь обсудим отложенный вопрос по ложным тревогам и «пропущенным целям» (красные записи в таблице 2). Из 8 ложных аномалий 6 произошли практически сразу же после землетрясений 2016 года (через 3 месяца), 2019 года (без паузы), 2024 года (через два месяца) и 2025 года (меньше 2 месяцев), что фактически исключает их из разряда ложных и переводит в разряд наведенных. Такие периоды после сильных землетрясений в ближней зоне вполне приемлемы для изменения напряженно-деформированного состояния на соседних разломах, что, конечно же, повлияет на LURR, который напрямую от этого зависит. То есть в реальной ситуации аномалии, которая появилась бы через 1–3 месяца после землетрясения с $M > 6.0$, внимания уделено не было бы.

По «пропущенным целям» опять же формальное выполнение требований для оценки прогноза многое оставляет за кадром. Например, в области 8 пропущены землетрясения внутри неё в 2014 и 2022 годах. Однако в соседних областях 7 и 9, для которых их эпицентры пограничные и входят в оценку, предвестники для этих землетрясений есть (в 7 — для 2014 года, в 9 — для 2022 года). Получается, что эти землетрясения в нашем исследовании «пропущенными» назвать довольно проблематично с точки зрения здравого смысла. Такая же история с землетрясением 2019 и других годов, где отрабатывали разные (но не все, куда можно отнести эпицентры) области расчёта.

И если с «пропущенными целями» всё относительно радужно, то что по итогу с ложными аномалиями? Если признать сам факт наведенности и наличия триггерного эффекта в природе как такового, то 6 аномалий надо исключить из рассмотрения. Таким образом, останется всего две ложные аномалии (без учёта фиолетовых) из 27, что фактически приближает этот параметр к ничтожному. При этом, согласно картам на рис. 3, из 7 «фиолетовых» аномалий — прогнозов на землетрясения вне области расчёта — только 3 землетрясения, включая Тохоку 2011 года, находятся на большом расстоянии от своих областей расчёта. Остальные 4 вполне можно считать также успешными прогнозами.

Если сравнить результаты расчётов с аномалиями в эпицентральных зонах, то в целом они имеют соответствие, а аномалия в июне 2015 года (рис. 2, а) произошла раньше, чем единственная аномалия в январе 2016 года, что для эпицентральной области вполне приемлемо. Эпицентры землетрясений 2022 и 2024 годов находятся недалеко друг от друга, поэтому аномалию на рис. 2, б в декабре 2021 года можно отнести к землетрясению в 2022 году.

Таким образом, если принять соответствующие допущения, то есть признать реализованными 4 аномалии перед несильно отдалёнными землетрясениями (из числа фиолетовых), а также исключить 6 аномалий из числа ложных, определив их как наведенные, то можно констатировать, что статистика сильно меняется. Из 21 аномалии 15 (72 %) попадают в периоды тревоги для 8 землетрясений, а ложными являются всего 6 (28 %). Пропущенных событий нет вообще, так

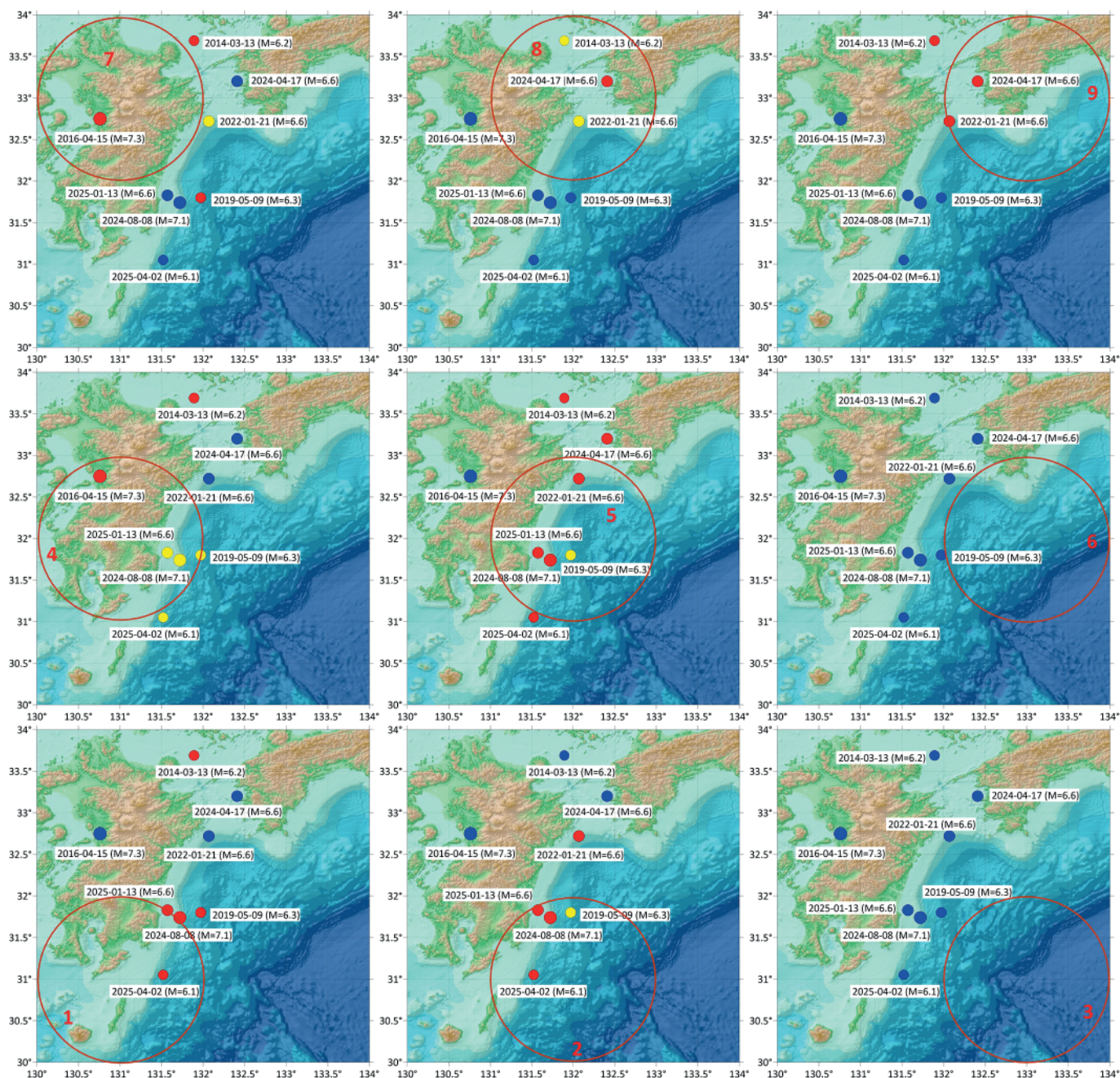


Рис. 3. Карта распределения ретроспективных прогнозов землетрясений в девяти расчётных областях: красные маркеры — эпицентры землетрясений, для которых в расчётной области есть аномалия (успешный прогноз), желтые маркеры — эпицентры землетрясений в области расчёта без предвестников («пропущенные цели»), синие маркеры — оставшиеся (вне прогнозных категорий), по данным таблицы 2

Fig. 3. The map of the distribution of retrospective earthquake forecasts for nine calculation areas: red markers — earthquake epicenters for which there is an anomaly in the calculation area (successful forecast), yellow markers — earthquake epicenters in the calculation area without precursors («missed targets»), blue markers — remaining according to the data in Table 2 (outside the forecast categories)

как, пропуская землетрясение в отдельной области, мы обнаруживаем его в соседних областях расчёта.

Закключение

В работе представлены результаты анализа сейсмичности в районе о. Кюсю (Япония, стык Филиппинской и Евразийской плит) методом LURR с 2010 по 2025 год. с целью ретроспективной оценки прогноза землетрясений с $M > 6.0$. С учётом предложенных допущений (обоснованных на качественном уровне) результат сле-

дующий: 72 % успешных прогнозов, 28 % ложных тревог и отсутствие «пропущенных целей». Отмечено, что результат достигается в том числе достаточным количеством расчётных областей. Важным итогом также стало полученное значение для среднего периода тревоги (около полугода), которое в четыре раза меньше, чем традиционно применяемое авторами для оценок данным методом.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания № 075-00609-26 Института морской геологии и геофизики ДВО РАН



и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Литература / References

- Закупин А. С. Программный комплекс для анализа неустойчивости сейсмического процесса // Геоинформатика. 2016. № 1. С. 34–43.
- Zakupin A. S. Software package for analyzing the instability of the seismic process. Geoinformatics. 2016;1:34–43. Russian.
- Закупин А. С., Семенова Е. П. Исследование процесса подготовки сильных землетрясений ($M_w > 5$) на Сахалине методом LURR // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2018. № 5. С. 83–98. <https://doi.org/10.18454/2079-6641-2018-25-5-83-98>
- Zakupin A. S., Semenova E. P. Study of the preparation process of strong earthquakes ($M_w > 5$) on Sakhalin using the LURR method. Bulletin KRASEC. Phys. and math. sciences. 2018;5:83–98. Russian.
- Закупин А. С., Костылева Н. В., Костылев Д. В. От ретроспективы к системе реального времени — прогноз землетрясений методом LURR на Сахалине (2019–2022 гг.) // Геосистемы переходных зон. 2023. Т. 7, № 1. С. 54–74.
- Zakupin A. S., Kostyleva N. V., Kostylev D. V. From retrospective to a real-time system — earthquake prediction by the LURR method on Sakhalin (2019–2022). Geosystems of Transition Zones. 2023;7(1):54–74. Russian. DOI 10.30730/gtr.2023.7.1.054-064.064-074
- Закупин А. С. Прогноз землетрясений методом LURR на Сахалине в режиме реального времени. Результаты мониторинга в 2023–2025 гг. и их оценка в связи с мегаземлетрясением на Камчатке 30.07.2025, М 8.8 // Геосистемы переходных зон. 2025. Т. 9, № 3. С. 256–264. DOI 10.30730/gtr.2025.9.3.256-264
- Zakupin A. S. Real-time earthquake prediction by the LURR method on Sakhalin. Results of monitoring in 2023–2025 and their assessment in connection with the megathrust earthquake in Kamchatka on 30.07.2025, M 8.8. Geosystems of Transition Zones. 2025;9(3):256–264. Russian.
- Закупин А. С. Анализ возможностей метода прогноза землетрясений LURR для различных сейсмоопасных регионов мира. Южно-Сахалинск: Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2026. 152 с. DOI: 10.30730/978-5-6044483-8-0.2026-10
- Zakupin A. S. Analysis of the capabilities of the LURR earthquake prediction method for various seismically hazardous regions of the world. Yuzhno-Sakhalinsk: Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, 2026. 152 p. Russian.
- Gong F.-Q., Chen W., Song L., Yan J.-Yi. Load–unload response ratio characteristics of rock materials and their application in prediction of rockburst proneness. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2019;78:5445–5466. doi: 10.1007/s10064-019-01474-6
- Kossobokov V. G. Are mega earthquakes predictable? Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics. 2011;47(8):951–96.
- Kossobokov V. G. Earthquake prediction 20 years of global experiment. Natural Hazards. 2013;69:1155–1177.
- Obana K., Kodaira S., Keneda Y. Seismicity in the incoming/subducting Philippine Sea plate off the Kii Peninsula, central Nankai trough. Journal of Geophysical Research. 2005;110. doi:10.1029/2004JB003487
- Reasenbergs P. Second-order moment of central California seismicity, 1969–1982. Journal of Geophysical Research. 1985;90(3):5479–5495.
- Tanioka Y., Kusunose T., Babu T., Hasegawa Y. Large earthquake along the Nankai trough, the 1944 Tanankai earthquake (M_w 8.0) and two 2004 Tonankai-oki earthquakes (M_w 7.2 and 7.4). EOS Transactions, AGU. 2004;85.
- Wiemer S. A software package to analyze seismicity: ZMAP. Seismological Research Letters. 2001;72:373–382.
- Yin X., Yin C. The precursor of instability for nonlinear system and its application to earthquake prediction. Science in China. 1991;34:977–986.
- Yin X. C., Chen X. Zh., Song Zh. P., Yin C. A new approach to earthquake prediction: The Load/Unload Response Ratio (LURR) theory. Pure and Applied Geophysics. 1995;145 (3–4): 701–715. <https://doi.org/10.1007/bf00879596>
- Yin X. C., Zhang L. P., Zhang H. H., Yin C., Wang Y., Zhang Y., Peng K., Wang H., Song Z., Yu H., Zhuang J. LURR's twenty years and its perspective. Pure and Applied Geophysics. 2006;163:2317–2341. <https://doi.org/10.1007/s00024-006-0135-x>
- Yu C., Wang S., Yu H. Study of the electromechanical coupling process before the 2020 Ms 6.4 Yutian, China earthquake. Scientific Reports. 2022;12(17622). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22532-2>
- Zakupin A. S., Levin Iu N., Boginskaia N. V., Zherdeva O. A. Development of medium-term prediction methods: A case study of the August 14, 2016 Onor ($M_w = 5.8$) earthquake on Sakhalin. Russian Geology and Geophysics. 2018;59(11):1526–1532. <https://doi.org/10.15372/gig20181112>
- Zhao F., He M. C. Size effects on granite behavior under unloading rockburst test. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2017;76(3):1–15. <https://doi.org/10.1007/s10064-016-0903-5>
- Zhang W. J., Chen Y. M., Zhan L. T. Loading/unloading response ratio theory applied in predicting deep-seated landslides triggering. Engineering Geology. 2006;82(4):234–240. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.11.005>
- Zhu F. C., Ai C. C., Liu B. X., Tian F. L. Study on load/unload response ratio of brittle rocks under different stress paths. Metal Mine. 2016;45(4):52–57. Chinese.

