

УДК 553.04:550.93

DOI 10.41748/0016-7894-2023-3-105-124

## Эволюция источников сноса и нефтегазоносность мезозойских отложений Баренцева моря: датирование обломочных цирконов из скважины Ферсмановская-1 и палеогеографические реконструкции

© 2023 г. | А.В. Соловьев<sup>1,2</sup>, П.О. Соболев<sup>3</sup>, О.В. Грушевская<sup>1</sup>, Е.А. Васильева<sup>4</sup>, Д.В. Левочская<sup>5</sup>, А.И. Хисамутдинова<sup>2</sup>, И.Н. Прокофьев<sup>1</sup>, С.В. Шиманский<sup>6</sup>, М.А. Белова<sup>3</sup>, Дж.К. Хоуриган<sup>7</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт», Москва, Россия; soloviev@vnigni.ru; grushevskaya@vnigni.ru; prokofiev@vnigni.ru;

<sup>2</sup>ФГБУН Геологический институт РАН, Москва, Россия; geoaisulu@gmail.com;

<sup>3</sup>ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского», Санкт-Петербург, Россия; peter.sobolev@gmail.com; mariya\_lavrenteva@vsegei.ru;

<sup>4</sup>АО «Севморнефтегеофизика» Россия, Мурманск, VasilevaEA@rusgeology.ru;

<sup>5</sup>Хабаровский филиал АО «Полиметалл УК», Россия, Хабаровск; levochskayaDV@polymetal.ru;

<sup>6</sup>Федеральное агентство по недропользованию, Россия, Москва; sshimanskii@rosnedra.gov.ru;

<sup>7</sup>Калифорнийский университет, Санта-Круз, США; hourigan@ucsc.edu

Поступила 23.03.2023 г.

Доработана 26.03.2023 г.

Принята к печати 11.04.2023 г.

**Ключевые слова:** Баренцево море; мезозойский осадочный чехол; нефтегазоносность; обломочный циркон; U/Pb (LA ICP-MS)-датирование; источники сноса; палеогеографические реконструкции.

**Аннотация:** Приведены результаты комплексного анализа геолого-геофизических материалов и нефтегазоносности Баренцевоморского региона, а также новые данные U/Pb (LA ICP-MS)-датирования и морфологического изучения обломочных цирконов по четырем образцам песчаников триасовых и юрских отложений, вскрытых скв. Ферсмановская-1 (Баренцево море), что позволило охарактеризовать источники сноса обломочного материала для триасовых и юрских отложений, уточнить региональные палеогеографические реконструкции. В среднем триасе основной снос терригенного материала происходил с юга – юго-востока, с герцинских структур Полярного Урала и Новой Земли (370–220 млн лет), с неопротерозойских комплексов Тиманского орогена и из палеозойских толщ Урала, сложенных в том числе и продуктами размыва Протоуральско-Тиманского орогена (580–525 млн лет). В позднем триасе уральские источники остаются главными, резко уменьшается влияние неопротерозойских и возрастает роль каледонских цирконов (450–400 млн лет) в объеме осадочного материала. В ранней юре в областях размыва появляется новый источник палеопротерозойских цирконов (1,95–1,8 млрд лет). В средней юре не происходит существенных изменений. Таким образом, снос обломочного материала в юре в регион Баренцева моря мог происходить с юга на север и/или с юго-востока на северо-запад.

**Для цитирования:** Соловьев А.В., Соболев П.О., Грушевская О.В., Васильева Е.А., Левочская Д.В., Хисамутдинова А.И., Прокофьев И.Н., Шиманский С.В., Белова М.А., Хоуриган Дж.К. Эволюция источников сноса и нефтегазоносность мезозойских отложений Баренцева моря: датирование обломочных цирконов из скважины Ферсмановская-1 и палеогеографические реконструкции // Геология нефти и газа. – 2023. – № 3. – С. 105–124. DOI: 10.41748/0016-7894-2023-3-105-124.

**Финансирование:** Исследования выполнены за счет средств Российского научного фонда, проект № 22-27-00440. Отбор образцов, изучение шлифов и изотопные исследования были выполнены в рамках мультиклиентского проекта "Basin analysis and petroleum system modeling of the Russian Barents Sea Basin" (2011–2014, ФГБУ «ВСЕГЕИ») при поддержке Норвежского нефтяного директората (Oljedirektoratet) и компаний Statoil AS, Concedo AS; Detnorskeoljeselskap AS, Total E&P Russie, Wintershall Holding GmbH и Lukoil Overseas North Shelf AS). В отборе образцов принимали участие А.Е. Голдырев, И.В. Осадчий и Я.А. Осадчая.

**Благодарности:** Авторы благодарны сотруднику АМНГР (Мурманск) Э.В. Сопову за помощь с организацией исследований керна, а также сотрудникам АО «СМНГ», АО «Росгеология», участвовавшим в 2022 г. в обобщении материалов геофизических работ на российском шельфе Баренцева моря: Е.П. Петрушиной, О.Н. Кот, И.В. Аксену, А.Р. Юсуповой, Г.Г. Крюковой и др.

## Evolution of provenance areas and petroleum potential of Barents Sea Mesozoic deposits: dating of clastic zircon from Fersmanovskaya-1 well and paleogeography reconstructions

© 2023 | A.V. Soloviev<sup>1,2</sup>, P.O. Sobolev<sup>3</sup>, O.V. Grushevskaya<sup>1</sup>, E.A. Vasil'eva<sup>4</sup>, D.V. Levochskaya<sup>5</sup>, A.I. Khisamutdinova<sup>2</sup>, I.N. Prokof'ev<sup>1</sup>, S.V. Shimanskiy<sup>6</sup>, M.A. Belova<sup>3</sup>, J.K. Hourigan<sup>7</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia; soloviev@vnigni.ru;

<sup>2</sup>Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; geoaisulu@gmail.com;

<sup>3</sup>A.P. Karpinskiy Russian Geological Research Institute, St. Petersburg, Russia; peter.sobolev@gmail.com; mariya\_mavrenteva@vsegei.ru;

<sup>4</sup>Sevmorneftegeofizika, Murmansk, Russia; VasilevaEA@rusgeology.ru;

<sup>5</sup>Polymetal Management Khabarovsk branch, Khabarovsk, Russia; levochskayaDV@polymetal.ru;

<sup>6</sup>Federal Agency for Mineral Resources (Rosnedra), Moscow, Russia; sshimanskii@rosnedra.gov.ru;

<sup>7</sup>University of California, Santa Cruz, USA; hourigan@ucsc.edu

Received 23.03.2023

Revised 26.03.2023

Accepted for publication 11.04.2023

**Key words:** *the Barents Sea; Mesozoic sedimentary cover; petroleum potential; clastic zircon; U/Pb LA ICP-MS dating; provenance; paleogeography reconstruction.*

**Abstract:** The authors present the results of integrated geological and geophysical data and petroleum potential analysis of the Barents Sea region, as well as the new data of U/Pb (LA ICP-MS) dating and morphological studies of clastic zircon on four Triassic and Jurassic sandstone samples taken from the Fersmanovskaya-1 well (the Barents Sea). These works allowed describing provenance of clastic material for Triassic and Jurassic deposits and update the regional paleogeography reconstructions. In the Middle Triassic, terrigenous material was mainly transported from south – south-east — from the Hercynian structures of Polar Urals and Novaya Zemlya (370–220 Ma), Neoproterozoic sequences of the Timansky orogen, and from the Urals Palaeozoic series composed, among others, of the products of Protourals-Timansky orogen scouring (580–525 Ma). In the Late Triassic, the Urals sources remain prevailing, influence of Neoproterozoic zircon decreases sharply, and role of Caledonian zircons in the amount of sedimentary material increases (450–400 Ma). In Early Jurassic, a new source of the Paleoproterozoic zircon (1.95–1.8 Ma) appears in the scouring areas. There were no considerable changes in Middle Jurassic. Therefore, Jurassic transportation of clastic material to the Barents Sea region could take place from south to north and/or from south-east to north-west.

*For citation:* Soloviev A.V., Sobolev P.O., Grushevskaya O.V., Vasil'eva E.A., Levochskaya D.V., Khisamutdinova A.I., Prokof'ev I.N., Shimanskii S.V., Belova M.A., Hourigan J.K. Evolution of provenance areas and petroleum potential of Barents Sea Mesozoic deposits: dating of clastic zircon from Fersmanovskaya-1 well and paleogeography reconstructions. *Geologiya nefi i gaza*. 2023;(3):105–124. DOI: 10.41748/0016-7894-2023-3-105-124. In Russ.

*Funding:* The research was carried out at the expense of the Russian Science Foundation, project 22-27-00440. Part of the research was carried out within the framework of the multi-client project "Basin analysis and petroleum system modeling of the Russian Barents Sea Basin" (2011-2014, VSEGEI with the support of the Norwegian Petroleum Directorate (Oljedirektoratet) and Statoil AS, Concedo AS; Detnorskeoljeselskap AS, Total E&P Russie, Wintershall Holding GmbH and Lukoil Overseas North Shelf AS). Samples were collected by A.E. Goldyrev, I.V. Osadchiy and Ya.A. Osadchaya.

*Acknowledgments:* The authors thank their colleague E.V. Sopov (AMNGR, Murmansk) for his assistance in arranging the core studies, an also to employees of AO SMNG (AO Rosgeologiya) who participated in 2022 in integration of geophysical data over the Russian shelf of the Barents Sea: E.P. Petrushina, O.N. Kot, I.V. Aksenov, A.R. Yusupov, G.G. Kryukova and others.

## Введение

Баренцевоморский регион является одним из ключевых объектов для решения проблемы тектонической эволюции Северного Ледовитого океана. Изучение геологии Баренцева моря имеет и прикладной интерес в связи с его нефтегазоносностью (рис. 1). В 2022 г. в ФГБУ «ВНИГНИ» завершено крупное региональное обобщение<sup>1</sup>. На российском шельфе Баренцева моря выполнены значительные объемы сейсморазведочных работ МОВ ОГТ 2D и 3D, гравиметрические и магнитометрические наблюдения, пробурено 34 скважины на 14 структурах и открыто 5 месторождений УВ: Мурманское, Северо-Кильдинское, Штокмановское, Лудловское и Ледовое (см. рис. 1).

Реконструкция возраста и состава источников сноса обломочного материала для мезозойских отложений Арктики является актуальной задачей [1–6]. Определение возраста единичных зерен циркона прецизионными геохронологическими методами открывает новые возможности для изучения терригенных пород. Циркон — минерал, широко распространенный в обломочных породах и весь-

ма устойчивый к выветриванию и разрушению. Для датирования отдельных обломочных зерен циркона применен U/Pb (LA ICP-MS)-метод [7]. Типоморфизм и морфологические особенности цирконов позволяют определить физико-химические условия (температура, давление, агпаитность) образования размываемых комплексов и несут важную информацию об источниках сноса [8, 9].

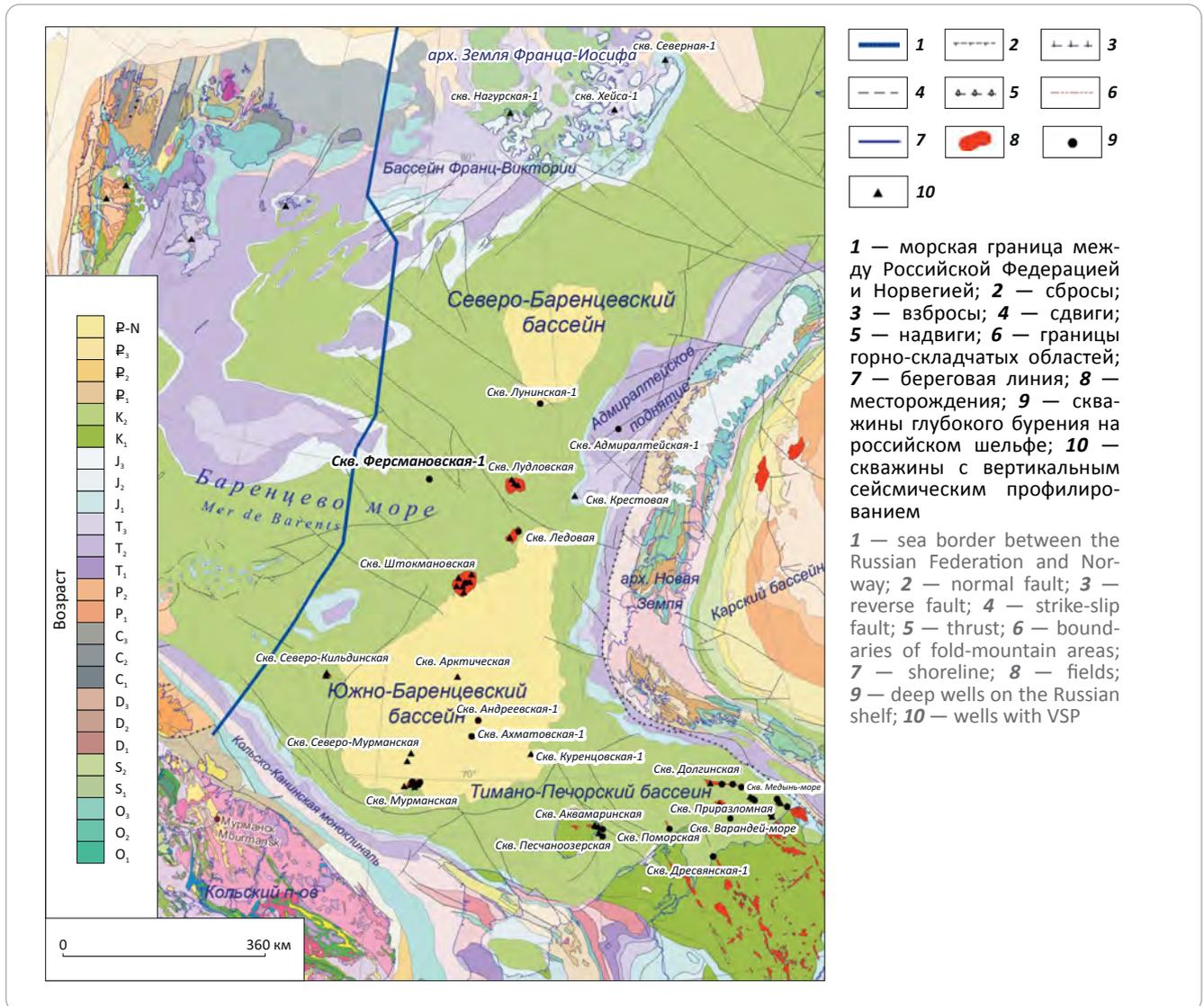
В данной статье приведены результаты комплексного анализа геолого-геофизических материалов и литературных данных, а также новые данные U/Pb (LA ICP-MS)-датирования и морфологического изучения обломочных цирконов из четырех образцов песчаников триас-юрских отложений, вскрытых скв. Ферсмановская-1 (Баренцево море). Это позволило охарактеризовать источники сноса обломочного материала для триас-юрских отложений, уточнить региональные палеогеографические реконструкции.

