



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. Андричева, 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, Апатиты, 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
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия
А. Г. Шеломенцев, Екатеринбург, Россия

Технический редактор Г. Н. Каблис

Заведующий редакцией Т. А. Некучаева

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, Apatity, 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
C. M. Soja, Hamilton, NY, USA
O. V. Udoratina, Syktyvkar, Russia
M. A. Fedonkin, Moscow, Russia
A. G. Shelomentsev, Yekaterinburg, Russia

Technical Editor G. N. Kablis

Managing Editor T. A. Nekuchaeva

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

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

Прежнее название:

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Двухлетний импакт-фактор
РИНЦ журнала (2023) – 0.540



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 (2023) – 0.540

Содержание

Content

Научные статьи

Scientific articles

Состав углеводородов-биомаркеров битумоидов разновозрастных месторождений Тимано-Печорской и Волго-Уральской нефтегазоносных провинций
Л. Х. Галиахметова, Р. А. Маркелов, Р. Э. Мухаматдинова, И. И. Мухаматдинов, А. В. Вахин.....3

Composition of hydrocarbons-biomarkers of bitumoids of different-aged deposits of the Timan-Pechora and Volga-Ural oil and gas provinces
L. Kh. Galiakhmetova, R. A. Markelov, R. E. Mukhamatdinova, I. I. Mukhamatdinov, A. V. Vakhin.....3

Актуализация перспектив нефтегазоносности пермских отложений зоны сочленения Вилюйской синеклизы и Алданской антеклизы
М. М. Тахватулин..... 11

Update of oil and gas potential of Permian deposits in the junction zone of Vilyui synecline and the Aldan antecline
M. M. Takhvatulin..... 11

Особенности распределения редкоземельных и редких элементов в корках выветривания Немской и Жежимпарминской возвышенностей Южного Тимана
О. В. Гракова, К. С. Попвасев..... 25

Specifics of the distribution of rare-earth and rare elements in the weathering crusts of the Nem and Zhezhiparma uplands at the Southern Timan
O. V. Grakova, K. S. Popvasev..... 25

Формирование голоценовых отложений в нижнем течении реки Чёрной (северо-запад Большеземельской тундры)
В. А. Исаков 34

Formation of Holocene sediments in the lower reach of the Chernaya River (northwest of the Bolshezemelskaya tundra)
V. A. Isakov.....34

Новые данные о строматопороидеях лымбадъяхинской свиты верхнего девона севера Пай-Хоя
Е. В. Антропова 47

New data on stromatoporoids of the Northern Pai-Khoi Upper Devonian Lymbada Formation
E. V. Antropova 47

Хроника, события, факты

Chronicle, events, facts

Исследователь земных недр и его концепция недропользования. К 90-летию со дня рождения Юрия Андреевича Ткачёва (19.03.1935—01.10.2020) 54

Researcher of the Earth subsoil and his concept of subsoil use. On the occasion of the 90th Anniversary of the birth of Yuri Andreevich Tkachev (19.03.1935—01.10.2020)..... 54

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting



Состав углеводородов-биомаркеров битумоидов разновозрастных месторождений Тимано-Печорской и Волго-Уральской нефтегазоносных провинций

Л. Х. Галиахметова, Р. А. Маркелов, Р. Э. Мухаматдинова, И. И. Мухаматдинов, А. В. Вахин

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
gal-lilia@mail.ru

Приводятся результаты изучения углеводородов-биомаркеров в битумоидах, выделенных из пород эйфельского яруса среднего девона Ярегского месторождения, и пермокаменноугольных отложений Усинского месторождения Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, а также в битумоидах, выделенных из пород уфимского яруса верхней перми Ашальчинского и Мордово-Кармального месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, комплексом геохимических исследований. Группа изученных биомаркеров включает в себя нормальные и изопреноидные алканы, ароматические соединения, циклические изопреноиды — стераны, тритерпаны. Рассмотрены основные геохимические параметры, полученные по парафинновым, ароматическим, стерановым и гопановым углеводородам. Сравнительный анализ показал сходные условия осадконакопления и однотипность исходного органического вещества изученных объектов, что позволило предположить морское происхождение исходного органического вещества рассмотренных месторождений, которое накапливалось и претерпевало диагенетическое преобразование в восстановительной обстановке. Термическая зрелость органического вещества соответствует главной фазе нефтеобразования.

Ключевые слова: битумоид, хемофоссилии, биомаркеры, гопаны, стераны, углеводороды

Composition of hydrocarbons-biomarkers of bitumoids of different-aged deposits of the Timan-Pechora and Volga-Ural oil and gas provinces

L. Kh. Galiakhmetova, R. A. Markelov, R. E. Mukhamatdinova, I. I. Mukhamatdinov, A. V. Vakhin

Kazan Federal University, Kazan, Russia

The study presents the results of hydrocarbon biomarker analysis in bitumoids extracted from Middle Devonian Eifelian rocks of the Yarega field and Permian-Carboniferous deposits of the Usinsk field in the Timan-Pechora petroleum province. It also examines bitumoids from Upper Permian Ufimian rocks of the Ashalcha and Mordovo-Karmal fields in the Volga-Ural petroleum province using a comprehensive geochemical approach. The analyzed biomarker group includes normal and isoprenoid alkanes, aromatic compounds, and cyclic isoprenoids such as steranes and triterpanes. Key geochemical parameters were determined on the basis of paraffinic, aromatic, sterane, and hopane hydrocarbons. A comparative analysis revealed similar sedimentary environments and a consistent type of original organic matter across the studied deposits. This suggests a marine origin of the original organic material, which accumulated and underwent diagenetic transformation under reducing conditions. The thermal maturity of the organic matter corresponds to the main phase of oil generation.

Keywords: bitumoid, chemofossils, biomarkers, hopanes, steranes, hydrocarbons

Введение

В последнее время в нефтяной промышленности наблюдается стойкий интерес к нетрадиционным источникам углеводородного сырья — тяжелым высоковязким нефтям и природным битумам, что обусловлено, с одной стороны, истощением запасов традиционных залежей нефти, а с другой — внушительными объемами разведанных запасов нетрадиционного УВ-сырья (Бахтизина, 2013; Калмыков и др., 2017). Относительно небольшая глубина залегания залежей природных битумов делает их разработку еще более привлекательной.

Важнейшими критериями оценки перспектив нефтебитуминозности территории служат условия образования месторождений горючих полезных ископаемых, в том числе природных битумов (Успенский

и др., 2008). При реконструкции условий формирования нафтидов существенная роль отводится составу и распределению молекул-биомаркеров, унаследовавших в каустобиолитах основные черты строения исходных биологических веществ (Баженова и др., 2004; Каширцев, 2003).

Нефть и экстракты горных пород являются одними из самых сложных смесей в природе, и стремление понять их состав подталкивает исследователей изучать его на молекулярном уровне. Благодаря новейшему оборудованию были достигнуты идентификация и количественное определение всех основных и второстепенных видов углеводородов в геологических образцах, а также множества следовых компонентов (Walters et al., 2018). Многие из этих соединений являются биомаркерами — соединениями, которые сохра-

Для цитирования: Галиахметова Л. Х., Маркелов Р. А., Мухаматдинова Р. Э., Мухаматдинов И. И., Вахин А. В. Состав углеводородов-биомаркеров битумоидов разновозрастных месторождений Тимано-Печорской и Волго-Уральской нефтегазоносных провинций // Вестник геонаук. 2025. 3(363). С. 3–10. DOI: 10.19110/geov.2025.3.1

For citation: Galiakhmetova L. Kh., Markelov R. A., Mukhamatdinova R. E., Mukhamatdinov I. I., Vakhin A. V. Composition of hydrocarbons-biomarkers of bitumoids of different-aged deposits of the Timan-Pechora and Volga-Ural oil and gas provinces. Vestnik of Geosciences, 2025, 3(363), pp. 3–10, DOI: 10.19110/geov.2025.3.1

нили достаточную структурную информацию для корреляции с одним или несколькими биологическими предшественниками (например, терпеноиды, стеринны и стероиды), которые широко используются для характеристики биотического поступления, условий осадконакопления, термической зрелости, процессов изменения и корреляций (Peters et al., 2005). Для обнаружения и характеристики биомаркеров на уровне мг/л и ниже широко используются методы газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) (Gil, 2005; Richard et al., 2006, Solevic et al., 2008).

В данной работе представлены результаты изучения биомаркерных углеводородов насыщенных и ароматических фракций битумоидов Ярегского и Усинского месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, а также Ашальчинского и Мордово-Кармального месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Группа изученных хемофоссилий включает в себя нормальные и изопреноидные алканы, ароматические соединения, циклические изопреноиды — стераны, тритерпаны, которые могут нести информацию об исходном материнском веществе нефтей.

Изучение и сравнительный анализ состава насыщенных и ароматических биомаркеров стеранового и гопанового рядов битумоидов различных месторождений двух крупных нефтегазоносных провинций России проводился для реконструкции условий осадконакопления, для определения диагностических обстановок и степени катагенетической преобразованности и зрелости органического вещества.

Для Волго-Уральской и Тимано-Печорской провинций основными нефтематеринскими породами считаются битуминозные глинистые, глинисто-кремнистые известняки и доломиты доманиковой формации, которые протягиваются широкой полосой вдоль Уральской складчатой системы (Заграновская и др., 2021). Многие исследователи отмечают большое сходство доманиковых пород Урала, Волго-Уральского и Тимано-Печорского бассейнов по литологии, геохимии и палеоэкологии фауны, что свидетельствует о единой доманиковой фации, образовавшейся в схожих условиях (Завьялова и др., 2018; Кирюхина и др., 2013). Вышележащие коллекторы различного возраста и литологического состава через транзитные толщи могли стать резервуаром для мигрировавших углеводородов, генерированных доманиковыми нефтегазоматеринскими толщами (Аверьянова, 2016).

Материалы и методы

Объекты исследований

Объектами исследований послужили образцы керны, отобранные из нефтебитуминозных осадочных пород Ярегского, Усинского месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции и Ашальчинского, Мордово-Кармального месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.

Образец 1, представленный кварцевым песчаником с незначительным содержанием мусковита и каолинита, отобран на Лыяельской площади Ярегского месторождения с интервала глубины 184—186 м. Ярегское нефтяное месторождение Тимано-Печорской провинции, открытое в 1932 году, расположено в пределах Восточно-Тиманского мегавала и приурочено к

крупной брахиантиклинали юго-восточного погружения Тимана, которая является наиболее гипсометрически приподнятой структурой Тимано-Печорской провинции. Нефтеносные отложения пласта III эйфельского яруса мощностью 30 м, представленные кварцевыми песчаниками, непосредственно залегают на рифейских метаморфических сланцах и перекрываются туффито-диабазовой толщей мощностью около 40 м. Пласт содержит значительную залежь очень вязкой и тяжелой нефти (0.933—0.947 г/см³). Небольшие глубины залегания, составляющие 120—160 м в своде структуры и 200—250 м на погружениях, позволили разрабатывать залежь термошахтным способом.

Образец 2, представленный органогенно-обломочным известняком, отобран из Усинского месторождения с интервала глубины 1303—1306 м. Усинское нефтяное месторождение Тимано-Печорской провинции, открытое в 1963 году, относится к одноименной антиклинальной структуре, осложняющей южную часть Колвинского мегавала — самой восточной структуры второго порядка в пределах Печоро-Колвинского авлакогена. Пермокарбонатная залежь Усинского месторождения относится к числу самых крупных и является одним из наиболее сложных объектов. Залежь находится на глубине 1100—1500 м и содержит тяжелую нефть плотностью от 0.954 до 0.968 г/см³ в карбонатах трещинно-кавернозно-порового типа нижней перми, верхнего и среднего карбона. Залежь сводовая массивная, покрывкой является толща верхнепермских алевролитов, аргиллитов и глин.

Образец 3, представленный средне- и мелкозернистым песчаником, отобран из Ашальчинского месторождения с интервала глубины 69—84 м. Ашальчинское месторождение природных битумов Волго-Уральской провинции, открытое в 1960 году, приурочено к брахиантиклинальной структуре северо-западного простирания, расположенной на западном склоне Южно-Татарского свода в пределах Черемшано-Ямашинской структурной зоны второго порядка. Основная залежь битумов связана с верхней песчаной пачкой уфимского яруса верхней перми, слагающей ядро Ашальчинской антиклинали. Битумы Ашальчинского месторождения характеризуются высокими значениями плотности (от 951 до 1070 кг/м³) и вязкости (до 44027 мПа·с), имеют в своем составе значительное количество гетероатомов, основную часть которых составляет сера. При разработке залежи используется парогравитационная технология воздействия через парные горизонтальные скважины.

Образец 4, представленный слабосцементированным песчаником, отобран из Мордово-Кармального месторождения с интервала глубины 87.5—100.5 м. Мордово-Кармальское месторождение природных битумов Волго-Уральской провинции, открытое в 1970 году, расположено в пределах западного склона Южно-Татарского свода, в юго-восточной части Черемшано-Ямашинской структурной зоны второго порядка. Промышленно-битуминозными являются отложения уфимского яруса верхней перми, литологически представленные рыхлыми песками и слабосцементированными песчаниками. Природные битумы Мордово-Кармального месторождения характеризуются высоким содержанием смолисто-асфальтеновых веществ и серы.



Далее по тексту под образцами 1, 2, 3 и 4 подразумеваются образцы, отобранные из Ярегского, Усинского, Ашальчинского и Мордово-Кармальского месторождений соответственно.

Методы исследований

Битумоиды извлекали из породы методом горячей экстракции в аппарате Сокслета с использованием следующих растворителей, отличающихся различной полярностью: хлороформ, бензол, изопропиловый спирт в соотношении 1:1:1.

Компонентный состав экстрактов определялся методом SARA-анализа согласно методике ASTM D 4124-09 и ГОСТ 32269-2013. Асфальтены осаждались под действием 40-кратного количества алифатического растворителя — гексана. Мальтены разделялись на фракции при помощи стеклянной хроматографической колонки, заполненной прокаленным при 450 °C оксидом алюминия. Разделение на фракции насыщенных, ароматических углеводородов и смол производилось последовательным элюированием подходящими растворителями. Растворение насыщенных углеводородов осуществлялось н-гексаном, ароматических углеводородов — толуолом, а смолы смывались с адсорбента смесью из толуола и метанола в соотношении 3:1.

ГХ-МС-анализ фракций насыщенных и ароматических углеводородов исследованных образцов проводился на хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000.2» («Хроматэк», Йошкар-Ола, Россия) с масс-спектрометрическим детектором 214.2.840.083-10 (источник ионов ADVIS) с использованием компьютерной обработки данных по полному ионному току, а также по ионам m/z 57 для алканов, m/z 191 — для гопанов, m/z 217–218 — для стеранов; m/z 178, 192, 206 — для фенантронов, m/z 184, 198 — для дибензотиофенов. Использована капиллярная колонка CR-5ms (длина 30 м, внутренний диаметр 0.25 мм, толщина неподвижной фазы 0.25 мкм, газ-носитель — гелий). Хроматографирование осуществляли в режиме линейного программирования от 100 до 310 °C. Режим работы масс-спектрометра: энергия ионизации 70 эВ, температура источника ионов 270 °C, сканирование в диапазоне 50–500 Да со скоростью 0.2 скан/с. Затем выполнялась компьютерная реконструкция хроматограмм по характерным для различных групп УВ осколочным ионам. Идентификация отдельных углеводородных соединений производилась на базе библиотеки NIST, а также с помощью литературных данных. Относительную распространенность каждого отдельного соединения оценивали как отношение его содержания к суммарному содержанию всех идентифицированных соединений.

Результаты и обсуждение

Выход хлороформенного битумоида образца 1 составил 11.2 %, образца 2 — 7.1 %, образца 3 — 10.9 % и образца 4 — 9.4 %. Полученные после экстракции битумоиды были разделены на 4 фракции с помощью SARA-анализа, результаты которого представлены в табл. 1. По компонентному составу битумоиды изученных месторождений относятся к ароматико-смешанному типу (классификации Б. Тиссо и Д. Вельте) (Баженова и др., 2004).

Далее полученные с помощью SARA-анализа насыщенные и ароматические фракции были проанализированы методом газовой хромато-масс-спектрометрии. На рис. 1, а и 2 представлены хроматограммы насыщенных фракций исследуемых образцов и относительное содержание идентифицированных соединений соответственно. В насыщенной фракции образца 1 преобладают моно-, ди- и полициклические алканы, что подтверждается сильно выраженным нафтеновым горбом, также в небольшом количестве присутствуют алканы нормального и изопреноидного строения. В образце 2 преобладают циклические алканы, в особенности гопановые углеводороды, алканы содержатся в значительно меньшем количестве. Хроматограмма образца 3 представлена в основном алканами нормального и изопреноидного строения, также присутствуют моноцикланы и гопановые УВ. В насыщенной фракции образца 4 преобладают алканы изопреноидного строения (относительное содержание более 60 %), н-алканы содержатся в значительно меньшем количестве: алканов состава C_{20} – C_{36} больше, чем алканов с более короткой цепью.

На рис. 1, б и 3 представлены хроматограммы ароматических фракций исследуемых образцов и относительное содержание идентифицированных соединений соответственно. Состав ароматической фракции исследованных образцов значительно отличается по содержанию в них различных групп соединений. Так, в ароматической фракции образца 1 преобладают фенантроны и гидрофенантроны — более 46 %, а также серосодержащие углеводороды, представленные алкилбензотиофенами и алкилдибензотиофенами. Алкилбензолы и нафталиновые углеводороды в данном образце идентифицированы в небольшом количестве. В образце 2 относительно содержание алкилбензолов также низкое, наибольшее содержание приходится на алкилнафталины и алкилтетралины — более 45 %, также присутствуют фенантроновые и серосодержащие ароматические УВ. Ароматическая фракция образцов 3 и 4 представлена преимущественно серосодержащими ароматическими соединениями (более 42 и 35 % соответственно), такими как алкилбензо- и алкилдибензотиофены, алкилнафтотиофены, также были идентифицированы алкилбензолы (более 28 и 35 % соответственно), нафталиновые УВ и около 10 % фенантроновых УВ. Полученные данные расширяют представление о составе исследованных образцов и будут способствовать улучшению понимания механизма формирования залежей нефти.

В таблице 1 представлены геохимические характеристики ОВ исследуемых образцов.

Биомаркерные соотношения насыщенных УВ. По соотношению пристана и фитана (Pr/Ph) можно предположить, что ОВ всех образцов генерировалось в морской среде при восстановительных условиях. Коэффициент изопреноидности ($K_{изо}$) также подтверждает морской генезис ОВ для образцов 2 и 3, для образцов 1 и 4 данное значение существенно выше, причиной этому может быть незрелость ОВ.

Коэффициент нечетности (CPI) соответствует числовому представлению преобладания «четных» н-алканов над «нечетными» в конкретном диапазоне углеводородной цепи и может использоваться как параметр зрелости при очевидном преобладании «четных» над



«нечетными» n-алканами. Для исследуемых образцов CPI определялся по следующей формуле (Peters et al., 2005):

$$CPI = \frac{2 \cdot (C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29})}{C_{22} + 2 \cdot (C_{24} + C_{26} + C_{28}) + C_{30}}$$

С увеличением зрелости коэффициент CPI стремится к единице. Данный показатель для образца 1 равен 1.41, что также может служить признаком незрелости ОБ.

Индекс TAR (terrigenous/aquatic ratio) показывает соотношение алканов с длиной цепи $C_{27}-C_{31}$ к алканам с более короткой цепью состава $C_{15}-C_{19}$. С помо-

щью данного индекса можно установить генезис исходного ОБ: для морского ОБ значение TAR < 1.

На рис. 4 представлена диаграмма соотношений биомаркерных углеводородов насыщенной фракции. Значения биомаркерных соотношений для образцов 2 и 3 очень близки и совпадают в некоторых точках. Для образцов 1–3 значение индекса TAR меньше единицы, что совместно с низкими значениями Pr/Ph подтверждает морской генезис исходного ОБ. В насыщенной фракции образца 4 были обнаружены парафины, и следовательно, значения TAR = 2.76, что может свидетельствовать о вкладе высших растений в формирование органического вещества исследуемого образца.

Таблица 1. Характеристика битумоидов по данным хромато-масс-спектрометрии, экстракции и SARA-анализа
Table 1. Characteristics of bitumoids according to chromatograph mass spectrometry, extraction and SARA analysis

Характеристики Features		Номер образца (название месторождения) Sample number (deposit)			
		1 (Ярегское Yaregskoe)	2 (Усинское Usinskoe)	3 (Ашальчинское Ashaltchinskoe)	4 (Мордово- Кармальское Mordovo-Karmalskoe)
парафиновых УВ of paraffinic hydrocarbons	Pr/Ph	1.46	0.48	0.48	0.68
	Pr/C ₁₇	7.01	0.56	0.47	3.36
	Ph/C ₁₈	5.23	0.97	0.94	5.62
	K _{изо}	6.16	0.78	0.74	4.42
	CPI	1.41	1.02	1.04	0.94
	TAR	0.54	0.85	0.92	2.76
ароматических УВ of aromatic hydrocarbons	DBT/P	0.05	0.63	1.88	1.36
	4-MDBT/P	0.05	0.80	3.45	5.84
	MPI-I	0.48	0.54	0.81	0.66
	Rc	0.69	0.72	0.89	0.80
стерановых УВ of sterane hydrocarbons	αββ-стераны / steranes C ₂₇ :C ₂₈ :C ₂₉	30:22:48	31:19:50	32:19:49	33:17:50
	C ₂₉ ββ(20S + 20R)/ C ₂₉ αα20R	4.40	3.90	3.80	3.91
	стераны/прегнаны Steranes/pregnanes	8.72	5.42	6.04	6.04
	DIA/REG	0.12	0.12	0.07	0.07
	стераны/терпаны Steranes/terpanes	0.40	0.24	0.20	0.09
гопановых УВ of hopane hydrocarbons	Ts/Tm	2.32	3.28	3.19	3.22
	Ts/(Ts + Tm)	0.70	0.77	0.76	0.76
	C ₂₉ /C ₃₀	0.73	0.84	1.35	1.40
	31S/(31S + R)	0.61	0.57	0.57	0.57
	C ₃₅ /C ₃₄	0.67	0.67	1.10	1.05
Выход битумоида, мас. % / Bitumen yield, wt. %		11.20	7.13	10.91	9.4
Групповой состав, % Group composition, %	насыщенные УВ Saturated HC	40.70	44.10	20.10	29.51
	ароматические УВ Aromatic HC	28.40	29.50	32.70	31.83
	смолы / Resins	27.30	19.10	35.30	32.97
	асфальтены Asphaltenes	3.6	7.4	11.9	5.69

Примечание / Note: K_{изо} = (Pr + Ph)/(C₁₇ + C₁₈); TAR = (C₁₇ + C₁₈ + C₁₉)/(C₂₆ + C₂₇ + C₂₈); MPI-I = 1.5 × (2MP + 3MP)/(P + 1MP + 9MP); Rc = 0.60*(MPI-I) + 0.40.

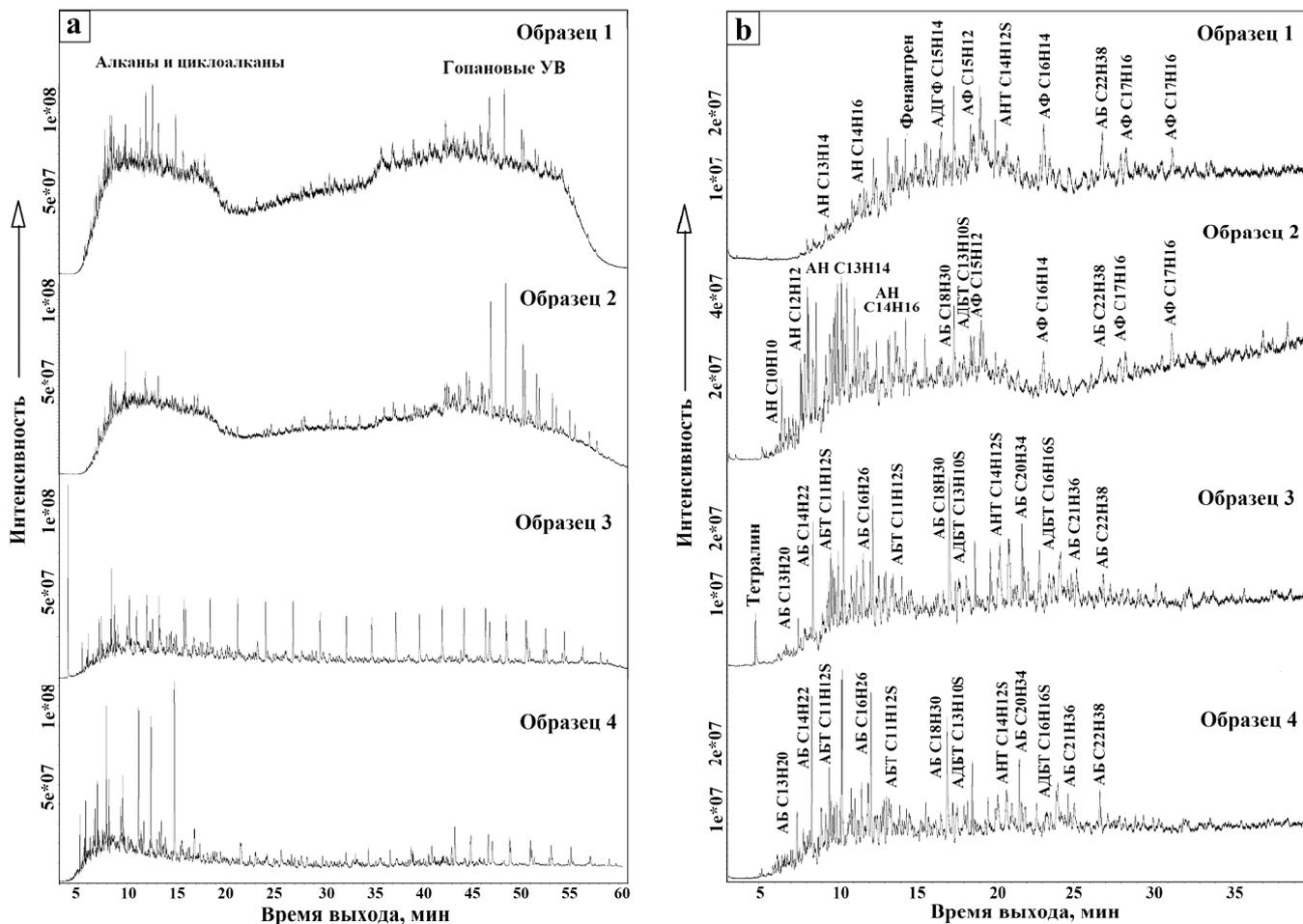


Рис. 1. Хроматограммы насыщенной (а) и ароматической (б) фракций (АБ – алкилбензолы, АН – алкилнафталины, АБТ – алкилбензотиофены, АДБТ – алкилдибензотиофены, АНТ – алкилнафтоотиофены, АФ – алкилфенантрены, АДГФ – алкилдигидрофенантрены)

Fig. 1. Chromatograms of saturated (a) and aromatic (b) fractions (АБ – alkylbenzenes, АН – alkylnaphthalenes, АБТ – alkylbenzothiophenes, АДБТ – alkyldibenzothiophenes, АНТ – alkylnaphthothiophenes, АФ – alkylphenanthrenes, АДГФ – alkyl-dihydrophenanthrenes)

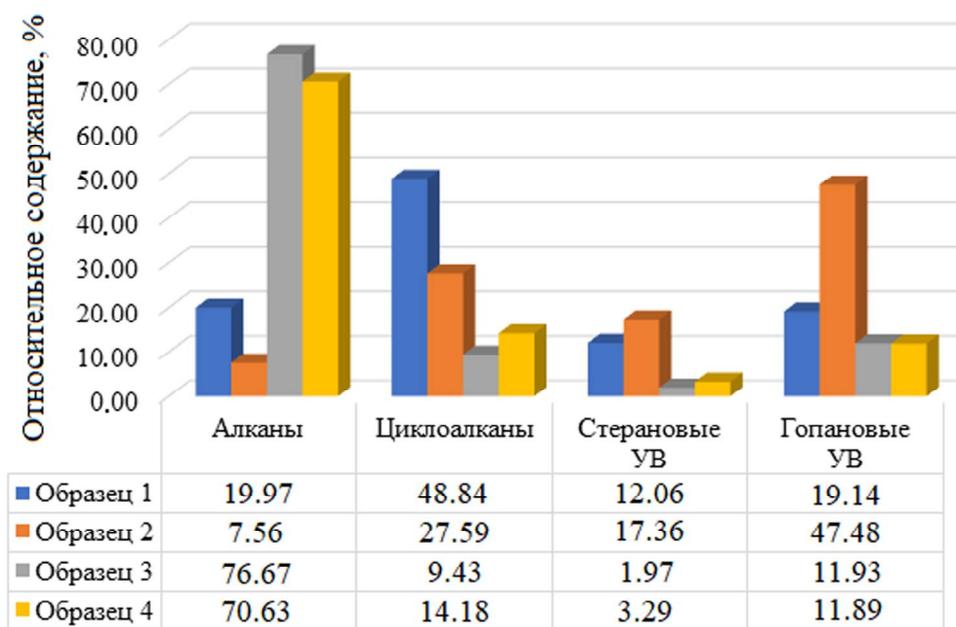


Рис. 2. Относительное содержание идентифицированных соединений в насыщенной фракции, %

Fig. 2. Relative content of identified compounds in the saturated fraction, %

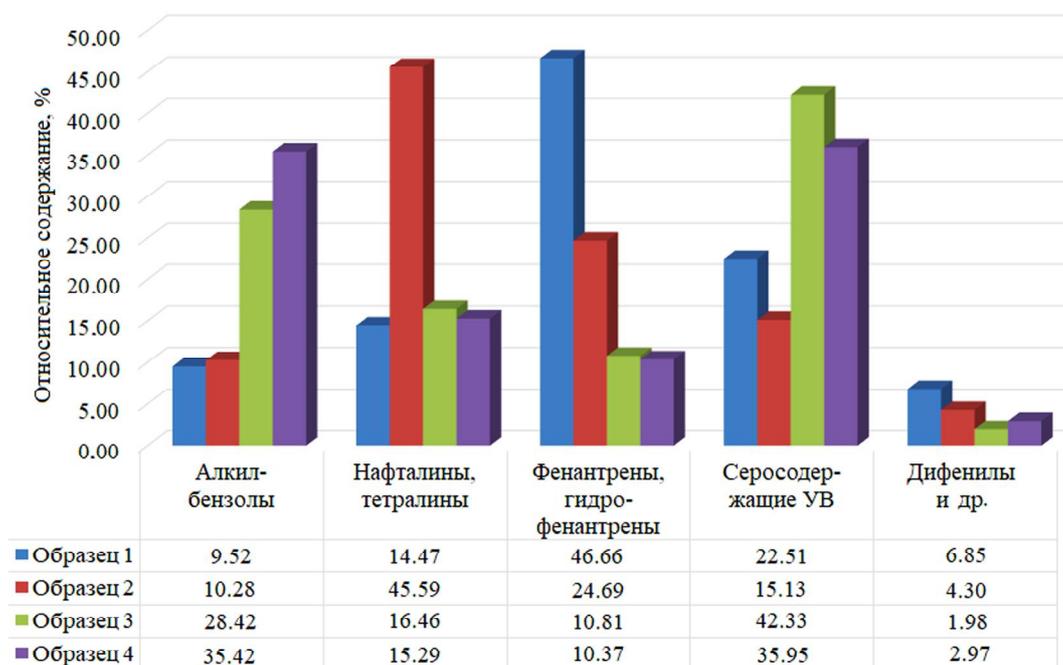


Рис. 3. Относительное содержание идентифицированных соединений в ароматической фракции, %
 Fig. 3. Relative content of identified compounds in the aromatic fraction, %

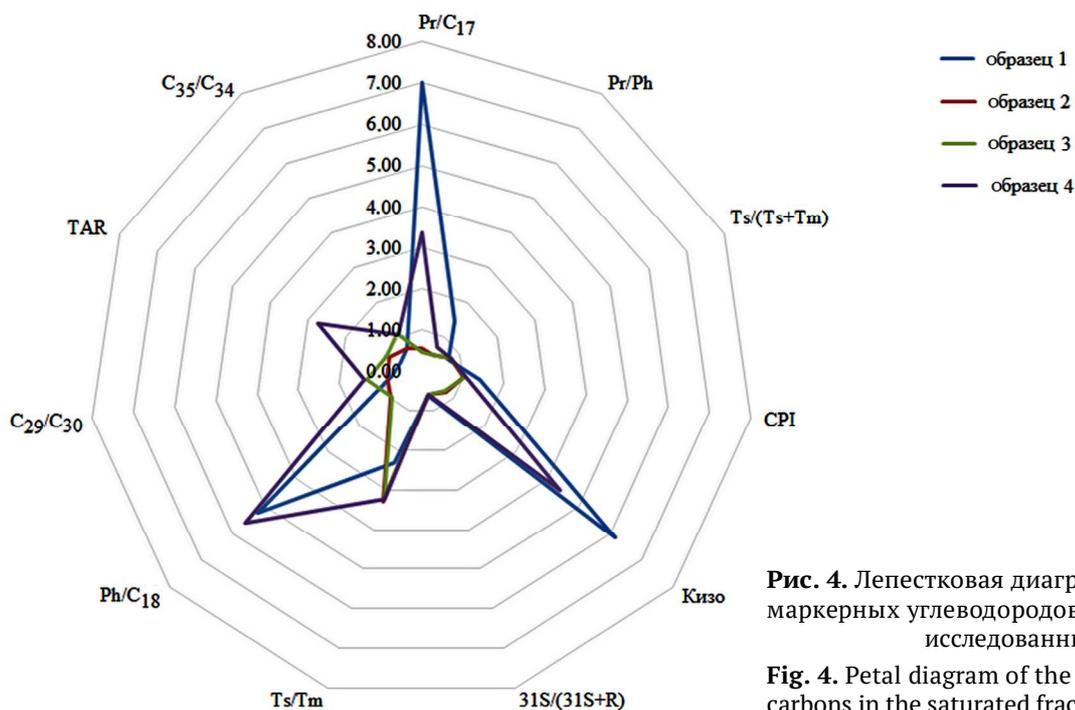


Рис. 4. Лепестковая диаграмма соотношений биомаркерных углеводородов в насыщенной фракции исследованных образцов

Fig. 4. Petal diagram of the ratios of biomarker hydrocarbons in the saturated fraction of the studied samples

Биомаркерные соотношения стеранов и гопанов. Гопаны идентифицированы на хроматограммах всех образцов, пики с высокой интенсивностью соответствуют адиантану C_{29} и гопану C_{30} . Для всех образцов значения соотношений гопанов совпадают или отличаются незначительно (рис. 4). Так, в образцах 3 и 4 адиантана (C_{29}) по относительному содержанию больше, чем гопана (C_{30}), что свидетельствует о присутствии богатых органикой карбонатов в генерирующей породе. Также наблюдается преобладание гомогопана C_{35} над C_{34} , это может быть признаком окислительных условий осадконакопления. Соотношения

$18\alpha H-22,29,30$ -триснорнеогопана к $17\alpha H-22,29,30$ -трисноргопану — Ts/Tm и $Ts/(Ts+Tm)$ являются показателями «зрелости» в пределах градации ПК-МК₃. С ростом катагенеза значение $C_{31}S/(S+R)$ увеличивается с 0 до 0.6 (равновесие наступает при 0.57–0.62). Если значение данного соотношения находится в пределах 0.57–0.62, то степень катагенеза ОВ достигла главной фазы нефтеобразования (ГФН) (Фомин, 1982). Соотношение Ts/Tm для зрелых нефтей, как правило, больше или равно 1. Значения $Ts/(Ts+Tm) = 0.6-1.0$ соответствуют стадии ГФН. По полученным биомаркерным данным можно сделать предположение, что



ОВ всех исследованных образцов является «зрелым» и находится на стадии ГФН.

Биомаркерные соотношения стерановых углеводородов для образцов 1–4 $C_{27}:C_{28}:C_{29}$ представлены в таблице 1. Состав стеранов исследованных образцов очень схож, что свидетельствует об однотипности исходного органического вещества. Все битумоиды генерированы из морского органического вещества в карбонатных породах в условиях открытого моря (рис. 5). Стерановые УВ в исследуемых образцах представлены преимущественно регулярными стеранами, но также идентифицированы и диастераны, соотношение DIA/REG составляет 0.07–0.12, это может быть доказательством того, что исходное ОВ изученных образцов формировалось преимущественно в карбонатных породах морского бассейна (Peters et al., 2005).

Биомаркерные соотношения ароматических УВ. С помощью соотношений дибензотиофена/фенантрена (ДВТ/Р) и пристана/фитана можно выполнить реконструкцию условий седиментогенеза и раннего диагенеза (рис. 6) (Гусева и др., 2010). По данному графическому методу установлено, что для ОВ всех образцов характерен морской генезис. Формирование ОВ образца 1 осуществлялось в морских глинах и других озерных отложениях (зона 3), образца 2 – в озерных, бедных серой отложениях (зона 2), образцов 3 и 4 – в морских карбонатах и мергелях, озерных отложениях, богатых серой (зона 1Б).

Согласно авторам (Чахмачев и др., 1998), по соотношению 4-метилдибензотиофена к фенантрону (4-MДВТ/Р) можно сделать предположение о составе нефтематеринских пород. Так, значение 4-MДВТ/Р ≤ 0.38 характерно для глинистых пород, для образца 1 этот показатель равен 0.05. Если 4-MДВТ/Р = 0.3–1.8, породу можно отнести к кремнистым, для образца 2 это значение равно 0.8. Для карбонатных нефтематеринских пород 4-MДВТ/Р = 4.2–8.3, можем предположить, что нефтематеринская порода образца 3 со значением 3.45 является смешанной карбонатно-кремнистой породой. Значение 5.84 для образца 4 соответствует карбонатным нефтематеринским породам.

Метилфенантреновый индекс МРІ-I является оценкой изомеризации фенантренов и коррелирует с отражательной способностью витринита (R_0) (Peters, 2005). С помощью данного индекса можно получить расчетное значение отражательной способности витринита R_s . Для исследованных образцов величина $R_s = 0.69–0.89$, что соответствует мезокатагенезу стадий МК1-МК3 и главной зоне нефтеобразования.