Поступила в редакцию / Received 31.08.2026

Опыт применения анализа элементных и минеральных примесей для установления вероятного местонахождения черепа мамонта

Д. В. Пономарев¹, А. Ю. Пузаченко², И. С. Астахова¹, П. А. Безносков¹, Г. В. Игнатьев¹

¹ Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; dyponomarev@inbox.ru

² Институт географии РАН, Москва, Россия; andreypuzak@gmail.com

Для атрибуции черепа мамонта, хранящегося в геологическом музее им. А. А. Чернова, использовали минералогическо-геохимические методы. Выполнен сравнительный анализ содержания 41 элемента-примеси и 25 минеральных видов в костных остатках со стоянки Бызовая и других местонахождений Европейского Северо-Востока России. Установлена геохимическая специфика костей черепа, выраженная в повышенных содержаниях U, Cr, Sc и пониженных концентрациях Co и Mn, сближающая его с бызовскими образцами, однако количественные различия в микроэлементном составе не позволяют сделать однозначный вывод. В отличие от костей с Бызовой в черепе повышены содержания рубидия и ниобия. Минеральные примеси черепа демонстрируют значительное своеобразие, отличающее его от всех остальных образцов. Основными аргументами для гипотезы о местонахождении черепа остаются радиоуглеродная датировка (27740 ± 150 , GrA-66591) и тот факт, что Бызовая является наиболее богатым палеонтологическим местонахождением с остатками мамонта в регионе.

Ключевые слова: примеси, микроэлементы, минералы, костные остатки, мамонт, плейстоцен, север России

Application of elemental and mineral impurity analysis to determine the provenance of the mammoth skull

D. V. Ponomarev¹, A. Yu. Puzachenko², I. S. Astakhova¹, P. A. Beznosov¹, G. V. Ignatyev¹

¹ Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktivkar, Russia

² Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

We applied mineralogical and geochemical methods to locate the mammoth skull repositied in the Chernov Geological Museum. The comparative analysis of the content of 41 trace elements and 25 mineral species in bone remains from the Byzovaya site and other localities in northeastern European Russia was performed. The skull bones exhibited geochemical characteristics – elevated concentrations of U, Cr, and Sc, along with reduced levels of Co and Mn – similar to those of the Byzovaya specimens. However, the quantitative differences in the trace element composition did not result in an unambiguous conclusion. Unlike the bones from Byzovaya, the skull showed elevated content of rubidium and niobium. The mineral inclusions in the skull were considerably distinctive, setting it apart from all other samples. The principal evidence supporting the attribution of the skull to the Byzovaya site was the radiocarbon dating (27740 ± 150 BP, GrA-66591) and the fact that Byzovaya is the richest paleontological locality yielding mammoth remains in the region.

Keywords: impurities, trace elements, minerals, bone remains, mammoth, Pleistocene, Northern Russia

Введение

В фондах Геологического музея им. А. А. Чернова ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар) хранится фрагмент черепа шерстистого мамонта *Mammuthus primigenius* Blumenbach, 1799 (экз. ИГКНЦ № 562/45), интересный своими патологическими изменениями (Пономарев и др., 2025). К сожалению, место и обстоятельства находки черепа неизвестны, и можно только предполагать, что череп был найден в Республике Коми или, возможно, более широко — на Европейском Северо-Востоке (Республика Коми, Ненецкий автономный округ, Архангельская область). На данной территории известно довольно много находок (как правило, единичных) остатков мамонта и других представителей четвертичной мегафауны (Смирнов, 1937; Пономарев,

2001; Безносков, Пономарев, 2021). Среди местонахождений с многочисленными остатками стоит отметить позднелепестчатые стоянки Бызовая, Мамонтова Курья и Медвежья Пещера, но особенно выделяется в отношении состава фауны стоянка Бызовая на р. Печоре, т. к. среди костных остатков здесь резко преобладают кости мамонта (Кузьмина, 1971; Гуслицер, Лийва, 1972; Пономарев, 2001). В разные годы раскопок из отложений стоянки были извлечены около 2700 костных остатков млекопитающих мамонтовой фауны (*Canis lupus* L., *Vulpes lagopus* L., *Ursus arctos* L., *Mammuthus primigenius* Blum., *Equus ferus* Boddaert, 1785, *Coelodonta antiquitatis* Blum., *Rangifer tarandus* L., *Bison priscus* Boj., *Ovibos moschatus* (Zimmermann, 1780)), из которых 98 % составляют кости мамонта (Кузьмина, 1971; Павлов,

Для цитирования: Пономарев Д. В., Пузаченко А. Ю., Астахова И. С., Безносков П. А., Игнатьев Г. В. Опыт применения анализа элементных и минеральных примесей для установления вероятного местонахождения черепа мамонта // Вестник геонаук. 2026. 9(381). С. 46–58. DOI: 10.19110/geov.2026.9.5

For citation: Ponomarev D. V., Puzachenko A. Yu., Astakhova I. S., Beznosov P. A., Ignatyev G. V. Application of elemental and mineral impurity analysis to determine the provenance of the mammoth skull. Vestnik of Geosciences, 2026, 9(381), pp. 46–58. DOI: 10.19110/geov.2026.9.5



1996; Пономарев, 2001; Svendsen et al., 2010). По мнению Й.-И. Свендсена с соавторами (2010), общее число костных остатков мамонта может быть около 4000, т. к. примерно 1300 ископаемых костей были утрачены в водах Печоры в результате «лодочного инцидента» в 1965 г.

Астрономический возраст изучаемого черепа мамонта (ИГКНЦ № 562/45) по данным радиоуглеродного анализа (27740 ± 150 GrA-66591, калиброванный диапазон (1σ) 31470–31825 кал. лет) (Пономарев и др., 2025) хорошо согласуется с радиоуглеродными датировками костных остатков мегафауны из отложений стоянки Бызовая, большинство из которых находится в интервале 27–30 тыс. ^{14}C лет (30620–34730 кал. лет) (Svendsen et al., 2010; Slimak et al., 2011).

Палеолитическая стоянка Бызовая расположена на правом берегу Печоры в 2.5 км выше дер. Бызовая ($65^{\circ}01'30''\text{N}$, $57^{\circ}26'06''\text{E}$) в приустьевой части большого безымянного лога, по дну которого протекает ручей (рис. 1, 2). Костные остатки находятся в культурном слое (часто на его нижней и верхней границах), который представлен валунно-галечными отложениями (1.5 м) с неоднородным гравийно-песчаным и глинисто-алевритовым заполнителем с включениями блоков непереработанного моренного материала (Пономарев, 1997) (рис. 3–5). Скорее всего, отложения культурного слоя сформировались из залегавшей выше морены в результате серии селеподобных потоков (типа debris flow), а затем эти отложения оказались перекрыты эоловыми осадками (Heggen, 2012). Тафономические де-

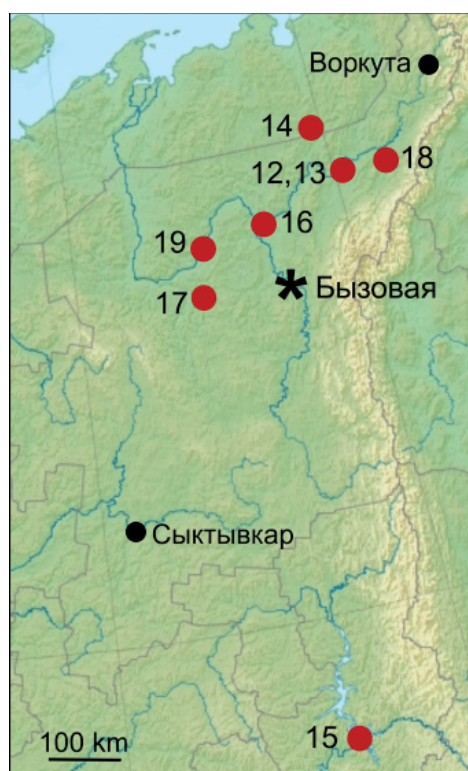


Рис. 1. Схематическая карта местонахождений исследованных образцов костных остатков четвертичных крупных млекопитающих. Цифры соответствуют номерам в табл. 1

Fig. 1. Schematic map showing geographical locations of the studied bone remains of large Quaternary mammals. The numbers on the map correspond to the specimen numbers listed in Table 1

