

УДК 552.323.5+553.9

DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-5-624-643

## Пермско-триасовые трапповые вулканиды в доюрском фундаменте арктической части Западно-Сибирской платформы

С. В. Берзин, К. С. Иванов, Е. А. Панкрушина, Н. Г. Солошенко

Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН, 620110, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15, e-mail: sbersin@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.06.2022 г., принята к печати 11.08.2022 г.

**Объект исследования.** Пермско-триасовые трапповые вулканиды в фундаменте арктической части Западно-Сибирской платформы залегают преимущественно в грабен-рифтовых структурах. Трапповые вулканиды в данном регионе характеризуются наименьшей изученностью, по сравнению с другими районами их распространения, главным образом из-за значительной глубины залегания (4–6 км и более). **Материалы и методы.** В ходе работы были исследованы 36 образцов керна из 11 сверхглубоких и глубоких скважин. Изотопные отношения измерены на масс-спектрометрах NEPTUNE PLUS (Nd, Sm) и TRITON PLUS (Rb, Sr). Изучение битума производилось при помощи рамановского спектрометра LabRAM HR800 Evolution. Выполнена деконволюция рамановских спектров (процедуры “Peak fitting”) и оценена температура преобразования битума. **Результаты.** Около половины образцов вулканидов подверглись метаморфизму пренит-пумпеллиитовой и местами зеленосланцевой фации или интенсивным низкотемпературным гидротермальным изменениям. По геохимическим характеристикам изученные базальты близки к типичным трапповым базальтам, но имеют некоторое сходство с островодужными вулканидами. Впервые найдены тонкие включения битума в миндалинах пермско-триасовых базальтов в сверхглубокой скважине Тюменская СГ-6 на глубине 7310.6 м. Показано высокое сходство изученных вулканидов по геохимическим характеристикам и изотопному составу Sr и Nd с траппами Сибирской платформы. **Выводы.** Наличие в некоторых проанализированных образцах отрицательной аномалии по Ta, Nb, Ti, а также отрицательной Се-аномалии свидетельствует о возможной контаминации изученных базальтов островодужными вулканидами и вулканогенно-осадочными породами. Температура преобразования битума во включениях в базальтах из скв. Тюменская СГ-6, по данным рамановской спектроскопии, 150–300°C и в целом соответствует температуре метаморфизма вмещающей базальтовой толщи. Присутствие битума в миндалинах может быть свидетельством его миграции через базальтовую толщу углеводородов.

**Ключевые слова:** трапповые базальты, триас, Западно-Сибирская платформа, доюрский фундамент, Арктика, сверхглубокие скважины, Ен-Яхинская СГ-7, Тюменская СГ-6, битум

### Источник финансирования

Исследования выполнялись в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН, тема № АААА-А18-118052590032-6 с использованием оборудования ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН. Изотопные измерения и рамановская спектроскопия выполнены в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН, тема АААА-А18-118053090045-8, с использованием оборудования ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН. Дооснащение и комплексное развитие ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН осуществляются при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2021-680

## Permian-Triassic flood basalts in the pre-Jurassic basement of the Arctic zone of the West Siberian platform

Stepan V. Berzin, Kirill S. Ivanov, Elizaveta A. Pankrushina, Nataliya G. Soloshenko

A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, 15 Acad. Vonsovsky st., Ekaterinburg 620110, Russia, e-mail: sbersin@yandex.ru

Received 28.06.2022, accepted 11.08.2022

**Для цитирования:** Берзин С.В., Иванов К.С., Панкрушина Е.А., Солошенко Н.Г. (2022) Пермско-триасовые трапповые вулканиды в доюрском фундаменте арктической части Западно-Сибирской платформы. *Литосфера*, 22(5), 624–643. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-5-624-643>

**For citation:** Berzin S.V., Ivanov K.S., Pankrushina E.A., Soloshenko N.G. (2022) Permian-Triassic flood basalts in the pre-Jurassic basement of the Arctic zone of the West Siberian platform. *Lithosphere (Russia)*, 22(5), 624–643. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-5-624-643>

© С.В. Берзин, К.С. Иванов, Е.А. Панкрушина, Н.Г. Солошенко, 2022

**Research subject.** Permian-Triassic flood basalts in the basement of the Arctic zone of the West Siberian Platform locate mainly in graben-rift structures. Flood basalts in this region remain to be understudied in comparison with other areas of its distribution, mainly due to the significant depth of their occurrence (4–6 km). **Materials and methods.** 36 core samples from 11 superdeep and deep boreholes were studied. Isotopic ratios were measured on mass spectrometers NEPTUNE PLUS (Nd, Sm) and TRITON PLUS (Rb, Sr). Bitumen were studied using a Raman spectrometer LabRAM HR800 Evolution. The Raman spectra were deconvoluted (“Peak fitting” procedure), and the bitumen conversion temperature was estimated. **Results.** About half of the samples of volcanic rocks underwent metamorphism of the prehnite-pumpellite and locally greenschist facies or intense low-temperature hydrothermal alteration. The studied basalts are close to typical flood basalts and are somewhat similar to island-arc volcanic rocks in terms of their geochemical characteristics. For the first time, thin inclusions of bitumen were found in the amygdalae of Permian-Triassic basalts in the superdeep borehole Tyumenskaya SG-6 at a depth of 7310.6 m. A high similarity of the studied volcanics by geochemical characteristics and the isotopic composition of Sr and Nd with the flood basalts of the Siberian platform is shown. **Conclusions.** The presence of a negative Ta, Nb, Ti anomaly, as well as a negative Ce anomaly, in some of the analyzed samples indicates a possible contamination of the basalts by island arc volcanics and volcanogenic-sedimentary rocks. The temperature of transformation of bitumen in inclusions in basalts from the well Tyumenskaya SG-6 according to Raman spectroscopy is estimated at 150–300°C and generally corresponds to the temperature of metamorphism of the host basalts. The presence of bitumen in the amygdalae may indicate the migration of hydrocarbons through the basalts.