## Мезозойские отложения Баренцевоморского региона

Мезозойские отложения слагают верхнюю часть осадочного чехла в Баренцевоморском регионе. Они исследованы по материалам морского бурения [11, 12], по результатам изучения обнажений на арх. Шпицберген [13, 14], на островах Медвежий и Надежды [13], на западе арх. Новая Земля [15], о-ве Колгуев, п-ове Канин, а также в скважинах на архипелагах Земля Франца-Иосифа [16] и Шпиц-

<sup>1</sup>Грушевская О.В., Васильева Е.А., Петрушина Е.П., Кот О.Н. и др. Создание региональной сети опорных геолого-геофизических профилей с целью изучения геологического строения, структуры и оценки перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов Баренцева моря: отчет в рамках государственного задания Федерального агентства по недропользованию. — ФГБУ «ВНИГНИ», 2022.

Рис. 1. Упрощенная геологическая карта Баренцева море (с изменениями и добавлениями по [10])  
 Fig. 1. Simplified geological map of the Barents Sea (adapted from [10])



берген, на о-ве Колгуев. Мезозойский комплекс сложен мощной толщей преимущественно терригенного состава (аргиллиты, алевролиты и песчаники) с подчиненным количеством карбонатов (рис. 2–4).

Отложения **триасовой системы** вскрыты скважинами на архипелагах Земля Франца-Иосифа [16] и Шпицберген, на о-ве Колгуев и на шельфе Баренцева моря (см. рис. 2). Триасовые отложения норвежской части Баренцева моря изучены по результатам исследования морских скважин [14]. Мощность триасовых отложений варьирует от 690 до 3800 м и более [12]. В пределах рассматриваемого региона отложения триаса представлены тремя отделами: нижним, средним и верхним. В пределах Баренцевоморского региона триасовые отложения сложены терригенными разнофациальными осадками (см. рис. 2). Перерыв в осадконакоплении триасовых отложений отмечается в позднем норвегии [12]. Анализ литологических характеристик триасовых отложений показал, что обломочный материал поступал в Баренцевоморский бассейн с Северозе-

мельской, Новоземельско-Уральской, Балтийской и Западно-Шпицбергенской палеосуш [12].

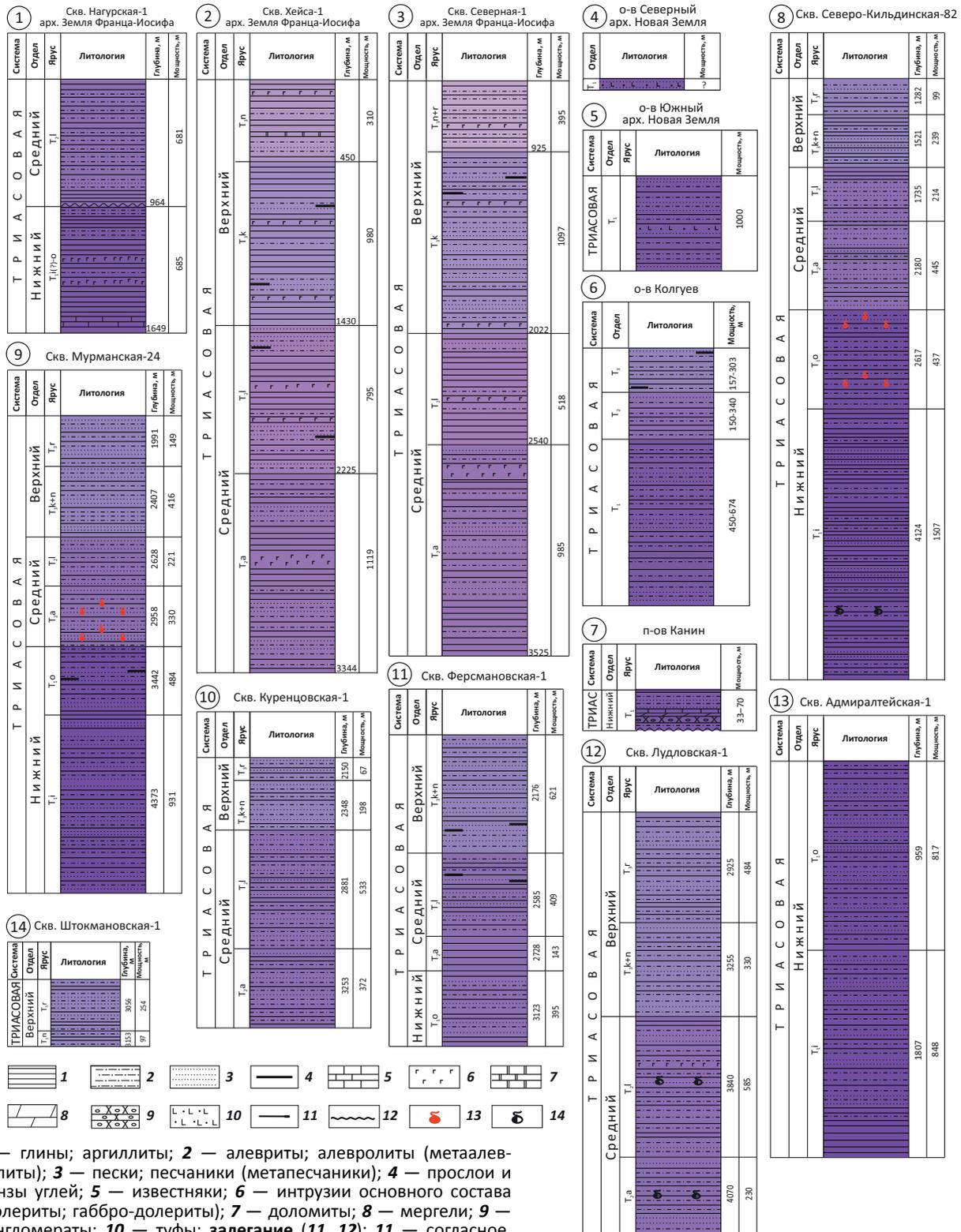
**Юрско-меловые отложения** осадочного чехла шельфа Баренцева моря имеют мощность до 3200 м (см. рис. 3, 4). В целом юрско-меловые отложения формировались в континентальных, мелководно-морских и морских условиях. Они представлены в основном песчаниками, алевролитами и глинистыми породами [12].

**Юрские отложения** повсеместно распространены на шельфе Баренцева моря и изучены по материалам бурения на шельфе, арх. Шпицберген, а также на о-ве Колгуев (см. рис. 3). Породы юры залегают на подстилающем триасовом комплексе с признаками эрозионного среза. Нижнеюрский комплекс отложений накапливался, по всей видимости, в условиях низкого стояния моря с редкими эвстатическими колебаниями. В целом среднеюрские отложения образуют четыре крупных трансгрессивно-регрессивных цикла, которые в свою



**Рис. 2.** Литологические колонки триасовых отложений по результатам бурения и описания обнажений на материковом обрамлении (Грушевская и др., 2022 ф<sup>1</sup>)

**Fig. 2.** Lithological columns of Triassic deposits according to drilling and outcrop description results on continental margins (Grushevskaya et al., 2022 ф<sup>1</sup>)



Источники по номерам колонок: 1–3 — [16, 17], 4 — Сакулина Т.С. и др., 2007 ф<sup>2</sup>, [18], 5 — Сакулина Т.С. и др., 2007 ф<sup>2</sup>, 6 — [19], 7 — [20], 8–14 — Комарницкий В.М. и др., 1991 ф<sup>3</sup>.

Legend for Fig. 2, end

1 — clay; claystone; 2 — silt; siltstone (meta-siltstone); 3 — sand; sandstone (meta-sandstone); 4 — coal members and partings; 5 — limestone; 6 — basic intrusions (dolerite; gabbro-dolerite); 7 — dolomite; 8 — marl; 9 — conglomerate; 10 — tuff; occurrence (11, 12): 11 — concordant, 12 — discordant; HC inflow (13, 14): 13 — commercial, 14 — non-commercial.

Sources by column number: 1–3 — [16, 17], 4 — Sakulina T.S. et al., 2007 ф<sup>2</sup>, [18], 5 — Sakulina T.S. et al., 2007 ф<sup>2</sup>, 6 — [19], 7 — [20], 8–14 — Komarnitsky V.M. et al., 1991 ф<sup>3</sup>.

очередь подразделяются на разное число более мелких секвенций<sup>1</sup>.

Оксфордский и кимериджский ярусы верхней юры представлены черными и темно-коричневыми породами с высоким содержанием  $C_{орг}$  (12–16 %), объединенными под общим названием «черные глины». Битуминозные глины, по всей видимости, накапливались в глубоководных морских условиях и являются реперным горизонтом.

В Баренцевоморском регионе меловые отложения изучены по материалам бурения как на шельфе, так и в скважинах и обнажениях на материковом обрамлении (см. рис. 4). В юго-восточной части исследуемой площади отложения мела представлены нижним и верхним отделами, а на оставшейся территории — только нижним отделом<sup>1</sup>. В скв. Ферсмановская-1 породы берриасса – валанжина несогласно залегают на отложениях верхней юры.

В последние годы появились данные датирования и изучения обломочных цирконов из мезозойских отложений Баренцева моря<sup>4</sup> [5, 6, 21, 22], бассейна Свердруп [1], архипелагов Шпицберген [3] и Земля Франца-Иосифа [4, 23].

### Нефтегазоносность мезозойских отложений Баренцева моря

Осадочные бассейны Баренцева моря обладают высоким нефтегазовым потенциалом. С точки зрения нефтегазогеологического районирования западная часть Баренцевоморского шельфа приурочена к Западно-Баренцевской нефтегазоносной провинции (НПП), восточная — к Восточно-Баренцевской НПП, а южная — к Кольско-Канинской СПНГО и Тимано-Печорской НПП<sup>1</sup>. Нефтегазоносность доказана открытием крупных и уникальных месторождений УВ, а также нефтегазопрооявлениями в разрезах скважин (см. рис. 1). Основная часть запасов УВ приурочена к триасовым и юрским тер-

ригенным породам различного генезиса (рис. 5; см. рис. 2, 3).

В российском секторе Баренцева моря доказана промышленная газоносность триасового нефтегазоносного комплекса на Северо-Кильдинском (Финмаркенская нефтегазоносная область (НГО)) и Мурманском (Южно-Баренцевская НГО) месторождениях, нефтеносность на Песчаноозерском и Таркском месторождениях о-ва Колгуев. В норвежском секторе в триасовом нефтегазоносном комплексе открыты месторождения Обесум, Эльбрус, Скругард, Норварг, Верверис и др., а также залежи УВ Голиаф, Йохан Кастберг и Вистинг. В юрском нефтегазоносном комплексе в пределах российского сектора Баренцева моря обнаружены газоконденсатные Штокмановское, Ледовое и газовое Лудловское месторождения. В норвежском секторе известны месторождения Корпфьелл, Вистинг и группы месторождений Сновит, Голиаф и Йохан Кастберг. В российском секторе Баренцевоморского шельфа промышленная перспективность мелового нефтегазоносного комплекса не доказана. В разрезе данного нефтегазоносного комплекса известны газо- и нефтепроявления, аномалии типа «яркое пятно». В норвежском секторе Баренцева моря в меловых отложениях найдено месторождение Мирсилде, а также две непромышленные залежи.

Скважина Ферсмановская-1, которой вскрыт полный разрез мезозойских отложений, пробурена в Свальбардской потенциальной нефтегазоносной области (ПНГО) Западно-Баренцевской НПП, однако признаков УВ не обнаружено.

### Характеристика изученных образцов из скв. Ферсмановская-1

Скважина Ферсмановская-1 (рис. 6) пробурена производственным объединением «Арктикморнефтегазразведка» (АМНГР, Мурманск) в 1988–1991 гг. Она расположена в центральной части Баренцева моря (глубина моря в точке заложения скважины 174,4 м), в присводовой части Ферсмановской структуры, и вскрывает разрез меловых, юрских и триасовых отложений до глубины 3123 м (здесь и далее все глубины отсчитываются от уровня стола ротора, альтитуда ротора 22 м). Разрез охарактеризован шламом и частично керном из меловых, юрских и триасовых отложений. Образцы для исследования были отобраны из керна скважины с разных глубинных и стратиграфических уровней (см. рис. 6).