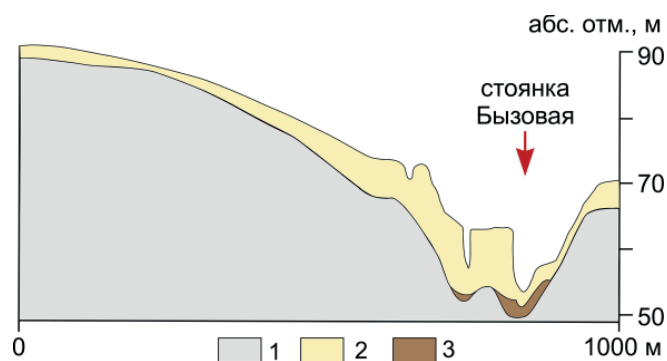


Рис. 2. Схематический геологический профиль четвертичных отложений вдоль реки Печоры у стоянки Бызовая (по Heggen et al., 2012 с упрощ.): 1 — коренные триасовые породы, 2 — эоловые пески, 3 — костеносные отложения культурного слоя

Fig. 2. Schematic geological profile of Quaternary deposits along the Pechora River near the Byzovaya site (simplified from Heggen et al., 2012): 1 — Triassic bedrock; 2 — eolian sands; 3 — bone-bearing deposits of the cultural layer

тали указывают на то, что скопление костей здесь образовалось при участии человека (Пономарев, 1997; Heggen, 2012), использовавшего стоянку как место разделки туш животных. Предположительно выходы пестроцветных нижнетриасовых песков и красных аргиллитов, развитых в данном районе, посещались мамонтами как источники минерального питания. При переходе реки по непрочному льду мамонты гибли, и их туши оказывались на излучине реки в месте расположения стоянки. Таким образом, наличие большого количества костей мамонта относительно хорошей сохранности и совпадение их возраста с возрастом найденного черепа при том что большинство находок мамонта на северо-востоке Европы представлены обычно единичными костями, позволяет рассматривать стоянку Бызовая в качестве наиболее вероятного местонахождения исследованного черепа мамонта.

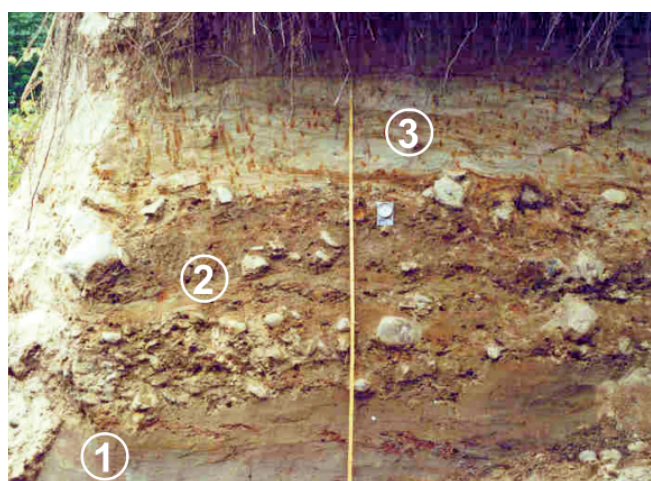


Рис. 3. Разрез отложений стоянки Бызовая: 1 — породы нижнего триаса, 2 — костеносные валунно-галечные отложения в песчано-глинистом заполнителе (культурный слой), 3 — эоловые пески (фото Д. В. Пономарева, 1997 г.)

Fig. 3. Byzovaya site section: 1 — Lower Triassic bedrock; 2 — bone-bearing boulder-pebble deposits with sandy-clay matrix (cultural layer); 3 — eolian sands (photo by D. V. Ponomarev, 1997)

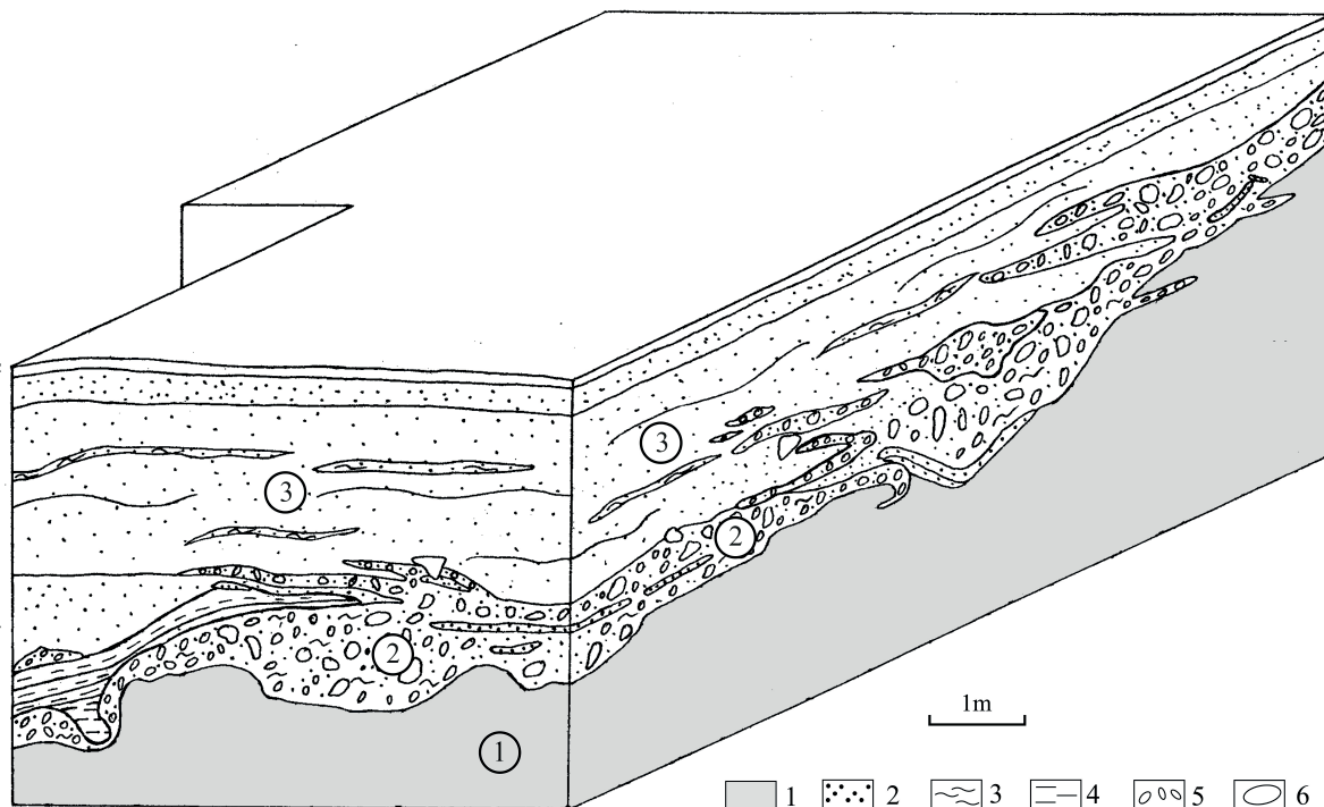


Рис. 4. Блок-диаграмма разреза отложений стоянки Бызовая: 1 — отложения нижнего триаса; 2 — песок; 3 — глина; 4 — алеврит, 5 — галька; 6 — валуны. Цифры в кружках — см. рис. 3

Fig. 4. Block diagram of the deposits section at the Byzovaya site: 1 — Lower Triassic deposits; 2 — sand; 3 — clay; 4 — siltstone; 5 — pebbles; 6 — boulders. Numbers in circles — see Fig. 3



Рис. 5. Фрагмент раскопа (1997 г.) стоянки Бызовая с костями мамонта *in situ* (фото Д. В. Пономарева)

Fig. 5. Fragment of the excavation (1997) at the Byzovaya site with mammoth bones *in situ* (photo by D. V. Ponomarev)

Закономерности накопления минеральных и элементных примесей в костях после их захоронения достаточно хорошо изучены (Trueman, Tuross, 2002; Смирнов и др., 2009; Trueman et al., 2011; Herwartz et al. 2013; Силаев и др., 2016; Silaev et al., 2017 и др.). В ходе фоссилизации микроэлементы добавляются или удаляются в зависимости от их концентрации в све-

жей кости, состава поровых вод, химических свойств самих элементов, фракционирования в процессе диффузии и адсорбции кристаллами апатита, различий в строении типов костных тканей, что приводит к значительным вариациям их концентраций в ископаемых остатках (на несколько порядков). Эти данные используются в палеонтологии и археологии, как правило для реконструкции условий захоронения и, например, разделения на этой основе асинхронных ископаемых остатков в смешанных комплексах (MacFadden et al., 2007; Смирнов и др., 2009).

Основная цель работы заключалась в проверке гипотезы о происхождении черепа ИГКНЦ № 562/45 из местонахождения Бызовая. Для этого был проведен сравнительный анализ содержания минеральных и микроэлементных примесей в двух образцах черепа (костной ткани и цементе зуба), семи образцах костных остатков со стоянки Бызовая и восьми образцах костей мегафауны из других местонахождений Республики Коми. Мы исходили из того, что, несмотря на множество факторов, влияющих на накопление примесей в костях, наличие у отложений стоянки Бызовая своеобразных геохимических характеристик, отличающих её от иных местонахождений региона, может быть заметно при анализе костных остатков из этого локалитета.

Материал и методы

Объектами исследования являлись фрагмент черепа шерстистого мамонта (*Mammuthus primigenius* Blumenbach, 1799), хранящийся в Музее им. А. А. Чернова Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в Сык-

Таблица 1. Список образцов
Table 1. List of samples

№ обр. Sample No.	Музейный номер, ИГКНЦ Museum number, IGKSC	Таксон Taxon	Элемент скелета Skeletal element	Место находки Location of discovery	Географические координаты Geographic coordinates	Геологический или астрономический возраст Geological or astronomical age	Источник Source
1а	562/45	Шерстистый мамонт <i>(Mammuthus primigenius Blumenbach, 1799)</i>	Цемент зуба Tooth cementum	–	–	27740±150 GrA-66591 (31470–31825 календ. лет / cal. years)	Пономарев и др., 2025 Ponomarev et al., 2025
2	562/45	Шерстистый мамонт <i>(Mammuthus primigenius Blumenbach, 1799)</i>	Кость, череп Bone, skull	–	–	27740±150 GrA-66591 (31470–31825 кал. лет. / cal. years)	Пономарев и др., 2025 Ponomarev et al., 2025
3	94/35	Шерстистый мамонт <i>(Mammuthus primigenius Blumenbach, 1799)</i>	Кость, ребро Bone, rib	Бызовая Byzovaya	65°01'N, 57°25'E	30620–34730 кал. лет / cal. years	Svendsen et al., 2010; Slimak et al., 2011
4	94/5	Шерстистый мамонт <i>(Mammuthus primigenius Blumenbach, 1799)</i>	M2, эмаль M2, enamel	Бызовая Byzovaya	65°01'N, 57°25'E	30620–34730 кал. лет / cal. years	Svendsen et al., 2010; Slimak et al., 2011
5	94/2	Шерстистый мамонт <i>(Mammuthus primigenius Blumenbach, 1799)</i>	M2, цемент M2, cement	Бызовая Byzovaya	65°01'N, 57°25'E	30620–34730 кал. лет / cal. years	Svendsen et al., 2010; Slimak et al., 2011
6	94/16	Шерстистый мамонт <i>(Mammuthus primigenius Blumenbach, 1799)</i>	Кость, ребро Bone, rib	Бызовая	65°01'N, 57°25'E	30620–34730 кал. лет / cal. years	Svendsen et al., 2010; Slimak et al., 2011
7	94/17	Шерстистый мамонт <i>(Mammuthus primigenius Blumenbach, 1799)</i>	Кость, ребро Bone, rib	Бызовая Byzovaya	65°01'N, 57°25'E	30620–34730 кал. лет / cal. years	Svendsen et al., 2010; Slimak et al., 2011
8	94/9	Шерстистый мамонт <i>(Mammuthus primigenius Blumenbach, 1799)</i>	Кость, таз Bone, pelvis	Бызовая Byzovaya	65°01'N, 57°25'E	30620–34730 кал. лет / cal. years	Svendsen et al., 2010; Slimak et al., 2011
9	94/10	Шерстистый мамонт <i>(Mammuthus primigenius Blumenbach, 1799)</i>	Кость, череп Bone, skull	Бызовая Byzovaya	65°01'N, 57°25'E	30620–34730 кал. лет / cal. years	Svendsen et al., 2010; Slimak et al., 2011