**Keywords:** flood basalts, Triassic, West Siberian platform, pre-Jurassic basement, Arctic, superdeep boreholes, Yen-Yakhinskaya SG-7, Tyumenskaya SG-6, bitumen

#### Funding information

The studies are carried out as a part of the IGG UB RAS State assignment (state registration No. AAAA-A18-118052590032-6) using the “Geoanalitik” shared research facilities of the IGG UB RAS. Isotopic measurements and Raman spectroscopy are carried out as a part of the IGG UB RAS State assignment (state registration No. AAAA-A18-118053090045-8) using the “Geoanalitik” shared research facilities of the IGG UB RAS. The re-equipment and comprehensive development of the “Geoanalitik” shared research facilities of the IGG UB RAS is financially supported by the grant of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2021-680)

#### Acknowledgements

The authors are grateful to V.S. Bochkarev for providing samples of volcanic rocks and to the analysts of the laboratory of the FKhMI IGG UB RAS Ph.D. D.V. Kiseleva, T.G. Okuneva, N.P. Gorbunova, N.V. Cherednichenko.

## ВВЕДЕНИЕ

Считается, что формирование пермско-триасовых вулканитов происходило одновременно на обширной площади Евразии в результате подъема суперплюма ≈250 млн лет назад (Добрецов, 2005; Reichow et al., 2005, 2009; Ivanov et al., 2009, 2013a; Puchkov et al., 2021; и др.). На территории Сибирской платформы пермско-триасовая вспышка вулканизма привела к формированию траппов на значительной территории (плато Путорана, Тунгусская синеклиза, бассейн р. Хатанга) и роев даек в южной части Сибирской платформы (Альмухамедов и др., 2004; Ivanov et al., 2009; Криволицкая, Рудакова, 2009; Патон и др., 2010; и др.). На северо-востоке Сибирской платформы одновременно произошло образование Маймеча-Котуйской щелочной провинции (Arndt et al., 1998; Kogarko, Zartman, 2011; Anosova et al., 2019).

На территории Западно-Сибирской платформы пермско-триасовые вулканиты прослеживаются

преимущественно в многочисленных грабен-рифтах в доюрском фундаменте (Медведев и др., 2003; Reichow et al., 2005; Батурина и др., 2005; Сараев и др., 2009; Ivanov et al., 2013b; и др.), известны они и вне рифтов. На Урале вулканиты пермско-триасового возраста обнажаются в разрезе по р. Синара (восток Среднего Урала) и на западном склоне Полярного Урала (Иванов, 1974; Иванов и др., 2010; Reichow et al., 2009; Пучков, 2010; и др.). Трапповые вулканиты пермско-триасового возраста широко проявлены в пределах Кузбасского бассейна (Крук и др., 1999; Добрецов, 2005; Федосеев и др., 2005; Буслов и др., 2010; Наставко и др., 2012; Svetlitskaya, Nevolko, 2016; и др.), а также в Тимано-Печерской складчатой области (Тимонин, 1998; Добрецов, 2005; Reichow et al., 2009; и др.).

Продолжительность формирования основного объема этих трапповых базальтов обычно оценивается менее чем в 1 млн лет (Reichow et al., 2009). По данным палеомагнитных исследований, проведенных А.В. Латышевым с коллегами, излияние

трапповых базальтов происходило достаточно равномерно в центральной части Тунгусской синеклизы, в то время как в южной периферической части трапповой провинции случались кратковременные интенсивные вспышки базальтового вулканизма (Latyshev et al., 2018). С.В. Сараевым и соавторами, а в последствии К.С. Ивановым и Ю.В. Ерохиным по результатам Ar-Ar датирования было показано, что в рифтовых структурах центральной части Западной Сибири базальтовый вулканизм начался значительно раньше, в пермском периоде –  $272.9 \pm 10.5$  (Сараев и др., 2009) и  $268 \pm 7.5$  (Иванов, Ерохин, 2019) млн лет назад.

Синхронно с извержением основной массы вулканитов происходило внедрение расслоенных габбро-ультрабазитовых интрузивов в северной части Сибирской платформы, а также ряда магматических комплексов в окружающих складчатых поясах (Добрецов, 2005). Так, например, в южной части п-ова Таймыр происходило внедрение тел сиенитов и шошонитов в интервале  $250.60 \pm 0.22$  и  $251.67 \pm 0.41$  млн лет (Augland et al., 2019). На Среднем Урале в это время формировались редкометалльные пегматиты Мурзинско-Адуйского блока (Попов и др., 2003; Смирнов и др., 2006; и др.), а также разломные пояса, в частности сланцы и бластомилониты Баженовской шовной зоны (Смирнов, Иванов, 2019).

Мощность разреза пермско-триасовых вулканитов в районе г. Норильска достигает  $\approx 4000$  м. В южной части и на периферии трапповой провинции стратиграфическая мощность вулканитов снижается (Альмухамедов и др., 2004; Latyshev et al., 2018; и др.). На большей части территории Сибирской трапповой провинции толщи базальтов полностью или частично разрушены раннемезозойскими эрозионными процессами. В пределах Западно-Сибирской платформы пермско-триасовые вулканиты сохранились преимущественно в отдельных грабен-рифтах, где они выходят на поверхность эрозионного среза доюрского фундамента.

В арктической части Западной Сибири пермско-триасовые трапповые вулканиты характеризуются наименьшей изученностью по сравнению с другими регионами их распространения. Прежде всего, это связано с их глубоким залеганием (глубже 4–6 км) и малым количеством сверхглубоких скважин, вскрывающих фундамент в данном регионе. Вещественный состав трапповых вулканитов так или иначе рассматривается в некоторых работах (Сараев и др., 2009; Бочкарев и др., 2013; Берзин и др., 2016; Ponomarev et al., 2017, 2019; Berzin et al., 2018; и др.). Однако обобщающие геохимические исследования данных вулканитов ранее не проводились.