Отметим, что анализ литологического состава отложений в скв. Ферсмановская показывает накопление в триасовое время ритмично переслаиваю-

<sup>2</sup>Сакулина Т.С., Рослов Ю.В., Иванова Н.М., Верба М.Л. и др. Проведение комплексных геолого-геофизических исследований (сейсморазведочных МОВ ОГТ, КМПВ ГСЗ, НСАП, гравиметрических, магнитометрических, газо-геохимических) на опорном профиле 4-АР (п-ов Таймыр — Земля Франца-Иосифа) с целью изучения глубинного строения и уточнения перспектив нефтегазоносности Баренцево-Карского плиты и зон ее сочленения с сопредельными тектоническими структурами / Фонды ФГУНПП «Севморгео» — СПб., 2007.

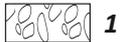
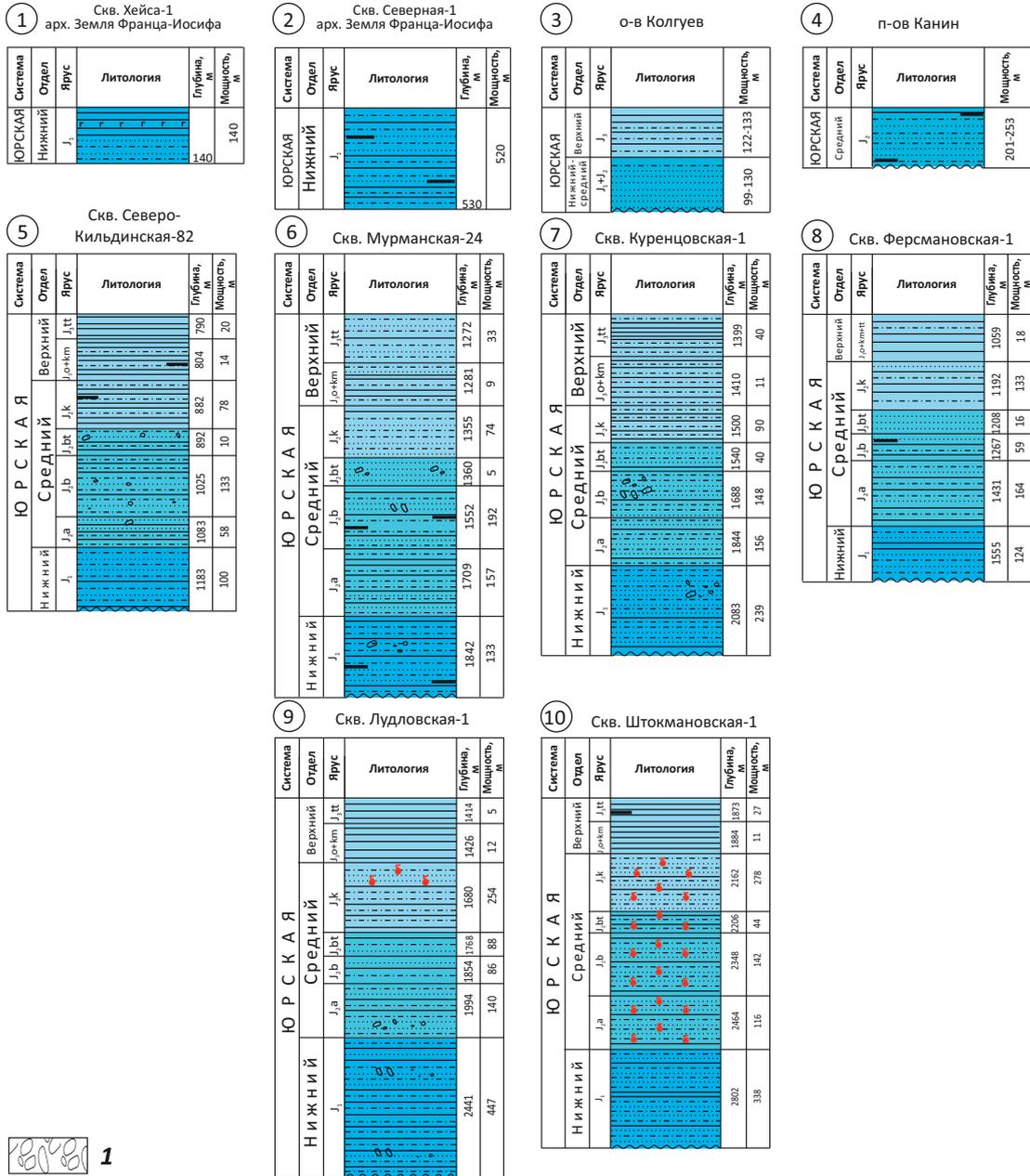
<sup>3</sup>Комарницкий В.М., Евсюков В.Г., Таныгин И.А. и др. Стратиграфические таблицы поисковых и разведочных скважин, пробуренных на нефть и газ ПО «Арктикморнефтегазразведка» (по состоянию на 01.06.91 г.): каталог / Фонды АО «Арктикморнефтегазразведка», — Мурманск, 1991.

<sup>4</sup>Петров Е.О. Условия формирования мезозойских отложений Баренцевоморского региона: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — М., 2010. — 25 с.



**Рис. 3.** Литологические колонки юрских отложений по результатам бурения и описания обнажений на материковом обрамлении (Грушевская О.В. и др., 2022 ф<sup>1</sup>)

**Fig. 3.** Lithological columns of Jurassic deposits according to drilling and outcrop description results on continental margins (Grushevskaya O.V. et al., 2022 ф<sup>1</sup>)



1 — галечники.

Источники по номерам колонок: 1–2 — [16, 17], 3 — [19], 4 — [20], 5–10 — (Комарницкий В.М. и др., 1991 ф<sup>3</sup>).

Остальные усл. обозначения см. на рис. 2

1 — shingle.

Sources by column number: 1–2 — [16, 17], 3 — [19], 4 — [20], 5–10 — (Komarnitsky V.M. et al., 1991 ф<sup>3</sup>).

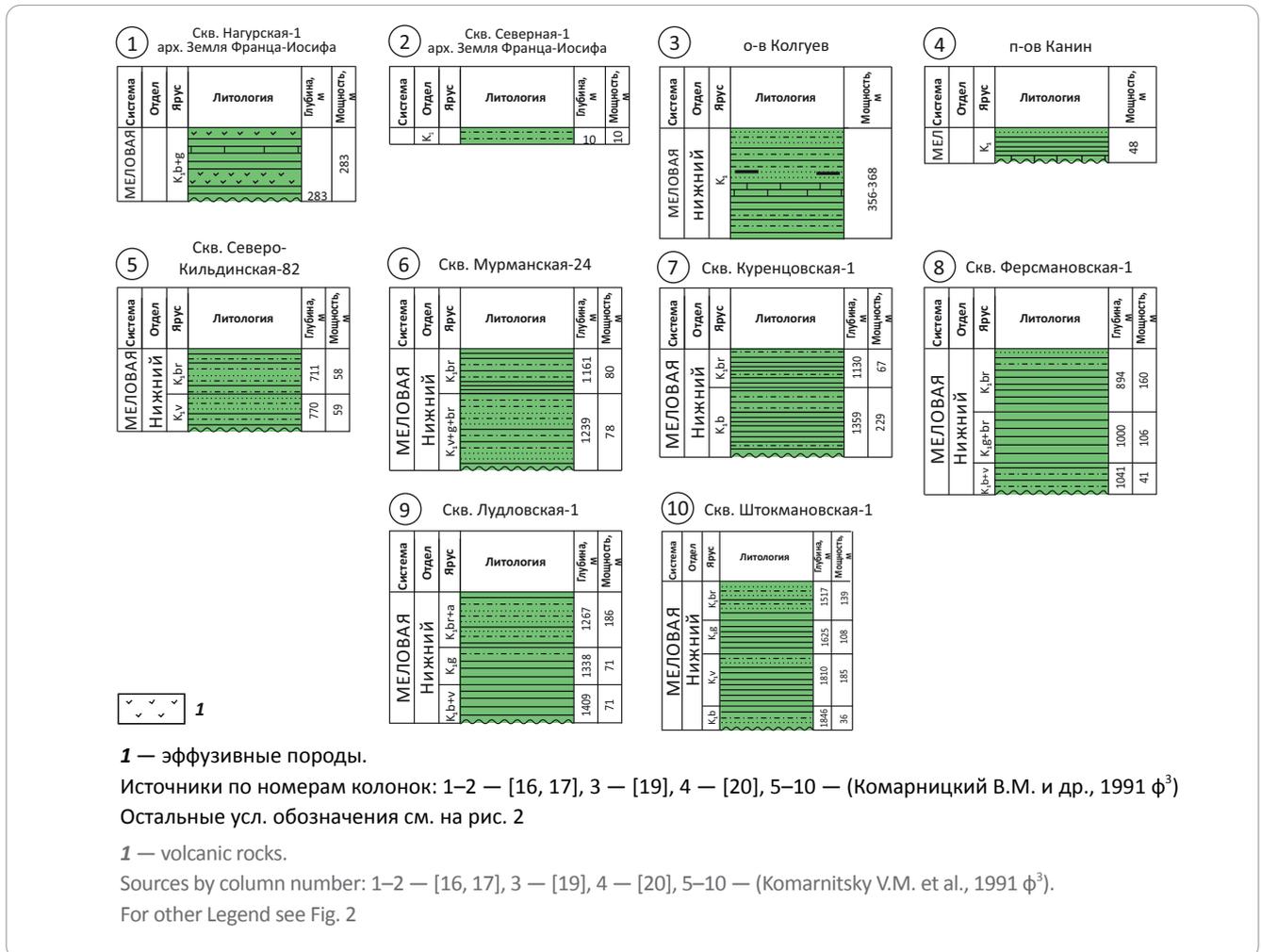
For other Legend items see Fig. 2

щихся песчаных разностей с аргиллит-алевритовыми отложениями. В ранней юре отмечается усиление сноса более песчаных пород, а с келловейского времени в средней юре формируются более тонкозернистые разности (см. рис. 6).

Образец F1-6 отобран с глубины 2426 м (см. рис. 6) из песчаников, возраст которых определен как ранний ладинский ярус среднего триаса (T<sub>2</sub>1<sub>1</sub>) (здесь и далее использованы стратиграфические разбивки из отчетов ФГУП «Арктикморнефтегаз-

**Рис. 4.** Литологические колонки меловых отложений по результатам бурения и описания обнажений на материковом обрамлении (Грушевская О.В. и др., 2022 ф<sup>1</sup>)

**Fig. 4.** Lithological columns of Cretaceous deposits according to drilling and outcrop description results on continental margins (Grushevskaya O.V. et al., 2022 ф<sup>1</sup>)



разведка»<sup>5</sup>, полученные на основе биостратиграфических (фаунистических и палинологических) определений из образцов керна. Это тонко-мелкозернистый кварцевый граувакковый песчаник с карбонатным цементом (≈ 25 %). Обломочная часть представлена кварцем, полевым шпатом, слюдой и обломками пород. Содержание кварца составляет ≈ 35 %, полевого шпата — 5 %, размер зерен — 0,1–0,2 мм. Обломки пород составляют около 60 % (преимущественно микрокварциты, иногда кристаллические сланцы и обломки эффузивных пород). Цемент карбонатный, пелитоморфный, на цемент приходится 25 % площади шлифа. Пористость — около 5 %, размер пор — 0,3–0,6 мм, поры не сообщаются, в цементе, предположительно, вторичные.

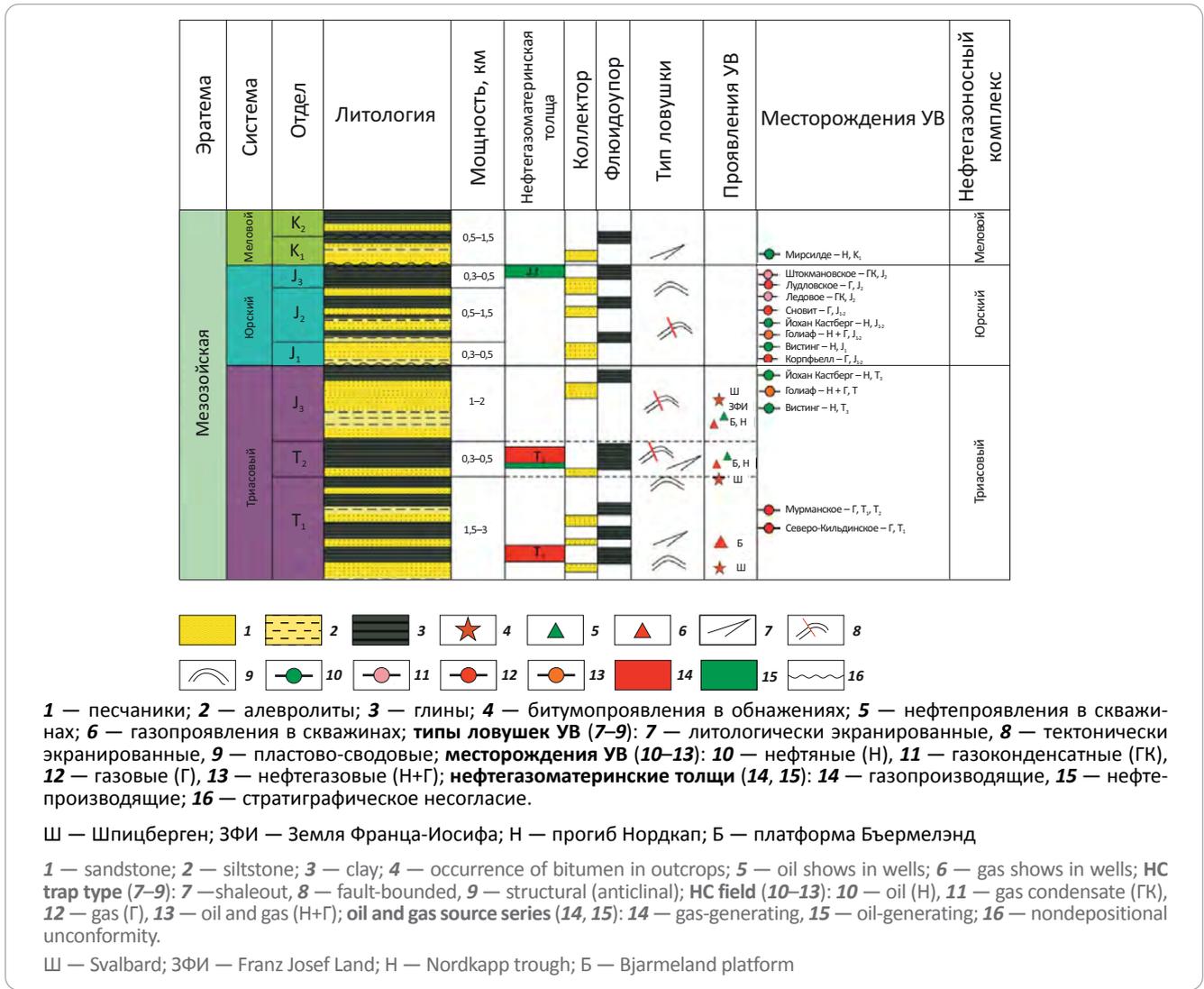
Образец F1-20 отобран с глубины 1744,5 м (см. рис. 6) из песчаников карнийского яруса позднего

триаса (Т<sub>3</sub>к). Песчаники кварц-граувакковые с карбонатным мелкокристаллическим цементом (15 %). Обломочная часть сложена кварцем (40 %), пелитизированным и серицитизированным полевым шпатом (15 %), слюдой (до 1 %) и обломками пород (45 %), представленными микрокварцитами, кремнями, эффузивами. Цемент карбонатный, мелкокристаллический. Межзерновые поры размером 0,2–0,3 мм составляют примерно 5 % площади шлифа.