№ обр. Sample No.	Музейный номер, ИГКНЦ Museum number, IGKSC	Таксон Taxon	Элемент скелета Skeletal element	Место находки Location of discovery	Географические координаты Geographic coordinates	Геологический или астрономический возраст Geological or astronomical age	Источник Source
10	94/41	Mammalia indet	Кость Bone	Бызовая Бузовауа	65°01' N, 57°25' E	30620–34730 кал. лет / cal. years	Svendsen et al., 2010; Slimak et al., 2011
12	95/12	Шерстистый мамонт Woolly mammoth (<i>Mammuthus primigenius</i> Blumenbach, 1799)	Кость, ребро Bone, rib	Мамонтовая Курыя Mamontovaya Kurya	66° 34' N, 62° 25' E	32–40 тыс. ¹⁴ C лет (35–47 тыс. кал. лет / thousand cal. years)	Svendsen et al., 2010
13	95/13	Шерстистый мамонт Woolly mammoth (<i>Mammuthus primigenius</i> Blumenbach, 1799)	Кость, лопатка Bone, shoulder blade	Мамонтовая Курыя Mamontovaya Kurya	66° 34' N, 62° 25' E	32–40 тыс. ¹⁴ C лет (35–47 тыс. кал. лет / thousand cal. years)	Svendsen et al., 2010
14	75/10	Шерстистый мамонт Woolly mammoth (<i>Mammuthus primigenius</i> Blumenbach, 1799)	Кость, бедро Bone, rib	Харутинское место-нахождение Kharuta site	66°49'38" N, 59°39'22" E	30840±440 (ГИН-14964)	Информация о датировке от П. А. Косинцева (ИЭРиЖ УрО РАН). Павлов, 1996; Пономарев, 1998 Dating information provided by P. A. Kosintsev (Institute of Plant and Animal Ecology, UB RAS). Pavlov, 1996; Ponomarev, 1998
15	142/53	Дикая лошадь Wild horse (<i>Equus ferus</i> Boddaert, 1785)	Кость, нижняя челюсть Bone, lower jaw	Ганичата-2 Ganichata-2	58°47' N, 56°40' E	Q ₃	Павлов, 2008 Pavlov, 2008
16	–	Шерстистый мамонт Woolly mammoth (<i>Mammuthus primigenius</i> Blumenbach, 1799)	Пяточная кость Calcaneus	с. Усть-Уса Village of Ust-Usa	65° 98' N; 56° 91' E	–	–
17	–	Шерстистый мамонт Woolly mammoth (<i>Mammuthus primigenius</i> Blumenbach, 1799)	Бивень Tusk	дер. Ласта Village of Lasta	64° 92' N; 53° 80' E	–	–
18	107/55	Шерстистый мамонт Woolly mammoth (<i>Mammuthus primigenius</i> Blumenbach, 1799)	Бивень Tusk	дер. Ела Village of Epa	66° 36' N; 61° 80' E	–	–
19	–	Шерстистый мамонт Woolly mammoth (<i>Mammuthus primigenius</i> Blumenbach, 1799)	Кость, нижняя челюсть Bone, lower jaw	дер. Кипиево Village of Kipievo	65° 66' N; 54° 51' E	–	–

Примечание: здесь и далее нумерация образцов — см. «Материалы и методы»

Note: for sample numbering throughout — see «Materials and Methods»



тивке и костные остатки крупных млекопитающих плейстоцена из аллювиальных отложений с территории северо-востока Европы, выбранные для сравнения с черепом мамонта (табл. 1). Пробы эмали, цемента моляров и дентина бивней (образцы 1а, 4, 5, 17, 18) содержали очень малое число элементных примесей, поэтому эти образцы были исключены из анализа и сравнения. Минеральные примеси не были обнаружены в образцах 1а и 4. Образец с рабочим номером 11 был исключен из-за неоднозначной привязки.

Определение минеральных примесей в костях проводилось на сканирующем электронном микроскопе с системой энергодисперсионного микроанализа KYKY EM-6900 (детектор Xplore 30) (оператор В. А. Радаев).

Определение концентрации элементов-примесей выполняли на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) Agilent 7700x (Agilent Technologies, США). Использовался метод кислотного разложения пробы в микроволновой печи (Sineo MDS-10) в герметично закрытых фторопластовых сосудах. Навески массой не более 100 мкг помещали во фторопластовый сосуд и, в зависимости от основного состава пробы, добавляли смесь концентрированных плавиковой, азотной, соляной и хлорной (если присутствует органика) кислот. Мощность и продолжительность микроволнового излучения устанавливали в зависимости от минералогического состава и количества проб. Далее полученные растворы переводили в хлориды. Сухой остаток переводили в 5 % раствор азотной кислоты с последующим многократным разбавлением для уменьшения влияния матричных элементов. Перед измерением в пробу добавляли внутренний стандарт (In) для контроля возможного дрейфа аналитического сигнала в процессе измерения. Все разбавления велись весовым методом для уменьшения ошибки в измерениях. Для минимизации степени загрязнения растворение в смеси кислот, разбавление и непосредственно измерение на приборе выполняли в одноразовых пластиковых пробирках. Использовались кислоты марки ОСЧ, дополнительно очищенные с помощью системы перегонки кислот АОК-70, и деионизированная вода. Вместе с анализируемыми образцами выполнялось разложение холостых проб и стандартного образца.

Ксеноминеральные примеси (табл. 2) представлены в форме «присутствия-отсутствия» минералов. Поэтому для сравнения образцов мы применили индекс Симпсона (Simpson, 1943): M/N_{min} , где M — число совпадений между двумя сравниваемыми образцами по отдельным примесям, N_{min} — меньшее из двух значений числа разных примесей в двух образцах. Этот индекс рассматривает два образца как идентичные, если число разных примесей одного из них является подмножеством набора примесей другого, что делает его устойчивым к неполноте данных (= случайное не обнаружение того или иного минерала). Для сравнения с индексом Симпсона использовали широко известный индекс сходства Жаккара для бинарных данных: $M/(M+N)$, где M — число совпадений между двумя сравниваемыми образцами по отдельным примесям, а N — общее число выявленных минералов для сравниваемой пары образцов.

Для сравнения образцов по микроэлементному составу (табл. 3) использовали только набор элемен-

тов, которые были обнаружены в каждом из них. Так, например, были исключены Nb, Mo, Ag и др. Этот отбор хотя и ограничил число элементов, но позволил включить в исследование все образцы. Переменные стандартизировались для нивелировки специфических различий в концентрациях элементов. Затем между всеми парами образцов вычислялась евклидова дистанция.

Все три матрицы индексов — Симпсона, Жаккара и евклидовых дистанций — обрабатывали методом неметрического многомерного шкалирования. Этот непараметрический метод многомерного анализа позволяет отобразить подобие образцов в координатных пространствах низкой размерности, много меньшей, чем количество исходных переменных (число разных минералов или микроэлементов). Полученные двумерные графики дали возможность оценить схожесть исследуемого образца мамонта из неизвестного местонахождения с образцами из известных местонахождений (табл. 1).

Для изучения ковариации изменчивости концентраций элементов в исследуемых образцах применили метод главных компонент. В этом случае взаимоположение образцов отображается в координатах, воспроизводящих основные компоненты этой изменчивости.

Все расчеты и построение графиков реализовывались в статистическом пакете PAST v. 5.4 (Hammer, Harper, 2005).

Результаты и их обсуждение

Микроэлементы

Результаты измерения концентраций элементов-примесей приведены в табл. 2. На рис. 6 и 7 показано распределение содержания элементов-примесей и отдельно лантаноидов в исследованных образцах. Всего обнаружен 41 элемент, содержание их варьирует более чем на четыре порядка.

Анализируя микроэлементный состав, можно отметить, что в целом череп по большинству элементов находится в пределах варьирования содержаний элементов для всех образцов с небольшой спецификой. Образец черепа отличают повышенные концентрации урана, хрома и скандия и пониженные содержания кобальта и марганца. Эти же признаки в определенной степени характерны и для костей из Бызовой, что сближает череп с костями из этого местонахождения. Такие особенности накопления указанных элементов типичны для глинистых и биогенных отложений, сформировавшихся в кислой восстановительной среде заболоченного типа (Перельман, 1989; Перельман, Касимов, 1999; Чертко, 2007). Данные обстановки осадконакопления в общем хорошо согласуются с условиями формирования костеносных отложений Бызовой, представленных валунно-галечным материалом в песчано-глинистом матриксе, образовавшихся из морены вследствие ряда селеподобных склоновых процессов типа debris flow (Пономарев, 1997; Heggen et al., 2012). С другой стороны, повышенные содержания рубидия и ниобия отличают череп от образцов из Бызовой и сближают с костями из других местонахождений.