Изучение доюрского фундамента арктической части Западно-Сибирской платформы особенно

актуально ввиду перспектив нефтегазоносности данного комплекса. По мнению ряда исследователей, доюрский фундамент и, в частности, грабен-рифты, выполненные триасовыми вулканогенными и осадочными отложениями, перспективны для обнаружения залежей углеводородов (Коротков, Симонов, 2010; Подурушин, 2011; Мещеряков и др., 2019; и др.). Как известно, в гидротермально-измененных вулканитах раннего триаса сосредоточены месторождения нефти Рогожниковской группы, исследованные сотрудниками НК “Сургутнефтегаз” (Мясникова и др., 2005; Лобова и др., 2014; и др.). В скв. Ен-Яхинская СГ-7 получены притоки газа из триасовых вулканогенно-осадочных и терригенно-осадочных толщ в интервалах 6039–6055, 6094–6111, 6365–6380, 6539–6567 и 6750–6760 м интенсивностью 0.9–9.2 тыс. м<sup>3</sup>/сут; из пермско-триасовых базальтов в интервале 7024–7163 м получены притоки вод с растворенными газами УВ состава (Коротков, Симонов, 2010). К.А. Мещеряковым и Т.В. Карасёвой (2011) описаны многочисленные включения битумоидов (в том числе пиробитумов) в верхнетриасовых терригенно-осадочных отложениях, вскрытых скважиной Ен-Яхинская СГ-7 в интервале 5560–5740 м. Данные скопления битумоидов в зоне современного апокатагенеза были проинтерпретированы авторами как разрушенная нефтяная залежь (Мещеряков, Карасёва, 2011). К.С. Ивановым и соавторами на примере п-ова Ямал показана приуроченность скоплений наиболее крупных месторождений нефти в осадочном чехле к бортам триасовых грабен-рифтов в доюрском фундаменте платформы (Иванов и др., 2018; Иванов, Костров и др., 2019).

## ПЕРМСКО-ТРИАСОВЫЕ ВУЛКАНИТЫ В АРКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ФУНДАМЕНТА

Фундамент арктической части Западно-Сибирской платформы представлен тремя основными зонами, сформированными складчатым обрамлением платформы. В западной части под осадочным чехлом продолжают существовать структуры Уральского складчатого пояса, в центральной части выделяются структуры Казахстанид (Алтаид) и на востоке фундамент сложен структурами обрамления Сибирской платформы (Елкин и др., 2007; Пучков, Иванов, 2020; Иванов и др., 2021; и др.).

Наиболее примечательная черта пермско-триасового вулканизма в рассматриваемом регионе – тесная пространственная и генетическая связь его проявлений с тектоникой и структурами растяжения, которые определяют характер и масштабы этих проявлений. Пермско-триасовые вулканиты в фундаменте арктической части Западно-Сибирской платформы залегают преимущественно в грабен-рифтовых структурах. Наиболее крупной структурой растяжения является Колтогор-

ско-Уренгойский грабен-рифт, прослеживающийся субмеридионально в осевой части фундамента арктического сектора Западно-Сибирской платформы и далее на юг вплоть до широтного Приобья и южнее. Пермско-триасовые вулканы и триасовые осадочные породы данного рифта вскрыты сверхглубокими скважинами Тюменская СГ-7, Уренгойская 414-р, Западно-Таркосалинская 905, Ен-Яхинская СГ-7, Стахановская 910, а также рядом скважин, пройденных южнее в центральной части Западной Сибири. Колтогорско-Уренгойский грабен-рифт обрамляется несколькими менее масштабными рифтовыми структурами (Сурков и др., 1984; Елкин и др., 2007; и др.). В одном из таких рифтов пермско-триасовые вулканы вскрыты сверхглубокой скважиной Ен-Яхинская СГ-7. На п-ове Ямал рифты имеют преимущественно северо-западное простирание. Пермско-триасовые вулканы вскрыты здесь вне крупных рифтовых структур скважинами Бованенковская 114-р и Восточно-Бованенковская 11-р.

Грабен-рифты, сложенные пермско-триасовыми вулканами и триасовыми осадочными породами, прослеживаются на основании геофизических данных на север в фундаменте Южно-Карского осадочного бассейна вплоть до границы с Новоземельской складчатой областью (Никишин и др., 2011; и др.).

## ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННЫХ СКВАЖИН И ОБРАЗЦОВ

В арктической части Западно-Сибирской платформы пермско-триасовые вулканы вскрыты 14 скважинами (табл. 1).

Большинством скважин пермско-триасовые вулканы вскрыты в доюрском основании на глубине первых десятков, реже – первых сотен метров. При этом отбор керн производился чаще всего не на всем интервале, что значительно затрудняет стратиграфическое расчленение и корреляцию разрезов пермско-триасовых вулканогенно-осадочных толщ. Наиболее представительные, хотя и неполные разрезы пермско-триасовых вулканитов вскрыты в арктической части Западной Сибири сверхглубокими скважинами Ен-Яхинская СГ-7, Тюменская СГ-6 и Уренгойская 414 (Киричкова, 2011; Бочкарев и др., 2013; и др.).

Расположение скважин показано на рис. 1. В ходе настоящего исследования нами были изучены 36 образцов из 11 скважин, вскрывших трапповые базальты в арктической части Западной Сибири.