Образец F1-19 отобран с глубины 1550 м (см. рис. 6) из псаммитов плинсбахского и тоарского ярусов ранней юры (J<sub>1p-t</sub>). Средне-мелкозернистый кварцевый граувакковый песчаник со слюдой и сидеритовым цементом (15 %). Содержание кварца составляет 50 % обломочной части, размер зерен — 0,2–0,4 мм. Содержание полевого шпата составляет 15 %, хорошо диагностируется по наличию спайности (иногда наблюдается серицитизация по зернам), размер зерен — 0,2–0,28 мм. Обломки пород (40 %) представлены микрокварцитами, эффузивными и глинистыми породами, кремнями. В образце содержится до 9 % слюды. Цемент сидеритовый, контурный, сплошной равномерный, мелкокри-

<sup>5</sup>Киреев Г.И., Руденко М.Н., Шахова И.А. и др. Комплексная обработка материалов бурения скважин Баренцевоморского региона (скважины № 1-Адмиралтейская, № 1-Крестовая, № 1-Арктическая, № 1-Ферсмановская): отчет по Государственному контракту № 01/12/70-5 от 18 июня 2008 г. – ФГУП "Арктикоморнефтегазразведка", 2009.

**Рис. 5.** Нефтегазоносные комплексы мезозоя Баренцевоморского бассейна (по материалам Д.А. Нориной<sup>6</sup> с дополнением (Грушевская О.В. и др., 2022 ф<sup>1</sup>))  
**Fig. 5.** Mesozoic plays of the Barents Sea basin (according to D.A. Norina<sup>6</sup>, complemented (Grushevskaya O.V. et al., 2022 ф<sup>1</sup>))



сталлический, на него приходится 15 % площади шлифа. Поровое пространство составляет примерно 10 % общей площади шлифа.

Образец F1-17 отобран с глубины 1367 м (см. рис. 6) из средне-мелкозернистых кварцево-полимиктовых песчаников байосского яруса средней юры (J<sub>2</sub>b). Обломочная часть представлена кварцем, полевыми шпатами, слюдами и составляет 70 %. Угловатые, реже до полуокруглых, зерна кварца составляют 50 %, полевого шпата — 15 %, обломки пород (кремни, кварциты, кремнистые сланцы, редко эффузивы и аргиллиты) — 32 %. Встречаются лейциты слюды и хлорита (3 %). Глинистый по составу цемент присутствует в межзерновом пространстве.

В образцах песчаников обычно присутствуют малые количества аксессуарных минералов: циркона, граната, лейкоксена и сфена.<sup>6</sup>

<sup>6</sup>Норина Д.А. Строение и нефтегазоматеринский потенциал пермско-триасовых терригенных отложений Баренцевоморского шельфа: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М., 2014. – 208 с.

**Методы и результаты исследований**

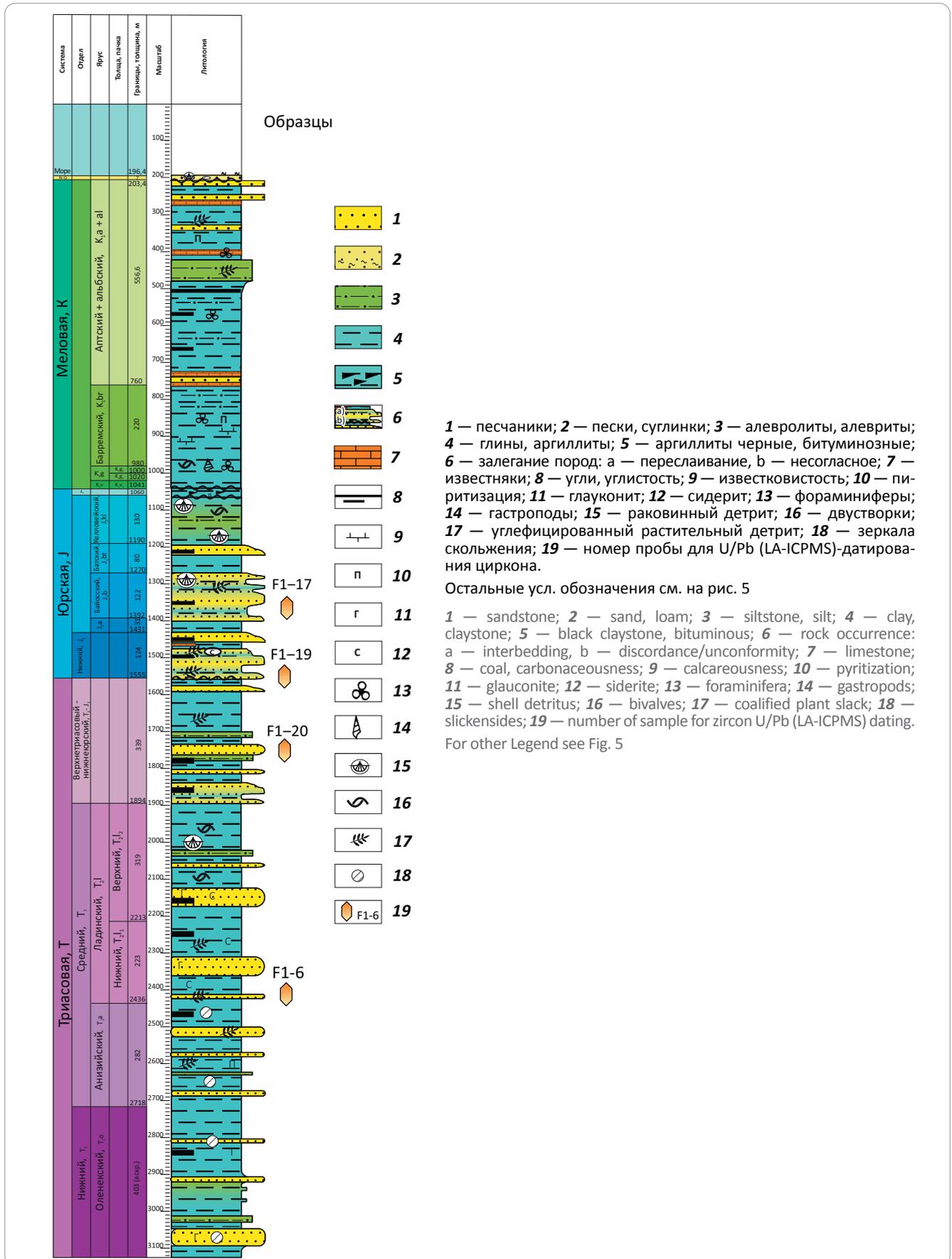
Выделение циркона проводилось минералогической группой Института геологии и геохронологии докембрия РАН.

**Анализ морфологии обломочных цирконов.** Анализ и подсчет морфологических типов осуществлялись только по идиоморфным зернам, содержание которых составляет 10–35 % всех зерен циркона. Подсчет проводился с использованием стереомикроскопа Meiji ZOOM серии RZ-B, позволяющего получать четкое изображение с высоким разрешением и без искажения при 300-кратном увеличении. Для удобства подсчета исходная классификация цирконов [8] модифицирована. В группы объединялись морфологические типы со сходным строением без учета коэффициента удлинения, каждая из объединенных групп носит название по левому верхнему морфологическому типу в классификации [8] (таблица).

В пробе F1-6 циркон бесцветный и бледно-желтый, с преобладанием бесцветного, также присут-

Рис. 6. Литолого-стратиграфический разрез скв. Ферсмановская-1 (с изменениями и дополнениями по Кирееву Г.И. и др., 2009<sup>5</sup>)

Fig. 6. Lithologic and stratigraphic column of the Fersmanovskaya-1 well (adapted from Kireev G.I. et al., 2009<sup>5</sup>)





**Таблица.** Содержания цирконов различных морфологических типов [8] в керне скв. Ферсмановская-1 (Баренцево море) (морфологический анализ циркона Д.В. Левочкиной), %

**Table.** Zircons of different morphological types [8] in core from the Fersmanovskaya-1 well (the Barents Sea) (zircon morphological analysis by D.V. Levochsky), %

Номер образца	Глубина отбора, м	Возраст	Морфологический тип																	N
			AB1	H	L1	L3	L4	G1	Q2	S6	S7	S9	S15	S19	S21	S22	S24	S25	R5	
F1-6	2426	T <sub>2</sub> L <sub>1</sub>	0	14,9	29,3	0	4,3	0	0	14,9	16,1	2,5	8,1	2,5	0	0	1,2	6,2	0	161
F1-20	1744,5	T <sub>3</sub> + J <sub>1</sub>	0	15	32	6	7	2	0	3	7	12	6	1	0	3	4	2	0	100
F1-19	1550	J <sub>1</sub>	0	8,4	31,3	0,8	10,1	0	0,8	10,1	11,8	6,7	5,9	0	0,8	3,4	3,4	6,5	0	119
F1-17	1367	J <sub>2</sub> b	0,6	10,5	34,1	0	9,9	0	0	4,9	7,4	8,6	8	0,6	0	1,9	4,9	8	0,6	162

N — число подсчитанных зерен.

Обозначения морфологических типов соответствуют объединенным полям: AB1 = AB1, H = H + Q1, L1 = L1 + L2 + S1 + S2, L3 = L3 + S3, L4 = L4 + L5 + S4 + S5, G1 = G1 + P1, I = I + R1, Q2 = Q2 + Q3 + Q4, S6 = S6 + S11 + S16, S7 = S7 + S8 + S12 + S13 + S17 + S18, S9 = S9 + S10 + P2 + S14, S15 = S15 + P3 + S20 + P4, S19 = S19, S21 = S21 + J1, S22 = S22 + S23 + J2 + J3, S24 = S24 + J4, S25 = S25 + P5 + J5 + D, R5 = R5 + F.

N is a number of grains accounted for.

The morphological type designations correspond to the combined fields: AB1 = AB1, H = H + Q1, L1 = L1 + L2 + S1 + S2, L3 = L3 + S3, L4 = L4 + L5 + S4 + S5, G1 = G1 + P1, I = I + R1, Q2 = Q2 + Q3 + Q4, S6 = S6 + S11 + S16, S7 = S7 + S8 + S12 + S13 + S17 + S18, S9 = S9 + S10 + P2 + S14, S15 = S15 + P3 + S20 + P4, S19 = S19, S21 = S21 + J1, S22 = S22 + S23 + J2 + J3, S24 = S24 + J4, S25 = S25 + P5 + J5 + D, R5 = R5 + F.

ствуют единичные субизометричные окатанные зерна с корродированными поверхностями бледно-розового цвета и одиночные удлиненные бледно-розовые зерна с окатанными вершинками и ребрами. Отмечаются редкие цирконы с игольчатыми и изометричными коричневыми и черными вростками (рутил). Идиоморфные зерна, пригодные для анализа морфологии, составляют 15–20 % всех обломочных цирконов (рис. 7 А; см. таблицу).

В образце F1-20 преобладает бледно-желтый циркон, встречается бесцветный, отмечаются единичные бледно-розовые зерна. Эвгедральные цирконов около 30 % (см. таблицу).

Цирконы из пробы F1-19 имеют цвет от бесцветного до бледно-желто-оранжевого, преобладают бледно-желтые, прозрачные зерна. В зернах отмечены неравномерно распределенные вростки черного, черно-коричневого, оранжевого-коричневого рутила (?) в виде иголок. На идиоморфные зерна приходится 10–15 % всех обломочных цирконов (см. таблицу).

Цвет цирконов в образце F1-17 варьирует от бесцветного до оранжево-желтого, резко преобладают прозрачные бледно-желтые цирконы. Единичные зерна имеют оттенок ржавчины с полупрозрачными и непрозрачными участками. Отмечаются редкие окатанные бледно-розовые зерна. В отдельных зернах наблюдаются точечные или игольчатые вростки коричневого, оранжево-коричневого рутила. Среди обломочных цирконов наблюдается около 30–35 % эвгедральных зерен (см. таблицу; см. рис. 7 В).