Многомерный анализ образцов по содержанию микроэлементов подтверждает описанную геохими-



Таблица 2. Содержание микроэлементов в образцах, г/т
Table 2. Trace element contents in the samples (g/t, i. e., ppm)

	1a	2	3	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	18	19
Sc	1	3.8	3.6	1.1	2.4	2.3	2.7	1.3	2.4	1.7	0.58	1.2	1.7	1.7	0.58	0.63	3.9
Ti	366	783	378	374	385	379	457	407	542	408	429	464	419	754	581	518	1137
V	24	31	25	27	31	27	51	36	55	24	20	18	45	32	28	29	91
Cr	8.6	28	9.4	8.9	15	21	13	7.6	25	3.9	4.1	3.3	32	9.4	4.6	2.6	21
Mn	2414	1521	2111	1181	1956	1995	2640	1713	2811	4713	5206	3105	3331	10475	5460	4911	7110
Co	3.4	4.5	3.6	2.5	2.8	2.4	3.5	2.3	4.9	17	14	11	4.8	12	2.6	2.4	14
Cu	5	33	55	4.3	24	11	36	34	57	–	1.7	2.3	32	3	–	–	6.8
Zn	104	100	80	107	68	103	55	81	101	83	80	113	57	108	29	20	93
Ga	2.4	3.2	2.4	2.3	2.3	2.3	2.7	2.5	2.8	2.6	2.5	2.4	2.7	3.6	3.7	3.5	4.7
Rb	–	5.8	0.81	–	0.48	0.39	1	0.46	2.3	0.32	1.4	–	–	6.6	–	–	14
Sr	421	352	314	287	235	189	295	245	385	500	246	347	487	346	447	499	402
Y	1.4	8.9	31	0.31	5.9	8.4	11	2	12	17	4.1	0.34	11	8.4	0.1	0.085	46
Zr	2.1	21	5.9	0.21	4.9	2.9	8.3	5.2	16	3	6.5	0.5	14	13	0.048	0.039	34
Nb	–	0.94	0.1	–	0.088	–	0.25	0.074	0.38	0.099	0.22	–	0.086	1.1	–	–	2.3
Mo	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3.2	1.3	0.94	–	0.74	1.2	–	3.9
Rh	0.069	0.046	0.04	0.043	–	0.027	0.039	0.035	0.057	0.083	0.031	–	0.087	0.049	0.057	0.059	0.049
Ag	–	0.12	–	–	–	–	–	–	0.13	–	–	–	–	–	–	–	0.27
Cd	–	2.1	2.8	–	–	–	2.1	1.7	4.5	–	–	–	1.9	0.95	–	–	2.6
Cs	–	0.3	–	–	–	–	0.058	–	0.13	–	0.093	–	–	0.26	–	–	0.76
Ba	478	386	335	257	237	239	344	263	870	794	486	456	391	543	625	196	834
La	0.64	4	13	0.12	2.3	2.2	5.4	1.2	5.2	6	1.6	0.18	8.3	3.7	–	–	17
Ce	0.64	7.3	19	0.17	2.5	1.2	6.9	1.9	4.9	11	2.5	0.28	5.2	7.1	–	–	34
Pr	0.089	1	2.7	–	0.42	0.38	0.98	0.22	0.91	1.2	0.27	–	1.2	0.8	–	–	4.1
Nd	0.41	4.6	13	–	1.8	1.8	4.3	1.2	4	5.9	1.3	–	5.7	3.8	–	–	22
Sm	–	0.98	2.7	–	0.31	0.36	0.85	0.24	0.82	1.4	0.31	–	1.1	0.83	–	–	4.4
Eu	0.54	0.64	1	0.28	0.34	0.36	0.54	0.33	1.1	1.2	0.58	0.43	0.65	0.73	0.64	0.18	2.1
Gd	0.13	1.2	3.3	–	0.47	0.41	1.2	0.28	1.2	2.1	0.35	–	1.4	1	–	–	6.3
Tb	0.018	0.19	0.52	–	0.087	0.093	0.19	0.061	0.19	0.35	0.051	–	0.19	0.16	–	–	0.91
Dy	0.13	1	2.8	–	0.5	0.61	1	0.3	1.1	2.2	0.32	–	1.1	0.87	–	–	5.4
Ho	0.033	0.23	0.65	–	0.13	0.17	0.27	0.066	0.26	0.53	0.094	–	0.24	0.21	–	–	1.4
Er	0.07	0.83	2	–	0.41	0.53	0.84	0.2	0.92	1.6	0.28	–	0.84	0.71	–	–	4.4
Tm	–	0.11	0.26	–	0.059	0.078	0.12	0.03	0.14	0.22	0.044	–	0.094	0.11	–	–	0.58
Yb	0.063	0.75	1.8	–	0.41	0.51	0.73	0.19	0.85	1.3	0.31	–	0.65	0.67	–	–	3.8
Lu	0.016	0.13	0.28	–	0.08	0.09	0.14	0.042	0.14	0.21	0.058	–	0.086	0.11	–	–	0.69
Hf	–	0.46	0.077	–	0.073	–	0.15	0.058	0.3	–	0.12	–	0.18	0.37	–	–	0.77
Ta	0.036	0.077	–	–	–	–	0.04	–	0.039	–	0.036	–	–	0.075	–	–	0.18
W	–	0.15	0.091	–	–	0.086	0.076	–	–	0.21	0.15	–	–	0.16	–	–	0.31
Pb	0.36	2.1	0.62	0.17	0.61	0.36	0.93	0.7	0.99	0.49	0.41	–	1.7	1.9	–	–	3.7
Bi	–	0.023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.031
Th	–	0.78	0.13	–	0.078	0.04	0.2	0.088	0.36	0.064	0.16	–	0.083	0.55	–	–	1.3
U	15	39	23	3.8	40	26	57	26	52	3.2	2.4	4.3	17	5.8	–	–	2.8



Таблица 3. Ксеноминеральные примеси в костных остатках

Table 3. Xenogenic mineral impurities in the bone remains

	ИГКНЦ № 562/45 IGKSC No. 562/45	Бызовая Byzovaya								Другие местонахождения Other locations							
	2	3	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	18	19	
Аллапрингит Allapringite						+			+	+						+	
Альбит Albite	+			+		+									+	+	
Амфибол Amphibole													+				
Гидроксиды железа Iron hydroxides	+	+				+		+				+				+	
Гранат Garnet	+																
Доломит Dolomite														+	+		
Ильменит Ilmenite	+																
Кальцит Calcite														+	+		
Кварц Quartz	+			+		+		+		+	+			+		+	
Крандаллит ? Crandallite ?														+			
Магнетит Magnetite														+			
Манганит Manganite		+	+	+	+		+	+	+	+	+						
Микроклин Microcline	+			+		+		+		+				+	+	+	
Мусковит Muscovite	+					+				+							
Оксид марганца Manganese oxide					+												
Пирит Pyrite								+		+			+		+	+	
Плагиоклаз Plagioclase	+																
Полевой шпат Feldspar											+						
Рутил Rutile	+			+						+			+				
Титанит Titanite	+																
Хлорит Chlorite	+																
Циркон Zircon																+	
Шпинель Spinel	+																
Энстатит Enstatite	+																
Эпидот Epidote	+			+												+	

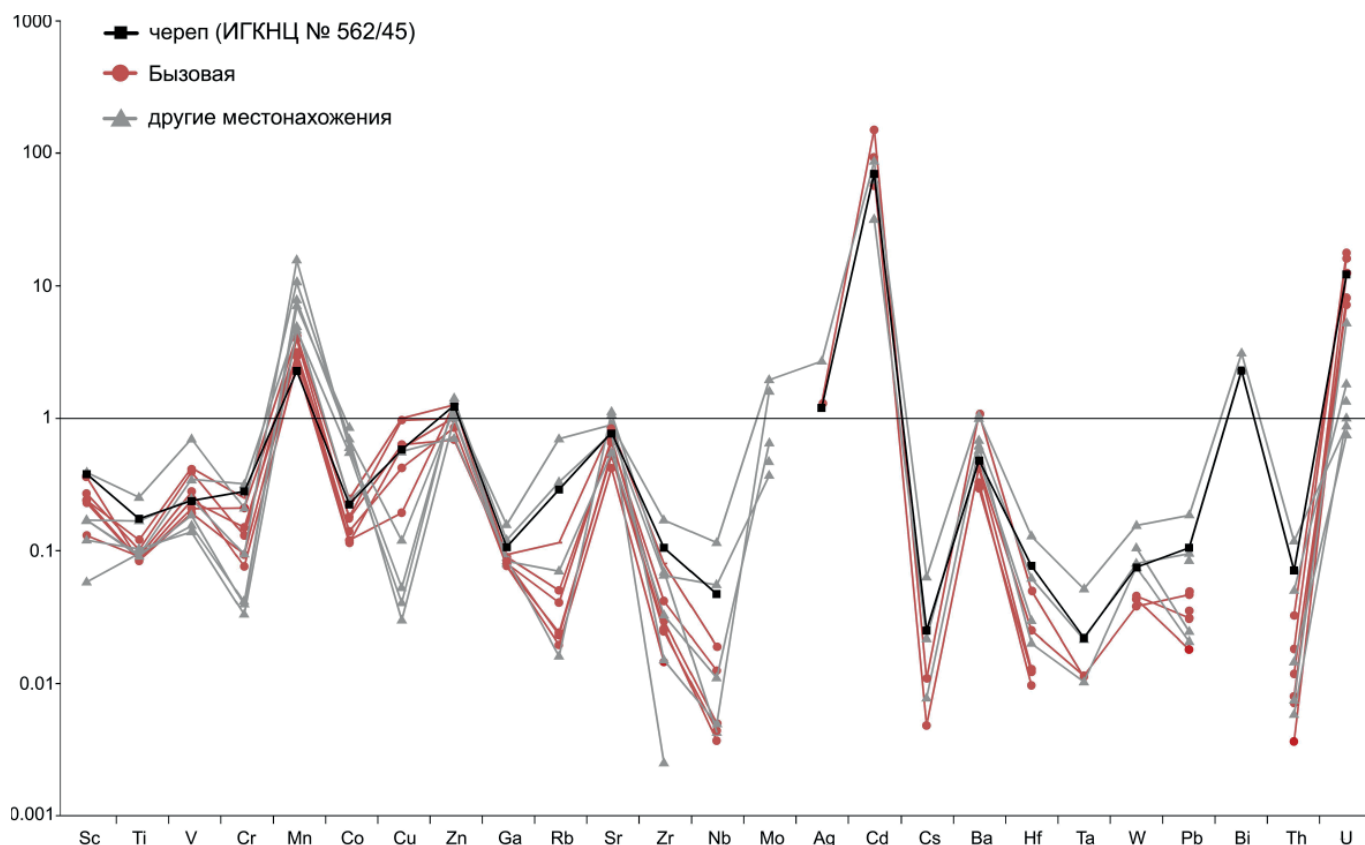


Рис. 6. Содержание элементов (за исключением лантаноидов) в образцах костей млекопитающих из местонахождений северо-востока Европы. Нормирование по осадочным породам (глины и сланцы) по А. П. Виноградову (Войткевич и др., 1990)

Fig. 6. Content of elements (excluding lanthanides) in mammal bone samples from sites in the Northeastern Europe, normalized to average sedimentary rocks (clays and shales) after A. P. Vinogradov (Voitkevich et al., 1990)