Выводы

По данным хромато-масс-спектрометрии установлено, что углеводородные составы насыщенных и ароматических фракций всех исследованных образцов существенно отличаются друг от друга. Однако при расчете биомаркерных коэффициентов и соотношений установлены сходства условий осадконакопления и генерации исходного ОВ, что позволило предположить морское происхождение исходного органического вещества изученных месторождений, которое накапливалось и претерпевало диагенетическое преобразование в восстановительной обстановке. В настоя-



Рис. 5. Стерановая диаграмма

Fig. 5. Sterane diagram

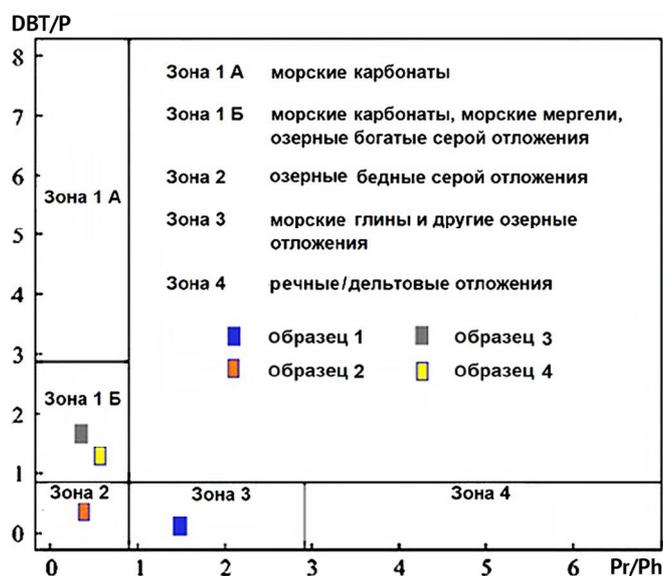


Рис. 6. Графический метод реконструкции условий седиментогенеза и раннего диагенеза

Fig. 6. Graphical method for reconstructing the conditions of sedimentogenesis and early diagenesis

щее время изученные образцы имеют высокую степень катагенетического преобразования и находятся в главной фазе нефтеобразования.

Полученные в работе данные и рассчитанные геохимические индексы свидетельствуют о том, что битумоиды, экстрагированные из коллекторов различного литологического состава географически удаленных друг от друга месторождений двух крупных нефтегазоносных провинций России, имеют схожий набор биомаркеров. Особенно это касается стеранов исследованных образцов, что свидетельствует об однотипности исходного органического вещества.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета «ПРИОРИТЕТ-2030».



Литература / References

- Аверьянова О. Ю. Нефтегазовые системы доманикового типа Тимано-Печорского осадочного бассейна // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2016. 11 (1). С. 11.
Averyanova O. Yu. Oil and gas systems of the Domanik type of the Timan-Pechora sedimentary basin. Oil and Gas Geology. Theory and Practice, 2016, No. 11 (1), p. 11. (in Russian)
- Баженова О. К., Бурлин Ю. К., Соколов Б. А., Хаин В. Е. Геология и геохимия нефти и газа. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 384 с.
Vazhenova O. K., Burlin Yu. K., Sokolov B. A., Khain V. E. Geology and geochemistry of oil and gas. Moscow: Moscow University Publishing House, 2004, 384 p. (in Russian)
- Бахтизина Н. В. Освоение мировых ресурсов нетрадиционной нефти: вызовы для России // Нац. интересы: приоритеты и безопасность. 2013. № 35. С. 30–35.
Bakhtizina N. V. Development of world resources of unconventional oil: challenges for Russia. Nat. interests: priorities and security, 2013, No. 35, pp. 30–35. (in Russian)
- Гусева А. Н., Соболева Е. В. Химия горючих ископаемых. М.: Изд-во Московского ун-та, 2010. 312 с.
Guseva A. N., Soboleva E. V. Chemistry of fossil fuels. Moscow: Moscow University Publishing House, 2010, 312 p. (in Russian)
- Завьялова А. П., Чупахина В. В., Ступакова А. В. и др. Сравнение разрезов доманиковых отложений Волго-Уральского и Тимано-Печорского бассейнов в местах их естественного выхода на дневную поверхность // Вестник Моск. ун-та. Серия 4: Геология. 2018. № 6. С. 57–73.
Zavyalova A. P., Chupakhina V. V., Stupakova A. V. et al. Comparison of sections of domanik deposits of the Volga-Ural and Timan-Pechora basins in places of their natural outcrop on the day surface. Bulletin of Moscow University. Series 4: Geology, 2018, No. 6, pp. 57–73. (in Russian)
- Заграновская Д. Е., Исаева С. И., Вилесов А. П. и др. Строение протяженных резервуаров отложений доманиковой формации и методы их петрофизической интерпретации // Вестник Моск. ун-та. Серия 4: Геология. 2021. № 6. С. 120–132.
Zagranovskaya D. E., Isaeva S. I., Vilesov A. P. et al. The structure of extended reservoirs of Domanik formation deposits and methods of their petrophysical interpretation. Bulletin of Moscow University. Series 4: Geology, 2021, No. 6, pp. 120–132. (in Russian)
- Калмыков А. Г., Бычков А. Ю., Калмыков Г. А., Бугаев И. А., Козлова Е. В. Генерационный потенциал керогена баженовской свиты и возможность его реализации // Георесурсы. 2017. Спецвыпуск. Ч. 2. С. 165–172.
Kalmykov A. G., Vyckov A. Yu., Kalmykov G. A., Bugaev I. A., Kozlova E. V. Generation potential of kerogen of the Bazhenov formation and its possibility. Georesources, 2017, Special issue, Part 2, pp. 165–172. (in Russian)
- Каширцев В. А. Органическая геохимия нафтидов востока Сибирской платформы. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. 160 с.
Kashirtsev V. A. Organic geochemistry of naphthides of the east of the Siberian platform. Yakutsk: Yakutsk Branch of the Siberian Branch RAS, 2003, 160 p. (in Russian)
- Кирюхина Т. А., Фадеева Н. П., Ступакова А. В. и др. Доманиковые отложения Тимано-Печорского и Волго-Уральского бассейнов // Геология нефти и газа. 2013. № 3. С. 76–87.
Kiryukhina T. A., Fadeeva N. P., Stupakova A. V. et al. Domanik deposits of the Timan-Pechora and Volga-Ural basins. Geology of oil and gas, 2013, No. 3, pp. 76–87. (in Russian)
- Успенский Б. В., Валева И. Ф. Геология месторождений природных битумов Республики Татарстан. Казань: ПФ Гарт, 2008. 349 с.
Uspensky B. V., Valeeva I. F. Geology of natural bitumen deposits in the Republic of Tatarstan. Kazan: PF Gart, 2008, 349 p. (in Russian)
- Фомин А. Н. Катагенез и перспективы нефтегазоносности палеозоя на юго-востоке Западно-Сибирской плиты. Новосибирск: Наука, 1982. 104 с.
Fomin A. N. Catagenesis and oil and gas potential prospects of the Paleozoic in the southeast of the West Siberian Plate. Novosibirsk: Nauka, 1982, 104 p. (in Russian)
- Чахмачев А. В., Сузуки М., Чахмачев В. А. Геохимия нефтей кремнистых отложений кайнозоя бассейнов Тихоокеанского пояса (на примере нефтегазоносных бассейнов России, Японии и США) // Геохимия. 1998. № 6. С. 576–588.
Chakhmachev A. V., Suzuki M., Chakhmachev V. A. Geochemistry of oils from Cenozoic siliceous deposits of the Pacific Belt basins (using oil and gas basins of Russia, Japan and the USA as an example). Geochemistry, 1998, No. 6, pp. 576–588. (in Russian)
- Gil O. Fingerprinting and age-dating of gasoline release: A case study / O. Gil // Env. Forens. 2005. Vol. 6. P. 91–99.
- Peters K. E. The Biomarker Guide, Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History / K. E. Peters, C. C. Walters, J. M. Moldowan, 2005. 1155 p.
- Richard B. G. Chemometric determination of target compounds used to fingerprint unweathered diesel fuels / B. G. Richard, J. H. Gregory, S. F. Glenn, R. G. Wayne, L. J. Kristy // Env. Forens. 2006. Vol. 7. P. 77–87.
- Solevic T. Origin of oils in the Velebit oil-gas field, SE Pannonian basin, Serbia-Source rocks characterization based on biological marker distributions / T. Solevic, K. Stojannovic, J. Bojesen-Koefoed, H. P. Nytoft, B. Jovancicevic, D. Vitorovic // Org. Geochem. — 2008. Vol. 39. P. 118–134.
- Walters C. C. Universal Biomarker Analysis: Aromatic hydrocarbons / C. C. Walters, F. C. Wang, M. B. Higgins, M. E. Madinica // Organic Geochemistry. 2018. Vol. 124. P. 205–214.

Поступила в редакцию / Received 10.02.2025



Актуализация перспектив нефтегазоносности пермских отложений зоны сочленения Вилюйской синеклизы и Алданской антеклизы

М. М. Тахватулин

Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (АО СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
m.takhvatulin@g.nsu.ru

За последние двадцать лет в пределах зоны сочленения Вилюйской синеклизы и Алданской антеклизы были проведены геолого-разведочные работы в значительных объемах, в том числе сейсморазведочные работы. Интерес к этой территории проявляют и компании-недропользователи, которые приобретают лицензии на поиск и разведку месторождений углеводородов. Данная зона расположена в центральной части Республики Саха (Якутия). Объектом исследования являются терригенные отложения пермской системы. С ними связаны основные перспективы нефтегазоносности данной территории. В пределах Вилюйской синеклизы имеются залежи углеводородов в пермских отложениях, которые обеспечивают газом центральные районы Якутии. В связи с этим необходимо актуализировать с учетом новых данных перспективы нефтегазоносности пермских отложений данного района. За основу исследования были взяты материалы сейсморазведочных работ и скважин глубокого бурения. Также проведен анализ опубликованных ранее литературных данных, посвященных геологическому строению пород перми данной территории. При интерпретации сейсмических и скважинных данных получены структурные поверхности, характеризующие отложения, а также триасовые и юрские отложения. С помощью карт толщин определены области распространения пород. Помимо этого были выделены и протрассированы разрывные нарушения. С использованием структурных карт, карт толщин, разрывных нарушений и скважинных данных были выделены нефтегазоперспективные зоны и объекты. Перспективные зоны связаны с сокращением толщин пермских отложений и выделяются вблизи линии выклинивания. К перспективным объектам относятся положительные структуры, вероятно ограниченные разрывными нарушениями.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Вилюйская синеклиза, Алданская антеклиза, пермские отложения, тарагайская толща, сейсмическая интерпретация, перспективы нефтегазоносности

Update of oil and gas potential of Permian deposits in the junction zone of Vilyui syneclyse and the Aldan anteclyse

M. M. Takhvatulin

Siberian scientific research institute of geology, geophysics and mineral raw material, Novosibirsk, Russia
Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Over the past two decades, significant geological exploration work, including seismic exploration, has been carried out within the junction zone of the Vilyui syneclyse and the Aldan anteclyse. In addition, oil and gas companies are also interested in this territory, acquiring licenses for the search and exploration for hydrocarbon deposits. The object of the study is the terrigenous deposits of the Permian system. The main oil and gas potential of this territory is associated with these Permian deposits. Within the Vilyui syneclyse, there are gas fields in the Permian deposits, which provide gas to the central regions of Yakutia. Thus, it is necessary to update the oil and gas potential of the area. The study was based on seismic exploration data, deep well data, including well logging curves, core descriptions, and Permian sediment test results. Previously published literature on the geological structure of Permian rocks was also analyzed. Our seismic interpretation and analysis of well data resulted in structural surfaces. The structural surfaces characterize Permian, Triassic and Jurassic sediments. The thickness maps have been used to determine the distribution areas of Permian deposits, Triassic and Jurassic fluid-sealing rocks. Using structural maps, thickness maps, faults and well data, the most oil and gas promising zones and objects of Permian deposits were identified. The promising zones are associated with a reduction in the thickness of Permian deposits, and identified near the wedge line. The fault-limited positive structures are promising objects.

Keywords: Siberian platform, Vilyui syneclyse, Aldan anteclyse, Permian deposits, taragay formation, seismic surveys, oil and gas potential

Введение

Географически район исследования расположен в центральной части Республики Саха (Якутия), в междуречье Вилюя и Лены (рис. 1).

Наиболее исследованной с точки зрения нефтегазоносности является юго-западная часть Якутии, где в пределах Непско-Ботубинской антеклизы открыто несколько крупных месторождений в отложениях вендского и венд-кембрийского нефтегазоносных комплексов.

Восточнее промышленные месторождения газа и газоконденсата находятся в контуре Вилюйской нефтегазоносной области. Она относится к надпорядковой отрицательной структуре — Вилюйской синеклизе, располагающейся на восточной окраине Сибирской платформы. Подавляющее большинство месторождений входят в состав крупной положительной структуры — Хапчагайского мегавала, который расположен в центральной части синеклизы, севернее исследуемой территории.

Для цитирования: Тахватулин М. М. Актуализация перспектив нефтегазоносности пермских отложений зоны сочленения Вилюйской синеклизы и Алданской антеклизы // Вестник геонаук. 2025. 3(363). С. 11–24. DOI: 10.19110/geov.2025.3.2

For citation: Takhvatulin M. M. Update of oil and gas potential of Permian deposits in the junction zone of Vilyui syneclyse and the Aldan anteclyse. Vestnik of Geosciences, 2025, 3(363), pp. 11–24, DOI: 10.19110/geov.2025.3.2

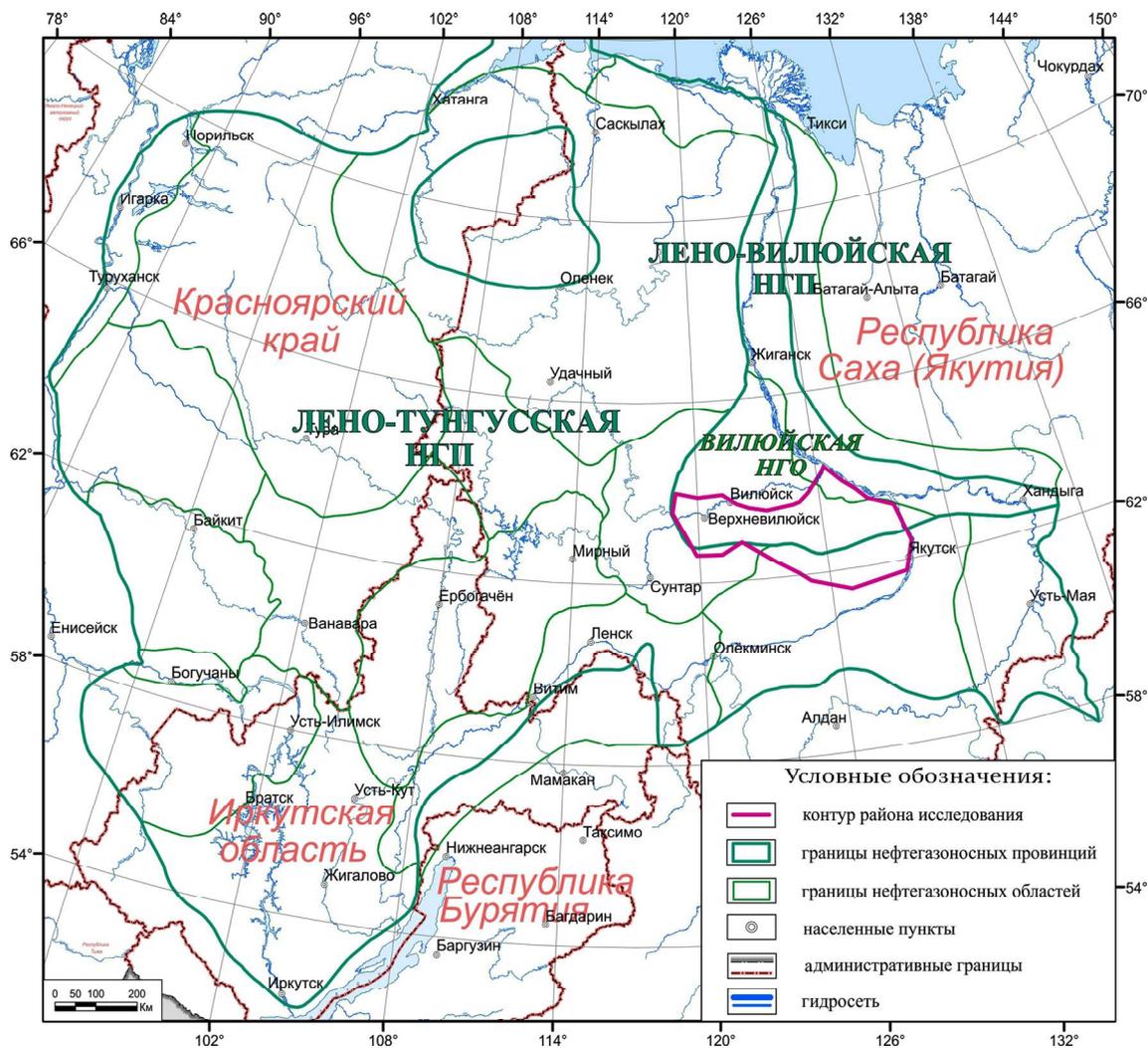


Рис. 1. Обзорная карта и расположение района исследования

Fig. 1. Overview map and location of the study area

Район исследования охватывает южный борт Вилюйской синеклизы и северный склон Алданской антеклизы. В отличие от юго-западной части Сибирской платформы комплексы Вилюйской нефтегазоносной области значительно моложе и относятся к отложениям перми, триаса и нижней юры (Конторович и др., 1994).

Объектом данного исследования выступают пермские отложения. На Хапчагайском мегавале, в песчаных пластах тарагайской толщи верхней перми открыто несколько залежей газа и газоконденсата. В 60—80-е годы основной площадью геолого-разведочных работ являлись центральные районы Вилюйской синеклизы, а бортовые части были исследованы в меньшей степени. Но уже тогда существовало представление о том, что определенные перспективы нефтегазоносности пермских отложений на южном борту синеклизы могут быть связаны с зонами их выклинивания (Дорман и др., 1976). Предполагалось наличие неструктурных, литологически и стратиграфически ограниченных типов ловушек. Достоверно закартировать область выклинивания и провести оценку перспектив не позволяло низкое качество и недостаточность материалов сейсморазведки в бортовых частях.

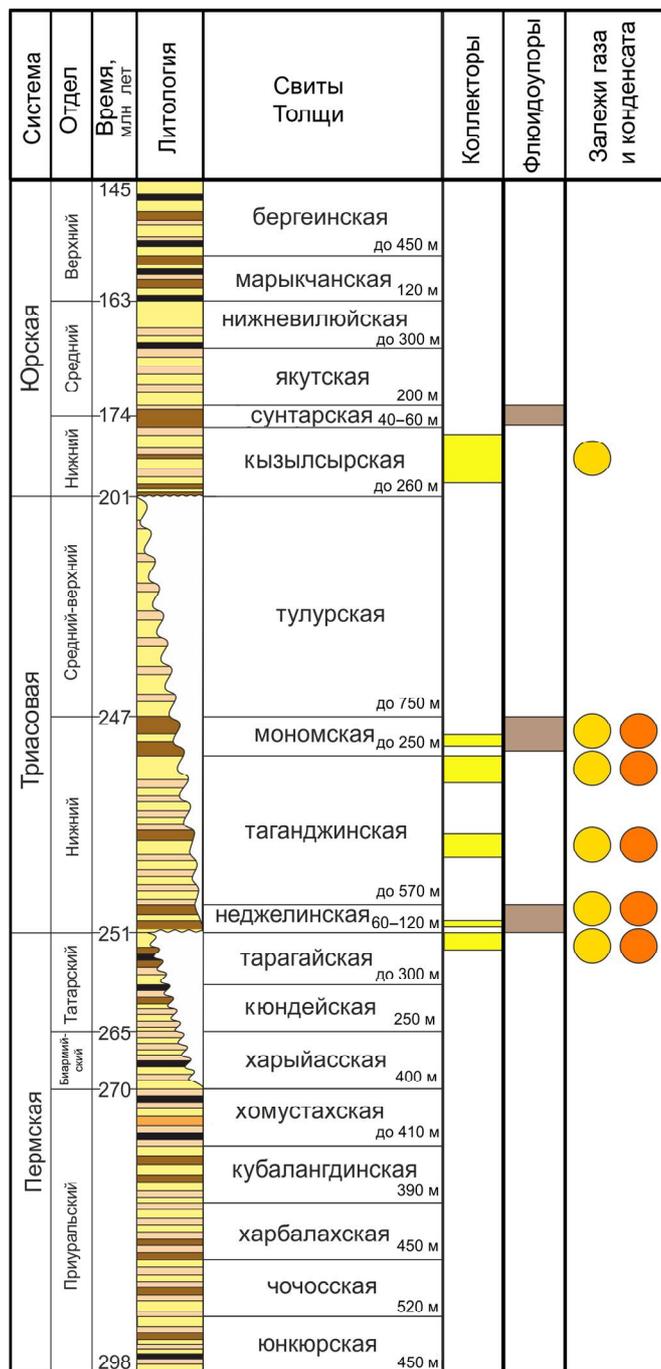
За последние два десятилетия проведены значительные геолого-геофизические исследования южной части Вилюйской синеклизы, основную роль в кото-

рых занимает сейсморазведка 2D. Полученные сейсмические материалы большей кратности дают возможность значительно детализировать геологическое строение бортовых зон и за счёт этого актуализировать перспективы нефтегазоносности пермских отложений. На фоне повышающегося интереса нефтегазовых компаний к ранее не до конца освоенным территориям, в том числе и к Вилюйской нефтегазоносной области, определение наиболее перспективных для лицензирования зон и направлений дальнейших, более детальных исследований является важной задачей региональной нефтегазовой геологии.

Геологическое строение пермских отложений Вилюйской синеклизы

Стратиграфия, обстановки осадконакопления и нефтегазоносность отложений верхней перми

Стратиграфия пермских отложений Вилюйской синеклизы долгое время оставалась слабоизученной. Пробуренная в 70-е годы прошлого века глубокая скважина «Средневилюйская-27» вскрыла отложения мела, юры, триаса и наиболее полный разрез перми. По результатам изучения керна и данных геофизических исследований скважины (ГИС) разрез перми был расчленен на стратиграфические толщи (Граусман, Мейен,



Условные обозначения:
 ■ аргиллиты ■ алевролиты ■ песчаники
 ■ уголь Залежи: ● – газа ● – конденсата

Рис. 2. Литостратиграфическая схема пермских, триасовых и юрских отложений южной части Вилуйской синеклизы

Fig. 2. Lithostratigraphic scheme of the Permian, Triassic and Jurassic deposits of the Vilyuy syncline southern part

1987). Большая часть скважин, расположенных в пределах района исследования, вскрывает только верхнюю часть разреза пермских отложений, представленных тарагайской толщей. Она сложена переслаиванием пластов песчаников, угля, алевролитов и аргиллитов (в порядке убывания толщин), общая толщина достигает 350 м. По результатам современных исследований тарагайская толща относится к татарскому ярусу пермской системы (Кутыгин, 2018). В южном направлении тарагайская толща замещается тогойдохской (Граусман, Мейен, 1987), которая состоит из крупнозернистых песчаников с прослоями алевролитов, аргиллитов и углей. Ее толщина достигает 200 м.

В пределах Вилуйской синеклизы отложения основания тарагайской и подстилающей её кюндейской толщи накапливались в условиях низменных равнин, которые временами заливались морем (Кутыгин, 2018).

Согласно реконструкциям, накопление большей части тарагайской толщи связано с водными потоками разных масштабов. Потоки могли формировать дельтовую систему, в пределах которой накапливались мелководно-морские песчаники (Будников, Девятов, 2007).

Тарагайская толща совместно с неджелинской свитой нижнего триаса формирует единый верхнепермско-триасовый нефтегазоносный комплекс. Песчаные пласты тарагайской толщи выступают коллектором для углеводородов, в то время как неджелинская свита, состоящая преимущественно из аргиллитов и их переслаивания с алевролитами, является флюидоупором. В разрезе неджелинской свиты встречаются линзы песчаников, к которым приурочены залежи газа и газоконденсата на антиклинальных поднятиях Хапчагайского мегавала. Несмотря на это, её экранирующие свойства весьма высоки, в том числе за счёт содержания вулканокластического материала. Толщина неджелинской свиты достигает 80–100 м (Конторович и др., 1981; Федорович, Космачева, 2023).

Неджелинская свита распространена не на всей исследуемой территории, поэтому важным фактором прогноза является наличие выше по разрезу других флюидоупоров, которые могли бы экранировать проницаемые пласты перми.

Над неджелинской свитой располагается таганджинская свита. Она состоит из переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов, при этом в ее разрезе присутствуют пачки аргиллитов и алевроаргиллитов толщиной до 30 м, которые выступают локальными флюидоупорами для низзалегających песчаных пластов. Подобная картина наблюдается на Толонском и Бадаранском месторождениях (Соколов и др., 1986). Еще выше по разрезу располагается мономская свита нижнего триаса, имеющая схожее с неджелинской свитой строение и сложенная аргиллитами с большой примесью вулканокластиков. При этом в ней также встречаются линзы песчаников, к которым приурочены залежи газа и конденсата (рис. 2).

Толщины триасовых отложений сокращаются вплоть до полного выклинивания в направлении бортов Вилуйской синеклизы (Казаков, 1989; Казаков и др., 2002).



Наиболее распространенным региональным флюидоупором в пределах восточной окраины Сибирской платформы является сунтарская свита нижней юры. Она сложена аргиллитами толщиной до 60 м, образованными в конце раннеюрской трансгрессии моря. За счет однородного глинистого состава она обладает чрезвычайно надежными экранящими свойствами (Князев, 1991). В южной части исследуемой территории, по данным бурения, на пермские отложения в зоне отсутствия пород триаса ложится с несогласием кызылсырская свита нижней юры. В её подошве выделяется одна или две пачки аргиллитов толщиной от 8 до 20 метров, что при определенных условиях позволяет рассматривать ее в качестве локального флюидоупора для отложений тарагайской толщи перми.

Основной нефтегазопроизводящей толщей на территории Вилюйской синеклизы являются пермские отложения, находящиеся в разрезе ниже тарагайской толщи (Фролов и др., 2019; Федорович, Космачева, 2023). Пласты, содержащие органическое вещество смешанного и континентального типов, в результате катагенетических преобразований в основном продуцируют газ и газоконденсат. При этом нефтяные углеводороды образуются в небольших объемах и, вероятно, рассеиваются в проницаемых песчаниках пермских отложений. Также толщами, которые могут генерировать преимущественно жидкие углеводороды, служат куонамская свита раннего-среднего кембрия и ее стратиграфический аналог в восточной части — иниканская свита (Стратиграфия..., 2016; Масленников и др., 2021). Однако прямых доказательств наличия в породах перми нефти, источником которой является органическое вещество кембрийских отложений, на данный момент нет.

В зоне сочленения Вилюйской синеклизы и Алданской антеклизы областями, где нефтегазоматеринские породы перми могли достигнуть необходимых степеней катагенетической преобразованности, являются Южно-Хапчагайский прогиб и Лунгхинско-Келинский мегапрогиб. Именно из этих погруженных частей могла происходить миграция углеводородов (Федорович, Космачева, 2023).

Тектоника

В тектоническом плане район исследования охватывает юго-западный и южный борты Вилюйской синеклизы, а также северный склон Алданской антеклизы. Большая часть территории представляет собой моноклиналь с падением слоев в северном, восточном и северо-восточном направлениях. Моноклиналь осложняется несколькими положительными незамкнутыми структурными мысами. На севере, в западной и восточной частях расположены две крупные отрицательные структуры. На западе это Южно-Хапчагайский прогиб, располагающийся вблизи Хапчагайского мегавала, на востоке — Лунгхинско-Келинский мегапрогиб, охватывающий более обширную территорию (рис. 3) (Конторович и др., 1981; Тектоническая..., 2018).

Западнее территории исследования расположена так называемая триада Западно-Вилюйских структур: Ыгыаттинская впадина, Сунтарский свод и Кемпендяйская впадина. Как установлено исследованиями прошлых лет, они сформировались в результате

позднедевонского рифтогенеза (Соколов и др., 1986; Гайдук, 1988). Процессы рифтогенеза повлекли за собой образование сети разрывных нарушений северо-восточного простирания и формирование сингенетичных интрузивных комплексов позднедевонского возраста. Предполагается, что «триада» Западно-Вилюйских структур, а также сопутствующие магматические комплексы и разрывные нарушения продолжают под пермско-мезозойским чехлом в западной части Вилюйской синеклизы, постепенно затухая.

Фактический материал и методы исследования

Основой для исследования послужили материалы 101 скважины глубокого бурения, в том числе данные радиоактивного и электрического каротажа, результаты испытаний, описание керна и материалы сейсморазведочных работ 2D в объеме 8300 погонных километров (рис. 4).

На первом этапе с использованием данных ГИС и стратиграфических разбивок, вскрытых скважинами разрезов (Граусман, Мейен, 1987; Граусман, 1994¹), выполнялась межскважинная корреляция. При этом особое внимание уделялось определению и прослеживанию кровли и подошвы пермских отложений, что осложнялось наличием разномасштабной денудации перекрывающих триасовых отложений. Дополнительным критерием для корреляции пермских отложений служило наличие угольных пластов, которые на разрезе характеризуются резким падением показаний радиоактивного и нейтронного каротажа. Подошва пермских пород вскрыта единичными скважинами, в которых она, как правило, залегает на низкорadioактивных палеозойских отложениях, чаще всего карбонатных кембрийских.

На втором этапе с использованием данных акустического каротажа и вертикального сейсмопрофилирования была проведена увязка стратиграфических границ в скважинах с основными отражающими горизонтами (ОГ) на сейсмических разрезах. Ниже приведена их индексация и стратиграфический уровень ОГ:

- U — кровля юрских отложений;
- U2 — кровля сунтарской свиты нижнего отдела юрской системы;
- UT — кровля триасовых отложений;
- TP — кровля пермских отложений;
- P_bot — подошва пермских отложений. В южной части исследуемой территории ОГ приурочен к поверхности несогласия кембрийских и пермских отложений, в западной части — к границе пермских и девонских (или каменноугольных) отложений;
- F — поверхность акустического фундамента.

Отражающие горизонты были прослежены на всей территории исследования. Наибольший интерес с точки зрения строения пермского комплекса представляют поверхности P_bot и TP. С горизонтом TP (с поправкой на исходное качество данных) проблем при корре-

¹ Граусман В. В. Стратиграфия верхнего докембрия и фанерозоя перспективных на нефть и газ территорий Западной Якутии: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 1994. 38 с.

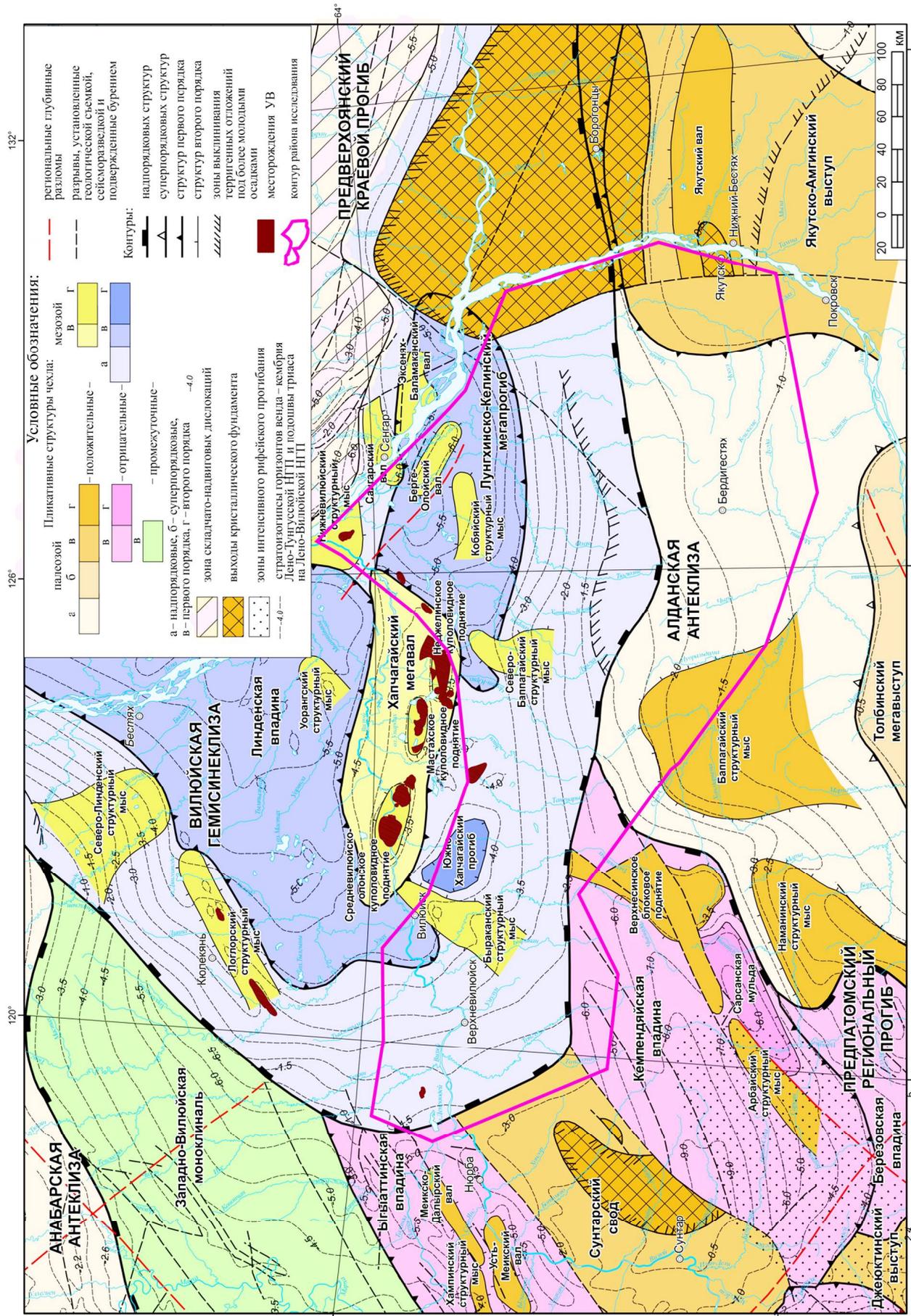


Рис. 3. Фрагмент тектонической карты Сибирской платформы (Тектоническая..., 2018)
 Fig. 3. Fragment of the Siberian platform tectonic map (Tectonic..., 2018)

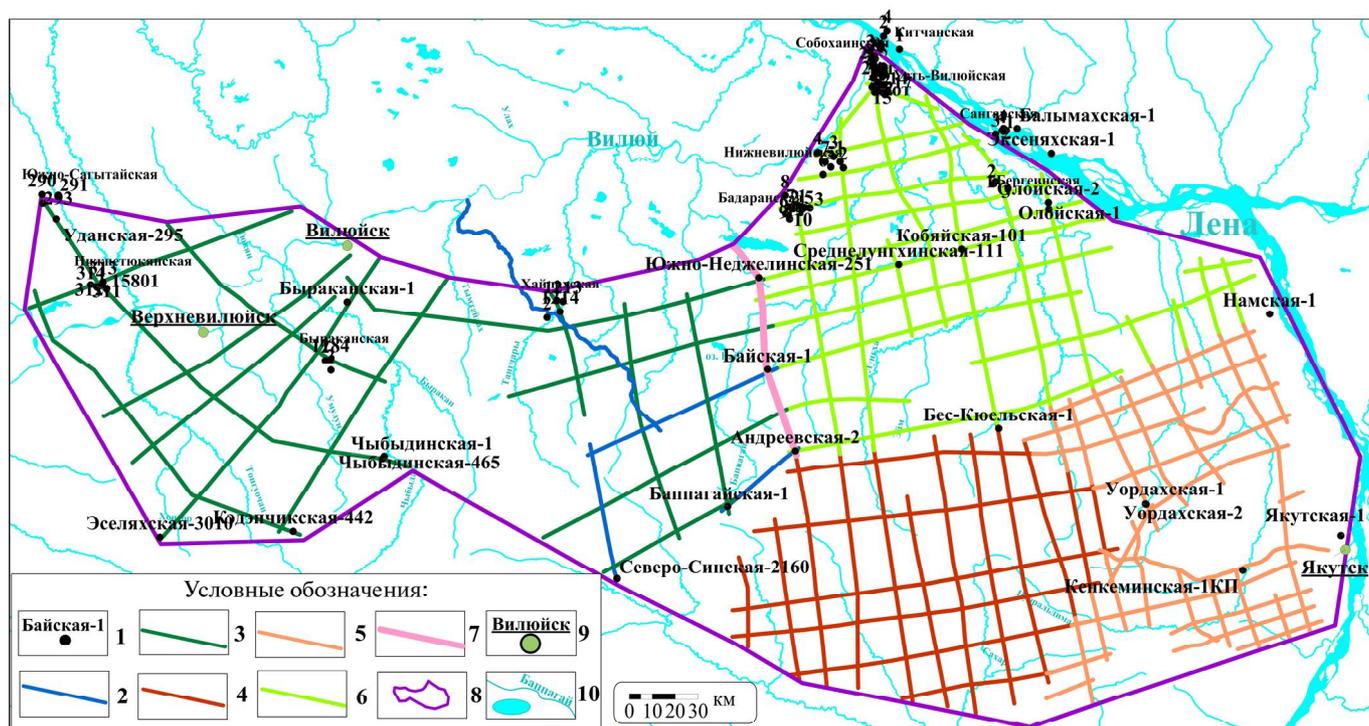


Рис. 4. Схема расположения скважин и сейсмических профилей: 1 — скважины; 2—7 — сейсмические профили: 2 — 2013 года съемки; 3 — 2016 г. (Южно-Вилуйская площадь), 4 — 2016 г. (Синская площадь), 5 — 2017 г.; 6 — 2019 г.; 7 — 130202_2а; 8 — контур района исследования; 9 — населенные пункты; 10 — реки и озера

Fig. 4. Layout of wells and seismic surveys: 1 — wells; 2—7 — seismic surveys: 2 — 2013; 3 — 2016 (Yuzhno-Vilyuiskaya area); 4 — 2016 (Sinskaya area); 5 — 2017; 6 — 2019; 7 — 130202_2a; 8 — the outline of the study area; 9 — populated areas; 10 — rivers and lakes

ляции на сейсмических разрезах не возникает. Горизонт P_{bot} хорошо прослеживается на большей части сейсмических разрезов, так как достаточно ярко выражен в сейсмическом поле. Однако в северной части района исследования, где подошва перми скважинами не вскрыта, его стратиграфическое положение становится неоднозначным. По-видимому, в интервал между ОГ ТР и P_{bot} здесь могут входить и каменноугольные отложения, распространение которых фиксируется на Хапчагайском мегавале (Граусман, Мейен, 1987).

На сейсмических разрезах также выделены разрывные нарушения. Признаками для их выделения служило нарушение выдержанности отражений и изменение динамических характеристик отражений. По площади разрывные нарушения трассировались с учетом региональных геологических трендов.

На следующем этапе были построены сеточные модели карт изохрон по основным отражающим поверхностям, а затем (с учетом распределения интервальных скоростей) — структурные карты соответствующих стратиграфических поверхностей в абсолютных глубинах, а также карты толщин сейсмостратиграфических комплексов.

На завершающем этапе с использованием полученных в ходе выполненного исследования данных, а также опубликованных ранее материалов (Ситников и др., 2017; Фролов и др., 2019; Губин, 2020; Черданцев, Жарков, 2021; Федорович, Космачева, 2023) были выделены пермские объектные, относящиеся к перспективным структурам, и закартированы наиболее перспективные зоны, связанные с выклиниванием пермских отложений на южном борту Вилуйской синеклизы.