В результате анализа кристалломорфологии установлено, что во всех пробах доминируют цирконы морфологических типов H, L1, L4, S6, S7, S9, S15, S25. Согласно диаграмме [24], цирконы этих типов характерны для следующих пород: H и L — высокоглиноземистых гранитов S-типа, L4 — гибридных монзонитов и щелочных гранитов, S6 и S7 — известково-щелочных гранитов, S9 — конта-

минированных субщелочных и щелочных гранитов, S15 — субщелочных и щелочных серий гранитов I типа, S25 — щелочных гранитоидов I типа и толеитовых гранитов. Среди изученных идиоморфных цирконов преобладают цирконы из высокоглиноземистых гранитов (H и L1) — 40–47 %.

**U/Pb-датирование возраста цирконов с применением лазерной абляции (LA ICP-MS).** Обломочные цирконы, выделенные из керна скв. Ферсмановская-1, датированы U/Pb-методом с помощью лазерной абляции в лаборатории Университета Калифорнии (г. Санта-Круз, UCSC), оборудованной ICP-MS-спектрометром Element XR с высоким разрешением магнитного сектора и лазерным спектрометром Photon Machines Analyte.H с эксимерным лазером с длиной волны 193 нм и камерой Helex-2. Методика датирования подробно изложена в работе [4].

Из каждого образца было датировано по 100 зерен обломочных цирконов (приложение 1). Построение графиков выполнялось в программе ISOPLOT 3.0 [25]. Для анализа использовались зерна, для которых были получены конкордантные аналитические данные. К дискордантным отнесены анализы, для которых значение  $(^{207}\text{Pb}-^{235}\text{U-возраст}/^{207}\text{Pb-корректированный } ^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U-возраст} - 1) \cdot 100$  % составило более 10 %. Во всех образцах возрасты цирконов распределены в широких возрастных диапазонах (рис. 8). Все образцы содержат цирконы мезозойского, палеозойского и докембрийского возраста в разных процентных соотношениях (см. рис. 8).

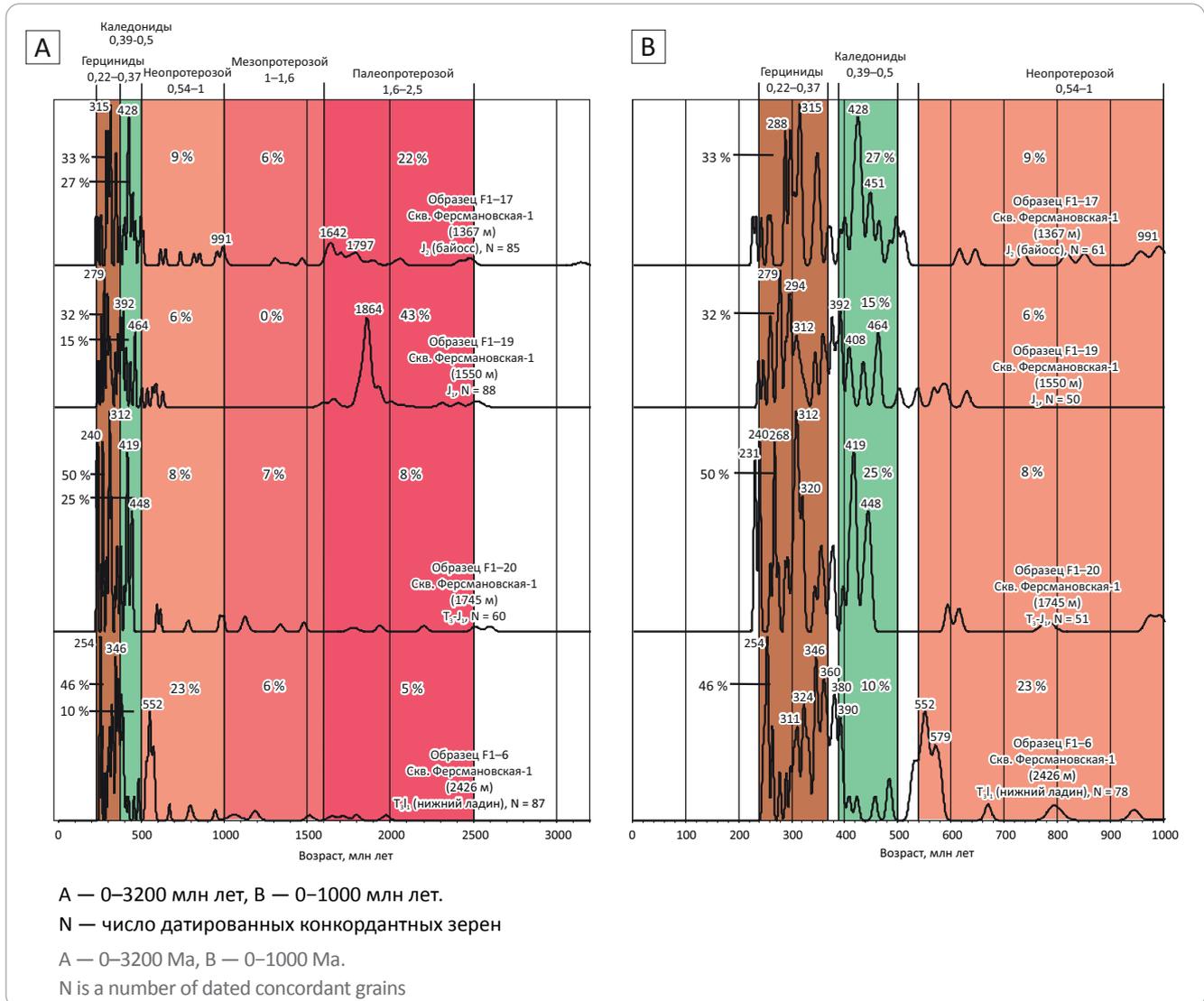
В песчанике образца F1-6 присутствует молодая популяция цирконов возрастом  $248,8 \pm 6,3$  млн лет (здесь и далее погрешность вычисления возраста составляет  $\pm 2\sigma$  по трем зернам), который немного древнее возраста осадконакопления отложений, определенного биостратиграфическими методами как ранний ладинский ярус среднего триаса. Эти данные позволяют предполагать, что одним из





**Рис. 8.** Нормализованные графики плотности вероятности (частоты встречаемости) обломочных цирконов в образцах из скв. Ферсмановская-1 в координатах

**Fig. 8.** Diagrams of normalized probability density (incidence) of clastic zircon in the samples from the Fersmanovskaya-1 well on the scale of



источников циркона был активный вулканизм (и/или магматизм) в обрамлении Баренцевоморского бассейна в конце раннего – начале среднего триаса. В образце присутствуют цирконы следующих возрастных интервалов — 245–260 млн лет с локальным максимумом на кривой плотности вероятности (пиком) 254 млн лет, 310–400 млн лет с главным пиком 346 млн лет и второстепенными пиками 311, 324, 356, 360, 364, 380, 385, 390 млн лет, 530–580 млн лет — с главным пиком 552 млн лет и меньшими пиками 531, 543, 569, 579 млн лет. Цирконы с возрастом древнее 600 млн лет присутствуют в виде единичных зерен и не образуют статистически значимых пиков, в которые бы попадало  $\geq 3$  близковозрастных кристалла (см. рис. 8).

В образце F1–20 отмечено большое число цирконов (37 зерен), для которых получены дискордантные аналитические данные. Наиболее молодая популяция циркона с возрастом  $231,5 \pm 1,3$  млн лет (три зерна), по-видимому, определяет нижнюю

границу времени осадконакопления и хорошо согласуется с возрастом отложений, датированных карнийским веком позднего триаса. Возраст обломочных цирконов распределен в интервале от 230 до 450 млн лет и имеет локальные максимумы — 231, 240, 268, 306, 312, 320, 411, 419 (максимум), 448 млн лет (см. рис. 8). Цирконы древнее 500 млн лет единичны.

В образце F1–19 отсутствует популяция цирконов, близких по возрасту к осадконакоплению песчаников, происходившему в ранней юре. Палеозойских цирконов меньше, чем в двух предыдущих образцах, и они распределены в интервалах: 240–320 млн лет с максимумами 275, 279, 289, 294, 298, 312 млн лет, 340–420 млн лет с максимумами 377, 392, 408 млн лет (см. рис. 8). Отмечается пик 464 млн лет. В образце F1–19 впервые появляется значительное количество (33 % всех датированных зерен) докембрийских цирконов с возрастом 1780–1960 млн лет и максимумом 1864 млн лет.

Образец F1–17 не содержит цирконов, синхронных осадконакоплению, а цирконы мезозойского возраста единичны (см. рис. 8). Палеозойские цирконы распределены в интервалах: 280–320 млн лет с максимумами 288, 315, 318 млн лет и 415–455 млн лет с максимумами 418, 424, 428, 432, 451 млн лет. Докембрийские цирконы представлены в интервалах 985–1000 млн лет со средним значением 991 млн лет, 1600–1680 млн лет с максимумом 1642 млн лет и 1715–1820 — 1703, 1797 млн лет.

**Сопоставление возраста и морфологии цирконов.** Анализ морфологии обломочных цирконов был проведен также по изображениям, полученным при помощи катодолюминесцентного детектора, смонтированного на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM 5600. Четкой корреляции между морфологией цирконов и их возрастом не установлено. Так, идиоморфные цирконы, характерные для высокоглиноземистых гранитов (H и L1) [24], имеют разный возраст.

#### Статистический анализ геохронологических данных

Для статистического анализа данных строились кумулятивные кривые — интегральные функции распределения возраста (рис. 9), затем применялся статистический тест Колмогорова – Смирнова [26]. Этот тест ( $P(KS)$ ) позволяет выяснить, являются ли две независимые группы наблюдений выборками из одного и того же распределения. Суть метода заключается в оценке различий между двумя интегральными функциями распределения. Если вероятность низкая,  $P(KS) < 0,05$ , то различия между двумя распределениями значительны и образцы по возрасту обломочных цирконов не идентичны. Кроме того, если  $P(KS) \gg 0,05$ , то распределения возраста цирконов в образцах идентичны и отличаются только благодаря случайным вариациям.

Результаты применения теста Колмогорова – Смирнова для образцов из скв. Ферсмановская-1 приведены в таблице и на рис. 9. Значения, которые с вероятностью не менее 95 % проходят тест ( $P(KS) \gg \gg 0,05$ ), выделены желтым цветом, а это значит, что распределения возраста цирконов в изученных образцах идентичны. Согласно тесту Колмогорова – Смирнова, возраст цирконов из образцов F1–6 и F1–20 схож (см. рис. 9), что с высокой степенью вероятности может означать, что источники сноса для этих образцов были аналогичными. Распределение возраста обломочных цирконов в образце F1–19 существенно отличается от распределений, характерных для образцов F1–6 и F1–20. В образце F1–19 впервые появляется ярко выраженная палеопротерозойская популяция 1780–1960 млн лет. Эти данные подтверждают, что в ранней юре в область активной эрозии были выведены комплексы протерозойского возраста. Распределение возраста обломочных цирконов в образце F1–17 более похоже на распределения в образцах F1–6 и F1–20, чем на распределение в образце F1–19, но степень этого

сходства (значение  $P$  составляет всего 0,024 и 0,031 соответственно) существенно ниже порогового значения (см. рис. 9). Таким образом, можно констатировать, что влияние палеопротерозойского источника цирконов в средней юре (байос) значительно ниже, чем в ранней юре.

#### Эволюция источников сноса обломочного материала

В изученных образцах из скв. Ферсмановская-1 существенно преобладают цирконы палеозойского и мезозойского (в значимых количествах присутствуют только в одном образце F1–20) возраста, нео-, мезо- и палеопротерозойские цирконы присутствуют в незначительном количестве, архейские — фактически отсутствуют. Только в одном образце (F1–19) отмечена существенная в количественном плане популяция палеопротерозойского возраста.

Только в образце F1–19 отмечено 2 зерна архейского возраста ( $> 2,5$  млрд лет), поэтому источники сноса архейского возраста не играли существенной роли в накоплении триас-юрских отложений в Баренцевом море.

Цирконы палеопротерозойского возраста (2,5–1,6 млрд лет) в среднетриасовых (F1–6) и верхнетриасовых (F1–20) отложениях присутствуют в виде единичных зерен (5 и 8 % всех датированных цирконов соответственно). В ранней юре (F1–19) роль палеопротерозойского источника резко возрастает (43 %), а затем ослабевает в средней юре (F1–17) (22 %). Источником сноса цирконов палеопротерозойского возраста, скорее всего, являлся Восточно-Европейский кратон [27–30], хотя кристаллические комплексы этого возрастного диапазона известны и для севера Лаврентии [31].