Кроме того, помимо данных, приведенных в настоящей работе, табличные данные о химическом составе, элементном составе и отношениях изотопов Sr, Nd, Pb в образцах пермско-триасовых базальтов из скважин Ен-Яхинская СГ-7 (глубины

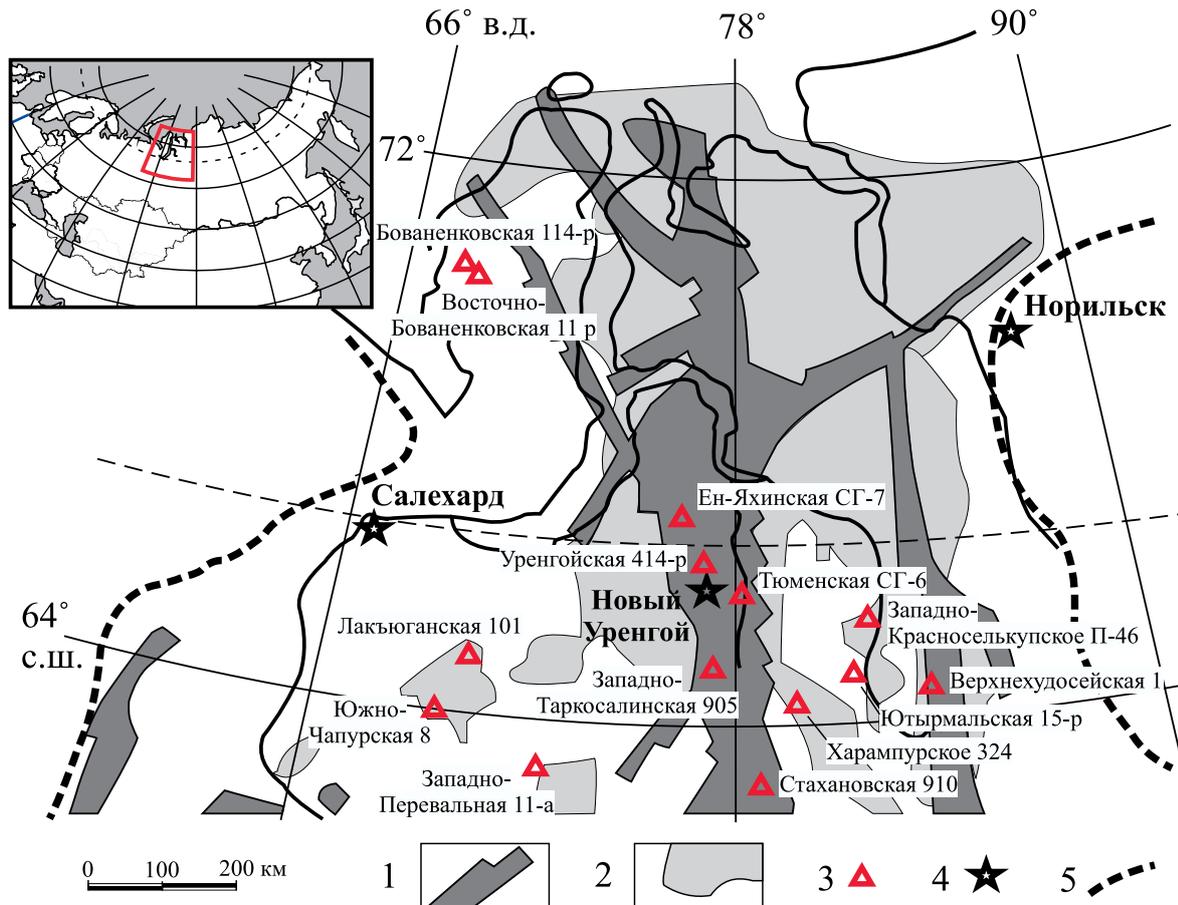
**Таблица 1.** Список скважин, вскрывших пермско-триасовые трапповые вулканы в доюрском фундаменте арктической части Западно-Сибирской платформы

**Table 1.** List of the boreholes that exposed Permian-Triassic flood basalts in the basement of the Arctic zone of the West Siberian platform

№ п.п.	Скважина	Интервал пермско-триасовых вулканитов, м	Лит. источники
1	Бованенковская 114-р	3210–3215*	(Бочкарев и др., 2010)
2	Верхнехудосейская 1	3754–3796	(Пономарев и др., 2019)
3	Восточно-Бованенковская 11 р	4074–4088*	(Бочкарев и др., 2010)
4	Ен-Яхинская СГ-7	6925–8250	(Бочкарев и др., 2013, Берзин и др., 2016, Berzin et al., 2018)
5	Западно-Красноселькупское П-46	4041–4054*	
6	Западно-Перевальная 11-а	3842*	
7	Западно-Таркосалинская 905	4362–4397*	(Пономарев и др., 2017)
8	Лакьюганская 101	4085.3–4100*	(Пономарев и др., 2020)
9	Стахановская 910	4447.5*	
10	Тюменская СГ-6	6425–7502	(Сараев и др., 2009, Киричкова, 2011, Бочкарев и др., 2013, Berzin et al., 2018)
11	Уренгойская 414-р	5288–5500	(Бочкарев и др., 2013, Киричкова, 2011, Berzin et al., 2018)
12	Харампурское 324	4128–4135*	
13	Ютырмальская 15-р	3903*	(Попов и др., 2021)
14	Южно-Чапурская 8	3762–3768*	

Примечание. \*Точные границы глубин залегания пермско-триасовых вулканитов не установлены, указан интервал фактически изучавшегося керна трапповых вулканитов.

Note. \*The exact boundaries of the depths of the Permian-Triassic flood basalts have not been established; the interval of the actually studied core of flood basalts is indicated.



**Рис. 1.** Схема распространения пермско-триасовых базальтов в доюрском фундаменте Западно-Сибирской платформы, по (Западная..., 2000) с изменениями, и положение скважин, вскрывших в фундаменте трапповые базальты.

1 – рифтовые грабены, 2 – эффузивно-осадочный комплекс триаса ( $T_1$ – $T_2$ ) вне рифтовых структур, 3 – скважины, вскрывшие пермско-триасовые базальты в фундаменте, 4 – крупные города, 5 – границы платформенного чехла.