Результаты и обсуждение

Структурно-тектоническая характеристика пермских отложений

По результатам проведенной межскважинной корреляции и интерпретации сейсмических материалов был подтвержден региональный характер выклинивания пермских отложений в южном и юго-западном направлении, что можно видеть на одной из схем (рис. 5).

Перекрывающие их на большей части территории триасовые отложения выклиниваются севернее, ближе к центральной части синеклизы. На территориях, где триасовые отложения отсутствуют, пермские отложения перекрыты юрскими породами, при этом в подошве юрских отложений выделяется ранее упомянутая пачка аргиллитов.

Что касается литологического состава верхних частей пермских отложений, то в скважине «Бапчагайская-1» при весьма незначительных толщинах большая часть разреза тарагайской толщи сложена песчаными пластами с пропластками алевролитов, что определяется по показаниям каротажа. Сходная картина наблюдается и в скважине «Андреевская-2», расположенной севернее, где толщина пермских пород составляет около 280 м, при этом в средней части выделяется пласт песчаника толщиной около 50 м. Выше него пласты коллектора имеют меньшую толщину, что в купе с более дифференцированным характером кривой может указывать на образование здесь песчаных линз. Данный факт положительно влияет на возможность формирования ловушек углеводородов неструктурного типа.

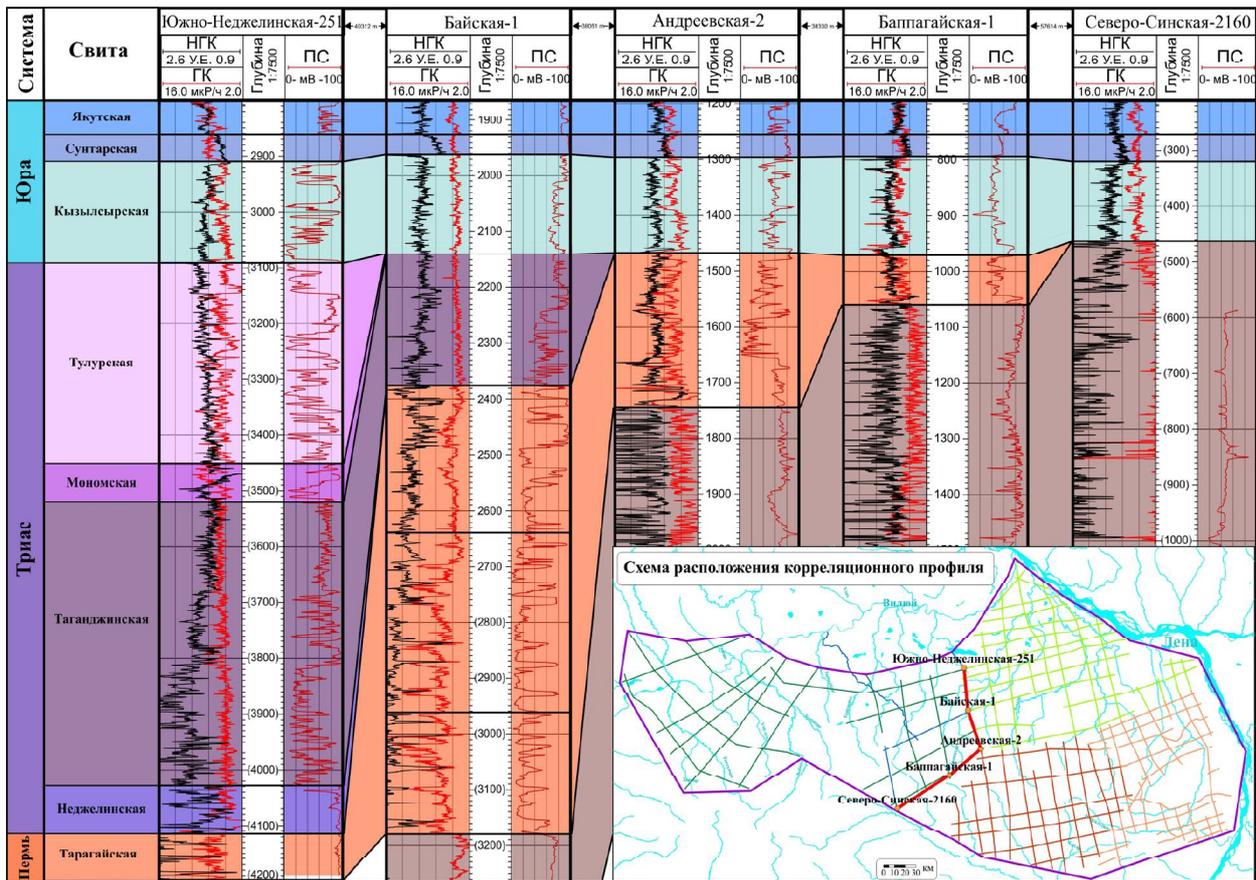


Рис. 5. Схема межскважинной корреляции пермских, триасовых и юрских отложений по линии скважин «Южно-Неджелинская-251» — «Байская-1» — «Андреевская-2» — «Баппагайская-1» — «Северо-Синская-2160»

Fig. 5. Scheme of interwell correlation of Permian, Triassic and Jurassic deposits along the line of wells Yuzhno-Nedzhelinskaya-251 — Bayskaya-1 — Andreevskaya-2 — Bappagayskaya-1 — Severo-Sinskaya-2160

Выклинивание пермских и триасовых отложений подтверждается и на сейсмических разрезах (рис. 6).

При небольшом количестве материалов бурения на южном борту Вилуйской синеклизы именно анализ данных сейсморазведки позволяет закартировать зоны предполагаемого выклинивания пермских отложений и определить тип перекрывающих их комплексов.

Характер распределения толщины и границы выклинивания пермских отложений представлены на карте (рис. 7).

Кроме этого, структурные построения, выполненные по сейсмическим данным, позволили оконтурить область распространения триасовых отложений, которые также выклиниваются на данной территории. Юрские комплексы, как установлено в ходе проведенных исследований, распространены на южном борту повсеместно.

Дизъюнктивные нарушения, прослеженные в пределах района исследования, имеют различное простирание в зависимости от территориальной приуроченности. В западной части разрывные нарушения имеют северо-восточное простирание. Здесь разломы, секущие пермский и мезозойский комплексы отложений, расположены над разломами более древнего заложения, которые были образованы в ходе процессов позднедевонского рифтогенеза. Смещение по таким разломам отчетливо проявляется ниже поверхности подошвы перми, в то время как вверх по разрезу оно становится менее заметно. Наиболее вероятно, это свя-

зано с унаследованностью — движение по древним (позднедевонским) разломам возобновлялось на границе юры и мела при формировании Верхоянского складчатого пояса на востоке.

В центральной и южной частях территории исследования простирание разрывных нарушений постепенно меняется на субширотное. Значительные вертикальные смещения здесь практически не наблюдаются, а разрывные нарушения приобретают сдвиговый характер. Вблизи поверхности кровли юрских отложений разломы становятся менее выраженными. С учетом их затухания в интервале верхней юры данные разрывные нарушения, вероятнее всего, образовались в начале мела при погружении, под влиянием формирования Предверхоянского прогиба.

Простирание дизъюнктивных нарушений становится более хаотичным в северо-восточной части. Здесь они оконтуривают основные структурные элементы, в частности Лунгхинско-Келинский мегапрогиб и положительные структуры, расположенные как по периферии прогиба, так и внутри него (рис. 8). По всей видимости, их генезис обусловлен динамическим влиянием Верхоянского складчатого пояса.

Таким образом, на западном и северном участках района исследования разрывные нарушения участвуют в формировании положительных структур пермско-мезозойского интервала осадочного чехла. Время образования пликтивных структур и дизъюнктивных нарушений относится к поздней юре и раннему мелу.

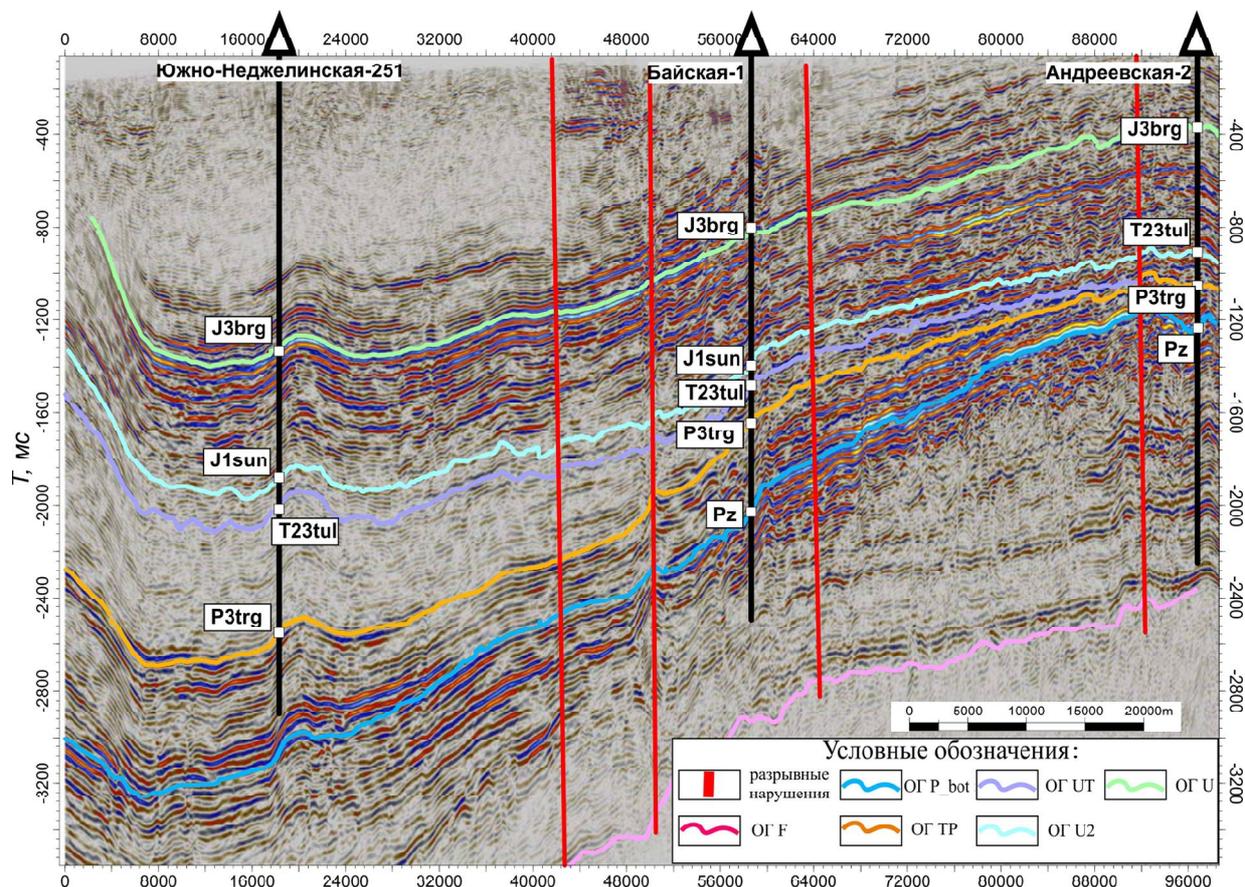


Рис. 6. Сейсмический временной разрез 130202_2a (положение профиля см. на рис. 4); кровли: J3brg — бергейнской свиты юры; J1sun — сунтарской свиты юры; T23tul — триасовых отложений; P3trg — тарагайской толщи перми; Pz — допермских палеозойских отложений

Fig. 6. Seismic time section 130202_2a (seismic survey position is on Fig. 4); tops of: J3brg — the Bergeyin formation of the Jurassic; J1sun — the Suntarskaya formation the Jurassic; T23tul — the Triassic deposits; P3trg — the Taragay formation of the Permian; Pz — the pre-Permian Paleozoic deposits

Образованные поднятия могут выступать как углеводородные ловушки. Разломы, осложняющие поднятия, в зависимости от того, проницаемые они или непроницаемые, могут служить либо путями миграции для углеводородов, либо экранами для залежей. Имеющиеся к настоящему времени данные не позволяют достоверно определить роль дизъюнктивных нарушений. Для однозначного определения отрицательного или положительного их влияния на залежи необходимы более детальные исследования, в частности сейсмо-разведочные работы по более плотной сети профилей или модификации 3D.

Перспективы нефтегазоносности пермских отложений

Помимо выделения и локализации зон выклинивания потенциальных пермских коллекторов для оценки перспектив пермских отложений на данной территории важным фактором является распространение перекрывающих их флюидоупоров. Выполненные структурные построения позволяют достаточно надежно выделить зоны с различными их типами. Схема флюидоупоров для пермских отложений в пределах района исследования показана на рис. 9.

Как уже было сказано, во внутренних районах Вилуйской синеклизы пермские отложения перекры-

ваются неджелинской свитой нижнего триаса, высокие экранирующие характеристики которой обусловлены значительной ролью аргиллитов в составе и примесью вулканогенного материала. Толщина свиты на месторождениях Хапчагайского мегавала составляет в среднем 60—70 м. Непосредственно в районе исследования неджелинская свита распространена на меньшей площади среди всех свит триаса, в основном в северной его части. Ее согласно перекрывает таганджинская свита нижнего триаса. В южных частях бортовой зоны разрез таганджинской свиты обогащен вулканогенным материалом (Казаков, 1989), что может положительно сказаться на ее экранирующих свойствах. По данным ГИС, вблизи выклинивания отложений триаса в разрезе таганджинской свиты выделяются несколько пачек аргиллитов суммарной толщиной до 60 м. Они могут выступать локальными флюидоупорами для выклинивающихся песчаных пластов перми. Выше таганджинской свиты в разрезе располагается монотская свита триаса, также состоящая из аргиллитов с прослоями туфоалевролитов, туфопесчаников.

В самых южных районах распространения пермские коллекторы перекрываются юрскими отложениями. В основании кызылсырской свиты нижней юры выделяются пачки аргиллитов, которые могут выступать флюидоупорами для выклинивающихся

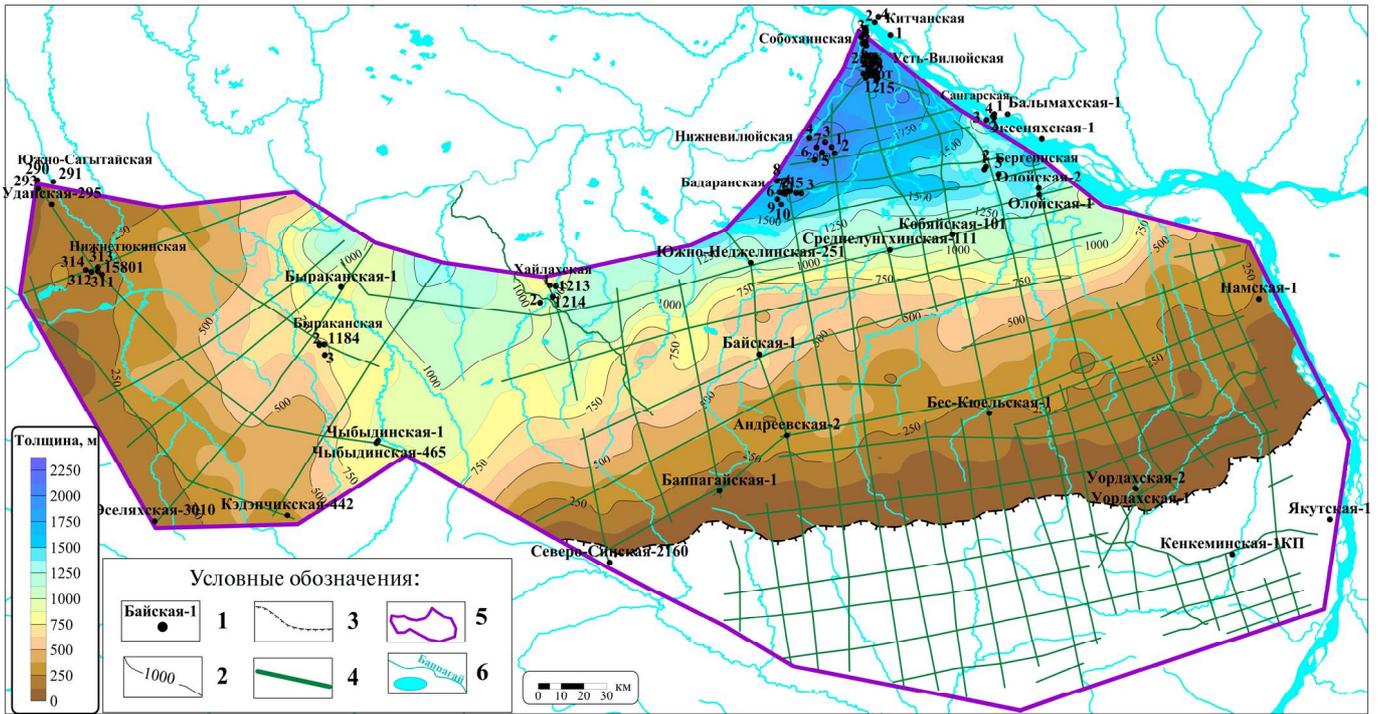


Рис. 7. Карта толщин пермских отложений: 1 – скважины; 2 – изопахиты пермских отложений; 3 – линия выклинивания пермских отложений; 4 – сейсмические профили; 5 – контур района исследования; 6 – реки и озера
Fig. 7. Thickness map of Permian deposits: 1 – wells; 2 – isopachs of the Permian deposits; 3 – wedging line of Permian deposits; 4 – seismic surveys; 5 – study area contour; 6 – rivers and lakes

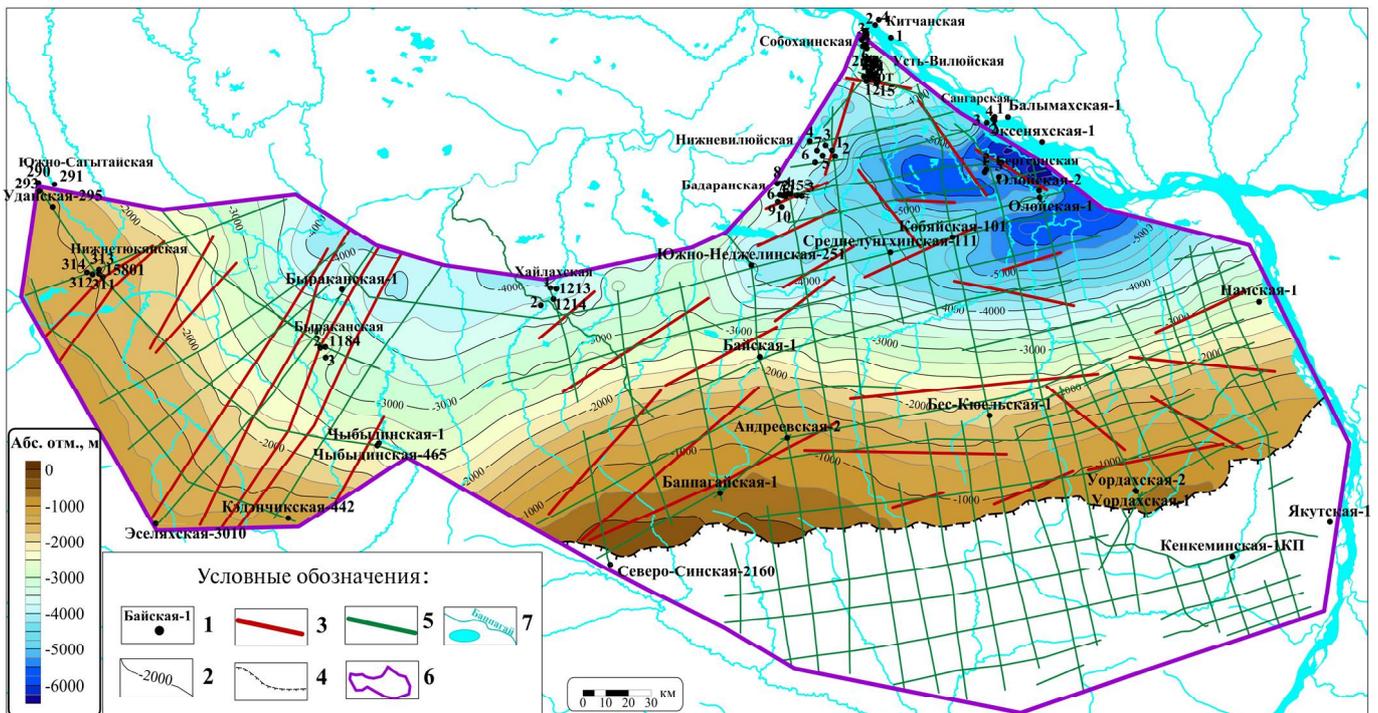


Рис. 8. Структурная карта по кровле пермских отложений: 1 – скважины; 2 – изогипсы кровли пермских отложений; 3 – линия выклинивания пермских отложений; 4 – разрывные нарушения; 5 – сейсмические профили; 6 – контур района исследования; 7 – реки и озера
Fig. 8. Structural map of the Permian deposits top: 1 – wells; 2 – isohypses; 3 – wedging line of Permian deposits; 4 – dislocations; 5 – seismic surveys; 6 – study area contour; 7 – rivers and lakes

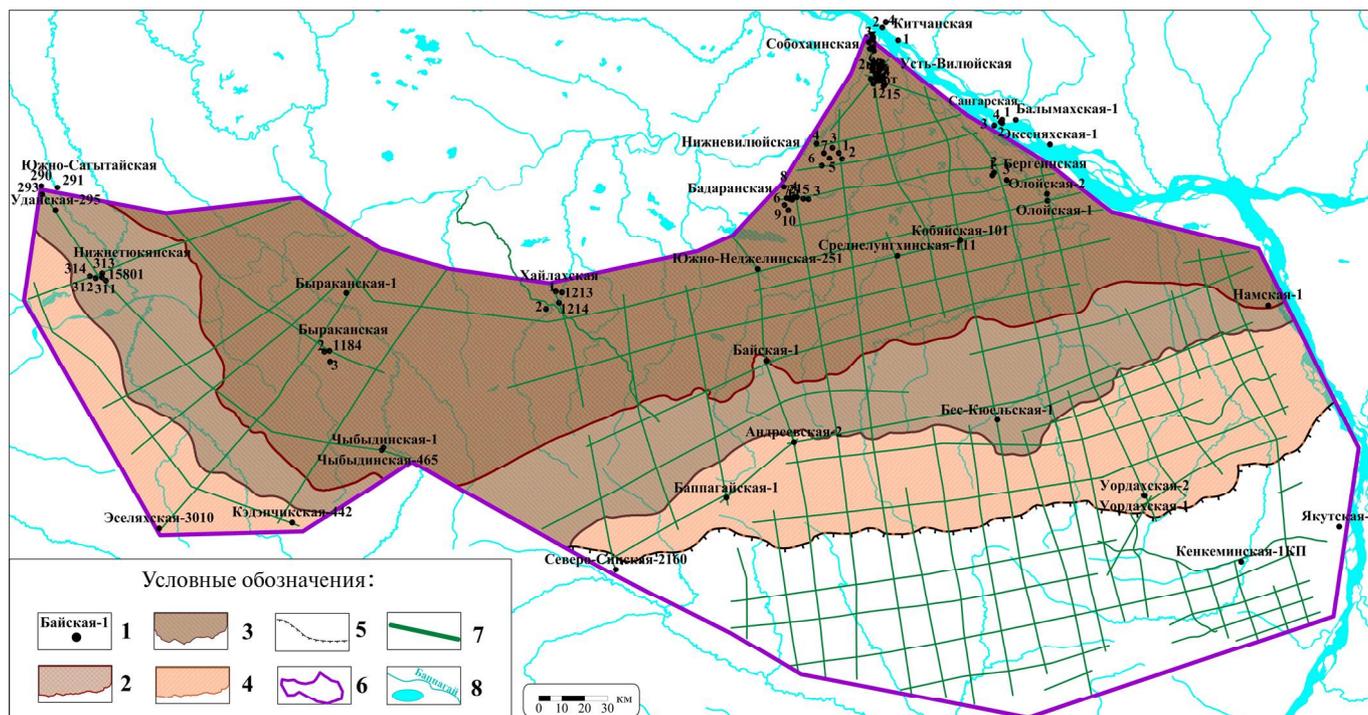


Рис. 9. Схема распространения флюидоупоров над пермскими отложениями: 1 — глубокие скважины; 2, 3 — область распространения флюидоупоров нижнего триаса: неджелинской (2), таганджинской и мономской свит (3); 4 — область распространения аргиллитов в подошве юрских отложений; 5 — линия выклинивания пермских отложений; 6 — контур района исследования; 7 — сейсмические профили; 8 — реки и озера

Fig. 9. Scheme of fluid seals distribution above Permian deposits: 1 — wells; 2, 3 — areas of Triassic fluid seals distribution: Nedzhelinskaya formation (2); Tagandzhinskaya and Monomskaya formations (3); 4 — area of distribution of argillites at the base of Jurassic deposits; 5 — line of wedging out of Permian deposits; 6 — contour of the study area; 7 — seismic surveys; 8 — rivers and lakes

песчаных пластов перми. Толщины аргиллитов варьируются от 8 до 20 метров, что достаточно для сохранности залежей с учетом плавного подъема структурного плана пермских отложений в этой части района исследования.

Южнее зоны выклинивания пермские отложения подстилают палеозойские, содержание углеводородов в которых маловероятно.

Что касается возможных типов ловушек, то по результатам интерпретации сейсмических разрезов можно выделить перспективные зоны и объекты двух типов (рис. 10).

Первый тип перспективных зон связан с участками вблизи выклинивания пермских отложений, где могут формироваться неструктурные, литологически и стратиграфически ограниченные ловушки, как и отмечалось ранее специалистами для юго-западных районов синеклизы (Черданцев и др., 2020). Пермские проницаемые песчаные пласты распространены повсеместно, при этом вблизи линии выклинивания песчаные пласты могут быть заключены между непроницаемыми глинистыми слоями пермского разреза. Кроме того, как было показано выше, проницаемые пермские породы должны перекрываться непроницаемыми триасовыми или нижнеюрскими породами. Для формирования неструктурных ловушек необходим плавный подъем структурной поверхности с небольшим градиентом. Для выделяемой вдоль линии выклинивания перспективной зоны градиент составляет около 20 метров на километр. Условным ограниче-

нием перспективной зоны на юге является изогипса 800 м, так как с учетом рельефа глубина залегания кровли перми в этом случае составляет около 1100 м. При таких малых глубинах сохранение залежей углеводородов маловероятно.

Второй тип перспективных объектов связан с положительными структурами. В западной части зоны их распространение выделено вблизи протяженных разрывных нарушений, где предполагается наличие небольших линейных положительных структур (типа валов), которые затруднительно закартировать при имеющейся плотности сейсмических профилей. В северной части подобные перспективные объекты выделяются по замкнутым изогипсам в комбинации с ограничивающими их разрывными нарушениями. Для данного типа перспективных объектов наиболее важный вопрос связан с качеством экранирующих свойств разрывных нарушений, что может быть установлено при проведении более детальных геолого-разведочных работ в их пределах.

Комплексный анализ выполненных структурных построений, выделенных систем разломов, зон распространения пермских отложений и перекрывающих их флюидоупоров позволяет выделить наиболее перспективные с точки зрения нефтегазоносности зоны и объекты (рис. 11).

Необходимо отметить, что в пределах некоторых выделенных перспективных зон располагаются скважины, в которых по результатам испытаний из отложений перми были получены притоки газа и воды.

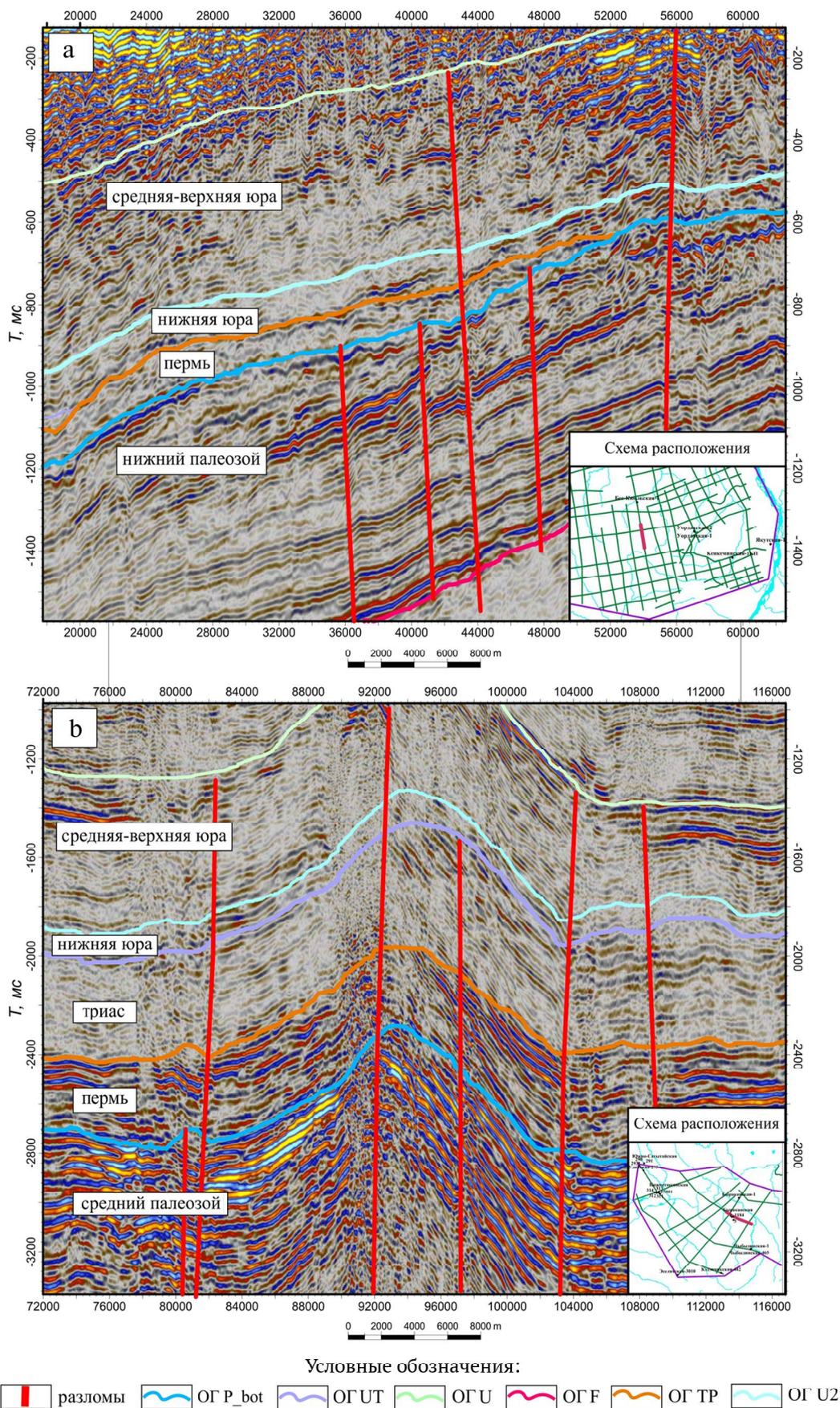


Рис. 10. Фрагменты сейсмических временных разрезов: а (160515) — с выклиниванием, b (160811) — с антиклинальной структурой, осложненной разрывными нарушениями

Fig. 10. Fragments of seismic time sections: a (160515) — with wedging of the Permian deposits, b (160811) — with an anticlinal structure complicated by faults

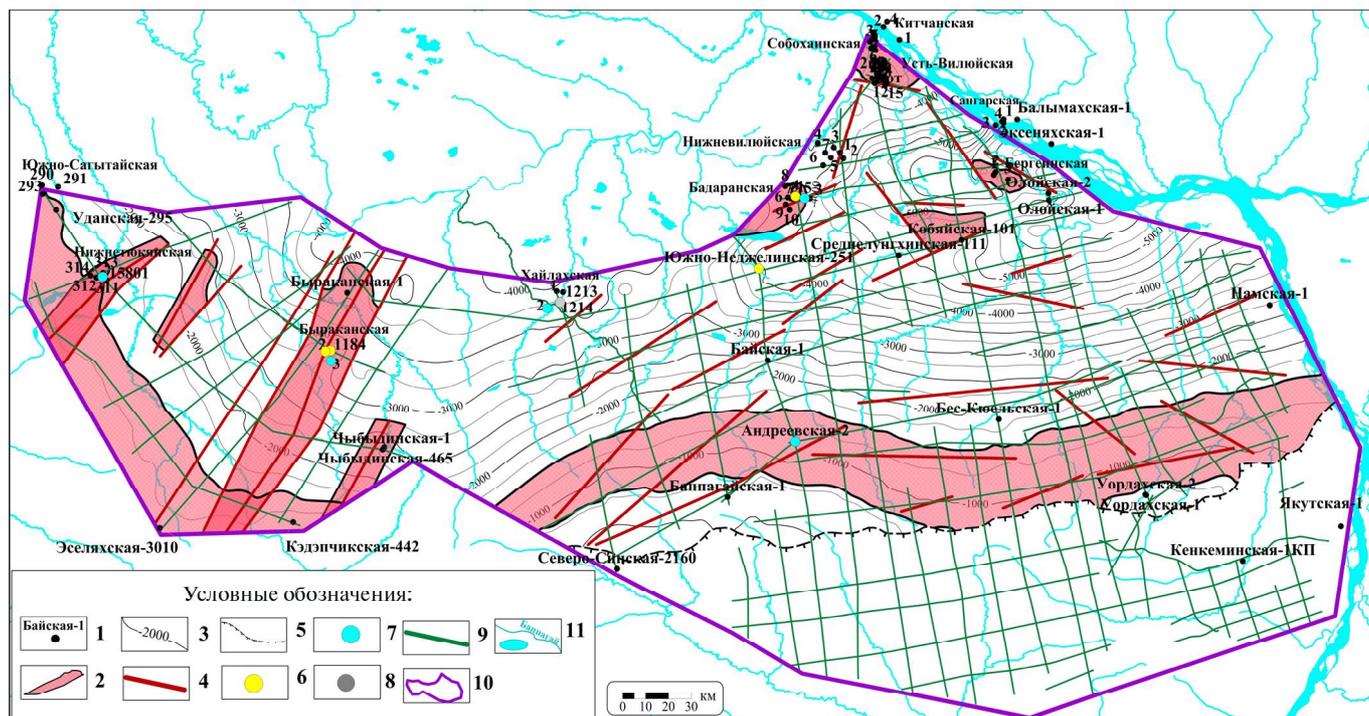


Рис. 11. Схема перспектив нефтегазоносности пермских отложений: 1 – скважины; 2 – нефтегазоперспективные зоны и объекты; 3 – изогипсы кровли пермских отложений; 4 – разрывные нарушения; 5 – линия выклинивания пермских отложений; 6 – скважины с притоком газа; 7 – скважины с притоком воды; 8 – сухие скважины; 9 – сейсмические профили; 10 – контур района исследования; 11 – реки и озера

Fig. 11. Scheme of oil and gas potential of Permian deposits: 1 – wells; 2 – zones and objects with high oil and gas potential; 3 – isohypses of tops; 4 – faults; 5 – wedging line; 6 – wells with gas inflow; 7 – wells with water inflow; 8 – dry wells; 9 – seismic surveys; 10 – study area contour; 11 – rivers and lakes

Выводы

В результате проведенного исследования уточнено геологическое строение пермских и перекрывающих их отложений в зоне сочленения Вилюйской синеклизы и Алданской антеклизы, что позволило выделить и закартировать потенциальные зоны нефтегазонакопления и тем самым актуализировать перспективы нефтегазоносности данной территории. По результатам межскважинной корреляции с помощью стратиграфических разбивок и данных ГИС подтверждено уменьшение толщин пермских отложений в южном и юго-западном направлении, вплоть до их полного выклинивания. На основе проведенной интерпретации новых сейсмических материалов определена территория распространения пермских отложений и контур их выклинивания.

Показано, что пермские песчаные проницаемые пласты распространены повсеместно в пределах зоны развития отложений. Их перекрывают непроницаемые породы-флюидоупоры неджелинской и мономской свит нижнего триаса. Также локальными флюидоупорами могут выступать аргиллиты, встречающиеся в составе таганджинской свиты нижнего триаса, и глинистые пласты, залегающие в основании нижнеюрских отложений. При этом отложения триаса также выклиниваются в южном направлении, а в зонах их отсутствия в качестве экрана для песчаных пластов перми могут выступать уже нижнеюрские аргиллиты.

По данным сейсморазведки выделены и протрасированы по площади разрывные нарушения. В западной части их северо-восточное простирание носит

унаследованный характер от тектонических дислокаций, связанных с позднедевонским рифтогенезом. На рубеже юры и мела в связи с тектоническими процессами вдоль восточной окраины Сибирской платформы и образованием Верхоянского складчатого пояса разломы позднедевонского заложения подверглись реактивации. Вблизи них, а в некоторых случаях над ними, за счет реактивации образовались положительные структуры и осложняющие их более молодые разрывные нарушения, секущие пермско-мезозойские породы. В центральной и южной частях района исследования, где признаки позднедевонского рифтогенеза не проявлены, влияние разрывных нарушений на структурный план уменьшается. На севере территории разломы меняют простирание на более хаотичное, в некоторых случаях субмеридиональное. При этом их формирование происходило одновременно с ростом положительных структур под динамическим влиянием Верхоянского складчатого пояса.

С учетом структурного плана, сети разрывных нарушений, границ выклинивания пермских отложений и распространения флюидоупоров определены два типа нефтегазоперспективных зон и связанных с ними ловушек. В первом из них ожидаются неструктурные ловушки вдоль линии выклинивания, где пермские песчаные пласты могут быть литологически и стратиграфически экранированы. Во втором случае предполагаемые ловушки связаны с положительными структурами, осложненными разрывными нарушениями. Оценить роль положительного или отрицательного влияния разломов на формирование залежей по имею-



щейся информации не представляется возможным. Учитывая фазовый состав углеводородов на смежных территориях и характеристику нефтегазопроизводящих пород перми, ожидается газовое и газоконденсатное заполнение потенциальных ловушек.

Выделенные в результате региональных геолого-разведочных работ перспективные зоны могут служить в качестве первоочередных объектов для проведения более детальных геолого-разведочных работ с целью выявления залежей углеводородов.