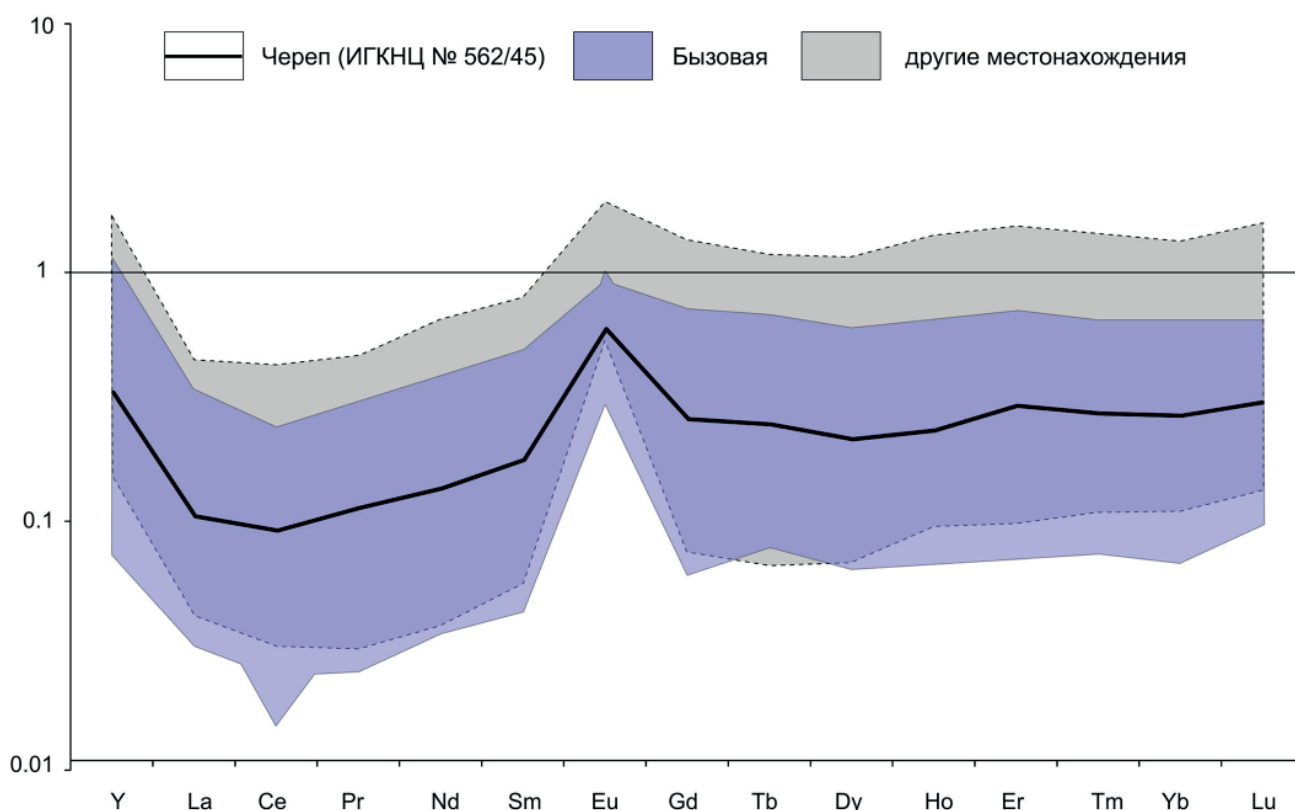


Рис. 7. Содержание лантаноидов и иттрия в образцах костей млекопитающих из местонахождений крайнего северо-востока Европы. Нормирование по осадочным породам (глины и сланцы) по А. П. Виноградову. (Войткевич и др., 1990)

Fig. 7. Lanthanide and yttrium content in mammal bone samples from sites from sites in the Northeastern Europe, normalized to average sedimentary rocks (clays and shales) after A. P. Vinogradov (Voitkevich et al., 1990)



ческую специфику черепа, выраженную в повышенных концентрациях U, Cr и Sc, а также пониженных Co и Mn относительно других образцов (рис. 8). Метод главных компонент (рис. 8, а) и метод неметрического многомерного шкалирования (рис. 8, б) дали сходные результаты. Показано относительно небольшое варьирование концентраций элементов в образцах из местонахождения Бызовая на фоне изменчивости образцов всех прочих местонахождений и относительноное обособление от тех и других образца черепа ИГКНЦ № 562/45. Хотя этот череп по составу микроэлементов обнаруживает некоторую общность с образцами из местонахождения Бызовая, следует учитывать наблюдаемые существенные количественные различия между ними.

Все образцы характеризовались преобладанием легких редкоземельных элементов (РЗЭ) над тяжелыми (рис. 9), что характерно для литогенных пород, испытавших несколько циклов седиментации (Балашов, 1976). Наши данные отличаются от материалов Н. Г. Смирнова с соавторами (2009), по чьим сведениям кости грызунов из пещерных и аллювиальных отложений были обогащены тяжелыми элементами, что интерпретировалось авторами как следствие переноса элементов не в ионной, а в комплексной форме.

Цериевая и европиевая аномалии — $Ce/Ce^* > 1$ и $Eu/Eu^* < 1$ — демонстрируют широкий разброс значений без выраженных закономерностей, и при этом данные коэффициенты во всех наших образцах указывают на восстановительные условия. В работе Смирнова

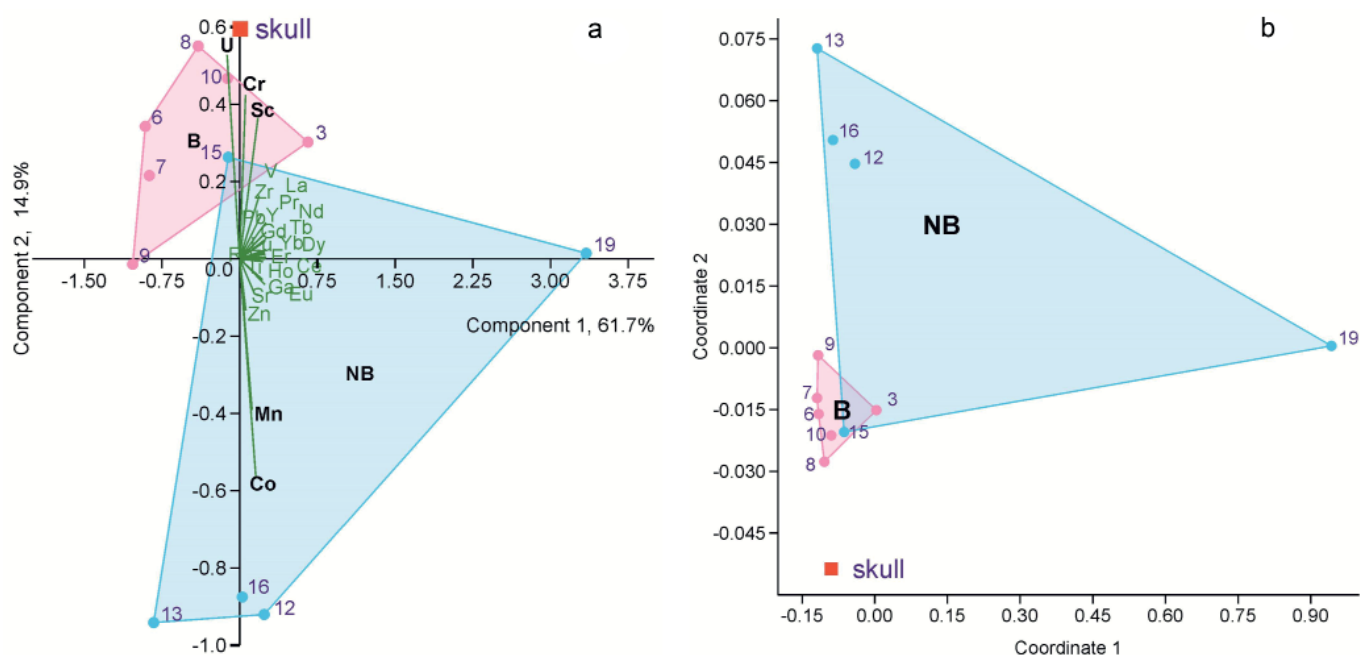


Рис. 8. Распределение образцов по содержанию элементных примесей в пространстве первых двух главных компонент (а) и осей многомерного шкалирования (б): skull — образец черепа ИГКНЦ № 562/45, В — образцы из местонахождения Бызовая, NB — образцы из других местонахождений; цифры — номера образцов в табл. 1

Fig. 8. Distribution of samples according to elemental impurity content in the space of the first two principal components (a) and along the axes of multidimensional scaling (b). Symbols: skull — cranium sample IGKSC 562/45, B — samples from the Byzovaya locality; NB — samples from other localities; numbers — sample numbers as in Table 1

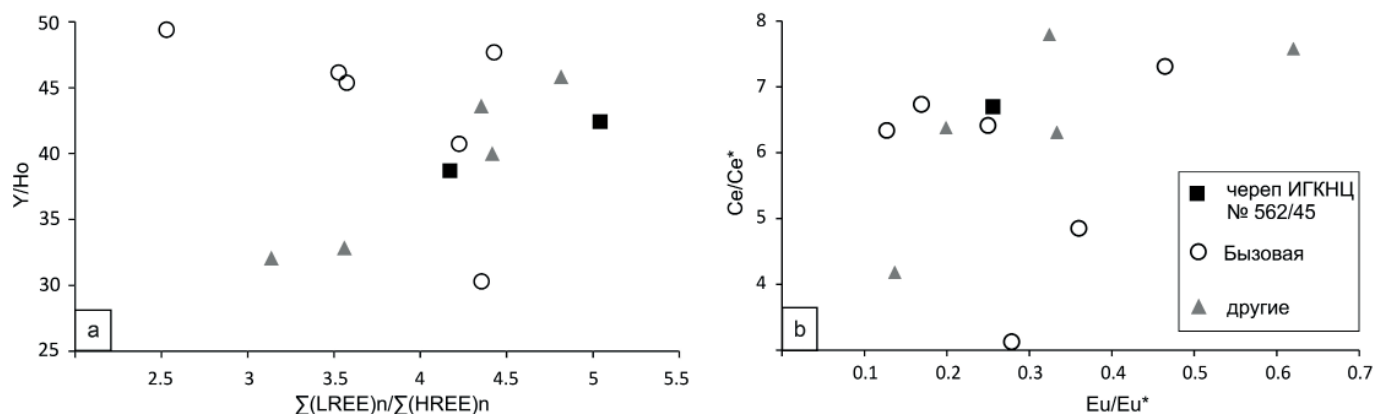


Рис. 9. Вариации соотношения легких/тяжелых РЗЭ и отношения Y/Ho (а), а также вариации европиевой Eu/Eu^* и цериевой Ce/Ce^* аномалий в костях млекопитающих из исследованных местонахождений

Fig. 9. Variations in the LREE/HREE and Y/Ho ratios (a) and the Eu/Eu^* and Ce/Ce^* anomalies in mammal bones from the studied localities (b)

и др. (2009) цериевая и европиевая аномалии, наоборот, сопоставляются с окислительными условиями.

По мнению этих авторов, обычно происходит обогащение костей микроэлементами до выравнивания их содержания в кости и в породе. Однако самая древняя кость в их исследовании содержала меньше примесей, чем значительно более молодая.

По данным ряда авторов (Tütken, Vennemann, 2011; Trueman et al., 2011; Herwartz et al., 2013), прямая связь между накоплением РЗЭ и временем отсутствует. По мнению Trueman et al. (2011) и Herwartz et al. (2013) закономерности распределения РЗЭ и аномалии Се в ископаемых костях следует интерпретировать с осторожностью, поскольку они варьируют внутри кости и зависят как от процессов внутрикостного фракционирования, так и от изменяющегося состава диагенетических жидкостей.

С использованием теоретического моделирования для характеристики процессов поглощения микроэлементов в костях во время диагенеза было показано, что в процессе фоссилизации в костях редкоземельные элементы (РЗЭ) сильно фракционируются друг от друга во время диффузионного транспорта и адсорбции (Trueman et al., 2011). Замещение ионов РЗЭ на кальциевых участках в апатите, а также скорость диффузии (а следовательно, скорость перекристаллизации мелких кристаллов биоапатита) являются основными факторами, контролирующими фракционирование РЗЭ. Таким образом, пространственное распределение и относительное содержание РЗЭ в окаменелых костях в значительной степени зависят от процессов фракционирования, происходящих внутри кости, а не отражают различия в условиях окружающей среды во время поглощения. Этот подход очень хорошо объясняет вариации отношений легких/тяжелых элементов и цериевые-европиевые аномалии.