**Fig. 1.** Scheme of distribution of Permian-Triassic flood basalts in the pre-Jurassic basement of the West Siberian platform by (West Siberia..., 2000); with changes, and the position of the boreholes that exposed flood basalts in the basement.

1 – rift grabens; 2 – Triassic effusive-sedimentary complex ( $T_1$ – $T_2$ ) outside rift structures; 3 – boreholes that exposed Permian-Triassic flood basalts in the basement; 4 – cities; 5 – boundaries of the platform cover.

6928, 7673, 8009 и 8250 м), Тюменская СГ-6 (глубина 6975 м) и Уренгойская 414р (глубина 5470.54) взяты из опубликованных нами ранее работ (Берзин и др., 2016; Berzin et al., 2018). Минералогическую характеристику и химический состав пермско-триасовых базальтов из скв. Верхнехудосейская 1п (глубины 3772.85, 3793.8 и 3795 м) можно найти в работе (Пономарев и др., 2019), для пермско-триасовых базальтов из скв. Западно-Таркосалинская 905 (глубины 4370.4, 4386.6 и 4396.56 м) – в работе (Пономарев и др., 2017), для пермско-триасовых вулканитов из скв. Лакьюганская 101 (глубины 4086, 4089, 4096 и 4100) – в работе (Пономарев и др., 2020).

Около половины изученных образцов вулканитов являются слабометаморфизованными или неме-

таморфизованными. Остальные подверглись в существенной степени вторичным изменениям: низкотемпературному метаморфизму прениит-пумпеллитовой и местами зеленосланцевой фации, метасоматическим преобразованиям или интенсивному выветриванию. “Свежие” разности представлены порфировыми, реже микропорфировыми и афировыми базальтами, пикробазальтами, андезибазальтами. В порфировых вулканитах встречается до 12% вкрапленников плагиоклаза размером от 0.5 до 4 мм. В отдельных образцах обнаружены крупные гломеропорфировые срастания плагиоклаза размером до 1 см. Реже встречаются порфировые вкрапленники клинопироксена или оливина размером до 1 мм. Последний, как правило, замещен боулингитом. Структура базиса микролитовая, реже – интерсертальная.

Среди вторичных минералов, развивающихся в вулканитах, преобладают альбит, хлорит, пумпеллит, в меньшем количестве присутствуют пренит, кварц, эпидот. Достаточно широко развита карбонатизация, помимо кальцита, в некоторых образцах встречаются зерна анкерита. В скв. Западно-Красноселькупская П-46 (глубина 4048.5 м) встречен пропицитизированный базальт. В кровле базальтовых толщ, вскрытых скважинами Тюменская СГ-6 (глубина 6421.9 м) и Западно-Красноселькупская П-46 (глубина 4048.5 м), наблюдаются сильновыветрелые базальты. В них содержатся тонкодисперсные гидроокислы железа, глинистые минералы и сферосидерит.

Около половины изученных образцов базальтов представлено миндалекаменными разностями. Доля миндалин обычно не превышает 2–7%, однако встречаются единичные образцы, объем миндалин в которых достигает 25–35% и даже 50%. Миндалины имеют, как правило, округлую, овальную или сложную форму. Их размер обычно варьирует от 0.5 до 4 мм, в некоторых образцах достигая 8 мм. Чаще всего миндалины заполнены хлоритом, халцедоном, кальцитом, пренитом, реже – кварцем, эпидотом, альбитом.

В разрезе скважин Ен-Яхинская СГ-7 (глубина 7415.6 м) и Тюменская СГ-6 (глубина 7480 м) встречены лито- и кристаллокластические туффиты базальтового состава. Породы содержат обломки базальтов и отдельных минералов, слагающих их, а также 2–5% неокатанных или слабоокатанных зерен кварца. Цемент туфовый, частично замещен вторичными минералами.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Изучение минерального вещества базальтов

Аналитические работы были выполнены в ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург). Содержание главных породообразующих окислов определялось методом рентгено-флуоресцентного анализа на спектрометре XRF-1800. Элементный состав проб установлен методом ICP-MS на спектрометре NexION300. Измерения изотопных отношений были выполнены на масс-спектрометрах NEPTUNE PLUS (Nd, Sm) и TRITON PLUS (Rb, Sr) в соответствии с методикой (Streletskaya et al., 2017). Использовались стандартные образцы Nd JNdi-1, NIST SRM 987, андезит USGS AGV-2, базальт USGS BHVO-2.

### Изучение битума методом рамановской спектроскопии

Рамановские спектры возбуждались с помощью конфокального рамановского спектрометра LabRAM HR800 Evolution, оснащенного оптиче-

ским микроскопом Olympus BX-FM, дифракционной решеткой 600 штр/мм, SiCC-детектором; сигнал собирается объективом микроскопа 50× (NA = 0.7) в геометрии 180°, возбуждение осуществлялось линией 514 нм газового Ar-лазера; пространственное разрешение – до 2 мкм.

Кристаллическая структура графита относится к пространственной группе симметрии  $R\bar{6}_3/mmc$  ( $D_{6h}^{4}$ ), при этом наблюдаются соответствующие колебательные моды в центре зоны Бриллюэна ( $\Gamma$ )  $\Gamma = 2E_{2g} + 2B_{2g} + E_{1u} + A_{2u}$  (индекс g соответствует раман-активным колебаниям, u – ИК-активным). Колебательная мода  $E_{2g}$  ( $G$ ) наблюдается около 1580  $cm^{-1}$  и характеризует валентное колебание связи C-C (Tuinstra, Koenig, 1970; Ferrari, Robertson, 2000). Мода  $B_{2g}$  расположения вблизи рэлеевской линии (Kouketsu et al., 2014) и не рассматривается в настоящей работе. По мере увеличения степени беспорядка появляются дополнительные моды около 1350  $cm^{-1}$  (D1), 1620  $cm^{-1}$  (D2), 1510  $cm^{-1}$  (D3) и 1245  $cm^{-1}$  (D4), т. е. появление вышеперечисленных мод в спектре связывается с неупорядоченной кристаллической структурой или наличием кристаллических дефектов. Однако происхождение и форма колебаний этих “D-мод” спорны и не рассматриваются в настоящей работе (см., например, (Tuinstra, Koenig, 1970; Robertson, 1991)).