Литература / References

- Будников И. В., Десятков В. П. Модель терригенной седиментации позднепалеозойско-мезозойских бассейнов Сибири // Разведка и охрана недр. 2007. № 8. С. 9–15.
Budnikov I. V., Devyatov V. P. Model of terrigenous sedimentation of Late Paleozoic–Mesozoic basins of Siberia. Exploration and Protection of Mineral Resources. 2007, No. 8, pp. 9–15. (in Russian)
- Гайдук В. В. Вилюйская среднепалеозойская рифтовая система. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1988. 128 с.
Gajduk V. V. Vilyui Middle Paleozoic rift system. Yakutsk: Publ. Yakut Branch of the Siberian Academy of Sciences, 1988, 128 p. (in Russian)
- Граусман В. В., Мейен С. В. Стратиграфия верхнепалеозойских отложений Вилюйской синеклизы // Известия АН СССР. Серия геол. 1987. № 10. С. 53–60.
Grausman V. V., Mejen S. V. Stratigraphy of the Upper Paleozoic deposits of the Vilyui syncline. Proc. of the USSR Academy of Sciences, Geological Series, 1987, No. 10, pp. 53–60. (in Russian)
- Дорман М. И., Дорман Б. Л., Матвеев В. Д., Ситников В. С. Новые данные о геологическом строении и перспективе нефтегазоносности Вилюйской синеклизы // Поиск и разведка нефтяных и газовых месторождений в Якутской АССР. Якутск, 1976. С. 88–102.
Dorman M. I., Dorman B. L., Matveev V. D., Sitnikov V. S. New data on the geological structure and oil and gas potential of the Vilyui syncline. Prospecting and exploration of oil and gas fields in the Yakut ASSR. Yakutsk, 1976, pp. 88–102. (in Russian)
- Соколов Б. А., Сафронов А. Ф., Трофимук А. А., Фрадкин Г. С., Бакин В. Е., Каширцев В. А., Япаскерт О. В., Изосимова А. Н. История нефтегазообразования и нефтегазоаккумуляции на востоке Сибирской платформы. М.: Наука, 1986. 167 с.
Sokolov B. A., Safronov A. F., Trofimuk A. A., Fradkin G. S., Bakin V. E., Kashirtsev V. A., Yapas kert O. V., Izosimova A. N. History of oil and gas formation and oil and gas accumulation in the east of the Siberian platform. Moscow: Nauka, 1986, 167 p. (in Russian)
- Губин И. А. Уточнение строения Вилюйской гемисинеклизы по результатам переинтерпретации сейсмо-разведочных работ // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2020. № 4(44). С. 40–52. DOI 10.20403/2078-0575-2020-4-40-52
Gubin I. A. Refinement of the structure of the Vilyuy hemisyncline based on the results of reinterpretation of seismic exploration. Geology and mineral resources of Siberia, 2020, No. 4 (44), pp. 40–52. (in Russian)
- Казаков А. М. Фациально-генетическая модель и литостратиграфия нижнетриасовых отложений Вилюйской синеклизы и Западного Верхоянья // Верхний палеозой и триас Сибири. Новосибирск: Наука, 1989. С. 49–56.
Kazakov A. M. Facies-genetic model and lithostratigraphy of the Lower Triassic deposits of the Vilyui syncline and Western Verkhoyanye. Upper Paleozoic and Triassic of Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1989, pp. 49–56. (in Russian)
- Казаков А. М., Константинов А. Г., Курушин Н. И., Могучева Н. К., Соболев Е. С., Фрадкина А. Ф., Ядренкин А. В., Десятков В. П., Смирнов Л. В. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Триасовая система. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2002. 322 с.
Kazakov A. M., Konstantinov A. G., Kurushin N. I., Mogucheva N. K., Sobolev E. S., Fradkina A. F., Yadrenkin A. V., Devyatov V. P., Smirnov L. V. Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. Triassic system. Novosibirsk: SB RAS, 2002, 322 p. (in Russian)
- Князев В. Г., Десятков В. П., Шурыгин Б. Н. Стратиграфия и палеогеография ранней юры востока Сибирской платформы. Якутск, 1991. 100 с.
Knyazev V. G., Devyatov V. P., Shurygin B. N. Stratigraphy and paleogeography of the Early Jurassic of the East Siberian Platform. Yakutsk, 1991, 100 p. (in Russian)
- Конторович А. Э., Гребенюк В. В., Фрадкин Г. С. и др. Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири. Вып. 4. Лено-Вилюйский бассейн. Новосибирск, 1994. 107 с.
Kontorovich A. E., Grebenyuk V. V., Fradkin G. S. et al. Oil and gas basins and regions of Siberia. V. 4., Leno-Vilyuisky basin, Novosibirsk, 1994, 107 p. (in Russian)
- Конторович А. Э., Сурков В. С., Трофимук А. А. Геология нефти и газа Сибирской платформы. М.: Недра, 1981. 552 с.
Kontorovich A. E., Surkov V. S., Trofimuk A. A. Geology of Oil and Gas of the Siberian Platform. Moscow: Nedra, 1981, 552 p. (in Russian)
- Кутыгин Р. В. Основные черты стратиграфии и палеогеографии нижнедугалахского регионального подъяруса пермской системы Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2018. Т. 25. № 3. С. 5–21. DOI: 10.31242/2618-9712-2018-25-3-5-21
Kutygin R. V. Main stratigraphic and paleogeographic features of the Lower Duglakhian regional substage of the Permian system of Yakutia. Natural Resources of the Arctic and Subarctic. 2018, V. 25, No. 3, pp. 5–21. (in Russian)
- Масленников М. А., Сухов С. С., Соболев П. Н., Наумова Е. Г., Процко А. Н., Ракитина И. В., Константинова О. Л. Перспективы нефтегазоносности кембрийских барьерных рифовых систем Сибирской платформы в свете новых геолого-геофизических данных // Геология нефти и газа. 2021. № 4. С. 29–50. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-4-29-50
Maslennikov M. A., Sukhov S. S., Sobolev P. N., Naumova E. G., Protsko A. N., Rakitina I. V., Konstantinova O. L. Cambrian barrier reef systems of Siberian Platform: petroleum potential in light of new geological and geophysical data. Geology of oil and gas, 2021, No. 4, pp. 29–50. (in Russian)
- Ситников В. С., Алексеев Н. Н., Павлова К. А., Погодаев А. В., Слепцова М. И. Новейший прогноз и актуализация освоения нефтегазовых объектов Вилюйской синеклизы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2017. Т. 12. № 1. URL: http://www.ngtp.ru/rub/6/9_2017.pdf. DOI: 10.17353/2070-5379/9_2017



- Sitnikov V. S., Alekseev N. N., Pavlova K. A., Pogodaev A. V., Sleptsova M. I. Newest forecast and update of the development of Vilyu syncline petroleum objects. *Oil and Gas Geology. Theory and Practice*, 2017, V. 12, No. 1. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/6/9_2017.pdf. (in Russian)
- Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Кембрий Сибирской платформы. Т. 1. Стратиграфия / Под ред. Ю.Я. Шабанова. Новосибирск: ИНГТ СО РАН, 2016. 485 с.*
- Stratigraphy of the Siberian oil and gas bearing basins. Siberian Platform: Cambrian. V. 1. Stratigraphy. Yu. Ya. Shabanov, ed. Novosibirsk: IPGG SB RAS, 2016, 485 p. (in Russian)
- Тектоническая карта нефтегазоносных провинций Сибирской платформы. Масштаб 1 : 5 000 000 / Ред. В. С. Старосельцев // Новосибирск: СНИИГГиМС, 2018.*
- Tectonic map of the oil and gas provinces of the Siberian Platform. Scale 1 : 5 000 000. Ed. Starosel'tsev V. S. Novosibirsk: Siberian GGMR Institute, 2018. (in Russian)
- Федорович М. О., Космачева А. Ю. Прогноз нефтегазоносности Вилюйской гемисинеклизы на базе интерпретации геолого-геофизических материалов и технологии бассейнового моделирования (Республика Саха (Якутия)) // Георесурсы. 2023. Т. 25. № 1. С. 81—94. DOI 10.18599/grs.2023.1.9*
- Fedorovich M. O., Kosmacheva A. Yu. Prediction of oil and gas occurrence in the Vilyui hemisineclise according to interpretation of geological and geophysical data and basin modeling (Republic of Sakha (Yakutia)). *Georesources*, 2023, No. 25(1), pp. 81—94. (in Russian)
- Фролов С. В., Карнюшина Е. Е., Коробова Н. И., Бакай Е. А., Курдина Н. С., Крылов О. В., Тарасенко А. А. Особенности строения, осадочные комплексы и углеводородные системы Лено-Вилюйского нефтегазоносного бассейна // Георесурсы. 2019. Т. 21, № 2. С. 13—30. DOI: 10.18599/grs.2019.2.13-30*
- Frolov S. V., Karnyushina E. E., Korobova N. I., Bakay E. A., Kurдина N. S., Krylov O. V., Tarasenko A. A. Features of the structure, sedimentary complexes, and hydrocarbon systems of the Leno-Vilyui oil and gas basin. *Georesources*, 2019, V. 21, No. 2, pp. 13—30. (in Russian)
- Черданцев Г. А., Кушмар И. А., Семёнов В. П., Яшенкова Л. К. Перспективные зоны нефтегазоаккумуляции в тарагайской свите верхней перми в юго-западной части Вилюйской синеклизы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2020. Т. 15. № 3. URL: http://www.ngtp.ru/rub/2020/31_2020.html. DOI: 10.17353/2070-5379/31_2020*
- Cherdantsev G. A., Kushmar I. A., Semenov V. P., Yashenkova L. K. Petroleum prospective areas in the Taragay suite of the Upper Permian in the southwestern part of the Vilyu syncline. *Oil and Gas Geology. Theory and Practice*, 2020, V. 15, No. 3. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/2020/31_2020.html. (in Russian)
- Черданцев Г. А., Жарков А. М. Перспективы нефтегазоносности верхнепермских отложений юго-западной части Вилюйской синеклизы на основе анализа обстановок осадконакопления и геохимических условий нефтегазоносности // Записки Горного института. 2021. Т. 251. С. 698—711. DOI 10.31897/PMI.2021.5.9*
- Cherdantsev G. A., Zharkov A. M. Prospects for the oil and gas content of the Upper Permian deposits of the southwestern part of the Vilyui syncline based on the analysis of sedimentary environments and geochemical conditions of oil and gas content. *Journal of Mining Institute*, 2021, V. 251, p. 698—711. (in Russian)

Поступила в редакцию / Received 3.02.2025



Особенности распределения редкоземельных и редких элементов в корях выветривания Немской и Жежимпарминской возвышенностей Южного Тимана

О. В. Гракова, К. С. Попвасев

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

Приведены результаты изучения распределения редкоземельных и редких элементов в различающихся по возрасту и условиям залегания корях выветривания Южного Тимана в карьерах Джежимский и Асывож на возвышенности Жежимпарма и в карьере Вадьявож Немской возвышенности. На Жежимпарминском поднятии установлено сходство геохимических характеристик песчаников и глинистых пород в основании девонского разреза, подтверждающее тектоническое происхождение глинистых образований, ранее считавшихся корой выветривания. В карьере Вадьявож проведена геохимическая характеристика образований мезозойско-кайнозойских площадной и линейной кор выветривания по породам фундамента, подтверждена связь слюдястых алевролитов верхнерифейской джежимской свиты с рифейским этапом корообразования.

Ключевые слова: Южный Тиман, джежимская свита, кора выветривания, редкоземельные и редкие элементы

Specifics of the distribution of rare-earth and rare elements in the weathering crusts of the Nem and Zhezhiparma uplands at the Southern Timan

O. V. Grakova, K. S. Popvasev

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

The article presents the results of the study of the distribution of rare earth and trace elements in the weathering crusts of the Southern Timan, differing in age and bedding conditions, in the Dzehzhim and Asyvozh quarries on the Zhezhiparma Upland and in the Vadyavozh quarry on the Nem Upland. On the Zhezhiparma Upland, a similarity of the geochemical characteristics of sandstones and clayey rocks at the base of the Devonian section was observed, confirming the tectonic origin of the clayey formations previously considered to be the weathering crust. In the Vadyavozh quarry, a geochemical analysis was conducted on Mesozoic-Cenozoic areal and linear weathering crusts developed over basement rocks. The study confirmed a genetic link between the micaeous aleurolites of the Upper Riphean Dzehzhim suite and the Riphean weathering crust formation.

Keywords: Southern Timan, Dzehzhim suite, weathering crust, rare earth and trace elements

Введение

На Южном Тимане коры выветривания (КВ) палеозойской и мезозойско-кайнозойской эпох корообразования, различающиеся по условиям залегания и субстрату продуктов выветривания, вскрыты картировочными скважинами^{1,2,3}. На дневной поверхности образования КВ известны в пределах выступов рифейского фундамента, представленного различными горизонтами метатерригенных отложений джежимской свиты верхнего рифея (рис. 1). В соответствии с данными (Кузнецов и др., 2010), возраст джежимской свиты авторами принимается как позднерифейский. Однако эта точка зрения оспаривается в связи с наход-

ками вендских микрофоссилий (Колесников и др., 2023), и вопрос о возрасте свиты требует доизучения. Коры выветривания, развитые по породам джежимской свиты, рассматривались в качестве перспективных объектов при поисках алмазов². Изучение литолого-геохимических характеристик КВ, являющихся маркерами континентальных этапов развития территории, имеет важное значение для реконструкции палеогеографических условий осадконакопления и выявления источников обломочного вещества, в том числе алмазов. Ранее нами проведен анализ содержаний петрогенных оксидов, позволивший впервые охарактеризовать различные по возрасту и механизмам образования типы КВ, вскрытые горными выработками на Южном Тимане: досреднедевонскую площадную (карьер Асывож); мезокайнозойскую по субстрату джежимской свиты площадную (карьеры Вадьявож и Джежимский) и линейную, связанную с позднеюрской разломной тектоникой (карьер Вадьявож) коры выветривания (Гракова и др., 2025).

Целью настоящей работы является характеристика распределения редких и редкоземельных элемен-

¹ Терешко В. В., Кириллин С. В. Групповая геологическая съемка м-ба 1 : 50 000 на территории листов Р-40-73-В, Г, Р-40-74-В, Р-40-85-Б, 3-40-86-А, Сыктывкар, 1991.

² Кулбакова Ф. А. Поиски алмазных россыпей «вишерского типа» на Южном Тимане и Юго-Западном Притиманье. Ухта, 2001.

³ Кириллин С. В., Жарков В. А. Отчет о групповой геологической съемке масштаба 1:200 000 на территории листов Р-40-XX, Р-40-XXIV (Немская площадь). Сыктывкар, 2002.

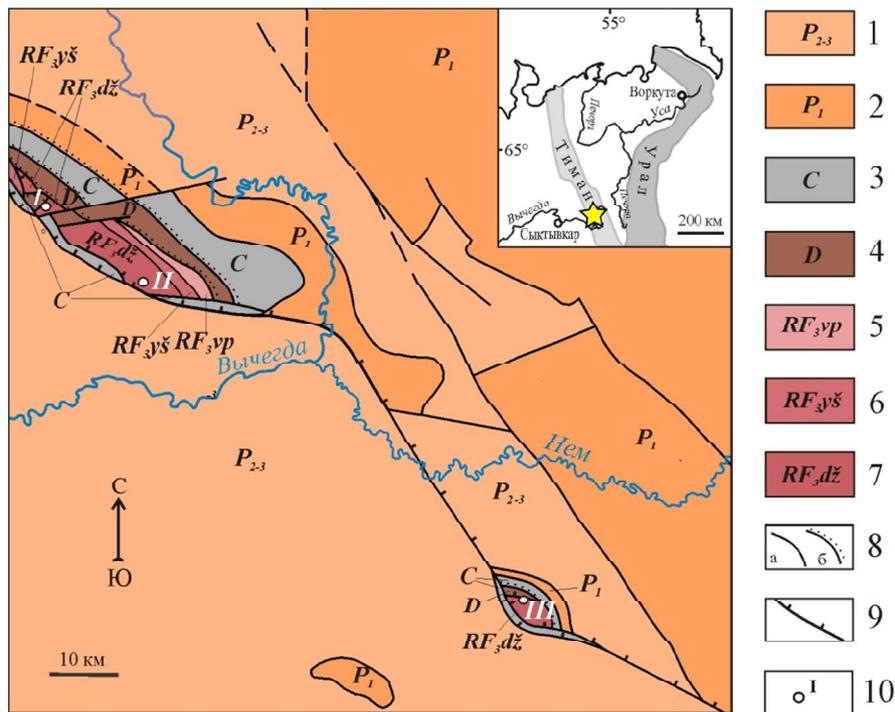


Рис. 1. Схематическая геологическая карта (по: Государственная..., 2005). Условные обозначения: 1–2 пермская система: 1 – нижний отдел, известняки, доломиты, алевролиты, песчаники, гипсы; 2 – средний и верхний отделы, глины, известняки, песчаники; 3 – каменноугольная система: известняки, доломиты, глинистые известняки, глины; 4 – девонская система, средний-верхний отделы: гравелиты, песчаники, конгломераты, алевролиты; 5–7 – рифейская подэонотема: 5 – вапольская свита: доломиты с прослоями песчаников, аргиллитов и кремней; 6 – ышкемесская свита: доломиты, алевролиты, аргиллиты; 7 – джежимская свита: песчаники, алевролиты, гравелиты; 8 – геологические границы: а – согласные, б – несогласные; 9 – надвиг; 10 – изученные разрезы в карьерах: I – Асыввож, II – Джежимский, III – Вадъявож. Звездочка на врезке – местоположение района работ

Fig. 1. Schematic geological map (after: State..., 2005). Legend: 1–2 Permian system: 1 – lower section, limestones, dolomites, siltstones, sandstones, gypsums; 2 – upper section, clays, limestones, sandstones; 3 – Carboniferous system: limestones, dolomites, argillaceous limestones, clays; 4 – Devonian system, middle-upper sections: gravelites, sandstones, conglomerates, siltstones; 5–7 – Riphean subaenothem: 5 – Wapol suite: dolomites with interlayers of sandstones, argillites and flints; 6 – Ishkemes suite: dolomites, siltstones, argillites; 7 – Dzhezhim suite: sandstones, siltstones, gravelstones; 8 – geological boundaries: a – conformable, b – unconformable; 9 – thrust; 10 – studied sections in quarries: I – Asyvvozh, II – Dzhezhimskii, III – Vadyavozh. The asterisk on the inset indicates the work area location

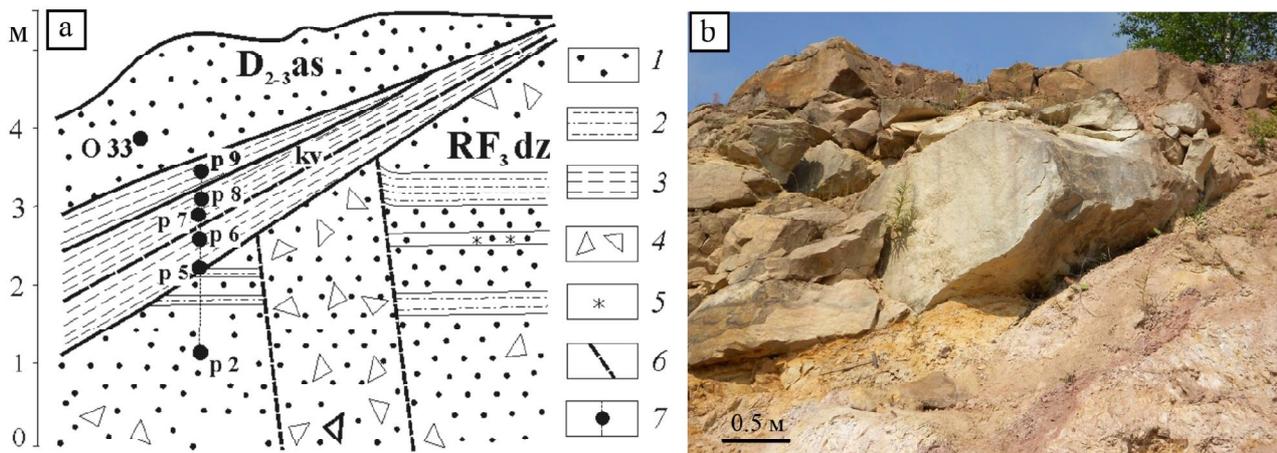


Рис. 2. Разрез зоны контакта рифейских и палеозойских отложений в карьере Асыввож: а – схема опробования: 1 – песчаник; 2 – алевропесчаник; 3 – глина; 4 – крупноглыбовые развалы; 5 – ожелезнение; 6 – линии разрезов; 7 – номер точки отбора пробы; б – выклинивающийся слой серовато-бежевой породы в основании девонской части разреза

Fig. 2. Section of the contact zone of Riphean and Paleozoic deposits in the Asyvvozh quarry: а – sampling scheme: 1 – sandstone; 2 – silty sandstone; 3 – clay; 4 – large-block rubble; 5 – ferrugination; 6 – section lines; 7 – sampling point number; б – wedging-out layer of greyish-beige rock at the base of the Devonian part of the section



тов в образованиях кор выветривания и выявление их зависимости от состава пород предполагаемого субстрата, что позволит использовать эти данные при корреляции палеонтологически немых толщ, расположенных в территориально разобщенных разрезах Южного Тимана, а также для реконструкции палеотектонических и палеогеографических условий формирования отложений.

Объект и методы исследования

Изученные образцы кор выветривания и пород субстрата отобраны в карьерах Асыввож, Жежимский (возвышенность Жежимпарма) и Вадъявож (Немская возвышенность) (рис. 1). Определение содержаний редких и редкоземельных элементов проводилось на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Agilent 7700х. Для перевода пробы в раствор использовался метод многокислотного разложения (смесь кислот в соотношении $\text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{HCl} = 1 : 5 : 2$) в условиях микроволнового нагрева. Разложение велось в микроволновой системе пробоподготовки Sineo MDS-10. Аналитические работы проводились в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, аналитик Г. В. Игнатъев).

Геологическое положение изучаемых объектов

Карьеры Асыввож ($61^\circ 47' 12''$ с.ш., $54^\circ 06' 35''$ в.д., I на рис. 1) и Жежимский ($61^\circ 42' 556''$ с.ш., $5421' 8''$ в.д., II на рис. 1) находятся на возвышенности Жежимпарма, которая совпадает с одноименной антиклинальной структурой, расположенной в зоне сочленения Тиманского складчато-глыбового сооружения и Восточно-Европейской платформы (Государственная..., 2005).

В карьере Асыввож не выдержанный по мощности слой глинистых образований КВ разделяет рифейскую и палеозойскую части разреза (рис. 1, 2). Занимающая верхнюю часть разреза среднепозднедевонская асыввожская свита сложена кварцевыми песчаниками с линзами гравелитов. Породы жежимской свиты (RF₃dž) верхнего рифея — полевошпат-кварцевые песчаники с подчиненными прослоями алевролитов — в зоне контакта с палеозойскими отложениями (10–12 см) дезинтегрированы до мелкой дресвы. Глинистый слой несогласно залегает на различных слоях жежимской свиты и состоит из трех частей (рис. 2, а, b). Залегаящий в основании слой (до 40 см) лилово-розовой тонкогоризонтально-слоистой глины с незначительной псаммитовой примесью и редкими угловатыми обломками (до 3 см) песчаников, сланцев и кислых магматических пород (рис. 2, а, обр. P 5, 6) сменяется аналогичной по структурно-текстурным характеристикам розовато-серой глинистой породой (0.6 м) с единичными мелкими (до 1.5 см) обломками перечисленных выше пород (рис. 2, а, обр. P 7 и O 33). Верхний, несогласно залегаящий на розовато-серой глине, выклинивающийся слой с максимальной мощностью около 0.5 м представлен серовато-бежевой песчанисто-глинистой породой, в основной массе которой редко встречаются обломки кварца, углистых сланцев и кварцевых песчаников размером 0.5–1.5 см (рис. 2, b, обр. P 8). Порода обладает явным внешним

сходством с перекрывающими ее девонскими песчаниками и, по нашему мнению, образована в результате механического разрушения девонских пород (Гракова и др., 2025).

В карьере Жежимский (II на рис. 1), расположенном на юго-восточном фланге Жежимской антиклинали, породы жежимской свиты сложены вишнево-коричневыми полевошпат-кварцевыми песчаниками с линзами и прослоями мелкогалечных полимиктовых конгломератов и серовато-коричневых алевролитов. Кора выветривания остаточного площадного типа представлена розовато-серой песчанистой глиной с редкими мелкими (до 1.0 см) обломками алевролитов и песчаников.

Карьером Вадъявож (III на рис. 1), расположенном в пределах одноименной антиклинальной структуры, вскрыты породы позднерифейской жежимской свиты и мезозойско-кайнозойские КВ площадного и линейного типов. Жежимская свита представлена полевошпат-кварцевыми песчаниками с прослоями гравелитов, алевролитов и сланцев. Площадная остаточная КВ представляет собой розовато-желтоватую глину с примесью песка и редкими обломками размером до 1.0 см подстилающих пород.

Большая часть площадной остаточной КВ в обоих карьерах разрушена в результате геолого-поисковых работ на алмазы и добычи бутового камня. Образования КВ сохранились лишь фрагментарно и представлены отдельными небольшими выходами и глыбовыми развалами.

Образования линейной КВ представлены рыхлой оливково-коричневой дресвяно-песчано-глинистой смесью вдоль тектонического контакта в стенке карьера Вадъявож (рис. 3, а).

Признаки переотложенной рифейской внутриформационной КВ диагностированы у серых слюдистых алевролитов (рис. 3, b), входящих в состав алевритопесчаниковой толщи жежимской свиты (Никулова, 2017; Гракова и др., 2025).

Геохимическая характеристика пород

Содержания REE, малых и редких элементов, а также их соотношения, использованные для построения диаграмм и реконструкции условий осадконакопления, представлены в таблице 1. Содержания редкоземельных и редких элементов в породах субстрата и изученных разновидностях КВ близки к PAAS (таблица 1, рис. 4, а, с, е), кривые распределения незначительно отличаются по наклону легкой части спектра и интенсивности европиевого минимума. Максимальным содержанием REE (263 г/т) отличается слабосцементированная оливково-коричневая песчано-глинистая порода (обр. В 9.3) линейной КВ вдоль тектонического нарушения в юго-западной части карьера Вадъявож (рис. 3, b).

В карьере Асыввож глинистые породы из нижнего и среднего слоев (обр. P 5–8) по количеству REE и форме кривых аналогичны песчаникам жежимской свиты. Образец серовато-бежевой песчанисто-глинистой породы (обр. P 9) из слоя, залегаящего непосредственно под девонскими песчаниками, характеризуется максимальными для этого разреза содержаниями REE и слабо проявленным европиевым минимумом



Таблица 1. Содержания редкоземельных и редких элементов, г/т

Table 1. Contents of rare earth and rare elements, g/t

Карьер Quarry	Асыввож / Asyvvozh						Вадьявож / Vadyavozh					Джежимский Dzhezhim			
Возраст Age	RF	Досреднедевонский Pre-Middle Devonian				D		RF	MZ-KZ		RF (?)		RF	MZ-KZ	
Порода Rocks	Песчаник Sandstone	Площадная КВ Areal weathering crust				Песчаник Sandstone	Тектоническая глина Tectonic clay	Песчаник Sandstone	Площадная КВ Areal weathering crust	Линейная КВ Linear weathering crust	Площадная КВ Areal weathering crust		Песчаник Sandstone	Площадная КВ Areal weathering crust	
Элемент Element	P 2	P 5	P 7	P 8	O 33	P 9	B 9.4	B 14. 4	B 9.10	B14.3	B 9.3	Дж 1	Дж 2	Дж 3	
Sc	5.5	3.3	4.8	2.0	3.9	5.4	1.0	7.1	5.6	14.0	15.0	1.0	16.0	4.6	
V	21.0	21.0	29.0	9.0	16.0	43.0	6.0	45.0	39.0	170.0	119.0	10	110.0	61.0	
Cr	26.0	25.0	29.0	11.0	14.0	35.0	204.0	133.0	45.0	137.0	108.0	345.0	114.0	77.0	
Co	1.1	0.5	0.5	0.8	1.0	0.6	4.8	4.6	6.6	2.4	11.0	2.5	12.0	10.0	
Ni	3.0	2.0	2.0	4.0	6.0	1.0	29.0	20.0	17.0	30.0	42.0	31.0	74.0	51.0	
Cu	5.0	6.0	5.0	6.0	7.0	2.0	15.0	45.0	22.0	25.0	24.0	15.0	5.9	7.4	
Zn	8.0	5.0	5.0	4.0	10.0	3.0	12.0	16.0	40.0	16.0	39.0	8.3	89.0	50.0	
Ga	6.2	6.4	9.6	3.3	5.8	13.0	1.9	10.0	7.2	35.0	24.0	3.9	22.0	14.0	
Rb	61.0	62.0	81.0	23.0	37.0	114.0	7.0	61.0	28.0	66.0	93.0	51.0	158.0	41.0	
Sr	21.9	27.8	28.9	6.5	8.9	38.0	3.6	12.0	5.5	19.0	12.0	33.0	70.0	46.0	
Y	7.9	7.9	10.1	12.0	15.0	14.0	4.1	7.8	6.2	8.8	15.0	7.3	34.0	15.0	
Zr	95.0	107.0	147.0	152.0	173.0	189.0	52.0	153.0	62.0	189.0	119.0	38.0	176.0	142.0	
Nb	3.2	3.0	4.6	4.7	7.7	6.0	1.2	5.3	2.7	20.0	11.0	1.8	13.0	8.7	
Mo	0.9	0.8	0.2	0.2	0.5	0.2	21.0	2.3	0.9	0.8	0.4	4.8	0.5	0.8	
Cs	0.9	1.2	2.0	0.8	3.7	2.8	0.1	0.9	0.4	5.3	1.8	0.5	2.3	0.9	
La	17.2	19.8	14.7	11.0	17.0	24.0	4.6	22.0	4.5	12.0	51.0	13.0	45.0	12.0	
Ce	33.2	40.6	30.7	23.0	35.0	49.0	9.0	43.0	8.1	22.0	111.0	27.0	78.0	19.0	
Pr	4.1	5.0	3.8	2.9	4.2	6.4	1.1	4.9	1.2	3.7	12.0	3.5	12.0	3.6	
Nd	14.9	19.0	15.0	11.0	15.0	25.0	4.3	18.0	5.0	14.0	46.0	14.0	49.0	14.0	
Sm	2.7	3.6	3.0	2.1	2.9	4.8	0.8	3.1	1.3	3.1	8.0	2.5	9.8	3.0	
Eu	0.8	1.0	1.0	0.5	0.7	1.5	0.2	0.8	0.3	0.8	1.4	0.9	2.7	12.0	
Gd	3.0	3.9	3.9	2.6	3.5	5.1	1.0	3.6	1.4	3.2	8.4	2.6	10.0	3.3	
Tb	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.1	0.4	0.2	0.5	0.9	0.3	1.3	0.5	
Dy	1.7	1.9	2.1	2.0	2.5	3.0	0.8	1.7	1.2	3.1	3.7	1.4	6.5	2.7	
Ho	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.2	0.3	0.2	0.6	0.6	0.3	1.3	0.6	
Er	1.0	1.0	1.3	1.3	1.6	1.8	0.5	0.9	0.7	1.8	2.2	0.1	3.7	1.6	
Tm	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1	0.5	0.2	
Yb	1.0	0.9	1.3	1.3	1.5	1.1	0.4	1.1	0.6	1.8	1.9	0.7	3.1	1.5	
Lu	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	1.0	0.3	0.3	0.1	0.5	0.2	
Hf	2.9	3.1	4.4	4.2	5.0	5.8	1.4	4.3	1.6	5.3	3.4	1.0	4.9	3.8	
W	0.3	0.3	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.8	0.5	2.0	0.8	1.6	1.0	0.6	
Pb	31.5	130.3	13.8	12.0	23.0	19.0	26.0	51.0	21.0	239.0	70.0	8.3	8.4	3.7	
Th	4.9	6.4	5.5	3.7	5.0	8.1	1.7	8.3	3.6	5.8	9.9	2.5	11.0	3.2	
U	0.8	1.0	1.1	1.0	1.4	1.5	0.6	2.5	0.7	3.4	3.7	0.7	3.8	0.8	
Eu/Eu*	0.9	0.8	0.9	0.7	0.7	0.9	0.6	0.8	0.8	0.7	0.5	1.1	0.8	1.2	
Ce/Ce*	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	0.8	1.1	0.9	0.8	0.7	
Σ LREE	73.0	89.0	68.0	51.0	75.0	111.0	20.0	92.0	33.0	56.0	229.0	61.0	197.0	53.0	
Σ REE	89.0	106.0	88.0	71.0	101.0	138.0	27.0	108.0	53.0	76.0	263.0	75.0	257.0	78.0	

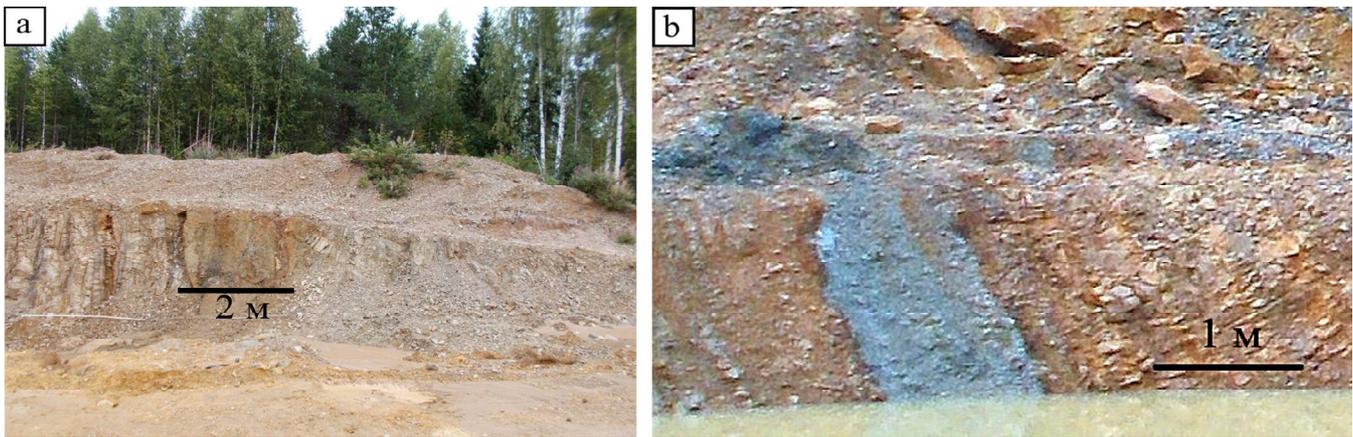


Рис. 3. Карьер Вадьявож: а — линейная кора выветривания по породам джежимской свиты; б — слой слюдистых алевролитов

Fig. 3. Vadyavozh quarry: a — linear weathering crust on rocks of the Dzhezhim suite; b — layer of micaceous siltstones

(табл. 1, рис. 4, а). На спайдер-диаграммах, нормированных на UCC (Taylor, McLennan, 1995), содержания малых и редкоземельных элементов в глинистых породах характеризуются пониженными значениями ряда элементов (Cu, Ni, Co и др.) и повышенным — циркония (рис. 4, б).

Графики распределения REE в отложениях мезозойско-кайнозойской площадной КВ, расположенной в карьере Джежимский, отличаются пологим наклоном в области LREE по сравнению с исходными рифейскими песчаниками и PAAS, а также слабовыраженным европиевым минимумом (рис. 4, с).

Графики распределения REE в глинистых образованиях КВ различного типа и возраста в карьере Вадьявож существенно различаются по характеру наклона кривых и значению европиевого минимума. По сравнению с неизменными рифейскими песчаниками в них значительно выше содержание REE. Максимальным содержанием REE, крутым наклоном в области LREE и интенсивным европиевым минимумом отличаются слюдистые алевролиты в составе джежимской свиты (табл. 1, рис. 4, с).

Содержание элементов-примесей, за исключением циркония, в глинистых породах КВ мезозойско-кайнозойского возраста ниже UCC (рис. 4, d, f). Они близки по форме нормированных на UCC кривых распределения элементов-примесей (Taylor, McLennan, 1995), содержание которых в глинистых образованиях КВ выше, чем в неизмененных рифейских песчаниках (рис. 4, b, d, f). В КВ сохраняются унаследованные от пород субстрата низкие по сравнению с UCC содержания Co, Ni, Cu, Sr, Cs и повышенные Zr, Mo, Pb.

Сделать предположения о составе пород, участвовавших в образовании КВ, дают возможность диаграммы, представленные на рис. 5, а–f. Состав элементов-примесей в изученных породах сходен с составом кислых вулканитов малдинского комплекса Приполярного Урала (Соболева, 2004), поэтому на диаграмму La/Sc–Th/Co (Cullers, 2002) для сравнения нанесены средние составы этих вулканитов, а также гранитов Малдинского гранитного массива, архейских и протерозойских гранитов (рис. 5, а). Все фигуративные точки изученных отложений локализованы в поле (или вблизи него) продуктов разрушения кислых пород и по соотношениям La/Sc–Th/Co наиболее близки к риолитам и гранитам

малдинского комплекса. На диаграмме Zr/Sc–Th/Sc (по: McLennan, 1993) большинство фигуративных точек расположены в области пород, в которых присутствует петрогенный обломочный материал среднего и кислого состава (рис. 5, б).

Фигуративные точки образований КВ и девонских песчаников на диаграмме Yb_N-La_N/Yb_N (Маслов, 2004) находятся в области перекрытия полей архейской тоналит-трондьемит-гранитной ассоциации и постархейских гранитоидов, а все рифейские песчаники тяготеют к области архейской гранитной ассоциации (рис. 5, с).

Точки рифейских песчаников, отличающихся низкими содержаниями Hf, на диаграмме Hf–La/Th (Floyd, Leveraidg, 1987) располагаются в основании трендов кислого и основного состава, большая часть точек КВ обнаруживает связь с породами, образованными в условиях кислой островной дуги (рис. 5, d).

На диаграмме Nb/Y–Zr/TiO₂ (Winchester, Floyd, 1977) точки попадают в область продуктов разрушения щелочных и кислых пород (рис. 5, e).

На диаграмме Sc–Th (по: Тейлор, МакЛеннан, 1988) большинство фигуративных точек рифейских и девонских песчаников располагаются вблизи линии Th/Sc = 1 (рис. 5, f). Относительно низкие значения этого отношения обнаруживаются в рифейских алевролитах, что может указывать на присутствие в обломочной части примеси материала основных магматических пород.

Положение их фигуративных точек на треугольной диаграмме Co–Th–Zr/10 (Bhatia, Crook, 1986) указывает на образование девонских и рифейских песчаников, вскрытых карьером Асывож, и связанных с ними глинистых образований в условиях пассивной континентальной окраины. А точки, соответствующие рифейским песчаникам и КВ из карьеров Вадьявож и Джежимский, попали в область осадков, вулканогенно-обломочный материал которых был сформирован в активной тектонической обстановке в условиях зрелой островной дуги (рис. 6, а). Такое положение точек обусловлено присутствием в породах первого цикла выветривания большого количества неизмененных плагиоклазов.