Таким образом, фракционирование на кристаллах апатита в кости при диагенезе, а не состав поровых вод является одним из основных факторов накопления РЗЭ в костях, что сильно ограничивает использование микроэлементов для целей тафономии, а также церия как индикатора окислительно-восстановительных условий.

Минеральные примеси

Всего в исследованных образцах костей были установлены 25 минеральных разновидностей (табл. 3). По набору минеральных примесей череп исследуемого мамонта демонстрирует выраженное отличие от образцов как из Бызовой, так и из других местонахождений (рис. 10). Он характеризуется повышенным разнообразием минералов (альбит, гранат, ильменит, кварц, микроклин, мусковит, плагиоклаз, рутил, титанит, хлорит, шпинель, энстатит, эпидот и гидроксиды железа), в то время как в прочих образцах преобладает манганит. Полученный результат был устойчив относительно разных используемых нами индексов сходства (Симпсона и Жаккара), что повышает его обоснованность.

Заключение

Элементные и минеральные примеси в костях черепа шерстистого мамонта (*Mammuthus primigenius*) из коллекции музея имени А. А. Чернова (экз. ИГКНЦ № 562/45) исследовались с целью установления его вероятного местонахождения. Было проведено сопоставление содержания 41 элемента-примеси (включая редкоземельные элементы) и 25 минеральных разновидностей в костных остатках со стоянки Бызовая и из других местонахождений Европейского Северо-Востока России.

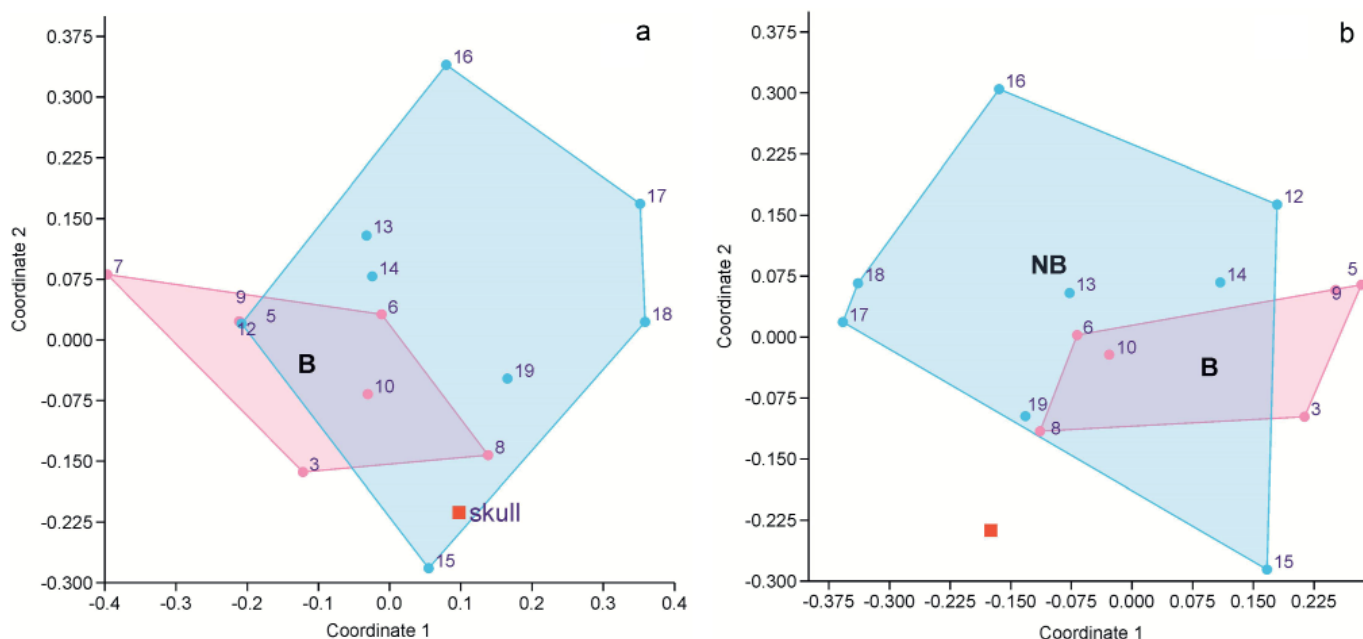


Рис. 10. Распределение образцов по содержанию минеральных примесей в пространстве первых двух осей многомерного шкалирования. Расчет по индексам Симпсона (а) и Жаккара (б). Условные обозначения — см. рис. 8, цифры — номера образцов в табл. 1

Fig. 10. Distribution of samples based on mineral impurity content in the space of the first two axes of multidimensional scaling, calculated using (a) the Simpson index and (b) the Jaccard index. Legend — see Fig. 8, numbers — sample numbers as in Table 1



Исследованный череп обладает геохимической спецификой, проявляющейся в относительно высоких концентрациях урана, хрома и скандия, а также пониженных содержаниях кобальта и марганца. Данные особенности сближают череп с образцами из Бызовой, что согласуется с гипотезой о его происхождении из этого местонахождения. Однако количественные различия в микроэлементном составе между черепом и костными остатками из Бызовой не позволяют сделать однозначный вывод. Повышенные содержания рубидия и ниобия отличают череп от образцов из Бызовой и сближают с костями из других местонахождений. Минеральные примеси демонстрируют значительное своеобразие черепа, повышенное разнообразие минералов — альбита, граната, ильменита, микроклина, титанита, шпинели, эпидота и др. — отличает его от всех остальных образцов.

Полученные результаты свидетельствуют о сложности интерпретации данных о распределении элементов-примесей в ископаемых костных остатках, что ограничивает использование этих показателей в качестве тафономических индикаторов. Полученные данные по минеральным и элементным примесям в костной ткани не дают оснований для однозначного заключения относительно места происхождения черепа мамонта. Основными критериями для атрибуции являются радиоуглеродная датировка, а также тот факт, что стоянка Бызовая сильно выделяется среди других местонахождений региона по количеству костей мамонта.

Тем не менее следует отметить, что образцы из местонахождения Бызовая демонстрировали меньшую изменчивость по сравнению с отдельными образцами из других местонахождений. Это позволяет нам с осторожностью предположить, что используемые маркеры в совокупности, вероятно, могут применяться при проверке гипотез о происхождении неаттированных коллекционных образцов плейстоценовой териофауны региона. Для этого необходимо собрать репрезентативную выборку (банк данных) по элементному составу и минеральным примесям в костных остатках из известных местонахождений.

Работа выполнена в рамках госзадания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (тема НИР № 12204060008-5) и Института географии РАН (в ЕГИСУ НИОКТР № FMWS-2026-002).

Литература

- Балашов Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267 с.
Balashov Yu. A. Geochemistry of rare earth elements. Moscow: Nauka; 1976. 267 p. Russian.
- Безносков П. А., Пономарев Д. В. Краткий обзор ископаемых позвоночных Республики Коми // Вестник геонаук. 2021. 12 (324). С. 3–15. DOI: 10.19110/geov.2021.12.1.
Beznosov P. A., Ponomarev D. V. A brief review of the fossil vertebrates of the Komi Republic. Vestnik of Geosciences. 2021;12(324):3–15. Russian.
- Войткевич Г. В., Кокин А. В., Мирошников А. Е., Прохоров В. Г. Справочник по геохимии. М.: Недра, 1990. 480 с.
Voitkevich G. V., Kokin A. V., Miroshnikov A. E., Prokhov V. G. Handbook of Geochemistry. Moscow: Nedra; 1990. 480 p. Russian.
- Гуслицер Б. И., Лийва А. О возрасте местонахождения остатков плейстоценовых млекопитающих и палеолитической стоянки Бызовая на средней Печоре // Известия АН ЭССР. 1972. Т. 21. № 3. С. 250–253.
Guslitser B. I., Liiva A. On the age of the location of the remains of Pleistocene mammals and the Paleolithic site of Byzovaya on the middle Pechora. Bull. Acad. Sc. Estonian SSR. 1972;21(3):250–253. Russian.
- Кузьмина И. Е. Формирование териофауны Северного Урала в позднем антропогене // Тр. ЗИН АН СССР. 1971. Т. 49. С. 44–122.
Kuzmina I. E. Formation of the theriofauna of the Northern Urals in the Late Anthropogene. Proc. Zool. In. USSR Ac. of Sc. 1971;49: 44–122. Russian.
- Павлов П. Ю. Палеолитические памятники северо-востока европейской части России. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1996. 212 с.
Pavlov P. Yu. Paleolithic sites of the northeast of the European part of Russia. Syktyvkar: Komi SC UB RAS; 1996. 212 p. Russian.
- Павлов П. Ю. Палеолит северо-востока Европы: новые данные // Археология, этнография и антропология Евразии. 2008. №1 (33). С.33–45.
Pavlov P. Yu. The Paleolithic of Northeastern Europe: New Data // Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia. 2008; 1(33):33–45. Russian.
- Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: МГУ, 1999. 610 с.
Perelman A. I., Kasimov N. S. Landscape geochemistry. Moscow: MSU; 1999. 610 p. Russian.
- Перельман А. И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.
Perelman A. I. Geochemistry. Moscow: Vysshaya shkola; 1989. 528 p.
- Пономарев Д. В. Крупные млекопитающие Европейского Северо-Востока в позднем плейстоцене и голоцене. Сыктывкар, 2001. 48 с. (Науч. докл. / Коми НЦ УрО РАН; Вып. 434).
Ponomarev D. V. Large mammals of the European Northeast in the Late Pleistocene and Holocene. Syktyvkar; 2001. 48 p. (Sc. Report / Komi SC UB RAS; 434). Russian.
- Пономарев Д. В. Некоторые данные о плейстоценовых хоботных Европейского Северо-Востока // Сыктывк. палеонт. сб. № 3. Сыктывкар, 1998. С. 88–95. (Тр. ИГ Коми НЦ УрО РАН; Вып. 99).
Ponomarev D. V. Some data on the Pleistocene proboscideans of the European North-East. Syktyvkar paleontological collection. Proceedings of IG Komi SC UB RAS. Syktyvkar, 1998;99(3):88–95. Russian.
- Пономарев Д. В. Новые данные о позднелитической стоянке Бызовая // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы VI науч. конф. Сыктывкар: Геопринт, 1997. С. 116–117.
Ponomarev D. V. New data on the late Paleolithic site Byzovaya. Structure, substance, history of the lithosphere of the Timan-Northern Ural segment: proceedings of the VI scientific conference. Syktyvkar: Geoprint; 1997. p. 116–117. Russian.
- Пономарев Д. В., Сердюк Н. В., ван Кольфсoten Т., ван дер Плихт Й., Безносков П. А. Предварительные результаты палеопатологического исследования черепа мамонта (*Mammuthus primigenius* Blum.) в музее имени А. А. Чернова (Сыктывкар) // Фундаментальные ос-