На основе данных рамановской спектроскопии для аморфного углерода в ряде работ было предложено несколько различных процедур деконволюции суммарного контура (процедуры “Peak fitting”) (Kouketsu et al., 2014; Tuinstra, Koenig, 1970; Wopenka, Pasteris, 1993; Sadezky et al., 2005; Lahfid et al., 2010). В настоящей работе в основу положена деконволюция в соответствии с (Kouketsu et al., 2014).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Геохимические характеристики вулканитов

Химический состав пермско-триасовых вулканитов арктической части фундамента Западной Сибири приведен в табл. 2, содержание редких элементов – в табл. 3. Подавляющее большинство изученных неметаморфизованных пермско-триасовых вулканитов относятся к низкокалийевым и умереннокалийевым толеитовым базальтам и андезибазальтам нормальной щелочности.

Наиболее характерной чертой микроэлементного состава комплекса является низкое содержание когерентных элементов (Cr, Ni, Co и другие), но более высокое – некогерентных при сильном преобладании в них Rb, Ba и других крупноионных литофилов (LILE) над Zr, Nb, Y и другими высокозарядными элементами (HFSE), причем значение LILE/HFSE доходит до 50–60. Низкое содержание когерентных элементов может быть связано с высокой степенью фракционирования и низкой маг-

**Таблица 2.** Химический состав пермско-триасовых базальтов из доюрского фундамента арктической части Западно-Сибирской платформы, мас. %**Table 2.** Chemical composition of the Permian-Triassic flood basalts in the basement of the Arctic zone of the West Siberian platform, wt %

Глубина, м	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	NaO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	П.п.п.	Сумма
Скв. Ен-Яхинская СГ-7														
6925.3	49.0	1.23	15.3	6.3	7.4	0.24	4.92	5.37	3.78	0.22	0.178	0.21	5.6	99.8
6928.2	49.1	1.21	13.4	5.5	6.3	0.19	3.45	9.37	1.97	1.11	0.171	0.53	8.0	100.4
6934.7	47.7	1.29	14.4	6.2	8.0	0.20	4.68	7.09	3.61	0.03	0.187	0.25	6.2	99.9
6935.9	46.6	1.31	13.8	5.8	8.2	0.21	4.80	8.12	3.34	0.03	0.185	0.08	7.3	99.8
6937.4	54.8	1.33	14.2	5.1	7.4	0.19	4.68	3.71	3.83	0.04	0.203	0.12	3.9	99.6
6944.8	49.2	1.51	14.3	8.8	6.7	0.21	3.27	6.14	3.67	0.12	0.216	<0.02	5.6	99.8
7729.9	46.7	0.78	16.1	5.3	4.9	0.17	8.38	8.51	2.86	0.81	0.115		4.6	99.9
Скв. Стахановская 910														
4447.5	53.9	0.95	17.8	3.8	4.2	0.13	3.87	5.42	4.87	2.14	0.290	<0.02	2.5	99.9
Скв. Тюменская СГ-6														
6631	45.8	1.68	14.4	7.5	5.4	0.31	10.04	7.60	1.27	<0.03	0.073	<0.02	5.6	99.8
6649	41.5	1.63	14.9	7.9	6.4	0.31	13.19	6.19	1.29	<0.03	0.140	<0.02	6.0	99.6
6975	42.2	2.40	14.0		16.5	0.37	11.47	2.92	2.78	0.04	0.33		5.2	98.3
7310.6	48.2	2.34	13.7	5.0	9.5	0.23	4.99	7.50	2.47	<0.03	0.385	0.19	5.3	99.9
Скв. Уренгойская 414-р														
5470.5	59.1	0.84	15.5		5.2	0.08	4.90	2.83	4.01	3.58	0.27		3.4	99.7
Скв. Южно-Чапурская 8														
3762	45.3	2.53	15.2	9.3	3.9	0.24	7.73	8.17	2.86	0.28	0.986	<0.02	3.4	99.9

незиальностью пород. При этом Cr, Ni и Co имеют положительную корреляцию с MgO, что указывает на наличие фракционирования оливина и пироксена, тогда как для остальных (V, Sc и т.д.) наблюдается положительная корреляция с Fe и Ti, свидетельствуя о фракционировании окиснородной минеральной серии (Иванов и др., 2010).

Большая часть вулканитов характеризуется умеренным фракционированием РЗЭ,  $(La/Yb)_n = 1.5-3.8$ , сумма РЗЭ = 55–131 г/т. Европейская аномалия либо вообще отсутствует, либо маловыразительна ( $Eu/Eu^* = 0.8-1.0$ ), что указывает на отсутствие сколько-нибудь существенного фракционирования плагиоклаза. На диаграммах распределения РЗЭ (рис. 2а, в) и литофильных элементов (рис. 2б, г) составы вулканитов в целом близки к усредненным составам рифтогенного и покровного этапов траптовых базальтов Сибирской платформы по (Альмухамедов и др., 2004).

Вулканиты верхней части разреза скв. Тюменская СГ-6 (глубины 6631, 6649 и 6975 м) характеризуются повышенными содержаниями MgO – 10.6–14.1 мас.% (в пересчете на безводный состав) и попадают в поле пикробазальтов. Во всех неизмененных образцах вулканитов из скв. Тюменская СГ-6

наблюдается сильная отрицательная аномалия по Rb, слабые положительные аномалии – по Ba, U, Ti, большой разброс – по содержанию Sr.