Отношения $\Sigma Ce/\Sigma Y$ характерны для пород, образованных в гумидном (5.7 и 6.8 обр. В 14.4 и В 9.3),

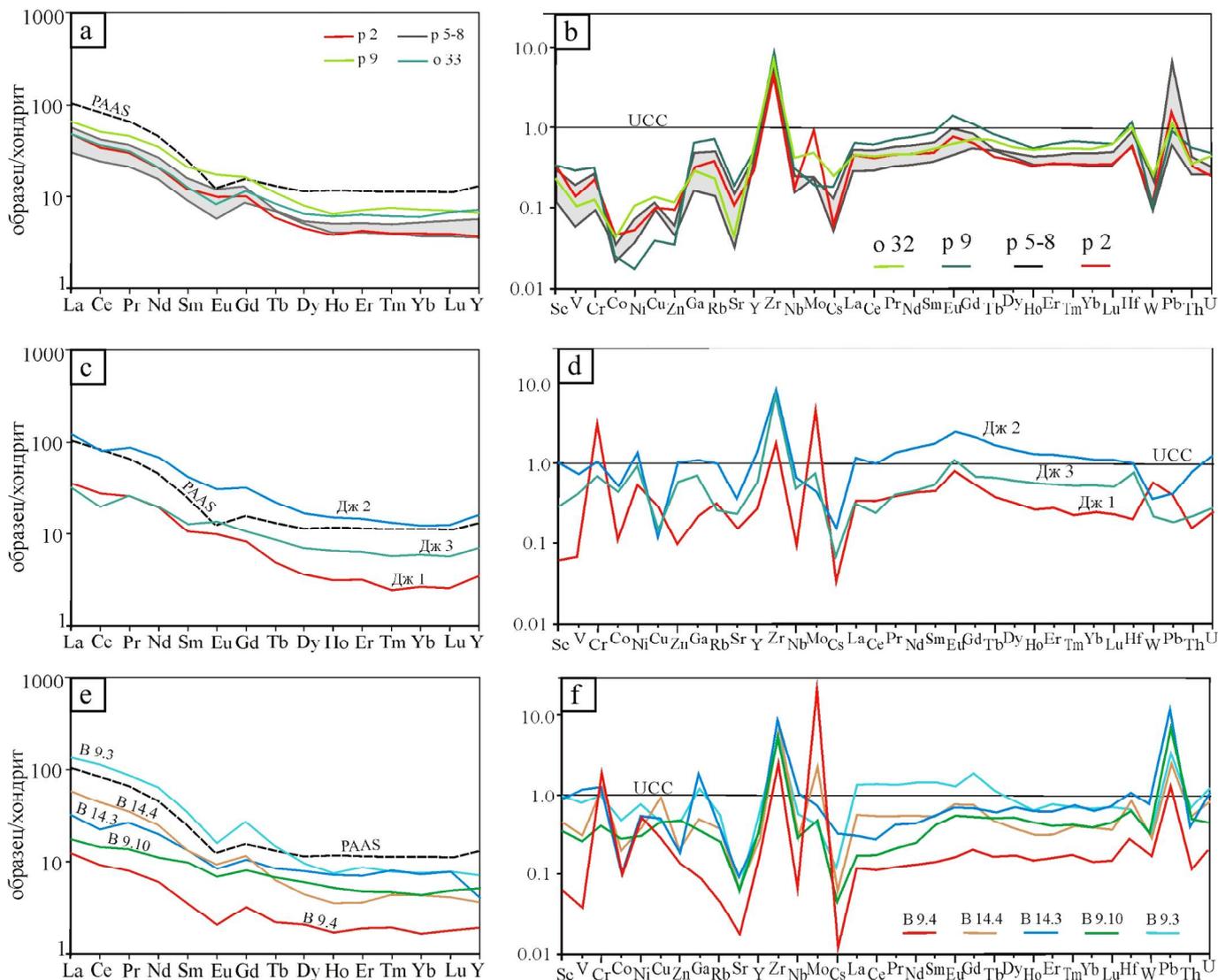


Рис. 4. Нормированные на хондрит (по: Тейлор, МакЛеннон, 1988) спектры распределения содержаний REE (a, c, e) и нормированное на UCC (Taylor, McLennan, 1995) содержание элементов-примесей (b, d, f) в исходных песчаниках и глинистых породах

Fig. 4. Chondrite-normalized (according to Taylor, McLennan, 1988) REE content distribution spectra (a, c, e) and UCC-normalized (Taylor, McLennan, 1995) trace element content (b, d, f) in the original sandstones and clayey rocks

семигумидно-семиаридном и аридном (1.7 и 2.1 в обр. В 9.10 и Дж 3) климатах (Балашов, 1976). На треугольной диаграмме La–(Nd + Sm)–(Y + Dy) фигуративные точки рифейских песчаников и связанных с ними KB расположены вблизи линии разграничения гумидного и аридного климатов и в поле аридного климата, а девонские песчаники и подстилающие их глинистые образования попали в поле пород, образованных в гумидном климате (рис. 6, b).

Обсуждение результатов и выводы

Содержание REE в рифейских песчаниках и глинистых образованиях KB карьера Асывовож отличаются незначительно и близки к PAAS. Спектры распределения REE в глинистых образованиях KB различного типа и возраста в карьере Вадьявовож различаются по характеру наклона кривых. Максимальным содержанием REE, крутым наклоном в области LREE и наиболее интенсивным европиевым минимумом отличают-

ся слюдястые алевролиты в составе джежимской свиты (таблица 1, рис. 3, с).

В KB по рифейским породам сохраняются унаследованные от пород субстрата низкие по сравнению с UCC содержания Co, Ni, Cu, Sr, Cs и повышенные Zr, Mo, Pb. Такой состав элементов-примесей может быть обусловлен присутствием в породах вулканомиктовой составляющей пород кислого состава малдинского комплекса Приполярного Урала (Соболева, 2004; Юдович, Кетрис, 2000). На это также указывает схожесть соотношений La/Sc–Th/Co и Zr/Sc–Th/Sc в KB с составом риолитов, наличие крутого европиевого минимума и крутого наклона кривых легких редких земель.

Форма кривых распределения элементов-примесей на спайдер-диаграммах и положение фигуративных точек на диаграммах La/Sc–Th/Co, Zr/Sc–Th/Sc, Yb_N–La_N/Yb_N Hf–La/Th, Nb/Y–Zr/TiO₂, Sc–Th свидетельствуют о сходстве составов глинистых образований и подстилающих (вмещающих) пород, в формировании которых принимал участие обломочный матери-



ал первого цикла выветривания, образованный при разрушении магматических пород кислого и среднего состава.

Положение точек пород джежимской свиты и связанных с ними глинистых образований КВ из карьеров Джежимский и Вадьявож на треугольной диаграмме Co–Th–Zr/10, применяемой для реконструкции палеогеодинамических обстановок, в поле пород, сформированных в условиях зрелой островной дуги, объясняется их полевошпат-кварцевым составом. Отношение Ce/Ce* соответствует значениям, характерным для затопленных платформенных равнин (Murray et al., 1991).

Таким образом, наши исследования подтвердили принадлежность алевролитов в составе джежимской свиты в карьере Вадьявож к породам, образованным за счет переотложения измененного в КВ обломочного материала.

Особенности распределения РЗЭ в изученных нами разновидностях КВ обнаруживают их сходство с кислыми вулканитами, распространенными на Приполярном Урале, и не имеют признаков присутствия в них продуктов разрушения кимберлитов (Соболева, 2004, Гусев, Антонов, 2020; Опарин, Олейников, 2022).

Геохимические характеристики девонских песчаников и подстилающих их глинистых образований

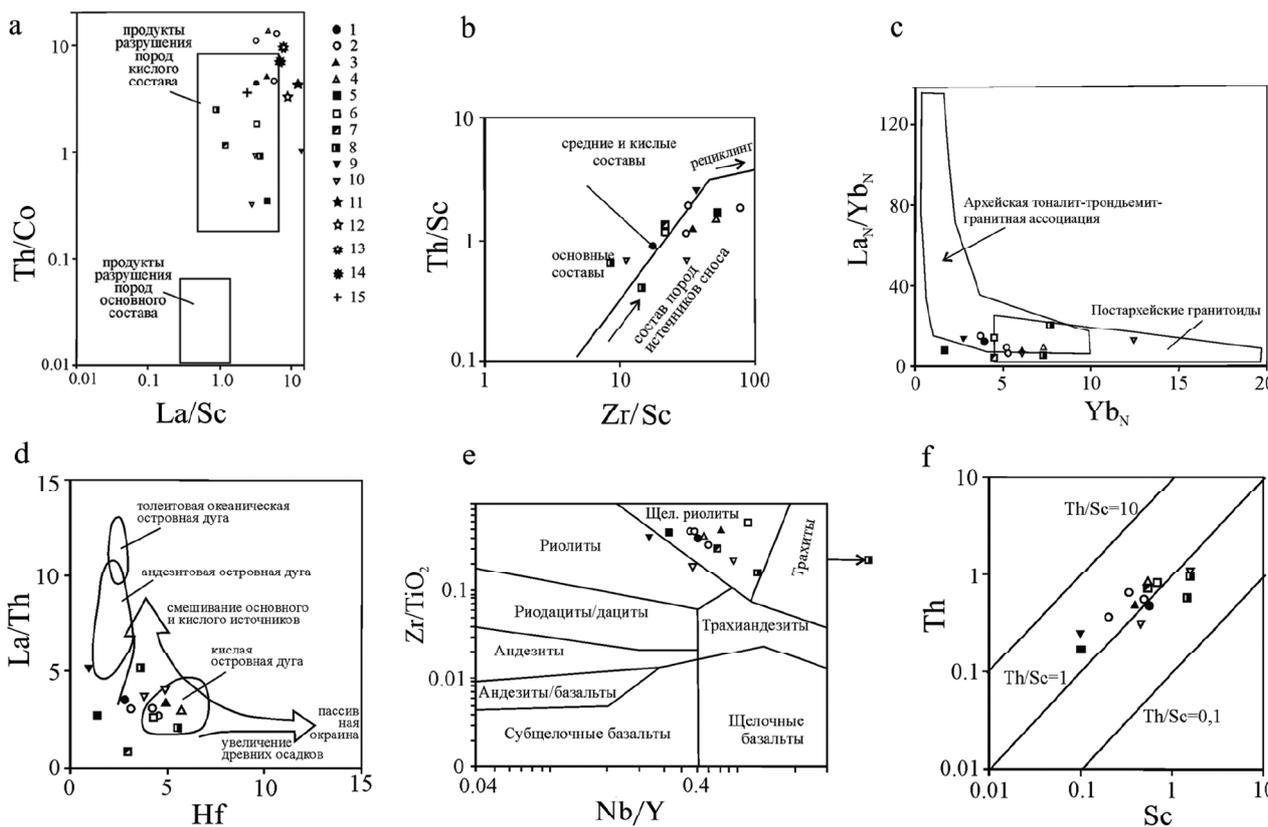


Рис. 5. Положение фигуративных точек песчаников и глинистых образований коры выветривания на диаграммах: а – La/Sc–Th/Co (по: Cullers, 2002); б – Zr/Sc–Th/Sc (по: McLennan et al., 1993); в – Yb_N–La_N/Yb_N (по: Маслов и др., 2004); д – Hf–La/Th (по: Floyd, Leveraidg, 1987); е – Nb/Y–Zr/TiO₂ (по: Winchester, Floyd, 1977); ф – Sc–Th (по: Тейлор, МакЛеннон, 1988). Условные обозначения: 1–4 – карьер Асывож: 1 – песчаник позднерифейской джежимской свиты; 2 – КВ по породам джежимской свиты; 3 – песчаник среднепозднедевонской асывожской свиты; 4 – тектоническая глина (?); 5–7 – карьер Вадьявож: 5 – песчаник позднерифейской джежимской свиты; 6 – площадная КВ по породам джежимской свиты; 7 – линейная КВ по породам джежимской свиты; 8 – древняя (рифейская) КВ; 9–10 – карьер Джежимский: 9 – песчаник позднерифейской джежимской свиты; 10 – площадная КВ по породам джежимской свиты; 11 – средний архейский гранит (по: Condie, 1993); 12 – средний протерозойский гранит (по: Condi, 1993); 13 – средний состав риолитов малдинского комплекса (по: Соболева, 2004); 14 – средний состав дацитов малдинского комплекса (по: Соболева, 2004); 15 – средний состав гранитов Малдинского гранитоидного массива (по: Соболева, 2004)

Fig. 5. Position of figurative points of sandstones and clayey formations of the weathering crust in the diagrams: а – La/Sc–Th/Co (after: Cullers, 2002); б – Zr/Sc–Th/Sc (after: McLennan et al., 1993); в – Yb_N–La_N/Yb_N (after: Maslov et al., 2004); д – Hf–La/Th (after: Floyd, Leveraidg, 1987); е – Nb/Y–Zr/TiO₂ (after: Winchester, Floyd, 1977); ф – Sc–Th (after: Taylor, McLennan, 1988). Legend: 1–4 – Asyvvozh quarry: 1 – sandstone of the Late Riphean Dzhezhim suite; 2 – weathering cruston on the rocks of the Dzhezhim suite; 3 – sandstone of the Middle-Late Devonian Asyvvozh suite; 4 – tectonic clay (?); 5–7 – Vadyavozh quarry: 5 – sandstone of the Late Riphean Dzhezhim suite; 6 – areal weathering cruston on the rocks of the Dzhezhim suite; 7 – linear weathering cruston on the rocks of the Dzhezhim suite; 8 – ancient (Riphean) weathering crust; 9–10 – Dzhezhim quarry: 9 – sandstone of the Late Riphean Dzhezhim suite; 10 – areal weathering cruston on the rocks of the Dzhezhim suite; 11 – Middle Archean granite (after: Condie, 1993); 12 – Middle Proterozoic granite (after: Condi, 1993); 13 – average composition of rhyolites of the Maldinsky complex (after: Soboleva, 2004); 14 – average composition of dacites of the Maldinsky complex (after: Soboleva, 2004); 15 – average composition of granites of the Maldinsky granitoid massif (after: Soboleva, 2004)

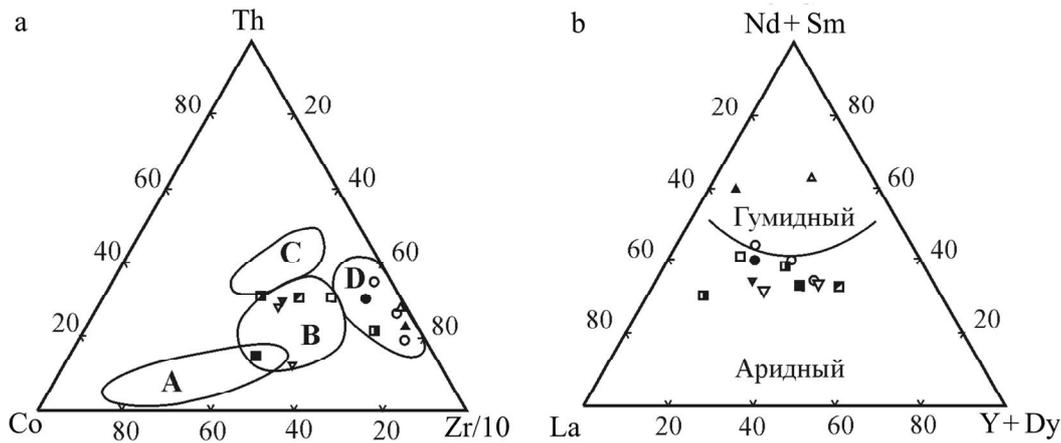


Рис. 6. Положение фигуративных точек на треугольных диаграммах: а — Co–Th–Zr/10 (по: Bhatia, Crook, 1986). Условные обозначения: А — островная дуга; В — зрелая (приконтинентальная) островная дуга; С — активная континентальная окраина; D — пассивная континентальная окраина; б — La–(Nd+Sm)–(Y+Dy) (по: Шатров, Войтеховский, 2009). Условные обозначения — на рис. 5

Fig. 6. Position of figurative points on triangular diagrams: а — Co–Th–Zr/10 (after Bhatia, Crook, 1986). Legend: А — island arc; В — mature (near-continent) island arc; С — active continental margin; D — passive continental margin; б — La–(Nd+Sm)–(Y+Dy) (after Shatrov, Voitekhovskiy, 2009). Legend in Fig. 5

сходны, что подтверждает сделанное нами ранее предположение о том, что они возникли в результате механического разрушения песчаников при надвиге, не являются КВ и не могут служить коллектором обломочных алмазов, обнаруженных в девонских породах.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по темам НИР: «Глубинное строение, геодинамическая эволюция, взаимодействие геосфер, магматизм, метаморфизм и изотопная геохронология Тимано-Североуральского сегмента литосферы» — 122040600012-2 и «Развитие минерально-сырьевого комплекса Тимано-Североуральско-Баренцевоморского региона на основе эффективного прогноза, геологического моделирования, геолого-экономической оценки ресурсного потенциала и новых технологий переработки полезных ископаемых» — 122040600011-5.

Литература / References

- Балашов Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 268 с.
Balashov Yu. A. Geochemistry of rare earth elements. Moscow: Nauka, 1976, 268 p. (in Russian)
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Р-40-Североуральск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика «ВСЕГЕИ», 2005. 332 с.
State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:1000000 (third generation). Ural Series. Sheet P-40-Northern Ural. Explanatory note. St. Petersburg: Cartographic Factory "VSEGEI", 2005, 332 p. (in Russian)
- Гракова О. В., Никулова Н. Ю., Симакова Ю. С. Геохимическая характеристика кор выветривания на увале Джемипарма и Немской возвышенности (Южный Тиман) // Записки Горного института. 2025. С. 1–13. EDN EBLEPI
Grakova O. V., Nikulova N. Yu., Simakova Yu. S. Geochemical characteristics of weathering crusts of the Southern Timan. Proc. of the Mining Institute, 2025, pp. 1–13. (in Russian)

- Гусев Н. И., Антонов А. В. Кимберлиты участка Сербейан (Анабарский щит) — продукт расплава, обогащенного натрием, хлором, карбонатом // Региональная геология и металлогения. 2020. № 81. С. 105–118.
Gusev N. I., Antonov A. V. Kimberlites of the Serbeyan area (Anabar Shield) - a product of a melt enriched in sodium, chlorine, carbonate. Regional Geology and Metallogeny, 2020, No. 81, pp. 105–118. (in Russian)
- Колесников А. В., Латышева И. В., Шацилло А. В., Кузнецов Н. Б., Колесников А. С., Десяткин В. Д., Романюк Т. В. Биота эдиакарского типа в верхнем докембрии Тиманского кряжа (возвышенность Джемипарма, Республика Коми) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 510. № 1. С. 61–65. DOI: 10.31857/S2686739722602964
Kolesnikov A. V., Latysheva I. V., Shatsillo A. V., Kuznetsov N. B., Kolesnikov A. S., Desiatkin V. D., Romanyuk T. V. Ediacara-Type Biota in the Upper Precambrian of the Timan Range (Dzhezhim-Parma Upland, Komi Republic). Doklady Earth Sciences, 2023, Vol. 510, No. 1, pp. 289–292. DOI: 10.1134/S1028334X23600032
- Маслов А. В., Крупенин М. Т., Ронкин Ю. Л., Гареев Э. З., Лепихина О. П., Попова О. Ю. Тонкозернистые алюмосиликокластические образования стратотипического разреза среднего рифея на Южном Урале: особенности формирования, состав и эволюция источников сноса // Литология и полезные ископаемые 2004. № 4. С. 414–441.
Maslov A. V., Krupenin M. T., Ronkin Yu. L., Gareev E. Z., Lepikhina O. P., Popova O. Yu. Fine-grained aluminosiliciclastic rocks of the Middle Riphean stratotype section in the Southern Urals: Formation conditions, composition and provenance evolution. Lithology and Mineral Resources, 2004, Vol. 39, No. 4, pp. 357–381. DOI 10.1023/B:LIMI.0000033822.25951.88
- Никулова Н. Ю. Вещественный состав и особенности формирования метасадочных пород фундамента Вадьявожского выступа (Немская возвышенность, Южный Тиман) // Региональная геология и металлогения. 2017. № 69. С. 23–32.



- Nikulova N. Yu. Material composition and formation features of metasedimentary rocks of the basement of the Vadyavozhsky ledge (Nem Upland, Southern Timan). *Regional Geology and Metallogeny*, 2017, No. 69, pp. 23–32. (in Russian)
- Опарин Н. А., Олейников О. Б. Геологическое строение и вещественный состав кимберлитовых трубок Хомпумайского поля (Центральная Якутия) // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2022. Т. 27. № 4. С. 486–498. DOI: 10.31242/2618-9712-2022-27-4-486-498
- Oparin N. A., Oleynikov O. B. Geological structure and material composition of kimberlite pipes of the Khompumai field (Central Yakutia). *Natural resources of the Arctic and Subarctic*, 2022, Vol. 27, No. 4, pp. 486–498. (in Russian)
- Соболева А. А. Вулканиды и ассоциирующие с ними гранитоиды Приполярного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 146 с.
- Soboleva A. A. Volcanites and associated granitoids of the Subpolar Urals. Yekaterinburg: UB RAS, 2004, 146 p. (in Russian)
- Тейлор С. З., МакЛеннон С. М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
- Taylor S. Z., McLennan S. M. Continental crust: its composition and evolution. Moscow: Mir, 1988, 384 p. (in Russian)
- Шатров В. А., Войцеховский Г. В. Применение лантаноидов для реконструкций обстановок образования в фанерозое и протерозое (на примере разрезов чехла и фундамента Восточно-Европейской платформы) // *Геохимия*. 2009. № 8. С. 805–824.
- Shatrov V. A., Voitsekhovskii G. V. The use of lanthanides for the reconstruction of Phanerozoic and Proterozoic sedimentation environments exemplified by sections in the cover and basement of the East European platform. *Geochemistry International*, 2009, Vol. 47, No. 8, pp. 758–776. DOI: 10.1134/S0016702909080023
- Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
- Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Fundamentals of Lithochemistry. St. Petersburg: Nauka, 2000, 479 p. (in Russian)
- Bhatia M. R., Crook K. A. W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1986, Vol. 92. No. 2. P. 181–193. DOI: 10.1007/bf00375292
- Condie K. C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust contrasting results from surface and shales. *Chemical Geology*. 1993. Vol. 104. No. 1. P. 1–37. DOI: 10.1016/0009-2541(93)90140-e
- Cullers R. L. Implications of elements concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chem. Geol.* 2002, Vol. 191. No. 4. P. 305–327. DOI: 10.1016/S0009-2541(02)00133-X
- Floyd P. A., Leveridge B. E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *J. Geol. Soc., London*. 1987. Vol. 191. No. 4. P. 531–542. DOI: 10.1144/gsjgs.144.4.0531
- McLennan S. M., Hemming S. R., McDaniel D. K., Hanson G. N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics In: M. J. Johnsson, A. Basu, Eds. *Processes controlling the composition of clastic sediments*. Geological Society of America, Colorado. 1993. Vol. 284. P. 21–40. DOI: 10.1130/SPE284-p21
- Murray R. W., Buchholtz ten Brink M. R., Gerlach D. C., Russ G. P., Jones D. L. Rare earth, major and trace elements in chert from the Franciscan Complex and Monterey Group, California: Assessing REE sources to fine-grained marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1991. Vol. 55. No. 7. P. 1875–1895. DOI: 10.1016/0016-7037(91)90030-9
- Taylor S. R., McLennan S. M. The geochemical evolution of the continental crust. *Rev. Geophys.* 1995. Vol. 33. No. 2. P. 241–265. DOI: 10.1029/95rg00262
- Winchester J. A., Floyd P. A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.* 1977. No. 20. P. 325–343. DOI: 10/1016/0009-2541(77)9577-2

Поступила в редакцию / Received 9.12.2024



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК: 551.794:551.89

DOI: 10.19110/geov.2025.3.4

Формирование голоценовых отложений в нижнем течении реки Чёрной (северо-запад Большеземельской тундры)

В. А. Исаков

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; isakovvlad94@gmail.com

Проведено фациальное расчленение голоценовых отложений в приустьевой части р. Чёрной (северо-запад Большеземельской тундры). Построена геоморфологическая схема долины реки по результатам литолого-фациального анализа осадков и геоморфологического (морфографического и морфометрического) исследования рельефа. Выявлены основные закономерности развития долины реки в послеледниковое время.

Деградация полярного (осташковского) ледникового покрова в конце позднего неоплейстоцена и низкое положение территории северной части Большеземельской тундры способствовали формированию озёрно-морской террасы. Одновременно с гляциоизостатической компенсацией и подъёмом территории произошло врезание русловой системы и накопление осадков второй надпойменной террасы. Ингрессия Печорского моря в позднем голоцене способствовала накоплению осадков первой террасы и поймы с комплексом эстуарных отложений, формирование которых происходило в приливно-отливных условиях. Синхронно с ними на поверхности террас накапливались озёрные, озёрно-болотные и болотные осадки.

Ключевые слова: четвертичные отложения, гранулометрический состав, минеральный состав, текстурный анализ, литолого-фациальный анализ, приустьевая часть долины р. Чёрной

Formation of Holocene sediments in the lower reach of the Chernaya River (northwest of the Bolshezemelskaya tundra)

V. A. Isakov

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

The facies dissection of Holocene deposits in the estuary part of the Chernaya River (northwest of the Bolshezemelskaya tundra) was carried out. A geomorphological scheme of the river valley was constructed on the basis of the results of lithofacies analysis of sediments and geomorphological (morphographic and morphometric) study of the relief. The main patterns of the river valley development in the postglacial period were revealed. The degradation of the polar (Ostashkov) ice sheet at the end of the late Neopleistocene and the low position of the territory of the northern part of the Bolshezemelskaya tundra contributed to the formation of a lake-marine terrace. Simultaneously with glacioisostatic compensation and the rise of the territory, the incision of the channel system and the accumulation of sediments of the second floodplain terrace occurred. The ingression of the Pechora Sea in the late Holocene contributed to the accumulation of sediments of the first terrace and floodplain with a complex of estuarine deposits, the formation of which occurred in tidal conditions. Lake, lake-marsh and marsh sediments simultaneously accumulated on the surface of the terraces.

Keywords: Quaternary deposits, granulometric composition, mineral composition, textural analysis, lithofacies analysis, estuarine part of the Chernaya River valley

Введение

К настоящему времени накоплен обширный материал о рельефе дна и составе донных четвертичных отложений южной части Баренцевоморского шельфа (Авенариус и др., 2001; Эпштейн, Чистякова, 2005; Павлидис и др., 2007; Рыбалко и др., 2021). Однако, несмотря на активные палеогеографические исследования морских территорий, проблема диагностики генетических типов осадков континентальной и прибрежной зоны остаётся открытой. Немаловажными являются исследования речных систем арктических

регионов, которые играют важную роль в формировании современного рельефа и содержат ценную палеогеографическую информацию.

Долина р. Чёрной является третьим по величине водосборным бассейном северной части Большеземельской тундры после рек Печоры и Коротаихи, которые поставляют значительное количество осадочного материала на шельф Баренцева моря (Политова и др., 2021).

В 1990 г. в верхнем и среднем течениях реки коллективом лаборатории геологии кайнозоя Института геологии Коми НЦ УрО РАН проведены комплексные

Для цитирования: Исаков В. А. Формирование голоценовых отложений в нижнем течении реки Чёрной (северо-запад Большеземельской тундры) // Вестник геонаук. 2025. 3(363). С. 34–46. DOI: 10.19110/geov.2025.3.4

For citation: Isakov V.A. Formation of Holocene sediments in the lower reach of the Chernaya River (northwest of the Bolshezemelskaya tundra). Vestnik of Geosciences, 2025, 3(363), pp. 34–46, DOI: 10.19110/geov.2025.3.4

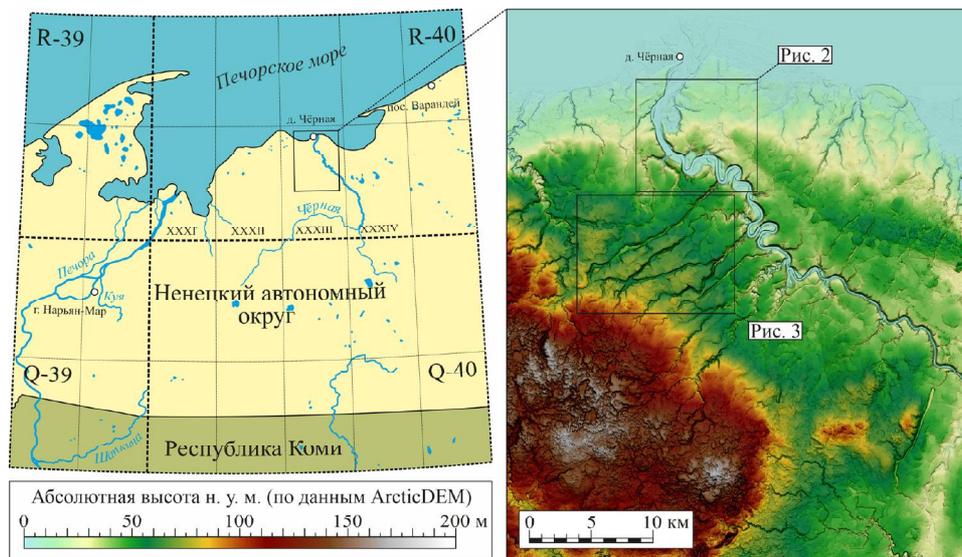


Рис. 1. Расположение и гипсометрическая характеристика приустьевой части долины р. Черной (северо-запад Большеземельской тундры) по данным цифровой модели рельефа ArcticDEM v4.1

Fig. 1. Location and hypsometric characteristics of the estuary part of the Chernaya River valley (north-west of the Bolshezemelskaya tundra) according to the digital elevation model ArcticDEM v4.1

литологические, палеомикробиологические, палинологические и геохронологические исследования, которые обосновали стратиграфическую позицию отложений верхнего и среднего неоплейстоцена и установили наличие трех разновозрастных ледниковых и межледниковых горизонтов (Андреичева, 2002). По результатам палинологических (Андреичева, Дурягина, 2005; Андреичева, Марченко-Вагапова, 2012) и палеомикробиологических (Андреичева и др., 1991; Andreicheva, Durjagina, 1995) исследований определён возраст межледниковых осадков. Находки мелких млекопитающих позволили датировать верхневыгодские, лайские и верхнеполярные отложения. Стоит отметить, что впервые в этом районе детальное палинологическое обоснование получил бызовский интерстадиальный горизонт (Андреичева, 2002), который представлен озёрными и озёрно-болотными осадками. Последние данные о перекрёстном $^{230}\text{Th}/\text{U}$ - и ^{14}C -датировании свидетельствуют о том, что часть из них формировалась в позднеледниковое время (Максимов и др., 2021).

Нижнее течение р. Чёрной характеризуется относительно слабой геолого-геоморфологической изученностью, а исследования ограничены лишь мелко- и среднемасштабным картированием территории (Петров и др., 2014.; Журавлёв и др., 2014), что приводит к значительным разногласиям в генетической и стратиграфической интерпретации четвертичных отложений. В 2023 г. сотрудниками лаборатории геологии кайнозоя Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН проведено исследование приустьевой части долины р. Чёрной (Воробьёв и др., 2023). При изучении использован комплекс литологических (текстурный, гранулометрический, минералогический, дифрактометрический), геоморфологических (морфологический и морфометрический) и геохронологических (^{14}C -датирование осадков) методов.

Целью настоящей статьи является фацимальное расчленение осадков террасового комплекса и восстановление хронологии развития приустьевой части долины р. Чёрной в послеледниковое время.

Материал и методы исследования

Материалом для статьи послужили результаты комплексного геолого-геоморфологического изучения осадков голоцена в приустьевой части долины р. Чёрной (рис. 1), расположенной на северо-западе Большеземельской тундры и впадающей в бассейн Печорского моря.

На исследованном участке долины реки заложены десять расчисток в береговых обнажениях, вскрывающих ледниковые, межледниковые и послеледниковые осадки, сформированные в позднем неоплейстоцене и голоцене.

Морфометрический анализ террасового и пойменно-руслового комплексов проведён с использованием цифровой модели рельефа (ЦМР) ArcticDEM v4.1. Углы наклона поверхностей и экспозиции склонов вычислены с использованием модуля 3D Analyst комплекса ArcGIS Pro. Геолого-геоморфологическая схема долины р. Черной построена по результатам полевых исследований, генетического расчленения отложений, обработки ЦМР и анализа спутниковых космических снимков высокого разрешения портала ESRI Imagery.

Фацимальное расчленение отложений проводилось на основе текстурного и структурного анализов. Текстульные особенности осадков (слоистость, форма и размер слоёв, пространственное положение и взаимоотношение слоёвых элементов) исследовались согласно методике Л. Н. Ботвинкиной (Ботвинкина, 1965).

Гранулометрический анализ осадков выполнен с применением ситового метода и метода лазерной дифракции (81 образец). Подготовка проб проведена по методике Н. А. Качинского (Качинский, 1958), которая позволяет определить карбонатность анализируемых осадков. Ситовый метод применялся для выяснения фракционного состава материала гравийно-песчаной размерности (от 10 до 0.1 мм). Алевроглинистая фракция (< 0.1) исследовалась на лазерном анализаторе частиц «Микросайзер-201С» при ЦКП «Геонаука» Ин-та геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар).

Для обработки полученных данных применялись методики статистических моментов и кумулятивных кривых (Романовский, 1977; Гроссгейм и др., 1984). Подсчитаны основные структурные показатели осадков: арифметический средневзвешенный диаметр зерен (d_{cp}), коэффициент сортировки материала (S_c), максимальный размер зёрен, соответствующий 1%-му содержанию всех фракций (C), и медиана (M_d). Коэффициент сортировки растёт в направлении увеличения сортированности отложений (Белкин, Рязанов, 1972; Романовский, 1977) и изменяется от нуля ($S_c = 0$ — несортированные осадки) до единицы ($S_c = 1$ — монофракционные осадки). Максимальный размер зёрен (C) и медиана (M_d) необходимы для реконструкции палеодинамических условий седиментации осадков на основе динамической диаграммы $C-M.P.$ Пассега (Рейнек, Сингх, 1981), которая позволяет определить способ переноса обломочных частиц в водной среде (качение, сальтация, перенос в виде градационной или однородной суспензии).

Для классификации песчано-алевроглинистых пород использована треугольная диаграмма Л. Б. Рухина (Рухин, 1969).

Минералогический анализ 28 образцов выполнен по методике М. Ф. Викуловой (Викулова, 1957) с целью выявления общих закономерностей формирования вещественного состава осадков. Двухсотграммовая навеска осадка подвергалась мокрому расसेву на ситах с выделением мелкопесчаной фракции 0.25–0.1 мм с дальнейшим разделением полученного материала в тяжелой жидкости «Бромформ», магнитной сепарации и изучению под бинокуляром.

Радиоуглеродное датирование семи образцов торфа выполнено в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН (Москва).

Результаты исследований

Морфографическая и морфометрическая характеристика рельефа

Приустьевая часть долины р. Чёрной расположена в северо-западной оконечности Хорейверской впадины и имеет перепад абсолютных отметок уреза воды до 2 м над уровнем моря (н. у. м.).

По данным полевых геоморфологических и цифровых морфометрических исследований рельефа, в бассейне нижнего течения р. Чёрной были выделены: аккумулятивный ледниковый, аккумулятивный озёрно-морской (прибрежная терраса) и эрозионно-аккумулятивный рельеф двух надпойменных террас (НПТ) и поймы (рис. 2, а).

Аккумулятивный ледниковый рельеф занимает самые высокие гипсометрические отметки (20–68 м н. у. м.) и представлен слабоволнистой моренной равниной с незначительным уклоном (1°) в северо-восточном направлении. Осадки, слагающие выделенную форму рельефа, вскрыты в обнажениях Ч-23 (расчистки 1–3) и Ч-24 и представлены бызовскими (ленинградскими) аллювиальными светло- и тёмно-серыми хорошо сортированными песками, перекрытыми сплошным чехлом морены полярного (осташковского) возраста, представленной коричневатосизыми плотными валунными суглинками мощностью

4–6 м (Андреичева, Воробьёв, 2025). Характерной особенностью данного типа рельефа является наличие древних речных излучин (меандров), погребённых под ледниковыми отложениями (рис. 2, а) и выделяющихся на ЦМР ArcticDEM. Поверхность осложнена многочисленными ложбинами стока талых ледниковых вод (рис. 3) шириной от 120 до 550 м и глубиной эрозионного вреза 15–45 м, дно которых сложено преимущественно грубообломочными (галыка и мелкие валуны) осадками. Данные ложбины дренируют бассейн р. Чёрной и способствуют оттоку воды из озёрных водоёмов, что приводит к формированию хасыреев — котловин, образовавшихся в результате спуска озёр (рис. 3).

Аккумулятивный озёрно-морской рельеф (прибрежная морская терраса) распространён на абсолютных отметках от 10 до 20 м н. у. м. (рис. 2, б, профиль А–В) и имеет слабый уклон поверхности (до 1°) в северном направлении. Отличительной особенностью его развития на территории является наличие озёр размером 0.15–2.2 км и их осушенных аналогов, выделяющихся в рельефе в виде заторфованных котловин. Существенное влияние на формирование озёрно-морской террасы оказывают современные криогенные процессы, которые проявляются в формировании бугров пучения высотой до 2–3 м на поверхности спущенных озёр.

Эрозионно-аккумулятивный аллювиальный рельеф пролегает узкой полосой вдоль русла р. Чёрной и представлен двумя надпойменными террасами и поймой.

НПТ-II высотой от 6 до 10 м н. у. м. имеет плоскую и волнистую равнинную поверхность, осложнённую многочисленными торфяниками с полигональным рельефом. Её характерной особенностью является наличие приуроченных валов высотой до 3–4 м, один из которых отчётливо дешифрируется на поперечном профиле Е–F долины реки (рис. 2, б).

НПТ-I имеет перепад абсолютных отметок от 4 до 6 м н. у. м. (рис. 2, б, профиль С–D) и распространена преимущественно в нижней части исследуемого участка реки. Пойменная терраса широко развита преимущественно в нижнем течении реки (рис. 2, а), тогда как в среднем и верхнем слагает только узкую полосу ядер меандров. Она занимает гипсометрическое положение от 1.5 до 3 м н. у. м. и характеризуется сегментно-гривистым морфологическим типом с многочисленными ручьями и старичными озерами.