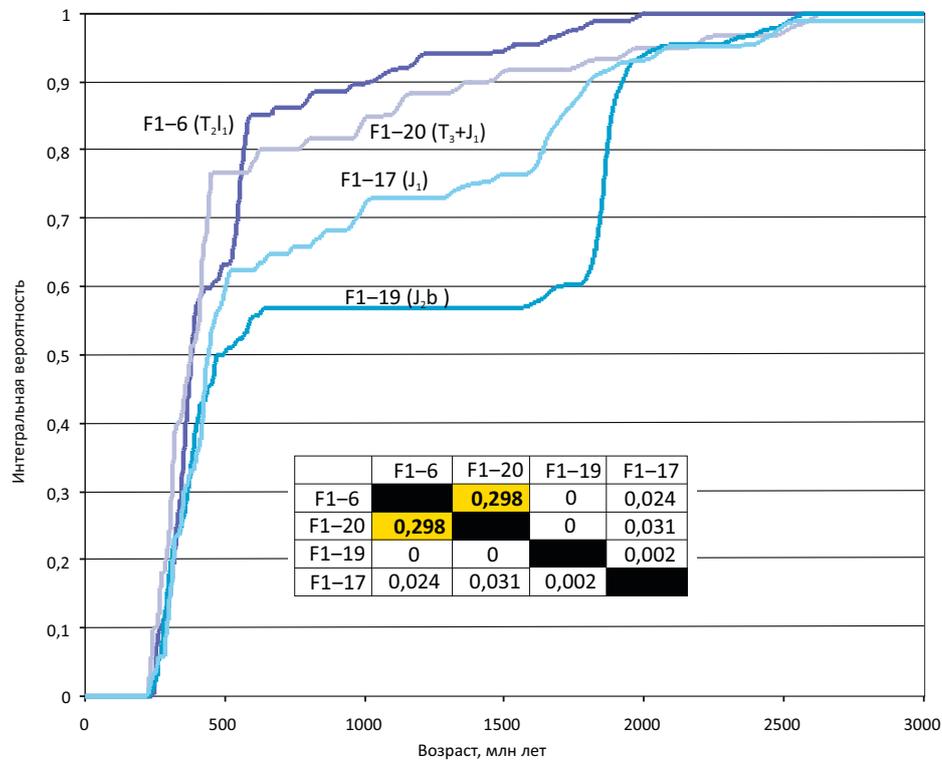
Цирконы мезопротерозойского возраста (1,6–1 млрд лет) во всех образцах (F1–6 (6 %), F1–20 (7 %), F1–19 (0 %), F1–17 (6 %)) единичны либо отсутствуют. Источником сноса этих цирконов также могли быть Свеко-Норвежская область Восточно-Европейского кратона [27], Земля Франца-Иосифа [32] и север Лаврентии [31]. Гренвильские (1,14–0,9 млрд лет) цирконы также единичны (F1–6 — 3 %, F1–20 — 7 %, F1–19 — 0 %, F1–17 — 5 %). Цирконы мезопротерозойского и гренвильского возраста могли происходить не только из кристаллических комплексов, но и из осадочных толщ в пределах Восточно-Европейской платформы, Урала, Шпицбергена [29, 33, 34]. Источники сноса мезопротерозойского и гренвильского возраста не оказывали значимого влияния на седиментацию в центральной части Баренцева моря в триасовое и юрское время. Отметим, что в раннеюрском образце (F1–19) абсолютно отсутствуют мезопротерозойские и гренвильские цирконы. Это может означать, что их источники были полностью «подавлены» размывом протерозойских комплексов.

Неопротерозойские (1–0,54 млрд лет) цирконы поступали в осадок в значительном количестве



**Рис. 9.** Кривые интегральной вероятности распределения возраста обломочных цирконов из образцов скв. Ферсмановская-1 (Баренцево море)

**Fig. 9.** Integral probability distribution curves for the age of clastic zircons from the Fersmanovskaya-1 well (the Barents Sea)



В таблице приведен результат применения критерия Колмогорова – Смирнова ( $P(KS)$ ).

$P(KS) \gg 0,05$  — распределения идентичны (жирный шрифт, желтый цвет);  $P(KS) < 0,05$  — распределения неидентичны (белый цвет)

The table demonstrates the result of Kolmogorov-Smirnov test ( $P(KS)$ ) application.

$P(KS) \gg 0.05$  — distributions are similar (bold font, yellow cell);  $P(KS) < 0.05$  — distributions differ (white cell)

только в среднем триасе (F1-6 — 23 %), затем их количество закономерно падает в позднем триасе и ранней юре (F1-20 — 8 %, F1-19 — 6 %) и несколько возрастает в средней юре (F1-17 — 9 %). Неопротерозойский магматизм, связанный с тиманским орогенезом, является существенным источником цирконов этого возраста в Баренцевоморском регионе [29].

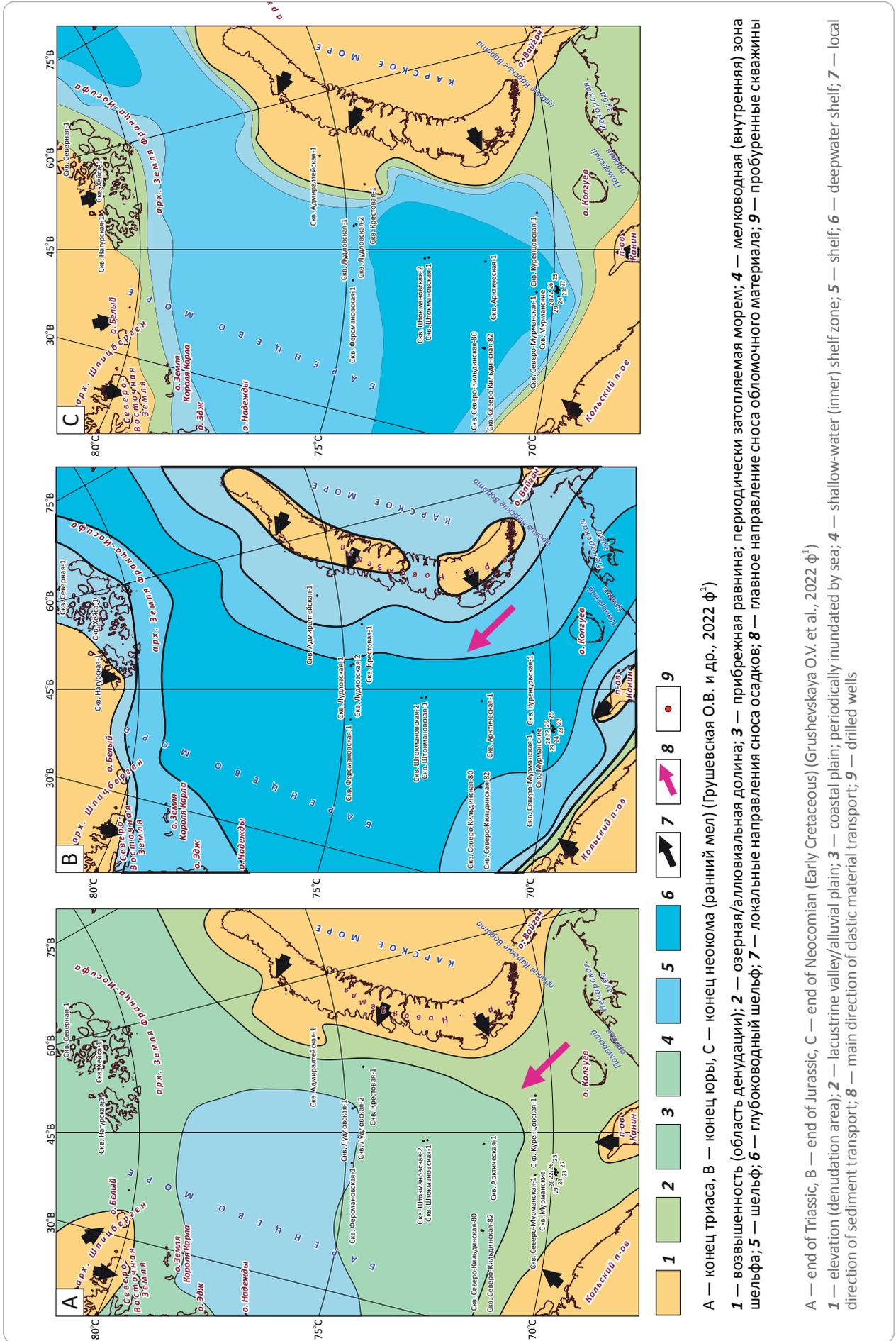
Роль цирконов, связанных с каледонским (500–390 млн лет) этапом, закономерно повышается от среднего триаса (F1-6 — 10 %) к позднему триасу и началу юры (F1-20 — 25 %), затем снижается в ранней юре (F1-19 — 15 %) и вновь возрастает в средней юре (F1-17 — 27 %). Таким образом, каледонские комплексы постепенно выводились в область эрозии начиная со среднего триаса и играли существенную роль при размыве в позднем триасе. В ранней юре снос цирконов каледонского возраста, по-видимому, ослабевает и затем вновь усиливается в поздней юре. Магматические и метаморфические породы, сформированные в интервале 500–590 млн лет, известны в скандинавских каледонидах [35], на Урале [36], Шпицбергене [34], островах архипелага Северная Земля [37].

Цирконы возрастного интервала 370–220 млн лет образуют наиболее значимый пик в образцах от среднего триаса (F1-6 — 46 %) до начала юры (F1-20 — 50 %). В ранней (F1-19 — 32 %) и средней юре (F1-17 — 33 %) влияние источников с рассматриваемыми возрастными интервалами ослабевает. Эти цирконы связаны с магматизмом герцинского (уральского) этапа, проявления которого известны на Полярном Урале и на Таймыре [34].

По данным датирования обломочных цирконов из скв. Ферсмановская-1 можно реконструировать эволюцию источников сноса для центральной части Баренцева моря в период со среднего триаса до средней юры. В среднем триасе (ладиний) доминирует снос терригенного материала с герцинских структур Полярного Урала и Новой Земли, также значимым источником неопротерозойских цирконов был, по-видимому, Тиманский ороген. Также возможно переотложение неопротерозойских цирконов из базальных горизонтов уралид [33] и из уральской молассы [38]. Обломочный материал поставлялся с юга, юго-востока (рис. 10 А), о чем также свидетельствуют направления падения клиноформ и простираения русловых каналов в отложениях триаса [6]. В позднем триасе уральские



**Рис. 10.** Палеогеографические реконструкции источников сноса для отложений Баренцева моря  
**Fig. 10.** Paleogeography reconstructions of provenance areas for the deposits in the Barents Sea



источники остаются главными, резко сокращается влияние неопротерозойских комплексов и возрастает количество цирконов каденонского возраста. В ранней юре в областях размыва появляется новый источник палеопротерозойских цирконов. Цирконы палеопротерозойского возраста в обилии присутствуют в рифейских песчаниках Тимана [28], а кристаллические комплексы палеопротерозойского возраста широко представлены в фундаменте Восточно-Европейской платформы. В средней юре не происходит существенных изменений, несколько падает роль палеопротерозойских и возрастает число каледонских цирконов. Таким образом, снос обломочного материала в юре в регион Баренцева моря мог происходить с юга на север и/или с юго-востока на северо-запад (см. рис. 10 В). В конце неокома (нижний мел) уменьшается площадь глубоководного шельфа и свойственное ему осадконакопление остается только в Южно-Баренцевоморской впадине (см. рис. 10 С).

### Выводы

1. Проведен морфологический анализ и U/Pb (LA ICP-MS)-датирование обломочных цирконов из четырех образцов песчаников триас-юрских отложений, вскрытых скв. Ферсмановская-1 (Баренцево море). Анализ кристалломорфологии обломочных цирконов показал, что в источниках сноса присутствовали высокоглиноземистые граниты.

2. По данным U/Pb (LA ICP-MS)-датирования цирконов показана смена возрастных популяций и предложен один из вариантов эволюции источников сноса для центральной части Баренцева моря со среднего триаса до средней юры. В соответствии с предложенным вариантом, в среднем триасе ос-

новной снос терригенного материала происходил с юга – юго-востока, с герцинских структур Полярного Урала и Новой Земли (370–220 млн лет), с неопротерозойских комплексов Тиманского орогена и из палеозойских толщ Урала, сложенных в том числе и продуктами размыва Протоуральско-Тиманского орогена (580–525 млн лет). В позднем триасе уральские источники остаются главными, резко уменьшается влияние неопротерозойских и возрастает роль каледонских цирконов (450–400 млн лет). На рубеже триаса и юры происходит крупная тектоническая перестройка на обширной территории Баренцевоморского шельфа: активное прогибание Южно-Баренцевской синеклизы одновременно с ростом Новоземельского орогена. Активный орогенез привел к интенсивному сжатию восточного борта Восточно-Баренцевского мегапрогиба. В ранней юре в областях размыва появляется новый источник палеопротерозойских цирконов (1,95–1,8 млрд лет). В средней юре не происходит существенных изменений, несколько снижается роль палеопротерозойских и возрастает количество каледонских цирконов. Таким образом, снос обломочного материала в юре в регион Баренцева моря мог происходить с юга на север и/или с юго-востока на северо-запад.

3. Комплексный анализ геолого-геофизических материалов Баренцевоморского региона позволил охарактеризовать источники сноса обломочного материала для триас-юрских и меловых отложений, уточнить региональные палеогеографические реконструкции. Основная часть запасов УВ шельфа Баренцева моря приурочена к триасовым и юрским терригенным породам различного генезиса.

Приложение 1. Результаты U-Pb (LA-ICPMS) изотопных анализов обломочных цирконов из образцов скв. Ферсмановская-1 (Баренцево море) размещено по адресу: <https://oilandgasgeology.ru/solovev-3-2023/>.