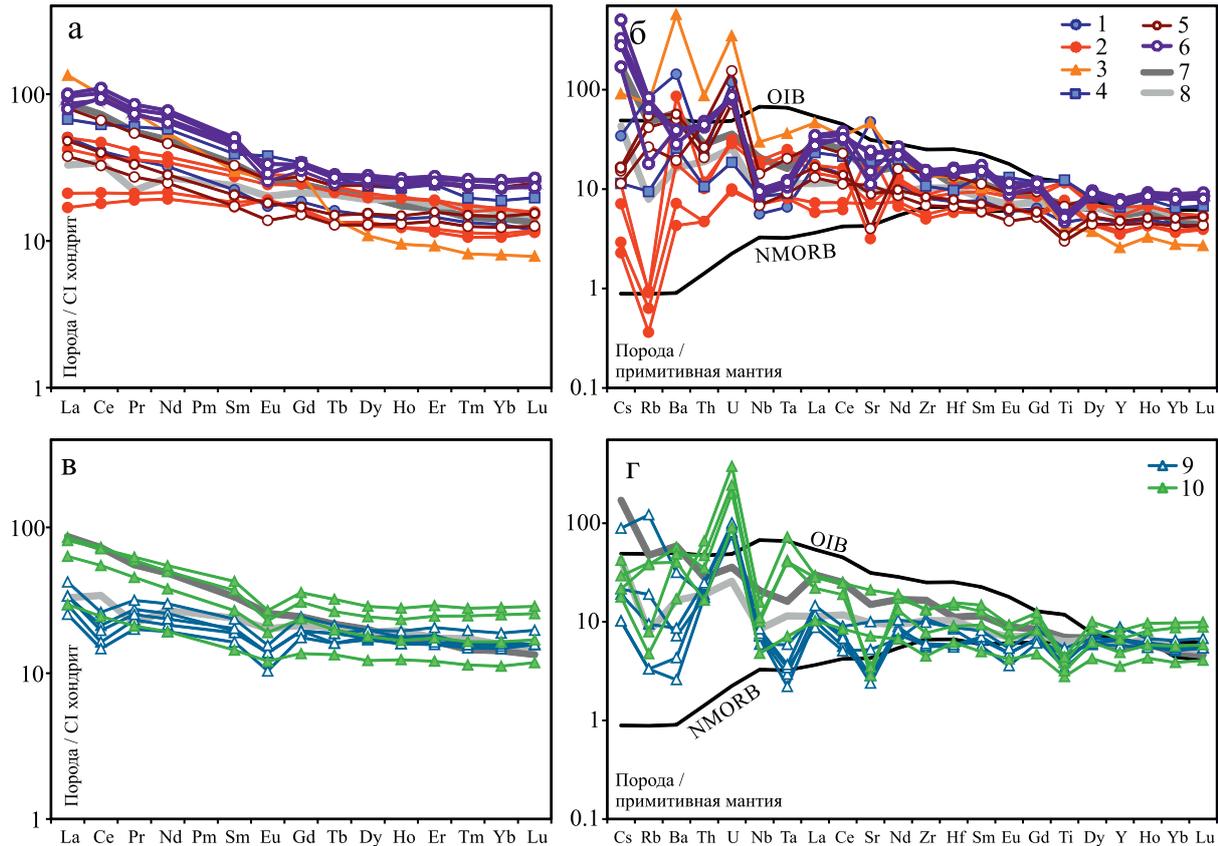
Вулканиты скв. Стахановская 910 (глубина 4447.5 м) и скв. Уренгойская-414 (глубина 5470.54 м) попадают в поле составов субщелочных высококальциевых трахиандезитов. Вулканиты скв. Уренгойская-414 (глубина 5470.54 м) характеризуются повышенным содержанием литофильных элементов, значительным фракционированием РЗЭ  $(La/Yb)_n = 16.2$ , слабой отрицательной Eu-аномалией ( $Eu/Eu^* = 0.89$ ), сумма РЗЭ = 144 г/т.

В вулканитах скв. Ен-Яхинская СГ-7 наблюдается резкое геохимическое различие между верхней частью (глубины 6925.3–6944.8 м) и основанием (глубже 7673 м) разреза. Базальты нижней части разреза характеризуются несколько большей магниальностью ( $MgO\# = 0.35-0.47$ ), повышенным содержанием несовместимых литофильных элементов, большим фракционированием РЗЭ  $((La/Yb)_n = 2.6-3.7)$  при сумме РЗЭ 47–131 г/т, наличием положительной Ta-аномалии, и соответственно аномально низким отношением Nb/Ta (3.8–11.7). Базальты верхней части разреза отличаются меньшей магниальностью ( $MgO\# = 0.18-0.28$ ), мень-

**Таблица 3.** Элементный состав пермско-триасовых базальтов из доюрского фундамента арктической части Западно-Сибирской платформы, г/т

**Table 3.** Trace element composition of the Permian-Triassic flood basalts in the basement of the Arctic zone of the West Siberian platform, ppm