Геолого-геоморфологическое строение бассейна нижнего течения р. Чёрной играет ключевую роль в формировании её гидрологического режима, типов русел, направлений течений и обуславливает конфигурацию террасового и пойменно-руслового комплекса. В границах распространения ледниковых осадков русло реки характеризуется врезанными и меандрирующими морфометрическими типами излучин с асимметричными трапециевидными и корытообразными поперечными профилями долины шириной от 0.4 до 1.1 км (рис. 2, б, профили С–D и Е–F) и уклоном в северо-западном направлении. Глубина эрозионного вреза в доголоценовые осадки составляет от 30 до 55 м. В нижнем течении реки, где русло пересекает озёрно-морские отложения, формируются свободные морфометрические типы речных излучин с асимметричными широкими трапециевидными поперечными

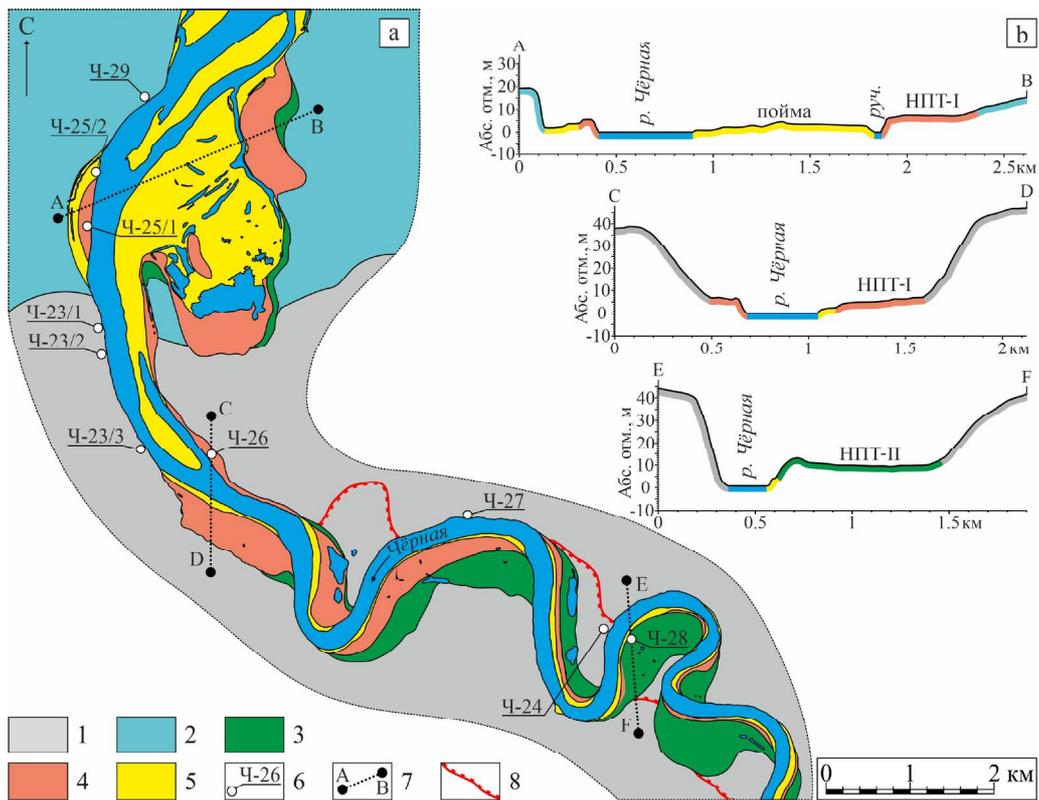


Рис. 2. Геоморфологическая схема (а) и поперечные профили (б) долины р. Чёрной по данным цифровой модели рельефа ArcticDEM v4.1

Аккумулятивный рельеф: 1 — ледниковый, 2 — озёрно-морской (прибрежная терраса); эрозионно-аккумулятивный аллювиальный рельеф: 3 — НПТ-II, 4 — НПТ-I, 5 — пойменная терраса, 6 — разрезы береговых обнажений, 7 — геоморфологический профиль, 8 — граница распространения речных меандров, погребённых под мореной полярного возраста

Fig. 2. Geomorphological scheme (a) and cross-sections (b) of the Chernaya River valley according to the ArcticDEM v4.1 digital elevation model

Accumulative relief: 1 — glacial, 2 — lake-marine (coastal terrace); erosion-accumulative alluvial relief: 3 — floodplain terrace II, 4 — floodplain terrace I, 5 — floodplain, 6 — sections of coastal outcrops, 7 — geomorphological profile, 8 — the boundary of the distribution of river meanders buried under a moraine of polar age

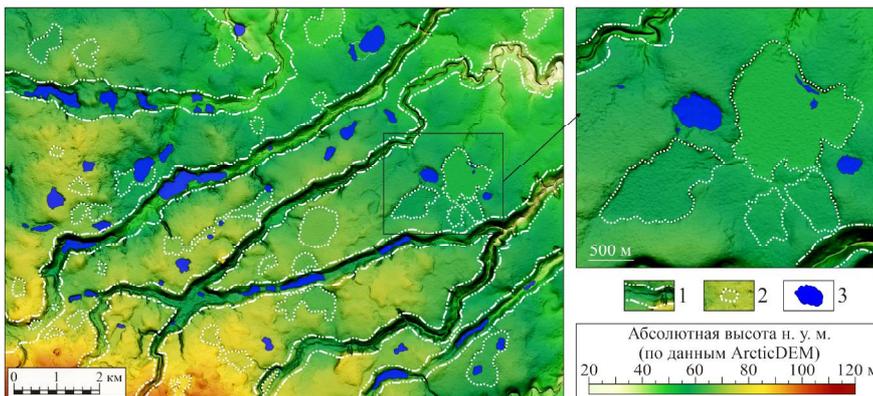


Рис. 3. Долины стока талых ледниковых вод с системами осушенных и заболоченных озёрных котловин (хасыреев): 1 — долины стока талых ледниковых вод, 2 — хасыреи, 3 — озёра

Fig. 3. Tunnel valleys of glacial meltwater runoff with systems of drained and swampy lake basins (khasyreys): 1 — tunnel valleys, 2 — khasyreys, 3 — lakes

профилями. Ширина долины в этом случае значительно больше — от 0.5 до 2.5 км, а глубина эрозионного вреза меньше — от 5 до 15 м (рис. 2, б, профиль А—В).

Характер последовательностей голоценовых отложений

В приустьевой части долины р. Чёрной голоценовые осадки изучены в пяти разрезах береговых обнажений.

Отложения озёрно-морской террасы вскрыты в обн. Ч-29 (N 68°33'51,9790", E 56°31'35,5695"), располо-

женном в 3.8 км вверх по течению от д. Черной. В основании разреза залегает морена, представленная серо-сизым плотным слабосортированным ($S_c = 0.32$) валунным суглинком (рис. 4, а) видимой мощностью 9.65 м, распадающимся на оскольчатую отдельность. Отмечается высокая карбонатность осадков (до 8.5 %). Контакт с вышележащим слоем четкий, наклонный (рис. 4, с). Слой 2 сложен серо-коричневой супесью мощностью 0.15 м, с пятнами гидроокислов железа. Выше по разрезу залегает метровый слой неслоистой сизо-коричневой слабосортированной ($S_c = 0.29$)

глины с диаметром зерен $d_{cp} = 0.031$, перекрытый 10-сантиметровым слоем серо-коричневой супеси (сл. 4). Венчает разрез слой 5 черно-коричневого торфа.

В минеральном составе тяжелой фракции пачки II выделена амфибол (19 %) - гранат (26 %) - эпидотовая (27 %) минеральная ассоциация (рис. 5), унаследованная от подстилающей морены полярного возраста (Андреичева, Воробьев, 2025). Отмечается высокое содержание ильменита и группы титановых минералов (по 9 %). Количество метаморфических минералов не превышает 3 %.

На динамической диаграмме С—М Р. Пассега (Рейнек, Сингх, 1981) фигуративные точки образцов из обн. Ч-29 (рис. 4, б) сконцентрированы преимущественно в поле однородных осадков взвеси (S/R), что соответствует застойным и слабопроточным условиям седиментации.

Отложения НПТ-II вскрыты в обнажении Ч-28, расположенном в 17.5 км выше по течению д. Черной (N 68°29'51,2381", E 56°37'40,6083").

В основании разреза залегают светло-коричневые мелкозернистые (d_{cp} до 0.181 мм) хорошо сортирован-

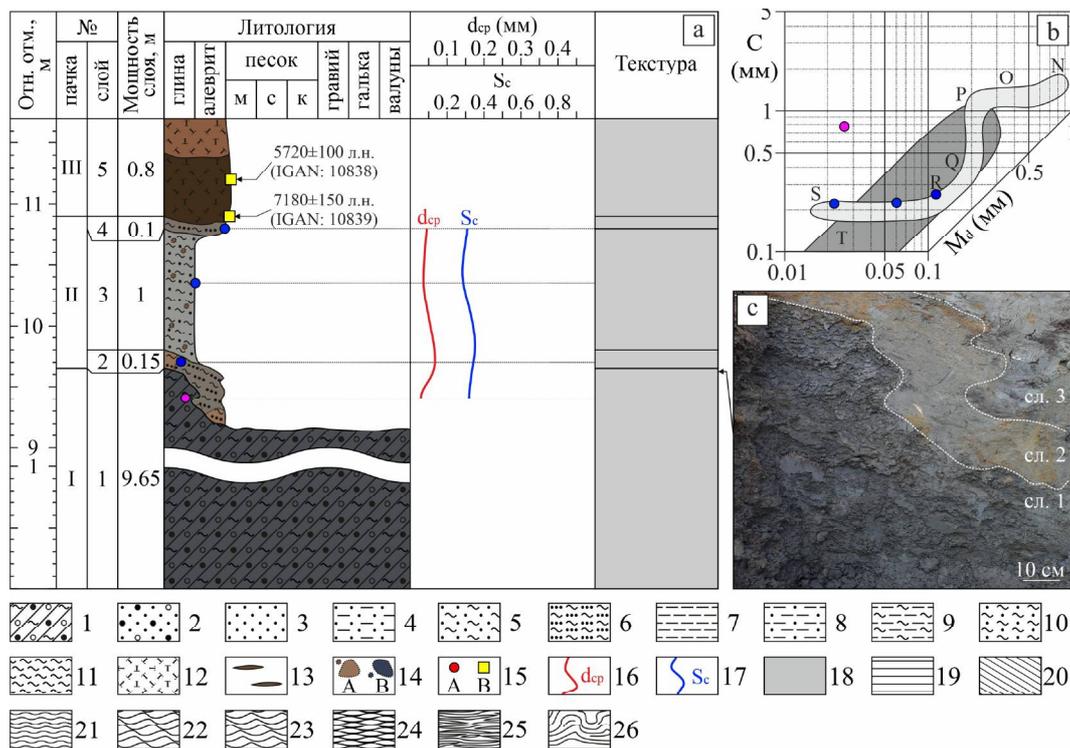


Рис. 4. Строение осадков озёрно-морской террасы (обн. Ч-29): а — литологическая колонка, гранулометрический состав и текстурная характеристика; б — положение фигуративных точек образцов на динамической диаграмме Р. Пассега (по: Рейнек, Сингх, 1981); в — контакт морены (сл. 1) и супесей (сл. 2)

Литологическая колонка: 1 — морена, 2 — песок с гравием и галькой, 3 — песок, 4 — алевритовый песок, 5 — глинистый песок, 6 — супесь, 7 — алеврит, 8 — песчаный алеврит, 9 — глинистый алеврит, 10 — суглинок, 11 — глина, 12 — торф, 13 — линзы, 14 — гидроокислы железа (А) и марганца (В), 15 — точки отбора проб на гранулометрический анализ (А) и радиоуглеродное датирование органического вещества (В), 16 — средний диаметр зёрен, 17 — коэффициент сортированности; 18—26 — слоистость: 18 — массивная (гомогенная), 19 — горизонтальная, 20 — косая, 21 — волнистая, 22 — рябь течения, 23 — рябь волнения, 24 — флазерная, 25 — линзовидная, 26 — конволютная

Классификационные динамические обстановки (по: Рейнек, Сингх, 1981): Т — турбидиты; S/N — отложения потоков: S/R — однородные осадки взвеси, R/Q — осадки взвеси и сальтации, Q/P — осадки взвеси с некоторым количеством осадков перекачивания, P/O — осадки перекачивания с незначительным количеством осадков взвеси, O/N — осадки перекачивания

Примечание: цвета отложений в литологической колонке отражают их естественную окраску.

Fig. 4. Structure of sediments of the lake-marine terrace (outcrop Ch-29): а — lithological column, granulometric composition and textural characteristics; б — position of figurative points of samples on the dynamic Passet diagram (according to: Reineck, Singh, 1981); в — contact of moraine (layer 1) and sandy loam (layer 2)

Lithological column: 1 — moraine, 2 — sand with gravel and pebbles, 3 — sand, 4 — silty sand, 5 — clayey sand, 6 — sandy loam, 7 — silt, 8 — sandy silt, 9 — clayey silt, 10 — loam, 11 — clay, 12 — peat, 13 — lenses, 14 — iron hydroxides (A) and manganese (B), 15 — sampling points for granulometric analysis (A) and radiocarbon dating of organic matter (B), 16 — average grain diameter, 17 — sorting coefficient; 18—26 — Layering: 18 — massive (homogeneous), 19 — horizontal, 20 — oblique, 21 — wavy, 22 — current ripples, 23 — wave ripples, 24 — flater, 25 — lenticular, 26 — convolute

Classification dynamic settings (according to: Reineck, Singh, 1981): T — turbidites; S/N — flow deposits: S/R — homogeneous suspended sediments, R/Q — suspended and saltation sediments, Q/P — suspended sediments with some amount of rolling sediments, P/O — rolling sediments with an insignificant amount of suspended sediments, O/N — rolling sediments

Note: the colors of the sediments in the lithological column reflect their natural coloring.



ные (S_c до 0.78) алевритовые пески (слои 1 и 3) мощностью по 0.4 м (рис. 6, а), разделённые 10-сантиметровым слоем 2 коричневых глинистых тонкозернистых (d_{cp} до 0.090 мм) песков. Они перекрыты железённым средне-, мелкозернистым ($d_{cp} = 0.193$ мм)

хорошо сортированным ($S_c = 0.78$) песком (сл. 4) мощностью 0.1 м. В слоях 1—4 установлена слоистость ряби течения.

Выше по разрезу наблюдаются коричневатые глинистые пески (сл. 5) мощностью 0.2 м с тонкой

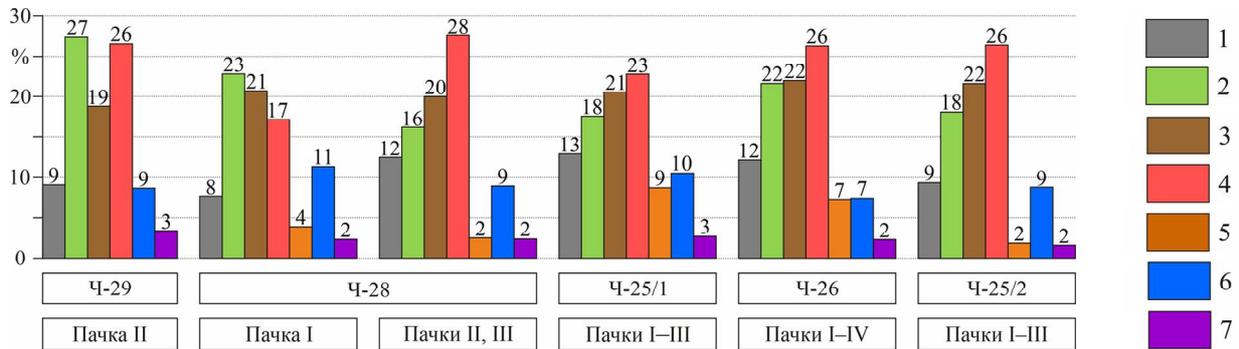


Рис. 5. Минеральный состав тяжелой фракции осадков долины р. Черной: 1 – ильменит, 2 – эпидот, 3 – амфибол, 4 – гранат, 5 – сидерит, 6 – группа титановых минералов (рутил, титанит, лейкоксен), 7 – группа метаморфических минералов (кианит, ставролит, силлиманит)

Fig. 5. Mineral composition of the heavy fraction of sediments of the Chernaya River valley: 1 – ilmenite, 2 – epidote, 3 – amphibole, 4 – garnet, 5 – siderite, 6 – group of titanium minerals (rutile, titanite, leucoxene), 7 – group of metamorphic minerals (kyanite, staurolite, sillimanite)

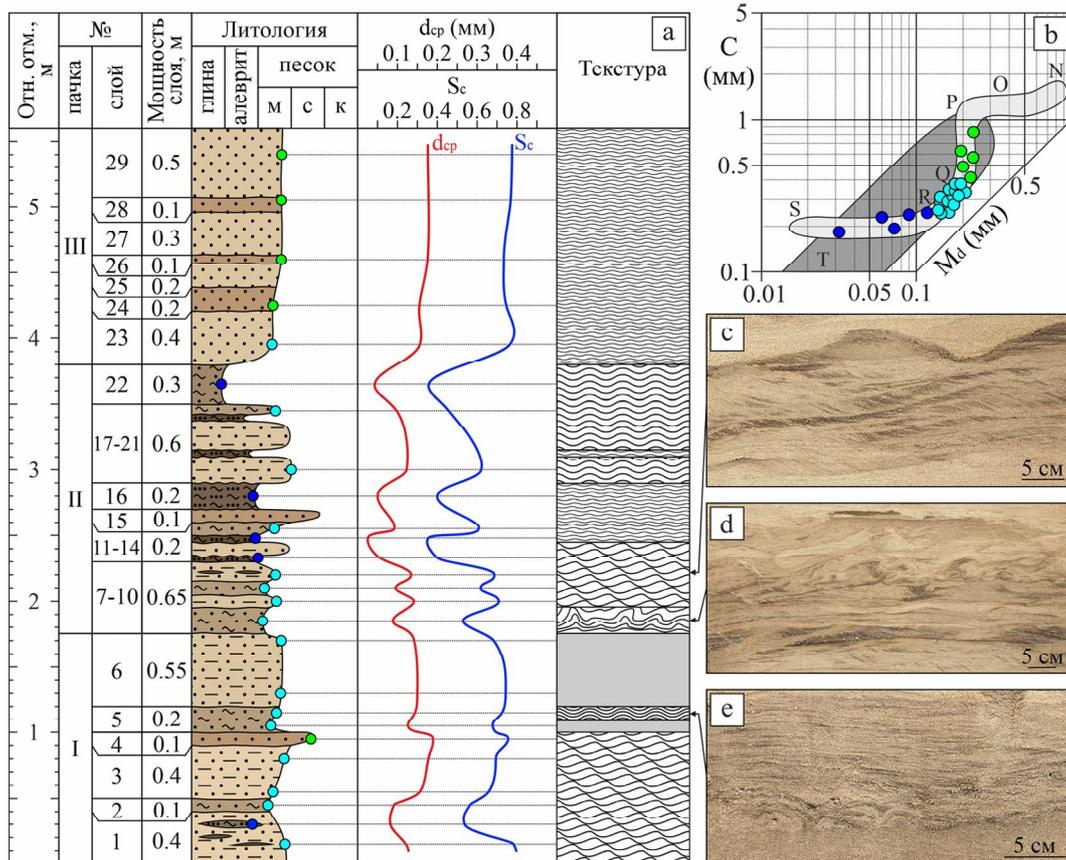


Рис. 6. Строение осадков второй надпойменной террасы (обн. Ч-28): а – литологическая колонка, гранулометрический состав и текстурная характеристика; б – положение фигуративных точек образцов на динамической диаграмме Пассега (Рейнек, Сингх, 1981); с – е – слоистость: с – рябь течения; д – конволютная; е – тонкая пологоволнистая.

Условные обозначения см. на рис. 4

Fig. 6. Structure of sediments of the second floodplain terrace (outcrop Ch-28): а – lithological column, granulometric composition and textural characteristics; б – position of figurative points of samples on the dynamic Passeg diagram (Reynek, Singh, 1981); с – е – layering: с – current ripples; д – convolute; е – thin gently undulating.

Symbols are shown in Fig. 4

пологоволнистой (рис. 6, е) слоистостью (толщина слоев от 1 до 2 мм). Верхняя часть пачки I (сл. 6) представлена светло-коричневыми неслоистыми хорошо сортированными алевритовыми песками.

Осадки пачки I (рис. 5) характеризуются преобладанием минералов группы эпидота (23 %), амфибола (21 %) и граната (17 %). Значительны содержания титановых минералов и ильменита, соответственно составляющих — 11 и 8 %. Количество сидерита не превышает 4 %.

Выше фиксируется переслаивание коричневатосерых тонко- и мелкозернистых ($d_{cp} = 0.091$) глинистых песков (слои 7 и 9) и светло-коричневых мелкозернистых ($d_{cp} = 0.136$) алевритовых песков (слои 8 и 10) суммарной мощностью 0.65 м. Слоистость в сл. 7 конволютная (рис. 6, d), переходящая в рябь течения (рис. 6, с).

Средняя часть пачки II (рис. 6, а) сложена ритмичным переслаиванием коричневой супеси (слои 11, 13, 16, 18 и 20), глинистых (слои 14 и 21) и алевритовых (слои 12, 17 и 19) тонко- и мелкозернистых (d_{cp} от 0.93 до 0.94 мм) песков с мелкой волнистой и волнистой слоистостью суммарной мощностью 1.1 м. Наблюдаются тонкие прослои (до 1 мм) оторфованной серой глины. Слой 22 представлен коричневым слабосортированным ($S_c = 0.36$) суглинком мощностью 0.3 м с тонкой волнистой слоистостью.

Венчает разрез пачка III мелкозернистых светло-коричневых (слои 23, 25, 27 и 29) и железненых (слои 24, 26, 28) песков общей мощностью 1.8 м (рис. 6, а).

Хорошая сортировка осадков ($S_c = 0.74$) и средний диаметр частиц (d_{cp} от 0.156 до 0.176 мм) свидетельствуют о динамичных условиях седиментации.

В минеральном составе тяжелой фракции песков пачек II и III (рис. 5) выделена ильменит(12 %)-эпидот(16 %)-амфибол(20 %)-гранатовая(28 %) ассоциация с повышенным содержанием группы титановых минералов (9 %).

На эталонной динамической диаграмме Р. Пассега фигуративные точки образцов из осадков НПТ-II сконцентрировались преимущественно в полях, соответствующих отложениям речных потоков (рис. 6, b). Транспортировка осадков пачки I происходила во взвешенном состоянии и сальтацией (R/Q), тогда как для пачки II характерно ритмичное изменение режима движения частиц в виде однородной взвеси (S/R) до взвеси и сальтации (R/Q). Верхняя часть разреза (пачка III) накапливалась из взвеси с некоторым количеством осадков перекачивания (Q/P).

Осадки НПТ-I вскрыты в обнажениях Ч-25/1 и Ч-26 (рис. 2, а). Обн. Ч-25/1 расположено в 5.5 км вверх по течению от д. Чёрной (N 68°33'10,3356", E 56°30'19,3726").

В основании разреза выступает пачка переслаивания светло-коричневых хорошо сортированных ($S_c = 0.53-0.67$) алевритовых мелкозернистых (d_{cp} от 0.109 до 0.177 мм) песков (слои 1, 3, 5, 7) и слабосортированных ($S_c = 0.33$) сизых супесей (слои 2, 4, 6, 8) суммарной мощностью 0.95 м (рис. 7, а). Слоистость неотчётливая косая, переходящая выше в крупную волнистую (рис. 7, d).

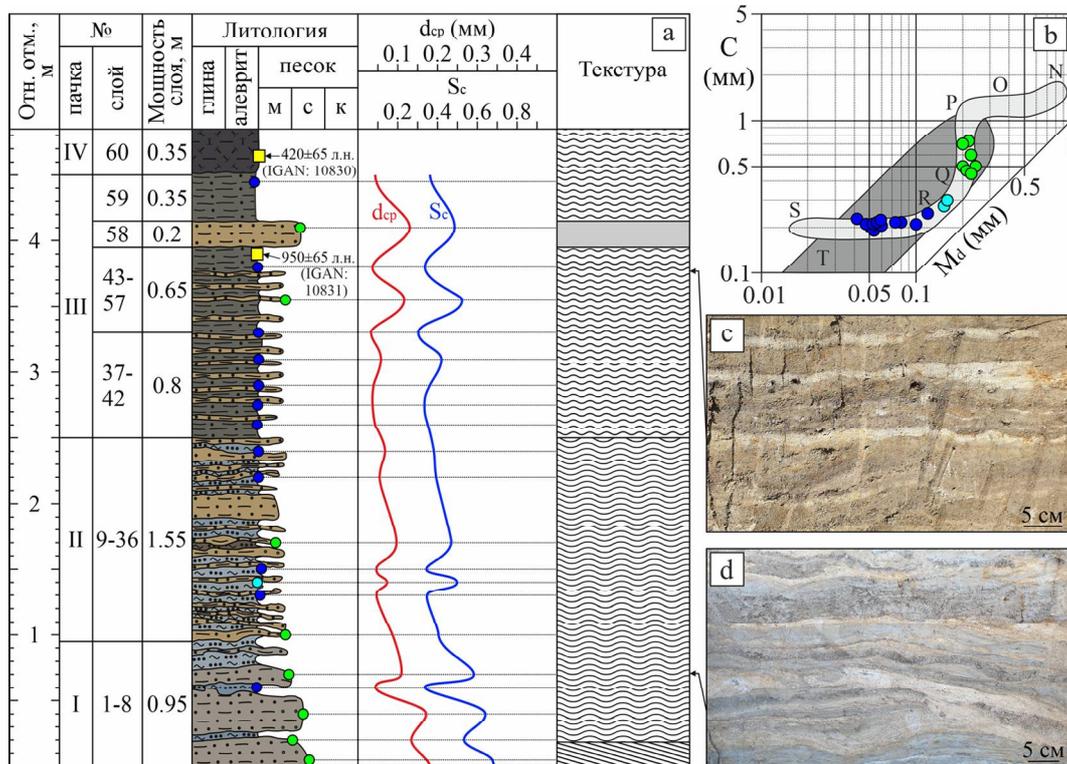


Рис. 7. Строение осадков первой надпойменной террасы (обн. Ч-25/2): а — литологическая колонка, гранулометрический состав и текстурная характеристика; б — положение фигуративных точек образцов на динамической диаграмме Пассега (Рейнек, Сингх, 1981); с, д — слоистость: с — мелкая волнистая; д — крупная волнистая

Условные обозначения см. на рис. 4

Fig. 7. Structure of sediments of the first floodplain terrace (outcrop Ch-25/2): a — lithological column, granulometric composition and textural characteristics; b — position of figurative points of samples on the dynamic Passega diagram (Reyneck, Singh, 1981); c, d — layering: c — fine wavy; d — lenticular

Symbols are shown in Fig. 4

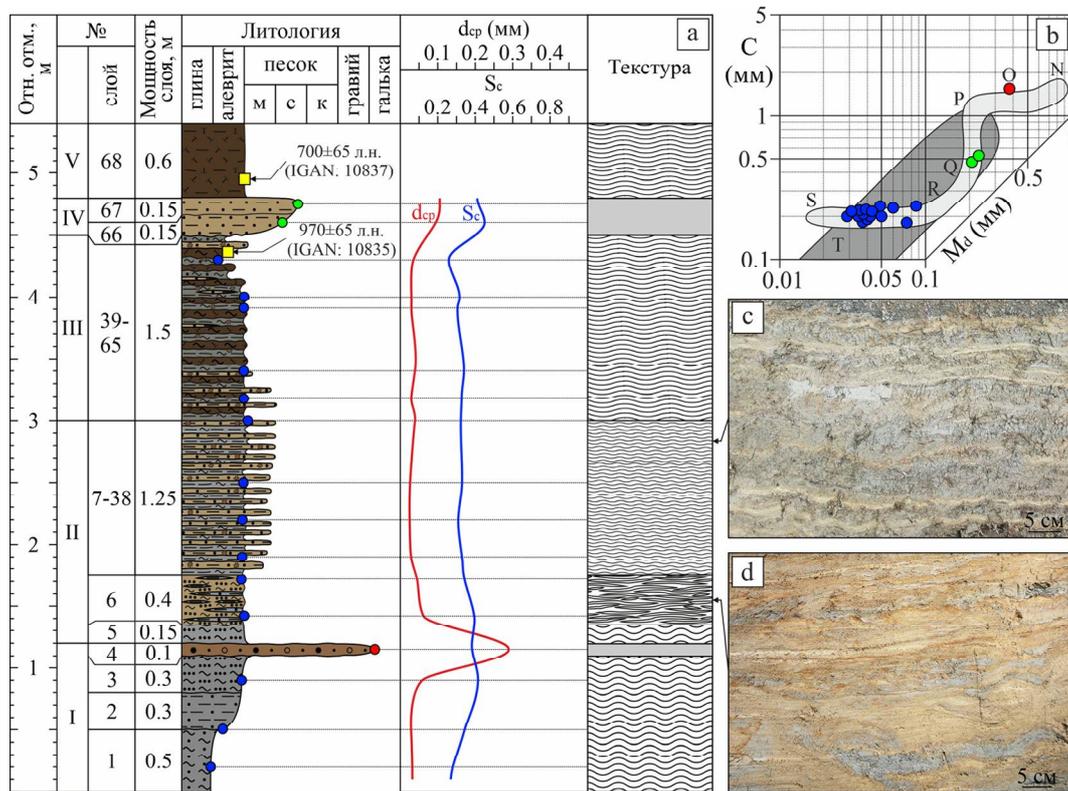


Рис. 8. Строение осадков первой надпойменной террасы (обн. Ч-26): а — литологическая колонка, гранулометрический состав и текстурная характеристика; б — положение фигуративных точек образцов на динамической диаграмме Пассега (Рейнек, Сингх, 1981); с, d — слоистость: с — мелкая волнистая, d — линзовидная

Условные обозначения см. на рис. 4

Fig. 8. Structure of sediments of the first floodplain terrace (outcrop Ch-26): а — lithological column, granulometric composition and textural characteristics; б — position of figurative points of samples on the dynamic Passeg diagram (Reyneck, Singh, 1981); с, d — layering: с — fine wavy, d — lenticular

Symbols are shown in Fig. 4

Выше по разрезу лежит полуметровая пачка II (слои 9—36) переслаивания светло-коричневых тонко- и мелкозернистых ($d_{cp} = 0.092$ мм) алевритовых сортированных ($S_c = 0.47$) песков и светло-сизых супесей (рис. 7, а). Отмечается уменьшение средних диаметров частиц и коэффициентов сортированности по сравнению с нижележащей пачкой I.

Слои 37—57 сложены переслаиванием сизых слабосортированных ($S_c = 0.30-0.42$) глинистых алевритов и мелкозернистых ($d_{cp} = 0.116$ мм) светло-коричневых алевритовых песков суммарной мощностью 1.45 м с мелкой волнистой слоистостью (рис. 7, с).

В верхней части пачки III наблюдается 20-сантиметровый слой 58 неслоистых мелко- и среднезернистых хорошо сортированных ($S_c = 0.52$) алевритовых песков, перекрытых 35-сантиметровым сизым песчаным алевритом (сл. 59). По всей пачке наблюдаются единичные прослои коричневого торфа мощностью до 2—3 см.

Венчает разрез алевритистый темно-коричневый торф мощностью 0.35 м, с большим количеством растительных остатков.

В минеральном составе тяжелой фракции отложенный в обн. Ч-25/1 (рис. 5) выделена ильменит(13 %)-эпидот(18 %)-амфибол(21 %)-гранатовая(23 %) ассоциация с повышенным содержанием сидерита (9 %) и группы титановых минералов (10 %).

Обнажение Ч-26 расположено в 9 км выше по течению д. Чёрной (N 68°31'42,2502", E 56°31'18,3276").

В основании разреза залегает полуметровый серо-сизый пластичный суглинок (сл. 1), перекрытый сизым песчаным алевритом (сл. 2) и сизой супесью (сл. 3) мощностью по 0.3 м (рис. 8, а). Слоистость в слоях 1—3 волнистая симметричная. Средний диаметр зерен ($d_{cp} = 0.030-0.056$ мм) и низкие коэффициенты сортированности ($S_c = 0.28-0.41$) указывают на застойные и слабопроточные условия седиментации. В верхней части пачки I вскрывается 10-сантиметровый слой 4 среднезернистого ($d_{cp} = 0.293$ мм) плохо сортированного ($S_c = 0.61$) неслоистого ожелезненного песка с гравием и мелкой галькой.

В основании пачки II залегает слой 5 сизой супеси с волнистой слоистостью, перекрытой линзовидно переслаивающимися (рис. 8, d) светло-коричневыми супесями и сизыми песчаными алевритами суммарной мощностью 0.4 м. Слои 7—38 сложены переслаиванием сизых слабосортированных ($S_c = 0.32$) глинистых алевритов и мелкозернистых светло-коричневых алевритовых песков мощностью 1.25 м, с мелкой волнистой слоистостью (рис. 8, с).

Выше по разрезу залегает полуметровая пачка III (слои 39—65) волнисто переслаивающихся сизых слабосортированных ($S_c = 0.26-0.34$) глинистых ($d_{cp} = 0.027-0.038$ мм) алевритов и светло-коричневых мелкозернистых алевритовых песков (рис. 8, а). По всей пачке отмечаются прослои коричневого торфа (от 0.5 до 1 см), количество которых увеличивается вверх по

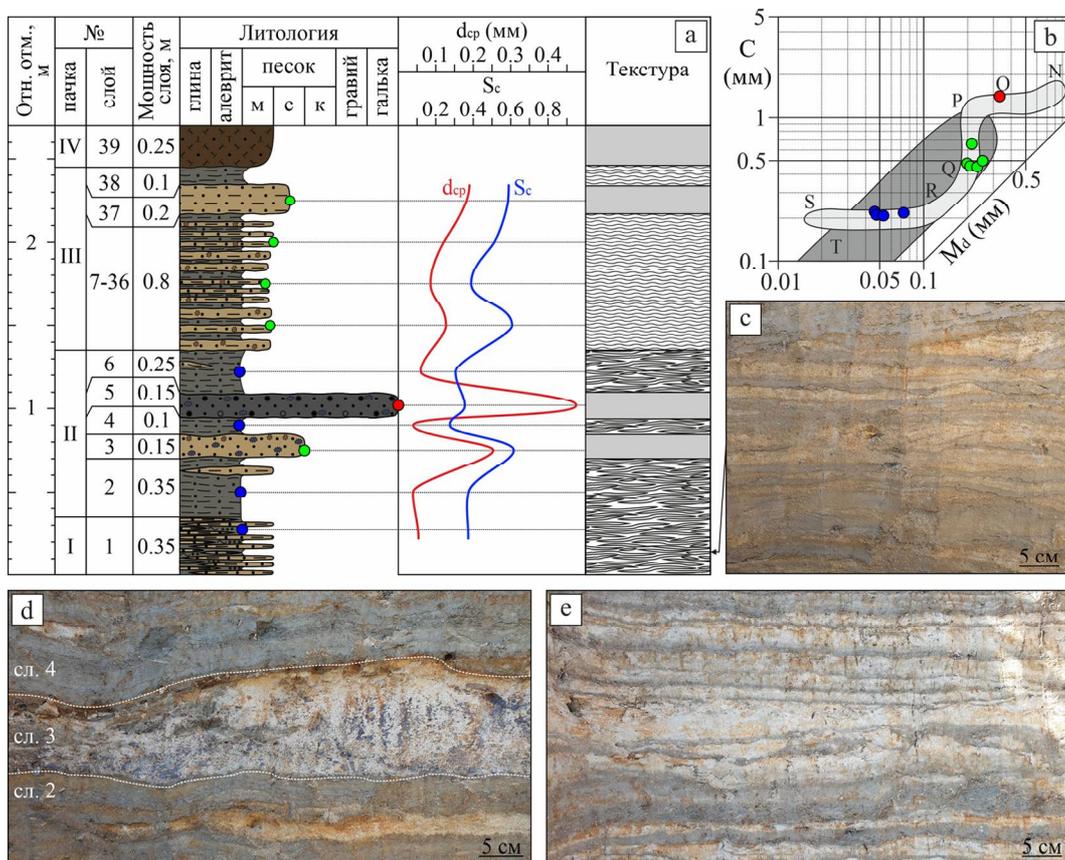


Рис. 9. Строение осадков пойменной террасы (обн. Ч-25/2): а — литологическая колонка, гранулометрический состав и текстурная характеристика; б — положение фигуративных точек образцов на динамической диаграмме Пассега (Рейнек, Сингх, 1981); с—е — слоистость: с — линзовидная, д — линзовидная (сл. 2 и 4) и массивная (сл. 3), е — мелкая волнистая
Условные обозначения см. на рис. 4

Fig. 9. Structure of floodplain terrace sediments (outcrop Ch-25/2): а — lithological column, granulometric composition and textural characteristics; б — position of figurative points of samples on the dynamic Passet diagram (Reinek, Singh, 1981); с—е — layering: с — lenticular; д — lenticular (layers 2 and 4) and massive (layer 3); е — fine wavy
Symbols are shown in Fig. 4

разрезу, что свидетельствует о колебательных движениях уровня воды в бассейне седиментации и периодическом его обмелении. Присутствует редкая и неотчётливая слоистость ряби волнения.

Слои 66 и 67 сложены неслоистыми хорошо сортированными (S_c до 0.61) глинисто-алевритовыми мелко- и среднезернистыми ($d_{cp} = 0.105$ мм) песками суммарной мощностью 0.3 м. Венчает разрез черно-коричневый торф (сл. 68) с алевритовым заполнителем, мощностью 0.6 м.

Тяжелая фракция осадков из обнажения Ч-26 характеризуется преобладанием ильменита (12 %), эпидота (22 %), амфибола (22 %) и граната (26 %). Отмечается высокое содержание сидерита и группы титановых минералов (по 7 %).

Фигуративные точки образцов из обнажений НПТ-I расположены преимущественно в полях (S/N), соответствующих отложениям потоков (рис. 8, б). Для точек проб из обн. Ч-25/1 характерно ритмичное чередование осаднения частиц из однородной взвеси (S/R) до накопления осадков из взвеси с некоторым количеством частиц перекатывания (Q/P) и перекатывания с незначительным количеством взвеси (P/O). Иной характер распределения имеют осадки из обн. Ч-26, осаднение которых происходило преимущественно из однородной взвеси (S/R).

Отложения пойменной террасы вскрыты в обнажении Ч-25/2 (N 68°33'29.2266", E 56°30'37.5918"), расположенном в 5.1 км вверх по течению от д. Черной. В основании разреза залегает сл. 1 (рис. 9, а) представленный линзовидно переслаивающимися (рис. 9, с, д) сизыми супесями и светло-коричневыми мелкозернистыми алевритовыми песками суммарной мощностью 0.35 м. Выше по разрезу наблюдаются сизые глинистые алевриты (слои 2, 4 и 6), в которых количество песчаных линз значительно сокращается. С разрывом их разделяют неслоистый (рис. 9, д) светло-коричневый среднезернистый ($d_{cp} = 0.256$ мм) хорошо сортированный ($S_c = 0.62$) песок (сл. 3) и серо-черный среднезернистый ($d_{cp} = 0.482$ мм) слабосортированный ($S_c = 0.38$) песок (сл. 5) с крупным гравием и мелкой галькой. Слои 7—36 сложены переслаиванием сизых глинистых алевритов и мелкозернистых светло-коричневых алевритовых песков мощностью 0.8 м, с мелкой волнистой слоистостью (рис. 9, е). В верхней части пачки III наблюдается 20-сантиметровый слой 37 неслоистых мелко- и среднезернистых хорошо сортированных ($S_c = 0.62$) алевритовых песков, перекрытых 10-сантиметровым сизым песчаным алевритом (сл. 38). Венчает разрез черно-коричневый торф с песчаным заполнителем (сл. 39) мощностью 0.25 м.



Тяжелая фракция осадков пачек I—III пойменной террасы определяется эпидот (18 %)-амфибол (22 %)-гранатовой (26 %) ассоциацией (рис. 5) с повышенным содержанием ильменита (9 %) и группы титановых минералов (9 %).