- новы палеонтологии: основа и практика: Материалы LXXI сессии Палеонтологического общества при РАН. СПб., 2025. С. 244–245.
- Ponomarev D. V., Serdyuk N. V., van Kolsoten T., van der Plicht J., Beznosov P. A. Preliminary results of paleopathological study of the mammoth skull (*Mammuthus primigenius* Blum.) in the A.A. Chernov Museum (Syktyvkar). Fundamental foundations of paleontology: basis and practice: proceedings of the LXXI session of the Paleontological Society of RAS. St. Petersburg; 2025. p. 244–245. Russian.
- Силаев В. И., Пономарев Д. В., Симакова Ю. С., Шанина С. Н., Смалева И. В., Тропников Е. М., Хазов А. Ф. Современные исследования ископаемого костного детрита: палеонтология, минералогия, геохимия // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 5. С. 19–31. DOI: 10.19110/2221-1381-2016-5-19-31
- Silaev V. I., Ponomarev D. V., Simakova Yu. S., Shanina S. N., Smoleva I. V., Tropnikov E. M., Khazov A. F. Modern studies of fossil bone detritus: paleontology, mineralogy, geochemistry. Vestnik of IG Komi SC UB RAS. 2016;5:19–31. Russian.
- Смирнов Н. Г., Вотяков С. Л., Садыкова Н. О., Киселева Д. В., Щанова Ю. В. Физико-химические характеристики ископаемых костных остатков млекопитающих и проблема оценки их относительного возраста. Ч. 1. Термический и масс-спектрометрический элементный анализ. Екатеринбург: Гошицкий, 2009. 118 с.
- Smirnov N. G., Votyakov S. L., Sadykova N. O., Kiseleva D. V., Shchapova Yu. V. Physicochemical characteristics of fossil bone remains of mammals and the problem of assessing their relative age. Part 1. Thermal and mass-spectrometric elemental analysis. Yekaterinburg: Goshchitsky; 2009. 118 p. Russian.
- Смирнов В. И. Находки костей крупных четвертичных млекопитающих в Северной области // Тр. Комис. по изуч. четверт. периода. 1937. Т. V. Вып. 1. С. 47–67.
- Smirnov V. I. Finds of bones of large Quaternary mammals in the Northern region. Proceedings of the Commission for the Study of the Quaternary Period. 1937; V(1):47–67. Russian.
- Чертко Н. К. Геохимия: Учебное пособие для студентов геологических специальностей вузов. Минск: ТЕТРА СИСТЕМС, 2007. 254 с.
- Chertko N. K. Geochemistry: A Textbook for Students of Geological Specialties at Universities. Minsk: TETRA SYSTEMS, 2007. 254 p. Russian.
- Heggen H. P., Svendsen J. I., Mangerud J., Lohne Ø. S. A new palaeoenvironmental model for the evolution of the Byzovaya Palaeolithic site, northern Russia. Boreas. 2012;41(4):527–545. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2012.00259.x
- Herwartz D., Tütken T., Jochum K. P., Sander P. M. Rare earth element systematics of fossil bone revealed by LA-ICPMS analysis. Geochimica et Cosmochimica Acta. 2013;103:161–183. DOI: 10.1016/j.gca.2012.10.038
- MacFadden B. J., Labs-Hochstein J., Hulbert Jr. R. C., Baskin J. A. Revised age of the late Neogene terror bird (*Titanis*) in North America during the Great American interchange. Geology. 2007;35:123–126. <https://doi.org/10.1130/G23186A.1>
- Silaev V. I., Ponomarev D. V., Kiseleva D. V., Smoleva I. V., Simakova Yu. S., Martirosyan O. V., Vasil'ev E. A., Khazov A. F., Tropnikov E. M. Mineralogical–Geochemical Characteristics of the Bone Detritus of Pleistocene Mammals As a Source of Paleontological Information. Paleontological J. 2017;51(13):1395–1421. DOI: 10.1134/S0031030117130044
- Simpson G. G. Mammals and the nature of continents. American Journal of Science. 1943;241:1–31.
- Hammer Ø., Harper D. A. T. Paleontological Data Analysis. 2005. Malden: Wiley. 351 p.
- Slimak L., Svendsen J. I., Mangerud J., Plisson H., Heggen H.P., Brugère A., Pavlov P. Late Mousterian persistence near the Arctic Circle. Science. 2011;332(881);841–845. DOI: 10.1126/science.1203866
- 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. DOI:10.1016/j.quascirev.2010.06.043
- Trueman C. N., Kocsis L., Palmer M. R., Dewdney C. Fractionation of rare earth elements within bone mineral: A natural cation exchange system. Palaeogeo., Palaeoclim., Palaeoec. 2011;310:124–132. DOI:10.1016/j.palaeo.2011.01.002
- Trueman C. N., Tuross N. Trace elements in resented and fossil bone apatite. Rev. Miner. & Geochem. 2002;48:427–453.
- Tütken T., Vennemann T. W. Fossil bones and teeth: Preservation or alteration of biogenic compositions? (Editorial). Palaeogeo., Palaeoclim., Palaeoec. 2011;310(1–2):1–8. DOI:10.1016/j.palaeo.2011.06.020

Поступила в редакцию / Received 27.05.2026



Встреча обогащателей в Научном центре Дальнего Востока (Плаксинские чтения – 2026)

Meeting of enrichment specialists at the Far East Scientific Center (Plaksin Readings – 2026)

The Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on Mineral Processing, the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Khabarovsk FRC FEB RAS), and the N. V. Melnikov Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences (IPKON RAS) held the 50th International Conference «Innovative Processes for the Comprehensive and Deep Processing of Natural and Non-Traditional Mineral Raw Materials» (Plaksin Readings 2026). The conference took place from September 21 to 25, 2026, in Khabarovsk.

Научный совет Российской академии наук по проблемам обогащения полезных ископаемых, Хабаровский федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения РАН (ХФИЦ ДВО РАН), Институт проблем комплексного освоения недр имени академика Н. В. Мельникова РАН» (ИПКОН РАН) провели 50-ю международную конференцию «Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья» (Плаксинские чтения – 2026). Конференция проходила 21–25 сентября 2026 года в Хабаровске.



Торжественное открытие 50-й Международной конференции «Плаксинские чтения – 2026»

Opening session of the 50th International conference «Plaksin Readings – 2026»

Торжественное открытие конференции состоялось в Доме официальных приёмов правительства Хабаровского края. На одной площадке собрались ведущие ученые академических и отраслевых институтов, представители крупных горно-металлургических компаний и зарубежные партнеры. В работе «Плаксинских чтений – 2026» приняли участие 2 действительных

члена Российской академии наук, 2 члена-корреспондента Российской академии наук, 15 докторов наук, 33 кандидата наук.

Особое внимание было уделено стратегическим задачам освоения минерально-сырьевой базы Дальнего Востока, Арктики и Сибири, а также вопросам вовлечения в переработку техногенных образований и нетрадиционного гидроминерального сырья.

Научная программа конференции включала пленарные и секционные заседания, которые позволили глубоко раскрыть множество актуальных тем: современные технологические решения для переработки минерального сырья, вопросы технологической минералогии, рудоподготовки, тонкого и сверхтонкого измельчения минерального сырья, различные методы сепарации, гидрометаллургические процессы, экологические и экономические аспекты горной промышленности.

На секции «Современные технологические решения в процессах переработки минерального сырья» ученые представили уникальные технологические решения в области обогащения полиметаллических, железных руд, алмазосодержащих кимберлитов, некондиционных марганцевых руд, а также получения кварцевых концентратов ультравысокой чистоты.

На секции «Технологическая минералогия, рудоподготовка, тонкое и сверхтонкое измельчение минерального сырья» актуальность методов технологической минералогии продемонстрирована на примере уникального углеродсодержащего и кварцевого сырья, комплексных бокситовых, медных, оловянно-вольфрамовых, железных руд, нетрадиционных источников стратегических металлов, медно-кобальтовых руд и лопаритового сырья.



Экспозиции по теме «Горное дело»

Exhibitions on the mining industry

На секции «**Флотация, гравитация, магнитная и электромагнитная сепарация**» основными направлениями стали совершенствование и внедрение методов интенсификации флотации, применение отечественных флотационных реагентов; развитие квантово-химического, термодинамического и имитационного моделирования флотационных процессов; совершенствование конструкций флотомашин и развитие и интенсификации комбинированных магнитно-гравитационных схем.

На секции «**Комплексная переработка минерального сырья, гидрометаллургические процессы**» обсуждались вопросы переработки упорного золотосодержащего сырья, комплексного извлечения ценных компонентов из полиметаллических руд и техногенного сырья, интенсификации гидрометаллургических процессов.

На секции, посвящённой **экологическим и экономическим аспектам переработки техногенного сырья**, особое внимание было уделено правовым, информационным и технологическим вопросам разработки техногенных месторождений.

В ходе расширенного заседания за наиболее интересные теоретические и экспериментальные результаты в области переработки минерального сырья дипломами и памятными подарками награждены пять молодых ученых: Н. А. Гордевин (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург), П. А. Жизневская (ИГД ДВО РАН, Хабаровск), В. С. Лабудин (ГРК «Быстринское», Чита), М. А. Попов (ИРНИТУ, Иркутск), К. В. Прохоров (ИГД ДВО РАН, Хабаровск).

Серебряный значок совещания «Плаксинские чтения» за многолетнее активное участие получили десять участников: В. С. Алексеев, Т. Г. Конарева (ИГД ДВО РАН, Хабаровск), Е. Л. Матвеева, Г. В. Митрофанова (Гои КНЦ РАН, Апатиты), Л. А. Киенко (ИГД ДВО РАН, Владивосток), О. Б. Котова (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар), А. И. Непомнящих (ИГХ СО РАН, Иркутск), Н. В. Николаева (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург), Е. Г. Ожогина (ВИМС, Москва), С. А. Прокопьев (ООО НПК «СПИРИТ», Иркутск).

В заключительный день конференции для участников были организованы технические туры в ЦКП «Центр исследования минерального сырья (ЦИМС)» при Институте горного дела ДВО РАН и на производственные площадки одного из крупнейших в России



Академик РАН И. Ю. Рассказов, член-корр. РАН Т. Н. Александрова (в центре) и молодые ученые, награжденные дипломами и памятными подарками за наиболее интересные теоретические и экспериментальные результаты в области переработки минерального сырья

Academician of RAS I. Yu. Rasskazov, Corresponding member of RAS T. N. Aleksandrova (in the center) and young researchers awarded by diplomas and valuable gifts for the most interesting theoretical and experimental results in the area of processing of mineral raw

Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения.

На конференции было принято решение провести международную конференцию «Плаксинские чтения — 2027» на базе Забайкальского государственного университета.

Материалы конференции опубликованы в сборнике «Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья» (Плаксинские чтения — 2026) (Хабаровск, 21–25 сентября 2026 г.): материалы международной конференции. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2026. 520 с. ISBN 978-5-262-01038-7. Доклады представлены на сайте научной электронной библиотеки (elibrary.ru), интегрированной с РИНЦ.

д. г.-м. н. О. Б. Котова

Редакторы издательства:
О. В. Габова, К. В. Ордин (английский)

Компьютерная верстка:
Р. А. Шуктомова

Выписка из реестра средств массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 30.10.2026. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 7.5. Тираж 150. Заказ 1275. 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 (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