### Литература

1. Miller E.L., Toro J., Gehrels G., Amato J.M., Prokoviev A., Tuchkova M.I., Akinin V.V., Dumitru T.A., Moore T.E., Cecile M.P. New Insights into Arctic paleogeography and tectonics from U-Pb detrital zircon geochronology // *Tectonics*. – 2006. – Т. 25. – № 3. – 19 с. DOI: 10.1029/2005TC001830.
2. Miller E.L., Soloviev A.V., Prokoviev A.V., Toro J., Harris D., Kuzmichev A.B., Gehrels G.E. Triassic river systems and the paleo-Pacific margin of northwestern Pangea // *Gondwana Research*. – 2013. – Т. 23. – № 4. – С. 1631–1645. DOI: 10.1016/j.gr.2012.08.015.
3. Bue E.P., Andresen A. Constraining depositional models in the Barents Sea region using detrital zircon U-Pb data from Mesozoic sediments in Svalbard // *Sediment Provenance Studies in Hydrocarbon Exploration and Production*. Geological Society London Special Publication. – 2014. – Т. 386. – № 1. – С. 261–279. DOI: 10.1144/SP386.14.
4. Соловьев А.В., Зайончек А.В., Супруненко О.И., Брекке Х., Фалеиде Дж.И., Рожкова Д.В., Хисамутдинова А.И., Столбов Н.М., Хоуриган Дж.К. Эволюция источников сноса триасовых отложений архипелага Земля Франца-Иосифа: U/Pb LA-ICPMS датирование обломочных цирконов из скважины Северная // *Литология и полезные ископаемые*. – 2015. – № 2. – С. 113–128. DOI: 10.7868/S0024497X15020056.
5. Khudoley A.K., Sobolev N.N., Petrov E.O., Ershova V.B., Makariev A.A., Makarieva E.V., Gaina C., Sobolev P.O. A reconnaissance provenance study of Triassic–Jurassic clastic rocks of the Russian Barents Sea // *GFF*. – 2019. – Т. 141. – № 4. – С. 263–271. DOI: 10.1080/11035897.2019.1621372.
6. Gilmullina A., Klausen T.G., Doré A.G., Sirevaag H., Suslova A., Haug E.C. Arctic sediment routing during the Triassic: sinking the Arctic Atlantis // *Journal of the Geological Society*. – 2022. – Т. 180. – № 1. DOI: 10.1144/jgs2022-018.
7. Gehrels G. Detrital Zircon U-Pb Geochronology: Current Methods and New Opportunities // *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances*: сб. науч. тр. – Oxford: Wiley-Blackwell, 2011. – С. 47–62.
8. Pupin J.P. Zircon and granite petrology // *Contribution to Mineralogy and Petrology*. – 1980. – Т. 73. – № 3. – С. 207–220. DOI: 10.1007/BF00381441.

9. Zircon // Review in Mineralogy and Geochemistry / Под ред. J.M. Hanchar, P.W.O. Hoskin. – V. 53. – 2003. – 500 p.
10. Harrison J.C., St-Onge M.R., Petrov O.V., Strelnikov S.I., Lopatin B.G., Wilson F.H., Tella S., Paul D., Lynds T., Shokalsky S.P., Hulst C.K., Bergman S., Jepsen H.F., Solli A. Geological map of the Arctic. Geological Survey of Canada. Map 2159 A. – 2011.
11. Бро Е.Г., Пчелина Т.М., Преображенская Э.Н., Ронкина З.З., Войцеховская А.Г., Краснова В.Л., Можаяева О.В. Осадочный чехол Баренцевоморского шельфа по данным параметрического бурения на островах // Проблемы нефтегазоносности Мирового океана сб. науч. тр. – М. : Наука, 1989. – С. 191–197.
12. Басов В.А., Василенко Л.В., Вискунова К.Г., Кораго Е.А., Корчинская М.В., Куприянова Н.В., Пovyшева Л.Г., Преображенская Э.Н., Пчелина Т.М., Столбов Н.М., Суворова Е.Б., Супруненко О.И., Суслова В.В., Устинов Н.В., Устрицкий В.И., Фефилова Л.А. Эволюция обстановок осадконакопления Баренцево-Северо-Карского палеобассейна в фанерозое [Электронный ресурс] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2009. – Т. 4. – № 1. – Режим доступа: [http://www.ngtp.ru/rub/2/3\\_2009.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/2/3_2009.pdf) (дата обращения 06.02.2023).
13. Пчелина Т.М. История триасового осадконакопления на Шпицбергене и прилегающем шельфе // Стратиграфия и палеонтология мезозойских осадочных бассейнов Севера СССР : сб. науч. тр. – Л. : ПГО «Севморгеология», 1985. – С. 135–152.
14. Mørk M.B.E. Compositional variations and provenance of Triassic sandstones from the Barents Shelf // Journal of Sedimentary Research. – 1999. – Т. 69. – № 3. – С. 690–710. DOI: 10.2110/jsr.69.690.
15. Устрицкий В.И. Триасовые и верхнепермские отложения полуострова Адмиралтейства (Новая Земля) // Литология и палеогеография Баренцева и Карского морей; сб. науч. тр. – Л. : НИИГА, 1981. – С. 55–65.
16. Преображенская Э.Н., Школа И.В., Корчинская М.В. Стратиграфия триасовых отложений архипелага Земля Франца-Иосифа (по материалам параметрического бурения) // Стратиграфия и палеонтология мезозойских осадочных бассейнов Севера СССР: сб. науч. тр. – Л. : ПГО «Севморгеология», 1985. – С. 5–15.
17. Шипилов Э.В., Тарасов Г.А. Региональная геология нефтегазоносных осадочных бассейнов Западно-Арктического шельфа России. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1998. – 306 с.
18. Васильев В.В., Вискунова К.Г., Кийко О.А., Козлов С.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист Т41–44 — мыс Желания. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. – 200 с.
19. Бро Е.Г. Параметрические скважины на острове Колгуев // Советская геология. – 1988. – № 3. – С. 82–88.
20. Лопатин Б.Г., Астафьев Б.Ю., Вискунова К.Г., Воинова О.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист R-37, 38 — м. Святой Нос, м. Канин Нос. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. – 251 с.
21. Fleming E.J., Flowerdew M.J., Smyth H.R., Scott R.A., Morton A.C., Omma J.E., Frei D., Whitehouse M.J. Provenance of Triassic sandstones on the southwest Barents Shelf and the implication for sediment dispersal patterns in northwest Pangaea // Marine and Petroleum Geology. – 2016. – Т. 78. – С. 516–535. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2016.10.005.
22. Klausen T.G., Müller R., Sláma J., Helland-Hansen W. Evidence for Late Triassic provenance areas and Early Jurassic sediment supply turnover in the Barents Sea Basin of northern Pangaea // Lithosphere. – 2017. – Т. 9. – № 1. – С. 14–28. DOI: 10.1130/L556.1
23. Ershova V., Prokopiev A., Stockli D., Kurapov M., Kosteva N., Rogov M. et al. Provenance of the Mesozoic succession of Franz Josef Land (north-eastern Barents Sea): Paleogeographic and tectonic implications for the High Arctic // Tectonics. – 2022. – Т. 41. – № 11. – 27 с. DOI: 10.1029/2022TC007348.
24. Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly S.Y. Zircon crystal morphology, trace element signatures and Hf isotope composition as a tool for petrogenetic modelling: examples from Eastern Australian granitoids // Journal of Petrology. – 2006. – Т. 47. – № 2. – С. 329–353. DOI: 10.1093/ptrology/egi077.
25. Ludwig K.R. User's manual for Isoplot 3.0: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Spec. Pub. 4. – Berkeley Geochronology Center, Berkeley, California. – 2003. – 71 с.
26. Guynn J., Gehrels G. Comparison of Detrital Zircon Age Distributions Using the K-S Test. 2010. [Электронный ресурс]. – <https://sites.google.com/a/laserchron.org/laserchron/home> (дата обращения 15.02.2023).
27. Bogdanova S.V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T.N., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Volozh Yu.A. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia // Precambrian Research. – 2008. – Т. 160. – № 1–2. – С. 23–45. DOI: 10.1016/j.precamres.2007.04.024.
28. Кузнецов Н.Б., Натапов Л.М., Белоусова Е.А. Первые результаты U/Pb датирования и изотопно-геохимического изучения детритных цирконов из позднедокембрийских песчаников Южного Тимана (увал Джежим-Парма) // Доклады АН. – 2010. – Т. 435. – № 6. – С. 798–805.
29. Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Alekseev A.S., Romanyuk T.V. New data on detrital zircons from the sandstones of Lower Cambrian Brusov Formation (White-Sea region, East-European craton): unraveling the timing of the onset of the Arctida-Baltica collision // International Geology Review. – 2014. – Т. 56. – № 16. – С. 1945–1963. DOI: 10.1080/00206814.2014.977968.
30. Mints M.V., Dokukina K.A., Konilov A.N., Philippova I.B., Zlobin V.L. et al. East European Craton: Early Precambrian History and 3D Models of Deep Crustal Structure // Geological Society of America. Special Paper 510. – 2015. – 467 с.
31. Henriksen N., Higgins A.K., Kalsbeek F., Pulvertaft T.C.R. Greenland from Archean to Quaternary. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin // Geological Magazine. – 2003. – Т. 140. – № 5. – С. 615–616. DOI: 10.1017/S0016756803248342.
32. Lorenz H., Gee D.G., Larionov A.N., Majka J. The Grenville–Sveconorwegian orogen in the high Arctic // Geological Magazine. – 2012. – Т. 149. – № 5. – С. 875–891. DOI: 10.1017/S0016756811001130.
33. Соболева А.А., Кузнецов Н.Б., Миллер Э.Л., Удоратина О.В., Герелс Дж., Романюк Т.В. Первые результаты U/Pb-датирования детритных цирконов из базальных горизонтов уралид (Полярный Урал) // Доклады РАН. – 2012. – Т. 415. – № 5. – С. 570–576.
34. Pettersson C.H., Pease V., Frei D. Detrital zircon -Pb ages of Silurian-Devonian sediments from NW Svalbard: A fragment of Avalonia and Laurentia? // Journal of the Geological Society of London. – 2010. – Т. 167. – № 5. – С. 1019–1032. DOI: 10.1144/0016-76492010-062.
35. Bingen B., Solli A. Geochronology of magmatism in the Caledonian and Sveconorwegian belts of Baltica: synopsis for detrital zircon provenance studies // Norwegian Journal of Geology. – 2009. – Т. 89. – № 4. – С. 267–290.

36. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа : ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
37. Lorenz H., Gee D.G., Whitehouse M.J. New geochronological data on Paleozoic igneous activity and deformation in the Severnaya Zemlya Archipelago, Russia, and implications for the development of the Eurasian Arctic margin // *Geological Magazine*. – 2007. – Т. 144. – № 1. – С. 105–125. DOI: 10.1017/S001675680600272X.
38. Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Миллер Э.Л., Удортина О.В., Герелс Дж., Романюк Т.В. Первые U/Pb-датировки детритных цирконов из песчаников среднего и верхнего палеозоя Полярного Урала: тестирование региональных тектонических моделей // *Доклады РАН*. – 2013. – Т. 451. – № 2. – С. 183–188. DOI: 10.7868/S0869565213200206.

## References

1. Miller E.L., Toro J., Gehrels G., Amato J.M., Prokopiev A., Tuckkova M.I., Akinin V.V., Dumitru T.A., Moore T.E., Cecile M.P. New Insights into Arctic paleogeography and tectonics from U-Pb detrital zircon geochronology. *Tectonics*. 2006;25(3): 19 p. DOI: 10.1029/2005TC001830.
2. Miller E.L., Soloviev A.V., Prokopiev A.V., Toro J., Harris D., Kuzmichev A.B., Gehrels G.E. Triassic river systems and the paleo-Pacific margin of northwestern Pangea. *Gondwana Research*. 2013. 23(4):1631–1645. DOI: 10.1016/j.gr.2012.08.015.
3. Bue E.P., Andresen A. Constraining depositional models in the Barents Sea region using detrital zircon U-Pb data from Mesozoic sediments in Svalbard. Sediment Provenance Studies in Hydrocarbon Exploration and Production. *Geological Society London Special Publication*. 2014;386(1):261–279. DOI: 10.1144/SP386.14.
4. Soloviev A.V., Zaionchek A.V., Suprunenko O.I., Brekke H., Faleide J.I., Rozhkova D.V., Khisamutdinova A.I., Stolbov N.M., Hourigan J.K. Evolution of the provenances of Triassic rocks in Franz Josef Land: U/Pb LA-ICP-MS dating of the detrital zircon from Well Severnaya. *Lithology and Mineral Resources*. 2015;50(2): 113–128. DOI: 10.1134/S0024490215020054.
5. Khudoley A.K., Sobolev N.N., Petrov E.O., Ershova V.B., Makariev A.A., Makarieva E.V., Gaina C., Sobolev P.O. A reconnaissance provenance study of Triassic–Jurassic clastic rocks of the Russian Barents Sea. *GFF*. 2019;141(4):263–271. DOI: 10.1080/11035897.2019.1621372.
6. Gilmullina A., Klausen T.G., Doré A.G., Sirevaag H., Suslova A., Haug E.C. Arctic sediment routing during the Triassic: sinking the Arctic Atlantis. *Journal of the Geological Society*. 2022;180(1) DOI: 10.1144/jgs2022-018.
7. Gehrels G. Detrital Zircon U-Pb Geochronology: Current Methods and New Opportunities. In: *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances* : sb.nauch.tr. Oxford : Wiley-Blackwell, 2011. pp. 47–62.
8. Pupin J.P. Zircon and granite petrology. *Contribution to Mineralogy and Petrology*. 1980;73(3):207–220. DOI: 10.1007/BF00381441.
9. Zircon. In: J.M. Hanchar, P.W.O. Hoskin, eds. *Review in Mineralogy and Geochemistry*. V. 53. 2003. 500 p.
10. Harrison J.C., St-Onge M.R., Petrov O.V., Strelnikov S.I., Lopatin B.G., Wilson F.H., Tella S., Paul D., Lynds T., Shokalsky S.P., Hults C.K., Bergman S., Jepsen H.F., Solli A. Geological map of the Arctic. *Geological Survey of Canada*. Map 2159 A. 2011.
11. Bro E.G., Pchelina T.M., Preobrazhenskaya Eh.N., Ronkina Z.Z., Voitsekhovskaya A.G., Krasnova V.L., Mozhaeva O.V. Osadochnyi chekhol Barentsevomorskogo shel'fa po dannym parametricheskogo bureniya na ostrovakh [Sedimentary cover of the Barents Sea shelf on the results of stratigraphic drilling on the islands]. In: *Problemy neftegazonosnosti Mirovogo okeana sb.nauch.tr*. Moscow: Nauka; 1989. pp. 191–197. In Russ.
12. Basov V.A., Vasilenko L.V., Viskunova K.G., Korago E.A., Korchinskaya M.V., Kupriyanova N.V., Povysheva L.G., Preobrazhenskaya Eh.N., Pchelina T.M., Stolbov N.M., Suvorova E.B., Suprunenko O.I., Suslova V.V., Ustinov N.V., Ustritskii V.I., Fefilova L.A. Evolution of sedimentary environments of the barents-north kara palaeobasins in the phanerozoic. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2009;4(1). Available at: [http://www.ngtp.ru/rub/2/3\\_2009.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/2/3_2009.pdf) (accessed 06.02.2023). In Russ.
13. Pchelina T.M. Istoriya triasovogo osadkonakopleniya na Shpitsbergene i privileyushchem shel'fe. In: *Stratigrafiya i paleontologiya mezozoiskikh osadochnykh basseinov Severa SSSR [History of Triassic sedimentation on the Svalbard and neighbouring shelf // Stratigraphy and paleontology of Mesozoic sedimentary basins in the USSR north]*. Leningrad: PGO “Sevmorgeologiya”; 1985. pp. 135–152. In Russ.
14. Mørk M.B.E. Compositional variations and provenance of Triassic sandstones from the Barents Shelf. *Journal of Sedimentary Research*. 1999. 69(3):690–710. DOI: 10.2110/jsr.69.690.
15. Ustritskii V.I. Triasovye i verkhnepermskie otlozheniya poluostrova Admiralteistva (Novaya Zemlya). In: *Litologiya i paleogeografiya Barentseva i Karskogo morei [Triassic and Upper Permian deposits of the Admiralty Peninsula (Novaya Zemlya)]*. Leningrad: NIIGA, 1981. pp. 55–65. In Russ.
16. Preobrazhenskaya Eh.N., Shkola I.V., Korchinskaya M.V. Stratigrafiya triasovykh otlozhenii arhipelaga Zemlya Frantsa-Iosifa (po materialam parametricheskogo bureniya). In: *Stratigrafiya i paleontologiya mezozoiskikh osadochnykh basseinov Severa SSSR [Stratigraphy of Triassic deposits in the Franz Josef Land Archipelago (according to stratigraphic drilling data)]*. Leningrad: PGO “Sevmorgeologiya”, 1985. pp. 5–15. In Russ.
17. Shipilov Eh.V., Tarasov G.A. Regional'naya geologiya neftegazonosnykh osadochnykh basseinov Zapadno-Arkticheskogo shel'fa Rossii [Regional geology of oil and gas bearing basins on the Russian West Arctic shelf]. *Apatity : Izd-vo KNTS RAN*, 1998. 306 p. In Russ.
18. Vasil'ev V.V., Viskunova K.G., Kiiko O.A., Kozlov S.A. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1: 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Severo-Karsko-Barentsevomorskaya. List T 41–44 — mys Zhelaniya. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). North-Kara and Barents Sea series. Sheet T-41–44 – Cape Zhelaniya]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2013. 200 p. In Russ.
19. Bro E.G. Parametricheskie skvazhiny na ostrove Kolguev [Structural wells on the Kolguev Island]. *Sovetskaya geologiya*. 1988;(3):82–88. In Russ.
20. Lopatin B.G., Astaf'ev B.Yu., Viskunova K.G., Voinova O.A. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1: 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Severo-Karsko-Barentsevomorskaya. List R-37, 38 — m. Svyatoi Nos, m. Kanin Nos. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of Russian Federation. Scale 1: 1 000 000 (third generation). North-Kara and Barents Sea series. Sheet R-37, 38 — Cape Svyatoy Nos, Cape Kanin]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2008. 251 p. In Russ.