Фигуративные точки образцов из обнажения Ч-25/2 имеют сходный характер распределения (рис. 9, б), с точками проб из обнажения Ч-25/1, занимая преимущественно поля осадков однородной взвеси (S/R), взвеси с некоторым количеством осадков перекатывания (Q/P) и перекатывания с незначительным количеством осадков взвеси (P/O).

Обсуждение результатов

Анализ полученных данных по строению, составу и возрасту осадков приустьевой части р. Чёрной позволяет сделать следующие обобщения. Покровное оледенение севера Большеземельской тундры в полярное (осташковское) время обусловило накопление на всей территории исследований морены мощностью до 4—6 м. Характер её залегания на подстилающих, предположительно бызовских (ленинградских), аллювиальных осадках (Андреичева, 2002) свидетельствует о существовании в межледниковое время русловой сети, которая отчётливо дешифрируется на ЦМР по системе меандров, погребённых под мореной. Аналогичная древняя русловая сеть обнаружена по множественным буровым данным шельфа Печорского моря (Павлидис и др., 2007) и протягивается от устья р. Печоры в сторону пролива Карские Ворота.

Деградация полярного (осташковского) ледникового покрова в конце позднего неоплейстоцена способствовала компенсации гляциоизостатического прогиба северной части Большеземельской тундры, на что указывает разное положение береговых линий в Печорском море (Лавров, Потапенко, 2012) и Мировом океане (Peltier, Fairbanks, 2006) в поздневалдайское время. Изостатические процессы способствовали формированию прибрежной озёрно-морской террасы протяженностью более 800 км от Чёшской губы до западного склона Пай-Хоя (Лавров, Потапенко, 2012). Согласно выводам упомянутых авторов, она расположена на абсолютных отметках от 4—5 м (бровка у берега моря) до 25—30 м у тылового шва и сложена преимущественно тонко- и мелкозернистыми горизонтально-слоистыми песками, перекрытыми торфом (Арсланов, Лавров, 1987). В зонах сочленения прибрежной террасы с аккумулятивным ледниковым рельефом отмечается выклинивание песчаных осадков. В отложениях отсутствует морская фауна, что, по их мнению, связано с поступлением большого количества талой ледниковой воды.

В приустьевой части р. Чёрной озёрно-морская терраса вскрыта в обнажении Ч-29, где она сложена озерными серо- и сизо-коричневыми глинами и супесями (пачка II), вложенными в поверхность поздневалдайского ледникового рельефа. Средний диаметр зёрен ($d_{cp} = 0.031—0.069$ мм) и слабая сортировка ($S_c = 0.29—0.34$) супеси и глины свидетельствуют о застойных и слабопроточных гидродинамических условиях при накоплении осадков. Согласно результатам минералогического анализа, установлена четкая связь озерных отложений с подстилающей мореной поляр-

ного (осташковского) возраста (Андреичева, Воробьёв, 2025) по преобладанию в ассоциации эпидота (27 %), граната (26 %) и амфибола (19 %). Унаследованный минеральный состав свидетельствует о накоплении осадочного материала озёрного бассейна при непосредственном участии ледниковых осадков, образовавшихся за счет поступления терригенного материала из районов Пай-Хоя и Новой Земли. Об этом также говорит значительное количество ильменита (9 %), характерного для Северо-Восточной питающей ледниковой провинции. Высокое содержание титановых минералов, таких как лейкоксен (5 %) и титанит (3 %), которые обладают высокой устойчивостью к выветриванию, вероятно, связано с денудацией древних метаморфических сланцев Тимана (Гросгейм, 1984) и последующим речным переносом этих минералов в бассейн р. Печоры и Печорского моря.

Регрессия Печорского моря в голоцене (Zeeberg et al., 2001) привела к осушению озерно-морской террасы и дренированию её поверхности с последующим спуском озёр. Это способствовало активному зарастанию дна озёрных котловин растительностью и накоплению болотных осадков (обн. Ч-29, пачка III) начиная с раннего атлантического периода (IGAN 10839: 7180 ± 150 л.н., 8001 кал. л.н.) и, вероятно, вплоть до раннего суббореала.

Одновременно с гляциоизостатическим поднятием северной части Печорской низменности и осушением прибрежной террасы происходило заложение русловой системы приустьевой части долины р. Чёрной в рамках погребённой речной сети бызовского (ленинградского) возраста. Низкий уровень Печорского моря в позднеледниковье (Авенариус и др., 2001) способствовал интенсивному врезанию русловых систем в поверхность аккумулятивно-ледниковой равнины, сложенной мореной полярного (осташковского) возраста, небольшая мощность которой не создавала для этого значительной преграды.

После деградации верхневалдайского ледникового щита и заложения русловой системы начался цикл свободного меандрирования русла р. Чёрной, который способствовал накоплению осадков НПТ-II (обн. Ч-28). На данном этапе исследований не представляется возможным дать точный ответ о времени её формирования.

Сочетание и распределение динамических условий седиментации (рис. 6, б) при образовании осадков НПТ-II (обн. Ч-28) очень характерны для русловых (пачка I) и пойменных (пачка II) фаций аллювия равнинных рек, перекрытых прирусловыми валами (пачка III). Для осадков русловой фации характерно преобладание в гранулометрическом составе песчаных фракций с незначительными вариациями в их количественных характеристиках, что свидетельствует о динамичных условиях седиментации и миграции русла реки во время накопления пачки I (рис. 6, а). Циклическое изменение фракционного состава пойменных отложений связано с колебанием сезонного стока воды. Прирусловые валы часто встречаются на поверхности НПТ-II и сложены хорошо сортированными ($S_c = 0.74$) однородными мелкозернистыми песками ($d_{cp} = 0.156—0.176$ мм), накопление которых происходило в результате выхода паводковых вод из берегов.

В минеральном составе тяжелой фракции террасового и пойменного комплекса долины реки выделе-



ны две различные минеральные ассоциации. Русловая фация аллювия (обн. Ч-28, пачка I) характеризуется преобладанием эпидота (23 %), амфибола (21 %) и граната (17 %). Аналогичный характер распределения минералов отмечен в озёрных и аллювиальных бызовских (ленинградских) осадках, расположенных в верхнем и среднем течениях реки (Андреичева, Марченко-Вагапова, 2014).

Вторая минеральная ассоциация установлена во всех остальных осадках второй и первой надпойменных террас и поймы. Для неё характерно закономерное увеличение количества устойчивых к выветриванию минералов: граната до 28 % и ильменита до 12 %. В то же время для неустойчивых минералов отмечается иной характер распределения, который выражается в снижении количества эпидота до 16 % и сидерита до 2 %. Это может свидетельствовать о возрастании зрелости осадка.

В позднем голоцене произошла ингрессия Печорского моря до отметок на 2–4 метра выше современных (Авенариус и др., 2001). Это способствовало накоплению осадков первой надпойменной (обн. Ч-25/1, пачки I–III) и пойменной террас (обн. Ч-25/2, пачки I–III), распределение и сочетание динамических условий седиментации которых характерно для эстуарных типов устьев рек. Об этом также свидетельствует линзовидная и мелкая волнистая слоистости, обусловленные переслаиванием глинисто-алевритовых и песчаных отложений, что характерно для приливно-отливных равнин и речных эстуариев (Рейнек, Сингх, 1981).

Частые колебательные движения уровня воды в эстуарии способствовали заложению озёрных бассейнов, один из которых вскрыт в основании обнажения Ч-26 (пачка I). Это подтверждается характерными текстурно-структурными особенностями отложений и увеличением среднего диаметра зёрен (d_{cp}) вверх по разрезу.

Последующее обмеление озёрного бассейна привело к формированию озёрно-болотных (пачки III и IV) и болотных (пачка V) осадков, накопление которых продолжалось вплоть до позднего субатлантического периода (IGAN 10837: 700 ± 65 л.н.; IGAN 10830: 420 ± 65 л.н., 458 кал. л.н.).

Заключение

Таким образом, на основе морфографического и морфометрического исследований рельефа выделены: аккумулятивный ледниковый, аккумулятивный озёрно-морской и эрозионно-аккумулятивный рельефы двух надпойменных террас и поймы. Проведено фаціальное расчленение голоценовых осадков и установлены закономерности развития долины реки в послеледниковое время.

Деградация полярного ледникового покрова в конце позднего неоплейстоцена привела к гляциоизостатическому поднятию северной части Большеземельской тундры и врезанию долин стока талых ледниковых вод. Регрессия Печорского моря в голоцене привела к накоплению озёрно-морской террасы и заложению приустьевого части долины р. Чёрной в рамках погребённой речной сети бызовского возраста. Цоколь второй надпойменной террасы сложен фацией приустьевой отмели, вещественный состав которой указывает на

поступление осадочного материала из озёрных и аллювиальных бызовских отложений. Состав тяжелой фракции фации приречной поймы и перекрывающих её приустьевых валов характеризуется увеличением количества устойчивых минералов и уменьшением неустойчивых, что может свидетельствовать о возрастании зрелости минеральной ассоциации. Первая надпойменная терраса и пойма сложены эстуарными отложениями, формирующимися в приливно-отливных условиях Печорского моря.

Дальнейшие геохронологические, геохимические и структурные исследования осадков в долине р. Чёрной позволят детально установить фаціальную принадлежность четвертичных отложений среднего и верхнего неоплейстоцена.

Автор искренне благодарен д. г.-м. н. Л. Н. Андреичевой за ценные рекомендации и замечания при подготовке настоящей публикации; к. г.-м. н. В. А. Салдину за помощь в интерпретации эстуарных осадков; к. г.-м. н. Ю. В. Голубевой, Н. Н. Воробьёву и к. г.-м. н. Т. И. Марченко-Вагаповой за помощь в организации и проведении экспедиционных работ.

Особую признательность автор выражает двум анонимным рецензентам за их конструктивную критику и ценные рекомендации, которые помогли существенно улучшить качество статьи.

Исследование проводилось в рамках научного проекта РНФ № 23-27-00281 «Верхний неоплейстоцен и голоцен на севере Печорской низменности: седиментогенез, стратиграфия, палеогеография».

Литература / References

- Авенариус И. Г., Ермолов А. А., Мысливец В. И., Репкина Т. Ю. Рельеф и некоторые аспекты палеогеографии позднего валдая — голоцена в районе о. Варандей (Баренцево море) // Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала. Апатиты: КНИЦ РАН, 2001. С. 135–147.
- Avenarius I. G., Ermolov A. A., Myslivets V. I., Repkina T. Yu. Relief and some aspects of paleogeography of the late Valdai and Holocene in the area of Varandey Island (Barents Sea). Sedimentological processes and evolution of marine ecosystems in the conditions of the marine periglacial. Apatity: KSC RAS, 2001, pp. 135–147. (in Russian)
- Андреичева Л. Н. Плейстоцен Европейского Северо-Востока. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 323 с.
- Andreicheva L. N. Pleistocene of the European Northeast. Yekaterinburg: UB RAS, 2002, 323 p. (in Russian)
- Андреичева Л. Н., Воробьёв Н. Н. Полярная морена субарктических районов Европейской России: литостратиграфические критерии и типоморфные особенности гранатов и цирконов // Литология и полезные ископаемые. Выпуск 60. 2025. № 1. С. 77–89.
- Andreicheva L. N., Vorobyov N. N. Polar moraine of the subarctic regions of European Russia: lithostratigraphic criteria and typomorphic features of garnets and zircons. Lithology and Mineral Resources, 2025, Vol. 60, No. 1, pp. 77–89. (in Russian)
- Андреичева Л. Н., Дурыгина, Д. А. Стратиграфия и палеогеография позднего плейстоцена северо-востока Русской равнины // Сыктывкарский палеонтологический сборник: Труды Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Выпуск 117. 2005. № 6. С. 155–161.



- Andreicheva L. N., Duryagina, D. A. Stratigraphy and paleogeography of the Late Pleistocene of the North-East of the Russian Plain. Syktyvkar paleontological collection. Proceedings of the Institute of Geology Komi SC UB RAS, 117, 2005, No. 6, pp. 155–161. (in Russian)
- Андреичева Л. Н., Кочев В. А., Дурыгина Д. А. Стратиграфическое расчленение плейстоцена севера Большеземельской тундры // Рациональное комплексирование литологических исследований ледниковых формаций: Тез. докл. V литологической школы. 12–16 августа 1991 г. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1991. С. 6.
- Andreicheva L. N., Kochev V. A., Duryagina D. A. Stratigraphic subdivision of the Pleistocene of the northern Bolshezemelskaya tundra. Rational integration of lithological studies of glacial formations: Abstract of the report of the V lithological school. August 12–16, 1991. Syktyvkar: Komi SC UB RAS, 1991, p. 6. (in Russian)
- Андреичева Л. Н., Марченко-Вагапова Т. И. Верхний неоплейстоцен на Крайнем Севере России (Большеземельская тундра, р. Чёрная) // Вестник геонаук. 2012. № 10. С. 2–7.
- Andreicheva L. N., Marchenko-Vagapova T. I. Upper Neopleistocene in the far north of Russia (Bolshezemelskaya tundra, Chernaya river). Vestnik of Geosciences, 2012, No. 10, pp. 2–7. (in Russian)
- Андреичева Л. Н., Марченко-Вагапова Т. И. Озёрное осадконакопление в позднем неоплейстоцене на Европейском Северо-Востоке России // Вестник геонаук. 2014. № 1. С. 13–18.
- Andreicheva L. N., Marchenko-Vagapova T. I. Lake sedimentation in the late Neopleistocene in the European north-east of Russia. Vestnik of Geosciences, 2014, No. 1, pp. 13–18. (in Russian)
- Арсланов Х. А., Лавров А. С., Потапенко Л. М., Тertychnaya Т. В. Новые данные по геохронологии и палеогеографии позднего плейстоцена и раннего голоцена на севере Печорской низменности // Новые данные по геохронологии четвертичного периода. М.: Наука, 1987. С. 101–111.
- Arslanov Kh. A., Lavrov A. S., Potapenko L. M., Tertychnaya T. V. New data on geochronology and paleogeography of the late Pleistocene and early Holocene in the north of the Pechora Lowland. In: New data on the geochronology of the Quaternary period. Moscow: Nauka, 1987, pp. 101–111. (in Russian)
- Белкин В. И., Рязанов И. В. О понятиях сортированности и однородности гранулометрического состава осадочных пород // Литология и полезные ископаемые. 1974. № 2. С. 133–139.
- Belkin V. I., Ryazanov I. V. On the concepts of sorting and homogeneity of the granulometric composition of sedimentary rocks. Lithology and Mineral Resources, 1974, No. 2, pp. 133–139. (in Russian)
- Ботвинкина Л. Н. Методическое руководство по изучению слоистости. М.: Наука, 1965. 265 с.
- Botvinkina L. N. Methodological guide to the study of layering. Moscow: Nauka, 1965, 265 p. (in Russian)
- Викулова М. Ф. Общая характеристика глин // Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин. М.: Госгеолтехиздат, 1957. С. 7–90.
- Vikulova M. F. General characteristics of clays. Methodological guide to petrographic-mineralogical study of clays. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1957, pp. 7–90. (in Russian)
- Воробьёв Н. Н., Голубева Ю. В., Исаков В. А., Марченко-Вагапова Т. И. Генетические типы четвертичных отложений в низовье реки Черной (север Большеземельской тундры): результаты экспедиционных работ 2023 года // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2023. № 10. С. 50–54. DOI: 10.24412/2687-1092-2023-10-50-54
- Vorobyov N. N., Golubeva Yu. V., Isakov V. A., Marchenko-Vagapova T. I. Genetic types of Quaternary deposits in the lower reaches of the Chernaya River (north of the Bolshezemelskaya tundra): results of expeditionary work in 2023. Relief and Quaternary formations of the Arctic, Subarctic and North-West of Russia, 2023, No. 10, pp. 50–54. (in Russian)
- Гроссгейм В. А., Бескровная О. В., Геращенко И. Л., Окнова Н. С., Рожков Г. Ф. Методы палеогеографических реконструкций (при поисках залежей нефти и газа). Л.: Недра, 1984. 271 с.
- Grossgeim V. A., Beskrovnoy O. V., Gerashchenko I. L., Oknova N. S., Rozhkov G. F. Methods of paleogeographic reconstructions (when searching for oil and gas deposits). Leningrad: Nedra, 1984, 271 p. (in Russian)
- Журавлёв В. А., Кораго Е. А., Костин Д. А., Зуйкова О. Н. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист R-39, 40 — о. Колгуев — прол. Карские Ворота. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 405 с.
- Zhuravlev V. A., Korago E. A., Kostin D. A., Zuykova O. N. et al. Scale 1:1000000 (tertia generatio). Series Northern Kara-Barents. Sheet R-39, 40 — Kolguev Island. Kara Gate. Nota explicativa. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory, 2014, 405 p. (in Russian)
- Застрожных А. С., Шкатова В. К., Минина Е. А., Тарноградский В. Д., Астахов В. И., Гусев Е. А. Карта четвертичных образований масштаба 1 : 2 500 000 территории Российской Федерации. Пояснительная записка. 2010. 220 с.
- Zastrozhnov A. S., Shkatova V. K., Minina E. A., Tarnogradsky V. D., Astakhov V. I., Gusev E. A. Map of Quaternary formations at a scale of 1:2500000 of the territory of the Russian Federation. Explanatory note, 2010, 220 p. (in Russian)
- Качинский Н. А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Издательство АН СССР, 1958. 191 с.
- Kachinsky N. A. Mechanical and microaggregate composition of soil, methods of studying it. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1958, 191 p. (in Russian)
- Лавров А. С., Потапенко Л. М. Неоплейстоцен Печорской низменности и Западного Притиманья (стратиграфия, палеогеография, хронология). М.: Аэрогеология, 2012, 191 с.
- Lavrov A. S., Potapenko L. M. Neopleistocene of the Pechora Lowland and Western Pritimanye (stratigraphy, paleogeography, chronology). Moscow: Aerogeologiya, 2012, 191 p. (in Russian)
- Максимов Ф. Е., Андреичева Л. Н., Кузнецов В. Ю., Григорьев В. А., Петров А. Ю., Левченко С. Б., Марченко-Вагапова Т. И., Баранова Н. Г. Возраст и хроно-стратиграфическое положение озерно-болотных отложений в бас-



- сейне р. Черной на севере Большеземельской тундры по результатам их $^{230}\text{Th}/\text{U}$ - и ^{14}C -датирования // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2021. № 2, С. 289–309. DOI: 10.21638/spbu07.2021.206
- Maksimov F. E., Andreicheva L. N., Kuznetsov V. Yu., Grigoriev V. A., Petrov A. Yu., Levchenko S. B., Marchenko-Vagapova T. I., Baranova N. G. Age and chrono-stratigraphic position of lake-marsh deposits in the river basin. Chernaya in the north of the Bolshezemelskaya tundra based on the results of their $^{230}\text{Th}/\text{U}$ - and ^{14}C -dating. Vestnik of St. Petersburg University. Geosciences, 2021, No. 2. pp. 289–309. (in Russian)
- Павлидис Ю. А., Никифоров С. Л., Огородов С. А., Тарасов Г. А. Печорское море: прошлое, настоящее, будущее // Океанология. 2007. Том 47. № 6. С. 927–939.
- Pavlidis Yu. A., Nikiforov S. L., Ogorodov S. A., Tarasov G. A. Pechora Sea: past, present, future. Oceanology, 2007, V. 47, No. 6, pp. 927–939. (in Russian)
- Политова Н. В., Кравчишина М. Д., Новигатский А. Н., Лохов А. С. Концентрация и состав взвеси Баренцева моря // Система Баренцева моря / Под ред. акад. А. П. Лисицына. М.: ГЕОС, 2021. 672 с.
- Politova N. V., Kravchishina M. D., Novigatsky A. N., Lokhov A. S. Concentration and composition of suspended matter in the Barents Sea. System of the Barents Sea (edited by Academic A.P. Lisitsyn). Moscow: GEOS, 2021, 672 pp. (in Russian)
- Рейнек Г. Э., Сингх И. Б. Обстановки терригенного осадконакопления. М.: Недра, 1981. 439 с.
- Reineck G. E., Singh I. B. Environments of the terrigenous sedimentation. Moscow: Nedra, 1981, 439 p. (in Russian)
- Рожков Г. Ф. Дифференциация обломочного материала и гранулометрическая диаграмма $\alpha-\tau$ по косвенному счёту зерен // Механическая дифференциация твёрдого вещества на континенте и шельфе. М.: Наука, 1978б. С. 97–117.
- Rozhkov G. F. Differentiation of clastic material and granulometric diagram $\alpha-\tau$ by indirect counting of grains. Mechanical differentiation of solid matter on the continent and shelf. Moscow: Nauka, 1978b, pp. 97–117. (in Russian)
- Романовский С. И. Седиментологические основы литологии. Л.: Недра, 1977. 407 с.
- Romanovsky S. I. Sedimentological foundations of lithology. Leningrad: Nedra, 1977, 407 p. (in Russian)
- Рухин Л. Б. Основы литологии. Учение об осадочных породах. Л.: Недра, 1969. 778 с.
- Rukhin L. B. Fundamentals of lithology. The doctrine of sedimentary rocks. Leningrad: Nedra, 1969, 778 p. (in Russian)
- Рыбалко А. Е., Репкина Т. Ю., Токарев М. Ю., Терехина Я. Е., Соловьева М. А., Хлебникова О. А., Гончарова А. М., Горбачев С. В. Четвертичный покров Печорского моря: особенности его строения в свете новых данных бурения и сейсмоакустического профилирования // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Вып. 8. 2021, С. 209–214. DOI:10.24412/2687-1092-2021-8-209-214
- Rybalko A. E., Repkina T. Yu., Tokarev M. Yu., Terekhina Ya. E., Solovyova M. A., Khlebnikova O. A., Goncharova A. M., Gorbachev S. V. Quaternary cover of the Pechora Sea: features of its structure in the light of new data from drilling and seismoacoustic profiling. Relief and Quaternary formations of the Arctic, Subarctic and North-West of Russia, V. 8, 2021, pp. 209–214. (in Russian)
- Эпштейн О. Г., Чистякова И. А. Печороморский шельф в позднем валдае — голоцене: основные седиментологические и палеогеографические события // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2005. № 66. С. 107–123.
- Epshtein O. G., Chistyakova I. A. Pechora Sea shelf in the late Valdai — Holocene: main sedimentological and paleogeographical events. Bulletin of the Commission for the Study of the Quaternary Period, 2005, No. 66, pp. 107–123. (in Russian)
- Andreicheva L. N., Durjagina D. A. Stratigraphy and paleogeography of Pleistocene in the North of Bolshezemelsk tundra // Abstracts of International Union of Quaternary research XIV Congress. Bonn: Selbstverlag der Alfred-Vegener-Stiftung, 1995. P. 13.
- Peltier W. R., Fairbanks R. G. Global glacial ice volume and Last Glacial Maximum duration from an extended Barbados sea level record // Quaternary Science Reviews, Vol. 25. Issues 23–24. December 2006. P. 3322–3337. DOI: 10.1016/j.quascirev.2006.04.010
- Zeeberg J. J., Lubninski D. J., Forman S. L. Holocene Relative Sea-Level History of Novaya Zemlya, Russia, and Implications for Late Weichselian Ice-Sheet Loading // Quaternary Research. 2001. Vol. 56. P. 218–230. DOI: 10.1006/qres.2001.2256

Поступила в редакцию / Received 12.12.2024



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 551.734.5(470.111)

DOI: 10.19110/geov.2025.3.5

Новые данные о строматопороидеях лымбадьяхинской свиты верхнего девона севера Пай-Хоя

Е. В. Антропова

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; antropova@geo.komisc.ru

Изучен комплекс строматопороидей средней части лымбадьяхинской свиты, сопоставляемой с верхним девонем (интервал конодонтовых зон *marginifera–expansa*). Комплекс представлен девятью видами, принадлежащими двум отрядам – *Labechiida* и *Clathrodyctyida*. Три вида – *Labechia polaris* Gors., *Rosenella miniarensis* Riab., *Anostylostroma* cf. *variabile* (Riab.) – установлены на исследуемой территории впервые. Таксономический состав строматопороидей соответствует среднепозднефаменскому времени и обнаруживает сходство с позднефаменскими комплексами Южного, Среднего и Северного Урала.

Ключевые слова: строматопороидеи, лымбадьяхинская свита, фамен, северный Пай-Хой

New data on stromatoporoids of the Northern Pai-Khoi Upper Devonian Lymbada Formation

E. V. Antropova

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

The paper studies the stromatoporoid association of the middle part of the Upper Devonian Lymbada Formation, of the (interval of *marginifera–expansa*). The stromatoporoid association is represented by nine species belonging to two orders – *Labechiida* and *Clathrodyctyida*. Three species were recorded for the first time in the study area: *Labechia polaris* Gorsky, *Rosenella miniarensis* Riab., and *Anostylostroma* cf. *variabile* (Riab.). The taxonomic composition of stromatoporoids is similar to that of the Upper Famennian of the Southern, Middle and Northern Urals.

Keywords: stromatoporoids, Lymbada Formation, Famennian, North of Pai-Khoi

Введение

Распространение строматопороидей и их породообразующая роль в мелководных морских отложениях ордовика, силура и девона общеизвестны. Однако, рассматривая их развитие в палеозое, повсеместно отмечается сокращение этой группы к позднему франу. И хотя по меньшей мере порядка 20 родов присутствуют в конце фамена и раннем турне (Stearn, 1987; 1988), в этом интервале характерно отсутствие появления новых родов, семейств, отрядов. Все рода, за исключением *Куклорога* (Богоявленская, 2001, 2007; Хромых, 2011), известны в более древних отложениях.

Группа значительно пострадала на рубеже франа и фамена не только таксономически — сходит на нет их породообразующая роль и участие в образовании органогенных построек. Из фаменских отложений остатки строматопороидей известны и описаны в буквальном смысле единицами. Редкие находки строматопороидей в фаменских-нижекаменноугольных отложениях фиксируются на Урале (Богоявленская, 1986; Цыганко, 2011), Русской платформе (Соломко, 1886), Казахстане (Богоявленская, 1975), Пай-Хое и о-вах Новая земля, Вайгач (Горский, 1935, 1938; Рябинин, 1932, 1939; Цыганко, 2011; Груздев и др.,

2020), в Донецком бассейне (Василук, 1966; Богоявленская и др., 1990), Кузбасском бассейне (Косарева, 1986; Хромых 2011), Юго-Восточном Китае (Dong, 1988), Канадской Арктике (Webby, 2015), Бельгии и Германии (Weber, Mistiaen, 2001; Mistiaen, Weber, 2007), Польше (Wolniewicz, 2009).

О строматопороидеях позднедевонского возраста Пай-Хоя известно по сборам Б. А. Алферова, Н. А. Кулика, А. К. Крыловой, В. С. Цыганко (Яворский, 1957; Цыганко, 2011). Определения производились В. И. Яворским, О. В. Богоявленской и нами. По этим данным в районе р. Бельковской отмечены *Labechia cumularis* Yavor. и *Stylostroma tschernovi* Bogoyavl. (Цыганко, 2011), в районе руч. Пырков — *Labechia devonica* Riab. и *Rosenella normalis* Riab. (Яворский, 1957). Также есть информация о находках на территории Пай-Хоя *Pseudolabechia convensa* Yavor., *Rosenella irregularis* Yavor. по сборам Н. А. Кулика — но точная их привязка неизвестна (Яворский, 1957).

В пределах севера Пай-Хоя биостратиграфическая корреляция девонско-каменноугольных отложений обеспечивается довольно разрозненными данными (Журавлев и др., 2018). Отложения преобразованы мно-

Для цитирования: Антропова Е. В. Новые данные о строматопороидеях лымбадьяхинской свиты верхнего девона севера Пай-Хоя // Вестник геонаук. 2025. 3(363). С. 47–53. DOI: 10.19110/geov.2025.3.5

For citation: Antropova E. V. New data on stromatoporoids of the Northern Pai-Khoi Upper Devonian Lymbada Formation. Vestnik of Geosciences, 2025, 3(363), pp. 47–53, DOI: 10.19110/geov.2025.3.5

гочисленными тектоническими нарушениями, доломитизацией (Тимонин и др., 2004), что негативно сказывается на сохранности ископаемых органических остатков, в первую очередь макрофауны, а значительные по мощности интервалы не охарактеризованы фауной вовсе.

В такой ситуации местонахождение представительного комплекса строматопороидей, имеющее детальную характеристику по конодонтам, имеет важное стратиграфическое значение. Это делает возможным сопоставление фауны строматопороидей с одновозрастными комплексами на смежных территориях — о. Новая Земля, Вайгач, на Урале (в эпиконтинентальных морях северной части палеоконтинента Лавруссия).

Целью работы является характеристика состава строматопороидей в разрезе лымбадьяхинской свиты, анализ стратиграфической приуроченности, сравнение комплексов строматопороидей севера Пай-Хоя и Урала.

Материалы и методы

Объектом исследований послужили образцы строматопороидей, отобранные в ходе полевого сезона 2018 г. сотрудниками Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар) А.В. Журавлевым, А. Н. Плотницким, Д. А. Груздевым в зоне Пай-Хойского карбонатного паравтохтона. Предварительные результаты изучения фауны лымбадьяхинской свиты, в том числе строматопороидей, были ранее опубликованы (Груздев и др., 2020).

Из восьми изученных разрезов диагностируемые остатки строматопороидей определены из обн. № 2720. Фауна строматопороидей обильна в нижней части обнажения, выше по разрезу её значение уменьшается. Наиболее информативны уровни слоев 3, 6 (пробы 10, 21), где строматопороидеи слагают слои мощностью от 0.4 до 1.0 м. Здесь скелетные постройки строматопороидей образованы несколькими видами, имеют размер до 8 см. В них развиты обрастание и переслаивание разных видов строматопороидей. Из построек изготовлено 11 шлифов, содержащих от одной до пяти особей.

Для описания и подробного изучения особенностей внутреннего строения строматопороидей из каждого ценостеума изготавливалась серия ориентированных шлифов, подсекающих все элементы внутреннего строения, а также контакты стенок с вмещающими породами. Шлифы изучались при увеличении $\times 10-50$.

Фотографии подготовлены с помощью камеры Industrial Digital Camera E3ISPM6300KPA, соединенной с бинокляром Olympus SZ-61; для детализированных фотографий отдельных элементов строения использовался микроскоп Olympus BX53M.

Анализ интервалов распространения таксонов строматопороидей проводился по результатам как опубликованных, так и фондовых работ. В статье использована классификация строматопороидей и терминология морфологического строения (по: Stearn et al., 1999). Все измерения даны в миллиметрах.

Коллекция строматопороидей (№ 21) хранится в Геологическом музее им. А. А. Чернова Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар).

Результаты и обсуждение

Лымбадьяхинская свита впервые была предложена в новом варианте местной стратиграфической схемы Пай-Хойского карбонатного паравтохтона с аральным (составным) стратотипом в низовьях р. Лымбадьяха и прилегающем побережье Баренцева моря (Журавлев и др., 2015). Она сложена серыми известняками и доломитами с кремнистыми и кальцитовыми стяжениями в верхней части, встречаются маломощные водорослевые, строматопоратовые органогенные постройки. Присутствуют скопления брахиопод, кораллов, остракод, водорослей, фораминифер, криноидей (Груздев и др., 2020). Свита согласно залегает на пырковской толще (D_{2-3pr}) и перекрывается болванской свитой (C_{1-2bl}). Общая мощность лымбадьяхинской свиты 150 м.

Лымбадьяхинская свита соответствует нижнему фамену — турне на основании находок конодонтов, остракод и фораминифер (Журавлев и др., 2015; Груздев и др., 2020).

Обнажение № 2720 расположено в зоне развития лымбадьяхинской свиты на южном берегу мыса Пырков (координаты: N 69°32'59.5"; E 60°13'04.4") (рис. 1). Вскрывающаяся здесь средняя часть свиты представлена известняками темно-серыми, серыми, массивными, мелкодетритовыми, с кремниевыми стяжениями и гнездами, микробиальными корками (рис. 2). Породы содержат конодонты *Mitrellataxis circularis* W. et W., *Polygnathus* aff. *delenitor* Dr., *Pol.* aff. *experplexus* Sand. et Z., *Pol. semicostatus* Br. et M. и др. (Груздев и др., 2020). Согласно исследованию комплекса конодонтов, формирование отложений обн. № 2720 происходило в интервале фаз *marginifera* — ранняя *expansa* в среднем — позднем фамене (мурзакаевско-кушелгинское время) (Груздев и др., 2020).

В изученном интервале строматопороидеи имеют ряд палеоэкологических особенностей. Они встречаются не отдельными ценостеумами, а, как правило, образуют сложные скелетные постройки — когда ценостеумы состоят из представителей разных видов и родов, а также развито обрастание (рис. 3.), что обусловлено ограниченной возможностью закрепиться на мягких грунтах с преобладанием микрита. Встречающиеся в некоторых ценостеумах прослойки микробиального карбоната фиксируют перерывы в росте и, следовательно, недолговременные изменения окружающей среды.

Комплекс строматопороидей представлен девятью видами, относящимся к пяти родам, двум отрядам: *Labechia polaris* Gors., *L. devonica* Riab., *L. cumularis* Yavor., *Stylostroma crassum* Gors., *Rosenella miniarensis* Riab., *R. normalis* Riab., *Anostylostroma* cf. *variabile* (Riab.), *Trupetostroma* sp., *Actinostroma*? sp. (рис. 3).

Находки представителей изучаемого комплекса в целом хоть и редки, но все же известны из верхнедевонских отложений севера Урала, островов Новая Земля, Вайгач, а также Южного и Среднего Урала (Горский, 1935; Рябинин, 1939; Яворский, 1957; Богоявленская и др., 1990; Цыганко, 2011).

Вид *Labechia polaris* Gors. описан впервые в 1938 году с южного берега губы Крестовой (о. Новая Земля), также известен с северного берега Малой Земли. В момент первой находки вмещающие отложения обозначались как нерасчлененные верхнедевонско-нижнекаменно-



Рис. 1. Схема расположения района исследований и обнажения (по: Груздев и др., 2020 с изменениями): 1 — гусиная свита (нижняя пермь); 2 — чайкинский риф (средний карбон, московский ярус); 3 — хойпонганасейская толща (средний карбон, московский ярус); 4 — болванская свита (нижний карбон, визейский ярус — средний карбон, башкирский ярус); 5 — лымбадгяхинская свита (верхний девон, фаменский ярус — нижний карбон, турнейский ярус); 6 — пырковская толща (средний девон, живетский ярус — верхний девон, франкий ярус); 7 — разрывные нарушения; 8 — обнажение. ПКПА — Пайхойский карбонатный паравтохтон

Fig. 1. Location of the study area and the outcrop (from: Gruzdev et al., 2020 with modifications). 1 — Gusinaya Formation (Lower Permian); 2 — Chaika Reef (Middle Carboniferous, Moskovian); 3 — Hoiponganasei Formation (Middle Carboniferous, Moskovian); 4 — Bolvan Formation (Mississippian, Viséan — Pennsylvanian, Bashkirian); 5 — Lymbada Formation (Upper Devonian, Famennian — Mississippian, Tournaisian); 6 — Pyrkov Formation (Middle Devonian, Givetian — Upper Devonian, Frasnian); 7 — discontinuities; 8 — outcrop. ПКПА — Pai-Khoi carbonate parautochthone

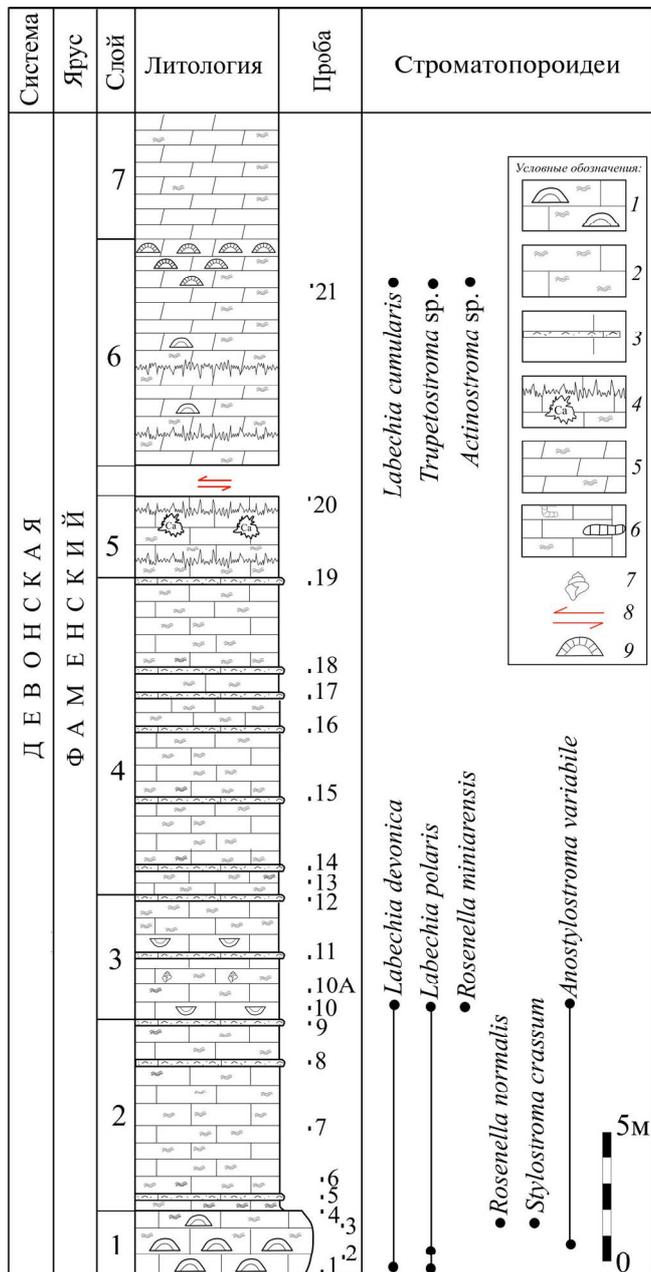
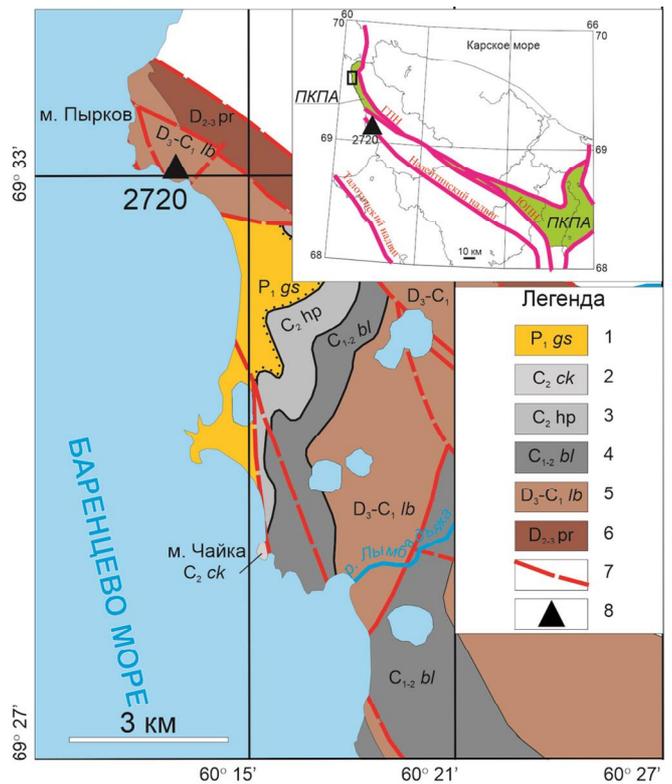


Рис. 2. Стратиграфическая колонка обнажения 2720 (по: Груздев и др., 2020) и распространение в нем строматопороидеи. Условные обозначения: 1 — известняк со строматопороидеями и микробально-водорослевыми корками; 2 — известняк с микробально-водорослевыми корками; 3 — известняк биокластовый, брахиоподовый; 4 — известняк с сутуровидными швами и гнездами кальцита; 5 — известняк доломитовый, доломит с реликтовыми микробальными образованиями; 6 — известняк с кремнистыми конкрециями, линзами, следами биотурбации; 7 — гастроподы; 8 — разрывное нарушение; 9 — строматопороидеи окремненные

Fig. 2. Stratigraphy of outcrop 2720, the middle part of the Lymbada Formation (from: Gruzdev et al., 2020) and the distribution of stromatoporoids in it. Legend: 1 — limestone with stromatoporoids and microbial-algal crusts; 2 — limestone with microbial-algal crusts; 3 — bioclastic, brachiopod limestone; 4 — limestone with sutural sutures and calcite nests; 5 — dolomitic limestone, dolomite with relict microbial formations; 6 — limestone with siliceous nodules, lenses, traces of bioturbation; 7 — gastropods; 8 — discontinuous disturbance; 9 — silicified stromatoporoids

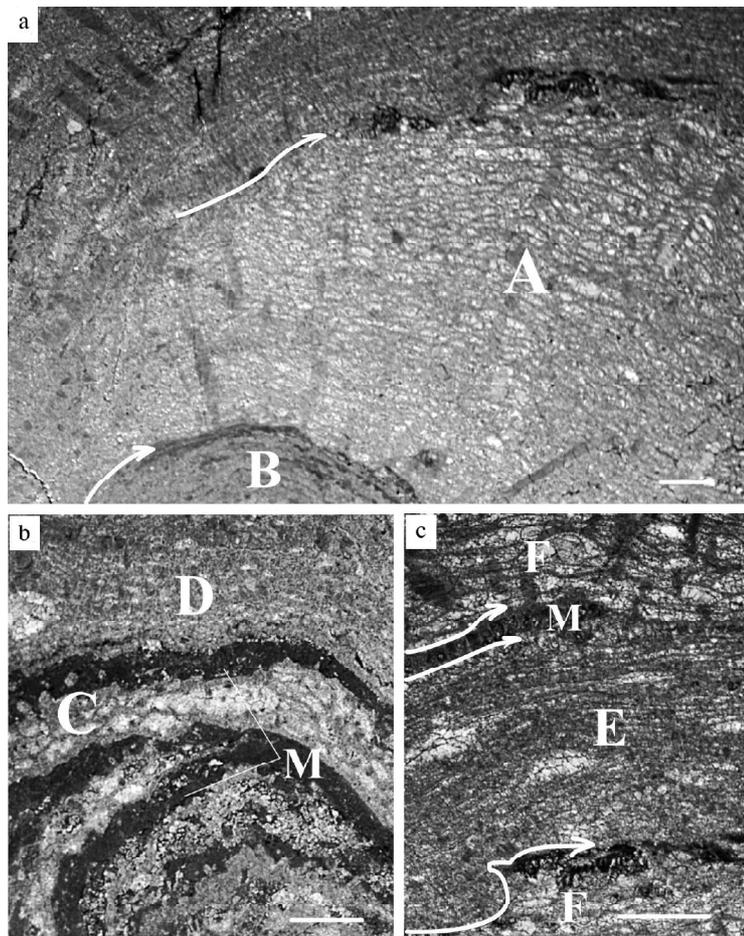


Рис. 3. Сложные скелетные постройки строматопоридей в обн. 2720: **a** – *Labechia polaris* Gorsky (A) и *Anostylostroma cf. variabile* (Riab.) (B), обр. 2720/10; **b** – *Rosenella normalis* Riab. (C), *Stylostroma crissum* Gorsky (D) с микробальным кальцитом (M), обр. 2720/3; **c** – *Rosenella miniarensis* Riab. (E) и *Labechia devonica* Gorsky (F), обр. 2720/10. Стрелками обозначены границы ценостеумов. Шкала – 1 мм

Fig. 3. Complex skeletal structures of stromatoproids of outcrop 2720: **a** – interlayering of *Labechia polaris* Gorsky (A) and *Anostylostroma cf. variabile* (Riab.) (B), sp. 2720/10; **b** – interlayering of *Rosenella normalis* Riab. (C), *Stylostroma crissum* Gorsky (D) with microbial calcite (M), sp. 2720/3; **c** – interlacing of *Rosenella miniarensis* Riab. (E) and *Labechia devonica* Gorsky (F), sp. 2720/10. Arrows indicate the boundaries of cenosteums. The scale bar is 1 mm

угольные. Последующие исследования установили принадлежность вида к верхнему девону (Яворский, 1957).

Вид *L. devonica* Riab. известен из местонахождения на р. Миньяр в Златоустовском районе Урала в 1932 г. Позже обнаружилось его широкое распространение в фаменских отложениях по всему Уралу, включая полярную часть (Рябинин, 1939; Богоявленская, 2007). На Пай-Хое зафиксирована одна находка в 4 км от м. Пырков Нос по сборам А. К. Крыловой (Яворский, 1957).

Один образец *L. cumularis* Yavor. был найден на о. Вайгач. Он был описан по сборам Н. А. Кулика (Яворский, 1957), к сожалению, без указания точной привязки, возраст указывался предположительно. После того как вид был установлен на Пай-Хое, на р. Бельковской, с определением конодонтов по сборам В. С. Цыганко (Цыганко, 2011), возраст был уточнен как среднефаменский.

Вид *Stylostroma crassum* Gors. описан из разрезов о. Новая Земля (Горский, 1938), известен из фамена о. Долгий (Яворский, 1957; Богоявленская, 2007).

Rosenella miniarensis Riab. является достаточно широко распространенным видом, встречается в средне-верхнефаменских отложениях северных районов Южного Урала (рр. Сим, Юрюзань, Ая), на Среднем Урале (р. Миньяр), Полярном Урале (р. Большой Паток – сборы Е. Д. Сошкиной), а также найден на о. Вайгач.

Вид *R. normalis* Riab. характерен для верхов фамена Среднего Урала (известянки со *Spirifer archiaci*). На Приполярном Урале установлен в верхнедевонских отложениях р. Щугер (Рябинин, 1939).

Anostylostroma variabile (Riab.) – известен из верхов фамена Киргизии, Центрального Казахстана (суль-

циферовый горизонт); с Омолонского массива (девон-карбон, элгергтынская свита). Элементы строения нашего экземпляра весьма близки с видом, описанным В. Н. Рябининым (1932), однако скошенность сечений и изогнутость формы не дает четкого поперечного сечения – поэтому вид определен как *Anostylostroma cf. variabile* (Riab.).

Таким образом, очевидно, что положение о достаточно тесной связи пай-хойской фауны строматопоридей с уральской и новоземельской достаточно убедительно. Кроме того, многие виды имеют большое сходство внутреннего строения с уральскими видами – например, *Rosenella labechyoides* Gors. весьма близка по структуре элементов с *Rosenella miniarensis* Riab., а группа видов *Labechia* также близка с уральскими – например, *Labechia normalis* Riab. и *Labechia polaris* Gors., различаются только размерами элементов внутреннего строения.

Необходимо отметить, что для этого комплекса характерно преобладание представителей отряда *Labechiida*, известного с ордовикского времени и представленного рекуррентными родами *Labechia*, *Rosenella*, *Stylostroma* (рис. 4). Эта группа лабехиид встречена в отложениях фамена практически повсеместно, кроме Западной Европы и Казахстана. Остальные три рода представляют широко распространенный в ордовикско-девонских отложениях отряд *Clathrodictyida*.

В зависимости от таксономического состава фауны строматопоридей позднего девона условно делится исследователями на две или три группы (Богоявленская, 1982; Stearn 1987). Группа, состоящая исключи-

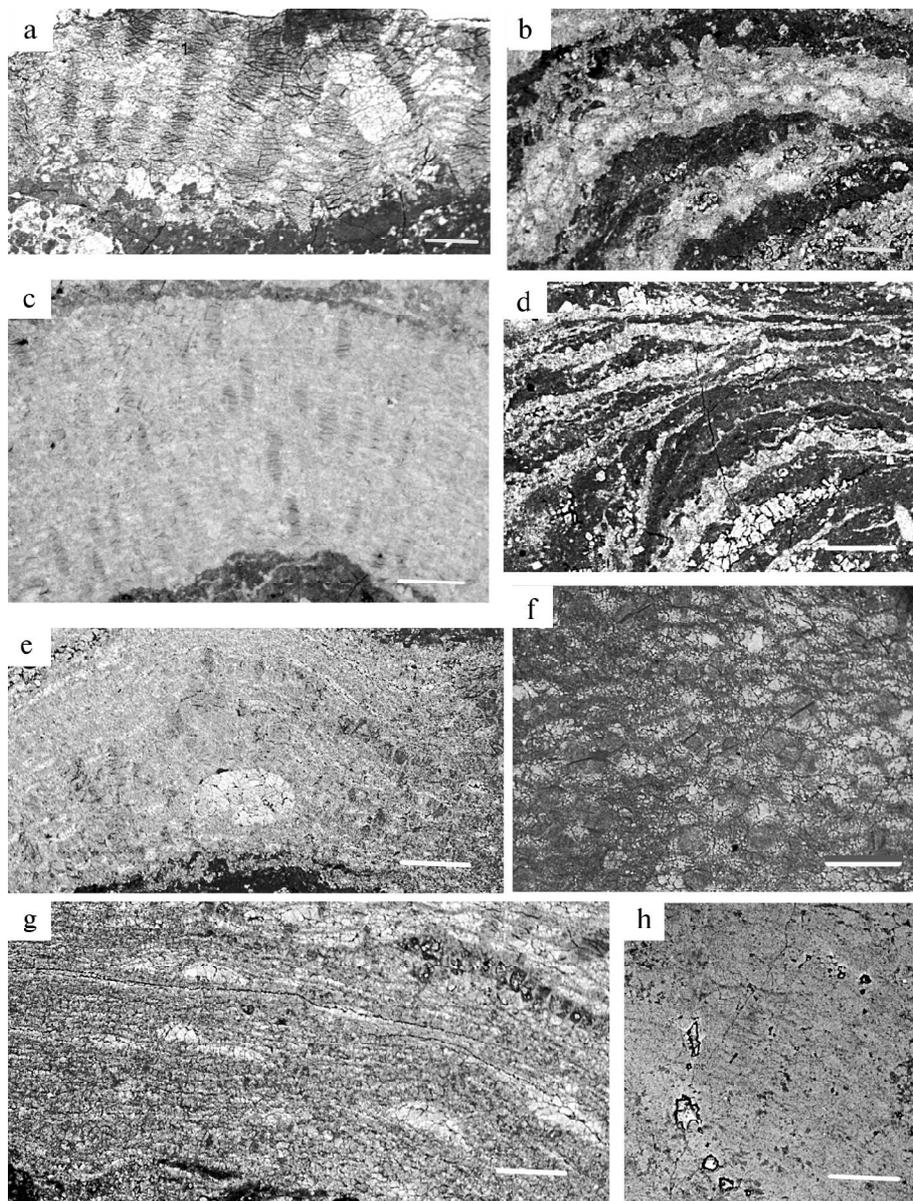


Рис. 4. Строматопороидеи лымбадъяхинской свиты: а — *Labechia devonica* Riab. — № 21/2, обр. 2720/10; б — *Rosenella normalis* Riab. — № 21/3, обр. 2720/4; в — *Labechia polaris* Gorsky — №21/4, обр.2720/2; д — *Anostylostroma* cf. *variabile* (Riab.) — №21/5, обр. 2720/10; е — *Stylostroma crassum* Gorsky, № 21/6, обр. 2720/3; ф — *Actinostroma* sp., № 21/10, обр. 2720/21; г — *Rosenella miniarensis* Riab., № 21/7, обр. 2720/10; h — *Labechia cumularis* Yavor., № 21/8, обр. 2720/10. Шкала — 1 мм

Fig. 4. Stromatoporoids of the Lymbada Formation: а — *Labechia devonica* Riab. — No. 21/2, sp. 2720/10; б — *Rosenella normalis* Riab. — No. 21/3, sp. 2720/4; в — *Labechia polaris* Gorsky — No. 21/4, sp. 2720/2; д — *Anostylostroma* cf. *variabile* (Riab.), No. 21/5, sp. 2720/10; е — *Stylostroma crassum* Gorsky, No. 21/6, sp. 2720/3; ф — *Actinostroma* sp., No. 21/10, sp. 2720/21; г — *Rosenella miniarensis* Riab., No. 21/7, sp. 2720/10; h — *Labechia cumularis* Yavor., No. 21/8, sp. 2720/10. The scale bar is 1 mm

тельно из лабехиид (роды *Labechia*, *Pseudolabechia*, *Rosenella*, *Pararosenella*, *Stylostroma*, *Parastylostroma*) характерна для фаменских отложений Донбасса, Центрального девонского поля, Северного Кавказа. Группа, состоящая из представителей отряда Clathrodictyida (рода *Actinostroma*, *Atelodictyon*, *Gerronostroma*, *Anostylostroma*, *Trupetostroma*, *Dendrostroma*, *Stromatoporella*), свойственна отложениям Западной Европы, Центрального Казахстана и островов Канадской Арктики. В определенном нами комплексе преобладают лабехииды, однако присутствуют и клатродиктииды. Такой таксономический состав установлен исследователями по всему Уралу (см. например, Рябинин, 1939; Яворский 1957; Богоявленская, 2007; Цыганко, 2011) (рис. 5), что также сближает эти регионы по фауне строматопороидей.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований существенно дополнена палеонтологическая характеристика лымбадъяхинской свиты севера Пай-Хоя. Таксономическая принадлежность строматопороидей подтверждает отнесение пород к среднепозднефаменскому возрасту и позволяет достаточно надежно сопоставить их с одновозрастными отложениями Урала.

Среди строматопороидей преобладают лабехииды, а также присутствуют три вида клатродиктиид худшей сохранности. Наиболее распространенный в разрезе вид — *Labechia polaris* Gors. — встречен на Пай-Хое впервые. Также впервые определены широко разви-

тые в Уральском палеобассейне *Rosenella miniarensis* Riab. и *Anostylostroma* cf. *variabile* (Riab.).

Результаты исследования дополняют информацию, позволяющую установить таксономический состав и распространение строматопороидей в фаменское время на шельфах Лавруссии, а также уточнить, в каких бассейнах сохранились строматопороидеи в течение фамена, и обозначить возможные пути их дальнейшего расселения.

Автор выражает признательность рецензентам за замечания, способствовавшие улучшению статьи.

Работа выполнена в рамках темы НИР государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 122040600008-5

Литература / References

Богоявленская О. В. Строматопороидеи / Фауна пограничных отложений девона и карбона Центрального Казахстана. М.: Недра, 1975. С. 27–32.

Bogoyavlenskaya O. V. Stromatoporoids. Fauna of boundary deposits of Devonian and Carboniferous Central Kazakhstan. Moscow: Nedra, 1975, pp. 27–32. (in Russian)

Богоявленская О. В. Строматопораты позднего девона – раннего карбона // Палеонтологический журнал. 1982. № 1. С. 33–38.

Bogoyavlenskaya O. V. Stromatoporites of the Late Devonian–Early Carboniferous. Paleontological Journal, 1982, No. 1, pp. 33–38. (in Russian)

Богоявленская О. В. Строматопораты позднего девона – раннего карбона. Граница девона и карбона СССР. Мат-лы к Всесоюз. Совещанию. Минск, 1986. С. 26–27.

Bogoyavlenskaya O. V. Stromatoporites of the Late Devonian–Early Carboniferous. Devonian–Carboniferous boundary of the USSR. Proceedings of the All-Union conference, Minsk, 1986, pp. 26–27. (in Russian)

Богоявленская О. В. К характеристике девонских строматопорат Русской платформы // Палеонтологический журнал. 2001, №4. С. 16–23.

Bogoyavlenskaya O. V. Characterization of the Devonian Stromatoporoids of the Russian Platform. Paleontological Journal, 2001, No. 4, pp. 16–23. (in Russian)

Богоявленская О. В. Девонские строматопораты (морфология, систематика, стратиграфическое и палеогеографическое распространение) // Литосфера. 2007. № 1. С. 109–122.

Bogoyavlenskaya O. V. Devonian stromatoporoids (morphology, systematics, stratigraphic and paleogeographic distribution). Lithosphere, 2007, No. 1, pp. 109–122. (in Russian)

Богоявленская О. В., Василюк Н. П., Глебов А. Р. Характеристика некоторых палеозойских *Labechiyda* (Stromatoporata) / Ископаемые проблематики СССР. Тр. Института геологии и геофизики. Вып. 783. 1990. С. 69–76.

Bogoyavlenskaya O. V., Vasilyuk N. P., Glebov A. R. Characterization of some Paleozoic *Labechiyda* (Stromatoporata). Fossil Problematics of the USSR. Proc. Institute of Geology and Geophysics. V. 783, 1990, pp. 69–76. (in Russian)

Василюк Н. П. Кораллы и строматопороидеи / Фауна низов турне Донецкого бассейна. Киев: Наук. думка, 1966. С. 43–56.

Строматопороидеи Stromatoporoids	Новая Земля Novaya Zemlya	о. Вайгач Vaigach	Пай-Хой Pai-Khoi	север Урала North of the Urals	Средний Урал Middle Urals	Южный Урал South Urals
<i>Labechia devonica</i>			√		√	√
<i>L. polaris</i>	√	√	√	√		
<i>L. cumularis</i>		√	√			
<i>L. macrostyllophora</i>				√		
<i>L. regularis</i>	√					
<i>Stylostroma geometricum</i>					√	√
<i>S. tschernovi</i>			√			
<i>S. styllophorum</i>					√	√
<i>S. vaigatschense</i>	√					
<i>S. crassum</i>	√	√	√			
<i>Rosenella labechioides</i>	√					
<i>R. miniarensis</i>	√	√	√		√	√
<i>R. normalis</i>			√			
<i>Pararonella olimpiadae</i>				√		
<i>An. cf. variabile</i>			√			
<i>Trupetistroma serotinum</i>					√	
<i>Dendrostroma insuetum</i>					√	

Рис. 5. Состав строматопороидей в фамене Пай-Хоя и прилегающих территорий

Fig. 5. Distribution of stromatoporoid species in Pai-Khoi and adjacent areas

Vasilyuk N. P. Corals and stromatoporoids. Fauna of the Lower Tournaisian of the Donets Basin. Kiev: Nauk. dumka, 1966, pp. 43–56. (in Russian)

Василюк Н. П. Развитие целентерат на рубеже девона и карбона // Палеонтологический журнал. 1978. № 4. С. 3–18.

Vasilyuk N. I. Development of the celenterata at the boundary of the Devonian and Carboniferous. Paleontological journal, 1978, No. 4, pp. 3–18. (in Russian)

Горский И. И. Некоторые Coelenterata из нижнекаменноугольных отложений Новой Земли / Л.: Изд-во Гл. упр. Сев. мор. пути // Труды Арктич. ин-та, т. XXVIII. Л., 1935. 146 с.

Gorsky I. I. Some Coelenterata from Lower Carboniferous sediments of Novaya Zemlya. Proceedings of the Arctic Institute. V. XXVIII, Leningrad, 1935, 146 p. (in Russian)

Горский И. И. Некоторые Stromatoporoidea из палеозойских отложений Новой Земли / Палеонтология советской Арктики. Труды Арктич. Ин-та. Т. 101, вып. 3. Л., 1938. С. 7–45.

Gorsky I. I. Some Stromatoporoidea from the Paleozoic deposits of Novaya Zemlya. Paleontology of the Soviet Arctic. Proceedings of the Arctic Institute. V. 101, 3, Leningrad, 1938, pp. 7–45. (in Russian)

Груздев Д. А., Плотыцын А. Н., Журавлев А. В., Антропова Е. В., Ерофеевский А. В. Лымбадъяхинская свита верхнего девона Севера Пай-Хойского карбонатного паравтохтона: новые данные // Известия Коми научного центра УрО РАН. № 1(41). Сыктывкар, 2020. С. 5–15. DOI: 10.19110/1994-5655-2020-1-5-15

Gruzdev D. A., Plotitsyn A. N., Zhuravlev A. V., Antropova E. V., Erofeevsky A. V. Lymbada Formation of the Upper Devonian of the North Pai-Khoi carbonate paravtoekh-



- ton: new data. Proc. Komi SC UB RAS, 1(41), Syktyvkar, 2020, pp. 5—15. (in Russian)
- Журавлев А. В., Герасимова А. И., Вевель Я. А. Местная стратиграфическая схема верхнедевонско-среднекаменноугольного интервала севера Пай-Хойского карбонатного паравотхтона // Вестник геонаук. 2015. № 4. С. 8—13.
- Zhuravlev A. V., Gerasimova A. I., Vevel Ya. A. Local stratigraphic scheme of the Upper-Devonian-Middle Carboniferous in the north of the Pai-Khoi carbonate parautokhtone. Vestnik of Geosciences, Syktyvkar, 2015, No. 4, pp. 8—13. (in Russian)
- Журавлев А. В., Вевель Я. А., Груздев Д. А. Местная стратиграфическая схема верхнего девона и карбона севера Пай-Хоя // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2018. Т. 13. № 2. http://www.ngtp.ru/rub/2/19_2018.pdf
- Zhuravlev A. V., Vevel Y. A., Gruzdev D. A. Local stratigraphic scheme of the Upper Devonian and Carboniferous of the North of Pai-Khoi. Oil and Gas Geology. Theory and practice, 2018, V. 13, No. 2. (in Russian)
- Косарева Е. Г. Фациальная и стратиграфическая приуроченность строматопорат нижнего-среднего палеозоя Алтае-Саянской горной области // Фанерозойские рифы и кораллы СССР: Тр. V Всесоюзного симпозиума по кораллам и рифам. М.: Наука, 1986. С.28—30.
- Kosareva E. G. Facial and stratigraphic confinement of stromatoporates of the Lower-Middle Paleozoic of the Altai-Sayan mountain region. Phanerozoic reefs and corals of the USSR. Proceedings of the 5th All-Union Symposium on Corals and Reefs. Moscow: Nauka, 1986, pp. 28—30. (in Russian)
- Рябинин В. Н. О верхнедевонских строматопоридеях // Изв. Вс. геол. об-ва., Вып. 76. Л., ЦНИГРИ. 1932. 14 с.
- Ryabinin V. N. Upper Devonian stromatoporoidea. Proc. of the All-Russian Geol. Association. Leningrad: TSNIIGRI, 1932, V. 76, 14 p. (in Russian)
- Рябинин В. Н. Девонские Stromatoporoidea Тимана // Изв. Вс. геол. об-ва., Вып. 58. Л., ЦНИГРИ. 1932. 14 с. 21 с.
- Ryabinin V. N. Devonian Stromatoporoidea of Timan. Proc. All-Russian Geol. Association. Leningrad: TSNIIGRI, 1932, V. 58, 21 p. (in Russian)
- Рябинин В. Н. Палеозойские строматопоридеи Печорского края и Приуралья // Тр. Сев. геол. упр-я. Л.-Архангельск, — М., 1939. 68 с.
- Ryabinin V. N. Paleozoic stromatoporoidea of the Pechora Region and the Urals. Northern Geological Department. Leningrad-Arkhangelsk, Moscow, 1939, 68 p. (in Russian)
- Соломко Е. В. Строматопоры девонской системы России / Отдельный оттиск из «Зап. минер. общ.», ч. XXIII, 1886 г. 48 с.
- Solomko E. V. Stromatopors of the Devonian system of Russia. Separate impression from “West Miner. Association”, part XXIII, 1886, 48 p. (in Russian)
- Тимонин Н. И., Юдин В. В., Беляев А. А. Палеогеодинамика Пай-Хоя. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 227 с.
- Timonin N. I., Yudin V. V., Belyaev A. A. Paleogeodynamics of Pai-Khoi. Yekaterinburg: UB RAS, 2004, 227 p. (in Russian)
- Хромых В. Г. Нижнефаменские строматопоридеи Кузбасса // Биостратиграфия, палеогеография и события в девоне и раннем карбоне: Материалы межд. конференции. Из-во СО РАН: Новосибирск, 2011. С. 69—71.
- Khromykh V. G. Lower Famennian stromatoporooids of the Kuzbass. Biostratigraphy, Paleogeography and Events in the Devonian and Early Carboniferous: Proceedings of the International Conference. Novosibirsk: SB RAS, 2011, pp. 69—71. (in Russian)
- Цыганко В. С. Девон западного склона Севера Урала и Пай-Хоя (стратиграфия, принципы расчленения, корреляция). Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 358 с.
- Tsyganko V. S. Devonian of the western slope of the North Urals and Pai-Khoi (stratigraphy, principles of dissection, correlation). Yekaterinburg: UB RAS, 2011, 358 p. (in Russian)
- Яворский В. И. Stromatoporoidea Советского Союза. М., 1957. Т. II. 168 с.
- Yavorsky V. I. Stromatoporoidea of the Soviet Union. Moscow, 1957, V. II, 168 p. (in Russian)
- Dong D.-Y. Stromatoporooids from the Early Carboniferous of Kwangsi and Kueichow // Acta Palaeontologica Sinica, No. 12. P. 280—299.
- Dong D.-Y. On the classification of Paleozoic stromatoporooids // Acta Micropalaeontologica Sinica. 1988. No. 5. P. 25—38.
- Stearn C. W. Effect of the Frasnian-Famennian extinction on the stromatoporooids // Geology. 1987, №15. P. 677—679.
- Stearn C. W. Stromatoporooids from the Famennian (Devonian) Wabamun Formation, Nordmandville Oilfield, north-central Alberta, Canada // Journal of Paleontology, 1988, №2. P. 411—419.
- Stearn C. W., Webby B. D., Nestor H., Stock C. W. Revised classification and terminology — 70.
- Webby B. D. Labechiida: Systematic descriptions // Invertebrate Paleontology. 2015. Part E, Vol. 4—5. P. 709—754.
- Weber H. M., Mistiaen B. First evidence of labechiids (Stromatoporoidea) in the Strunian (Uppermost Devonian) of Western Europe // Abstracts of 15th Annual Senckenberg Conference, Frankfurt-am-Main, 2001. P. 48—49.
- Mistiaen B., Weber D. New data on Strunian stromatoporooids from Germany, a step for more comprehensive understanding of their palaeogeographic distribution // X International Congress on Fossil Cnidaria and Porifera, 2007. P. 297.
- Wolniewicz P. Late Famennian stromatoporooids from Dębnik Anticline, southern Poland. Acta Palaeontologica Polonica, 54 (2). 2009. P. 337—350. DOI: 10.4202/app.2007.0096

Поступила в редакцию / Received 24.02.2025

Исследователь земных недр и его концепция недропользования к 90-летию со дня рождения Юрия Андреевича Ткачёва (19.03.1935–01.10.2020)

Researcher of the Earth subsoil and his concept of subsoil use On the occasion of the 90th Anniversary of the birth of Yuri Andreevich Tkachev (19.03.1935–01.10.2020)

March 19, 2025 marks the 90th anniversary of the birth of Yuri Andreevich Tkachev (19.03.1935–01.10.2020), Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor. He is widely known in Russia and abroad for his research and fundamental work in the field of geostatistics, mathematical modeling of geological processes and phenomena, geological and environmental assessment of mineral deposits. Based on the research materials, Yu. A. Tkachev published more than two hundred and seventy scientific works, including eight monographs, three inventions, computer programs in Turbo Pascal-7 for statistical data processing, and ten new training courses. In addition to courses in his main scientific profile, Yuri Andreevich gave students lectures on geodesy and engineering and geodetic works, aerospace methods, engineering geology, land hydrology, he developed and was the first to implement a system of testing students' knowledge, and trained seven Candidates of Science. The professor took part in the preparation and discussion of the law of the Komi Republic "On Subsoil", and developed an original model of economic management of geological production. Yuri Andreevich was awarded the medals "Veteran of Labor" (1975), "For Contribution to the Development of Invention" named after A. S. Popov, the Honorary Medal of the International Academy of Authors of Scientific Discoveries and Inventions "For Merits in Invention" (2000), the Honorary Certificate of the Russian Academy of Sciences (1999), the Commemorative Badge "For Merits in the Study of the Subsoil of the Komi Republic" (2000), the honorary title "Honored Scientist of the Komi Republic" (1993), the title "Honorary Veteran of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences" (2019). He was a Full Member of the International Academy of Authors of Scientific Discoveries and Inventions.

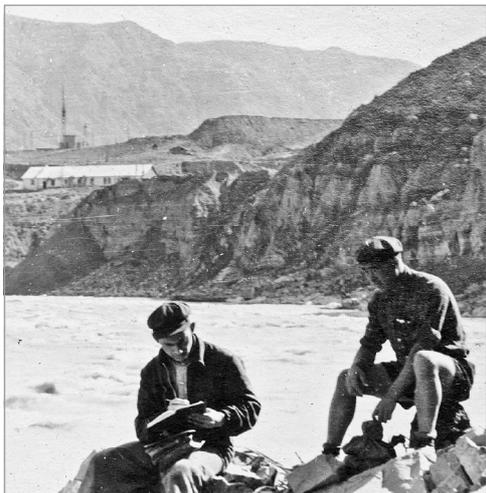


The staff of the scientific library of FRC Komi SC UB RAS organized an exhibition of biographical works in memory of Professor Yu. A. Tkachev, reflecting his diverse activities.

19 марта исполнилось 90 лет со дня рождения доктора геолого-минералогических наук, профессора, заслуженного деятеля Республики Коми Юрия Андреевича Ткачёва. Область научных интересов Юрия Андреевича была очень обширной. Он начинал с изучения уранового оруденения, локализующегося в угольных месторождениях, затем активно занимался внедрением математических методов в геологию, глубоко и детально исследовал геолого-экономические и правовые вопросы недропользования. Профессор Ткачев являлся лидером оригинальной научной школы «Математические методы в геологии». К его высоким достижениям относятся: применение различных методов обработки геохимических данных (в первую очередь результатов полуколичественного спектрального анализа); решение проблемы корреляции и регрессии в замкнутых системах применительно к петрографическим и минеральным системам, развитие теории парагенезиса; формализация геологических явлений и объектов для последующей обработки машинными методами; разработка методов сегментного анализа аллювия применительно к седиментологическим, литологическим, археологическим задачам, а также для решения вопросов берегоукрепления, промышленного и гражданского строительства. Эти подходы развились в методы прогнозно-вероятностного геологического моделирования поисков месторождений полезных ископаемых, новую концепцию формирования угленосных толщ. Также Юрием Андреевичем решена фундаментальная проблема геоинформатики — количественная

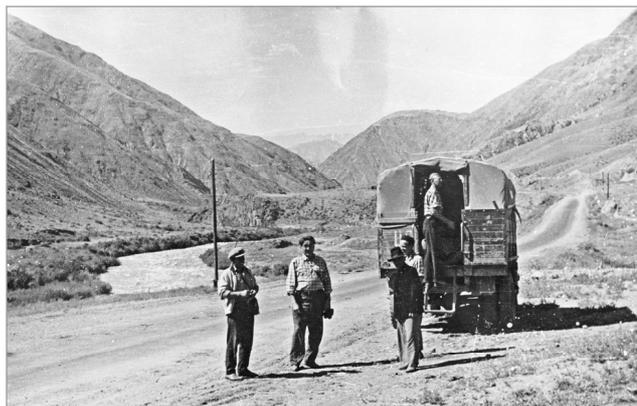
Юрий Андреевич родился 19 марта 1935 г. в селе Конезавод-48 Кустанайской области Казахской ССР. В 1956 г. с отличием окончил горно-геологический факультет Фрунзенского политехнического института и стал работать младшим научным сотрудником в Институте геологии Академии наук Киргизской ССР. В 1965 г. в Институте геологических наук Казахской ССР (г. Алма-Ата) защитил кандидатскую диссертацию на тему «Закономерности распределения германиевого и уранового оруденения в углях Средней Азии» и перешел на работу в ВИМС старшим научным сотрудником. В 1987 г. во ВНИГРИ защитил докторскую диссертацию на тему «Геолого-статистические методы повышения достоверности оценки запасов месторождений нефти». В 1972 г. поступил на работу в Институт геологии Коми филиала АН СССР на должность старшего научного сотрудника, затем работал ведущим научным сотрудником, заведующим лабораторией геоинформатики (1991–2006), затем главным научным сотрудником лаборатории минерально-сырьевых ресурсов.

оценка степени цикличности осадочных толщ и статистический анализ последовательности наложения литотипов. Разработана методика расчета среднестатистической последовательности литотипов, составлены алгоритмы и компьютерные программы для их реализации. Ю. А. Ткачёвым впервые в мире была поставлена и решена задача оптимизации многоэтапных схем обработки геологических проб и других неоднородных материалов, позволяющей с наименьшими затратами и с заданной точностью опробовать ми-

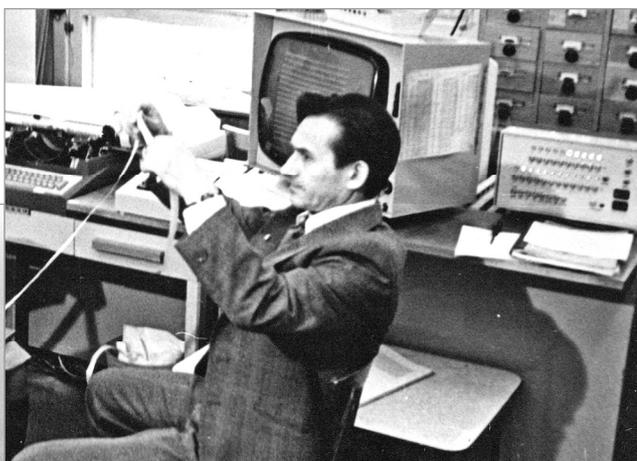


Изучение угленосных толщ Южной Киргизии. Месторождение Таш-Кумыр на берегу горной реки Нарын, 1959 г. Ю. Ткачёв (слева) с рабочим*

Study of coal-bearing strata in the southern Kyrgyzstan. Tash-Kumyr deposit on the bank of the Naryn mountain river, 1959. Yu. Tkachev (left) with a worker*



Геологическая партия на р. Чу (Боомское ущелье), 1962 г. Geological party on the Chu River (Boom Gorge), 1962



Работа на ЭВМ. Сыктывкар, 1979 г. Working on a computer. Syktyvkar, 1979



Центральный Казахстан, близ Байконура, 1970 г. Central Kazakhstan, near Baikonur, 1970



Перед отъездом в очередную экспедицию, 2007 г. Before leaving for another expedition, 2007

неральное сырье от разведки месторождений до извлечения и обогащения полезного компонента. Юрий Андреевич разработал уникальный метод оценки запасов на месторождениях с гнездовым распределени-

ем полезных компонентов (пьезооптического кварца, горного хрусталя и другого камнесамоцветного сырья), основанный на геометрических вероятностях подсечения «гнезд» (раздувов жил) и их продуктивно-

* Здесь и далее фото из архива семьи / Here and below are photos from the family archive.



На семинаре,
2008 г.
At the seminar,
2008

сти и не использующий такой традиционный параметр, как среднее содержание, не имеющее на этих месторождениях физического смысла. К особой сфере деятельности Юрия Андреевича относилось исследование правовых вопросов недропользования. Он активно участвовал в законотворческой деятельности Республики Коми и Российской Федерации. Его законопроекты «О недрах», «О собственности», поправки к законам «Об экологической экспертизе», «Об охране природы», «О науке и научно-технической политике» сыграли важную роль в создании правовых основ современного государственного управления. Книга Ю. А. Ткачёва «Плата за недра» стала одной из наиболее цитируемых среди специалистов. В целом Юрий Андреевич является автором более двухсот семидесяти научных работ, в числе которых восемь монографий, 3-х изобретений, компьютерных программ для статистической обработки данных.

В течение многих лет Ю. А. Ткачёв плодотворно занимался педагогической деятельностью. Он автор оригинальных учебных курсов математических методов в геологии в трех вузах республики. Помимо курсов по своему основному научному профилю, Юрий Андреевич читал лекции по геодезии и инженерно-геодезическим работам, аэрокосмическим методам, инженерной геологии, гидрологии суши. Им разработана и впервые внедрена система тестового контроля знаний студентов, подготовлено семь кандидатов наук.

Ю. А. Ткачёв был награжден медалью «Ветеран труда» (1975), медалью им. А. С. Попова «За вклад в развитие изобретательства», почетной медалью Международной академии авторов научных открытий и изобретений «За заслуги в деле изобретательства» (2000), почетной грамотой РАН (1999), памятным нагрудным знаком «За заслуги в изучении недр Республики Коми» (2000). Имеет почетные звания «Заслуженный деятель науки Республики Коми» (1993), «Почетный ветеран УрО РАН» (2019). Ю. А. Ткачев был действительным членом РАЕН, академиком Международной академии авторов научных открытий и изобретений.

В нашей памяти Юрий Андреевич Ткачёв остаётся прекрасным, интересным и разносторонним человеком, увлеченным исследователем-геологом. В 2022 году, уже после смерти учёного, в Институте геологии было выпущено литературно-художественное издание «Эпизоды», в котором собраны рассказы Юрия Андреевича, описывающие жизнь ученого-геолога в мастерском изложении (Ткачёв Ю. А. Эпизоды. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2022. 470 с.).

к. г.-м. н. О. Е. Амосова



К 90-летию со дня рождения
**ЮРИЯ АНДРЕЕВИЧА
ТКАЧЕВА**
(1935–2020)

Профессора,
доктора геолого-минералогических наук



Коллектив научной библиотеки, помня читательскую активность Юрия Андреевича, не прошёл мимо этого события. 64 года отдал Ю. А. Ткачёв научной деятельности, с 1972 года – в стенах Института геологии. Была организована выставка работ, отражающая его разностороннюю деятельность.

Композиция книжной выставки строилась вокруг «Девяти тезисов о смысле жизни и смежных вопросах», которыми открывается посмертное издание 2022 г. «Эпизоды». В этой книге собраны автобиографические рассказы Ткачёва, опубликованные на страницах «Вестника Института геологии» в 2000–2010 гг. Издание примечательно не только беллетристической Юрия Андреевича, но и замечательными иллюстрациями его коллеги доктора геолого-минералогических наук В. И. Ракина.

И. В. Горбаченко

ведущий библиограф научной библиотеки ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Редакторы издательства:

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

Компьютерная верстка

Т. В. Хазовой

Выписка из реестра средств массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 30.04.2025. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 6,5. Тираж 140. Заказ 1244. Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Редакция, издательство, типография: издательско-информационный отдел Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Адрес редакции: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru
На обложке использованы фото П. Безносова, А. Перетягина, Н. Уляшевой, А. Иевлева, Н. Сокеиной