21. Fleming E.J., Flowerdew M.J., Smyth H.R., Scott R.A., Morton A.C., Omma J.E., Frei D., Whitehouse M.J. Provenance of Triassic sandstones on the southwest Barents Shelf and the implication for sediment dispersal patterns in northwest Pangaea. *Marine and Petroleum Geology*. 2016;(78):516–535. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2016.10.005.
22. Klausen T.G., Müller R., Sláma J., Helland-Hansen W. Evidence for Late Triassic provenance areas and Early Jurassic sediment supply turnover in the Barents Sea Basin of northern Pangaea. *Lithosphere*. 2017;9(1):14–28. DOI: 10.1130/L556.1
23. Ershova V., Prokopiev A., Stockli D., Kurapov M., Kosteva N., Rogov M. et al. Provenance of the Mesozoic succession of Franz Josef Land (north-eastern Barents Sea): Paleogeographic and tectonic implications for the High Arctic. *Tectonics*. 2022;41(11):27. DOI: 10.1029/2022TC007348.
24. Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly S.Y. Zircon crystal morphology, trace element signatures and Hf isotope composition as a tool for petrogenetic modelling: examples from Eastern Australian granitoids. *Journal of Petrology*. 2006;47(2):329–353. DOI: 10.1093/ptrology/egi077.
25. Ludwig K.R. User's manual for Isoplot 3.0: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Spec. Pub. 4. – Berkeley Geochronology Center, Berkeley, California. 2003. 71 p.
26. Guynn J., Gehrels G. Comparison of Detrital Zircon Age Distributions Using the K-S Test. 2010. Available at: <https://sites.google.com/a/laserchron.org/laserchron/home> (accessed on 15.02.2023).
27. Bogdanova S.V., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T.N., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Volozh Yu.A. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precambrian Research*. 2008;160(1–2):23–45. DOI: 10.1016/j.precamres.2007.04.024.
28. Kuznetsov N.B., Natapov L.M., Belousova E.A. The first results of U/Pb dating and isotope geochemical studies of detrital zircons from the neoproterozoic sandstones of the Southern Timan (Djejm-Parma hill). *Doklady Earth Sciences*. 2010;435(6):798–805. In Russ.
29. Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Alekseev A.S., Romanyuk T.V. New data on detrital zircons from the sandstones of Lower Cambrian Brusov Formation (White-Sea region, East-European craton): unraveling the timing of the onset of the Arctida-Baltica collision. *International Geology Review*. 2014;56(16):1945–1963. DOI: 10.1080/00206814.2014.977968.
30. Mints M.V., Dokukina K.A., Konilov A.N., Philippova I.B., Zlobin V.L. et al. East European Craton: Early Precambrian History and 3D Models of Deep Crustal Structure. *Geological Society of America. Special Paper* 510. 2015;467 p.
31. Henriksen N., Higgins A.K., Kalsbeek F., Pulvertaft T.C.R. Greenland from Archean to Quarternary. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin. Geological Magazine*. 2003;140(5):615–616. DOI: 10.1017/S0016756803248342.
32. Lorenz H., Gee D.G., Larionov A.N., Majka J. The Grenville–Sveconorwegian orogen in the high Arctic. *Geological Magazine*. 2012;149(5):875–891. DOI: 10.1017/S0016756811001130.
33. Soboleva A.A., Kuznetsov N.B., Miller E.L., Udoratina O.V., Gehrels G.E., Romanyuk T.V. First results of U–Pb dating of detrital zircons from basal horizons of uralides (Polar Urals). *Doklady Earth Sciences*. 2012;415(5):570–576. In Russ.
34. Pettersson C.H., Pease V., Frei D. Detrital zircon -Pb ages of Silurian-Devonian sediments from NW Svalbard: A fragment of Avalonia and Laurentia? *Journal of the Geological Society of London*. 2010;167(5):1019–1032. DOI: 10.1144/0016-76492010-062.
35. Bingen B., Solli A. Geochronology of magmatism in the Caledonian and Sveconorwegian belts of Baltica: synopsis for detrital zircon provenance studies. *Norwegian Journal of Geology*. 2009;89(4):267–290.
36. Puchkov V.N. Geologiya Urals i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of Urals and cis-Urals (topical questions of stratigraphy, tectonics, geodynamics, and metallogeny)]. Ufa: DizainPoligraFServis; 2010. 280 p. In Russ.
37. Lorenz H., Gee D.G., Whitehouse M.J. New geochronological data on Paleozoic igneous activity and deformation in the Severnaya Zemlya Archipelago, Russia, and implications for the development of the Eurasian Arctic margin. *Geological Magazine*. 2007;144(1):105–125. DOI: 10.1017/S001675680600272X.
38. Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Miller E.L., Udoratina O.V., Gehrels G.E., Romanyuk T.V. First U-pb datings of detrital zircons from middle and upper paleozoic sandstones of the polar Urals: testing the regional tectonic models. *Doklady Earth Sciences*. 2013;451(2):183–188. DOI: 10.1134/S1028334X1307012X. In Russ.

### Информация об авторах

#### Соловьев Алексей Викторович

Доктор геолого-минералогических наук, профессор,  
заместитель генерального директора

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский  
геологический нефтяной институт»,

105118 Москва, ш. Энтузиастов, д. 36

e-mail: soloviev@vnigni.ru

ORCID ID: 0000-0003-3744-2593

Scopus: 7103242983

#### Соболев Петр Олегович

Ведущий научный сотрудник

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский  
геологический институт им. А.П. Карпинского»,

199106 Санкт-Петербург, Средний пр-кт, д. 74,

e-mail: peter.sobolev@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-7571-9680

Scopus: 8833352400

### Information about authors

#### Aleksei V. Soloviev

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor  
Deputy General Director

All-Russian Research  
geological Oil Institute,

36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia

e-mail: soloviev@vnigni.ru

ORCID ID: 0000-0003-3744-2593

Scopus: 7103242983

#### Petr O. Sobolev

Leading Researcher

Russian Geological Research  
Institute VSEGEI,

74, Sredniy pr., Saint Petersburg, 199106, Russia

e-mail: peter.sobolev@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-7571-9680

Scopus: 8833352400

**Грушевская Олеся Владимировна**

Кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский  
геологический нефтяной институт»,  
105118 Москва, ш. Энтузиастов, д. 36  
e-mail: grushevskaya@vnigni.ru  
ORCID ID: 0000-0003-1645-7518

**Васильева Елена Алексеевна**

Начальник камеральной партии  
АО «Севморнефтегеофизика»,  
183025 Мурманск, ул. Карла Маркса, д. 17  
e-mail: VasilevaEA@rusgeology.ru

**Левочская Дарья Валентиновна**

Начальник отдела поисковых работ  
Хабаровский филиал АО «Полиметалл УК»,  
680000 Хабаровск, ул. Муравьева-Амурского, д. 18  
e-mail: levochskayaDV@polymetal.ru  
ORCID ID: 0009-0000-7310-5100

**Хисамутдинова Айсылу Ильдаровна**

Кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник  
ФГБУН Геологический институт РАН,  
119017 Москва, Пыжевский пер, д. 7, стр. 1  
e-mail: geoaisulu@ginras.ru  
ORCID ID: 0000-0001-5115-4171  
Scopus: 54402964000

**Белова Мария Александровна**

Инженер 1 категории  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский  
геологический институт им. А.П. Карпинского»,  
199106 Санкт-Петербург, Средний пр-кт, д. 74,  
e-mail: mariya\_lavrenteva@vsegei.ru

**Прокофьев Иван Николаевич**

Геолог  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский  
геологический нефтяной институт»,  
105118 Москва, ш. Энтузиастов, д. 36  
e-mail: prokofiev@vnigni.ru  
ORCID ID: 0009-0001-1393-561X

**Шиманский Сергей Владимирович**

Кандидат геолого-минералогических наук,  
Федеральное агентство по недропользованию,  
125993 Москва, ул. Б. Грузинская, д. 4/6, ГСП-3  
e-mail: sshimanskii@rosnedra.gov.ru  
ORCID ID: 0000-0001-9710-9392

**Хоуриган Джереми**

Профессор,  
Калифорнийский университет,  
CA 95064, Santa Cruz, High Street, 1156, США  
e-mail: hourigan@ucsc.edu

**Olesya V. Grushevskaya**

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,  
Senior Researcher  
All-Russian Research  
geological Oil Institute,  
36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia  
e-mail: grushevskaya@vnigni.ru  
ORCID ID: 0000-0003-1645-7518

**Elena A. Vasil'eva**

Head of Cameral Party  
Sevmorneftegeofizika,  
17, ul. Karla Marksa, Murmansk, 183025, Russia  
e-mail: VasilevaEA@rusgeology.ru

**Dar'ya V. Levochskaya**

Head of Prospecting Department  
OCS Polymetal Management Khabarovsk branch,  
18, ul. Muravyova-Amurskogo, Khabarovsk, 680000, Russia  
e-mail: levochskayaDV@polymetal.ru  
ORCID ID: 0009-0000-7310-5100

**Aysylu I. Khisamutdinova**

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,  
Senior Researcher,  
Geological Institute of the Russian Academy of Sciences,  
7, building 1, per. Pyzhyovskiy, Moscow, 119017, Russia  
e-mail: geoaisulu@ginras.ru  
ORCID ID: 0000-0001-5115-4171  
Scopus: 54402964000

**Mariya A. Belova**

1st Category Engineer  
Russian Geological Research  
Institute VSEGEI,  
74, Sredniy pr., Saint Petersburg, 199106, Russia  
e-mail: mariya\_lavrenteva@vsegei.ru

**Ivan N. Prokof'ev**

Geologist  
All-Russian Research  
geological Oil Institute,  
36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia  
e-mail: prokofiev@vnigni.ru  
ORCID ID: 0009-0001-1393-561X

**Sergei V. Shimanskii**

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,  
Federal Agency for Mineral Resources,  
4/6, building 1, ul. Bolshaya Gruzinskaya, Moscow. 125993, Russia  
e-mail: sshimanskii@rosnedra.gov.ru  
ORCID ID: 0000-0001-9710-9392

**Jeremy Hourigan**

Professor  
University of California,  
1156 High Street, Santa Cruz, CA 95064, USA  
e-mail: hourigan@ucsc.edu