Скв.	Ен-Яхинская СГ-7						Тюменская СГ-6			Стахановская 910	Южно-Чапурская 8	
	Глуб., м	6925.3	6928.2	6935.9	6937.4	6944.8	7729.9	6631	6649	7310.6	4447.5	3762
Li	10	9.0	9.0	10	8.0	8.0	7.0	8.0	9.0	7.0	7.0	7.0
Be	0.30	0.44	0.33	0.41	0.60	0.39	0.25	0.50	1.1	0.60	0.60	0.60
Sc	34	39	38	35	40	23	39	33	42	28	38	38
Ti	4400	6000	5000	6000	7000	3600	9000	10000	15000	6000	16000	16000
V	150	200	180	140	190	100	200	240	360	170	360	360
Cr	130	160	170	190	220	190	290	260	180	160	210	210
Mn	1100	1200	1200	1000	1100	900	2200	2200	1700	1000	2000	2000
Co	31	36	33	53	38	21	66	67	38	28	50	50
Ni	20	250	22	24	22	15	140	90	30	40	80	80
Cu	36	90	60	36	50	10.9	150	50	100	50	50	50
Zn	100	400	120	160	120	50	100	120	110	60	120	120
Ga	18	20	16	14	17	11	24	25	26	17	25	25
Ge	0.60	0.70	0.70	0.60	0.90	0.70	1.5	1.3	2.2	1.0	1.7	1.7
As	3.9	4.2	4.2	5.1	3.6	2.5	1.7	1.1	12	6.1	0.67	0.67
Se	0.62	0.66	0.86	0.71	1.1	0.38	0.33	0.27	0.43	0.33	0.45	0.45
Rb	12	77	2.1	2.1	6.0	25	0.40	0.23	0.60	53	6.0	6.0
Sr	60	60	50	110	210	150	500	150	150	1000	400	400
Y	26	30	30	30	40	16	16	17	30	21	30	30
Zr	62	64	67	120	110	50	56	62	92	91	120	120
Nb	4.2	5.1	5.1	5.4	6.0	3.4	5.0	5.0	12	4.0	6.0	6.0
Mo	0.50	0.90	0.70	0.70	0.80	0.40	1.2	1.0	0.50	0.90	0.80	0.80
Ag	0.17	0.14	0.16	0.18	0.18	0.13	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Cd	0.13	0.22	0.12	0.13	0.17	0.06	0.05	0.06	0.14	0.05	0.09	0.09
Sb	0.30	0.30	0.30	0.50	0.61	0.40	0.06	0.05	0.08	0.24	0.024	0.024
Te	<0.01	0.011	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.012	<0.01	<0.01	0.021	<0.01	<0.01
Cs	0.17	0.70	0.08	0.08	0.15	0.23	0.023	0.018	0.056	0.27	0.09	0.09
Ba	50	220	18	30	60	280	50	30	600	1000	180	180
La	8.0	7.0	8.0	6.0	10	7.0	4.0	5.0	10	12	16	16
Ce	13	10	12	9.0	16	15	11	13	23	25	38	38
Pr	2.6	2.2	2.4	1.9	3.0	2.0	1.8	2.0	3.4	3.4	5.7	5.7
Nd	12	10	11	9.0	14	9.0	9.0	10	16	15	27	27
Sm	3.0	2.9	3.1	2.5	3.6	2.2	2.6	2.8	4.2	3.4	6	6
Eu	0.80	0.80	0.80	0.60	0.90	0.70	1.1	1.1	1.4	1.0	2.2	2.2
Gd	4.0	4.0	4.0	3.6	5.0	2.8	3.2	3.4	5.0	3.8	7.0	7.0
Tb	0.60	0.70	0.70	0.60	0.80	0.50	0.5	0.50	0.8	0.60	1.0	1.0
Dy	4.3	4.4	5.0	4.5	5.0	3.1	3.2	3.4	5.0	3.8	6.0	6.0
Ho	0.90	0.90	1.0	1.0	1.1	0.70	0.7	0.7	1.1	0.80	1.3	1.3
Er	2.6	2.7	2.9	3.0	3.4	2.0	1.9	2.0	3.1	2.4	4.0	4.0
Tm	0.38	0.40	0.40	0.40	0.50	0.29	0.27	0.29	0.40	0.34	0.50	0.50
Yb	2.5	2.6	2.8	2.7	3.2	1.9	1.8	1.9	2.8	2.2	3.2	3.2
Lu	0.40	0.40	0.40	0.40	0.50	0.30	0.29	0.30	0.40	0.30	0.50	0.50
Hf	1.8	1.7	1.8	2.6	2.7	1.9	1.8	2.0	2.8	2.3	3.0	3.0
Ta	0.24	0.09	0.12	0.14	0.15	0.29	0.33	0.34	0.90	0.27	0.37	0.37
W	0.70	0.90	0.80	0.90	1.0	0.50	0.27	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30
Tl	0.07	0.40	0.011	0.011	0.03	0.15	0.0031	0.0026	0.012	0.26	0.02	0.02
Pb	2.1	4.0	2.7	4.0	4.0	2.2	1.5	1.2	4.0	2.8	3.0	3.0
Bi	0.010	0.004	0.002	0.002	<0.0005	0.003	0.014	0.042	0.013	0.007	0.014	0.014
Th	1.5	1.6	1.5	2.0	2.1	1.4	0.40	0.40	1.0	1.9	0.90	0.90
U	1.6	1.7	1.7	2.0	2.1	1.9	0.21	0.20	0.60	2.5	0.39	0.39



**Рис. 2.** Диаграмма распределения РЗЭ (а, в) и редких элементов (б, г), нормированных соответственно по CI хондриту и примитивной мантии, по (Sun, McDonough, 1989), в пермско-триасовых базальтах арктической части фундамента Западно-Сибирской платформы.

в, г – скв. Ен-Яхинская СГ-7, а, б – прочие скважины. 1 – скв. Стахановская 910; 2 – скв. Тюменская СГ-6; 3 – скв. Уренгойская-414; 4 – скв. Южно-Чапурская 8; 5 – скв. Западно-Таркосалинская 905, по (Понамарев и др., 2017); 6 – скв. Лакьюганская 101, по (Понамарев и др., 2020); 7, 8 – средний состав трапловых базальтов Сибирской платформы, по (Альмухамедов и др., 2004); 7 – рифтогенный этап, 8 – покровный этап; 9, 10 – скв. Ен-Яхинская СГ-7: 9 – верхняя часть разреза; 10 – нижняя часть разреза.

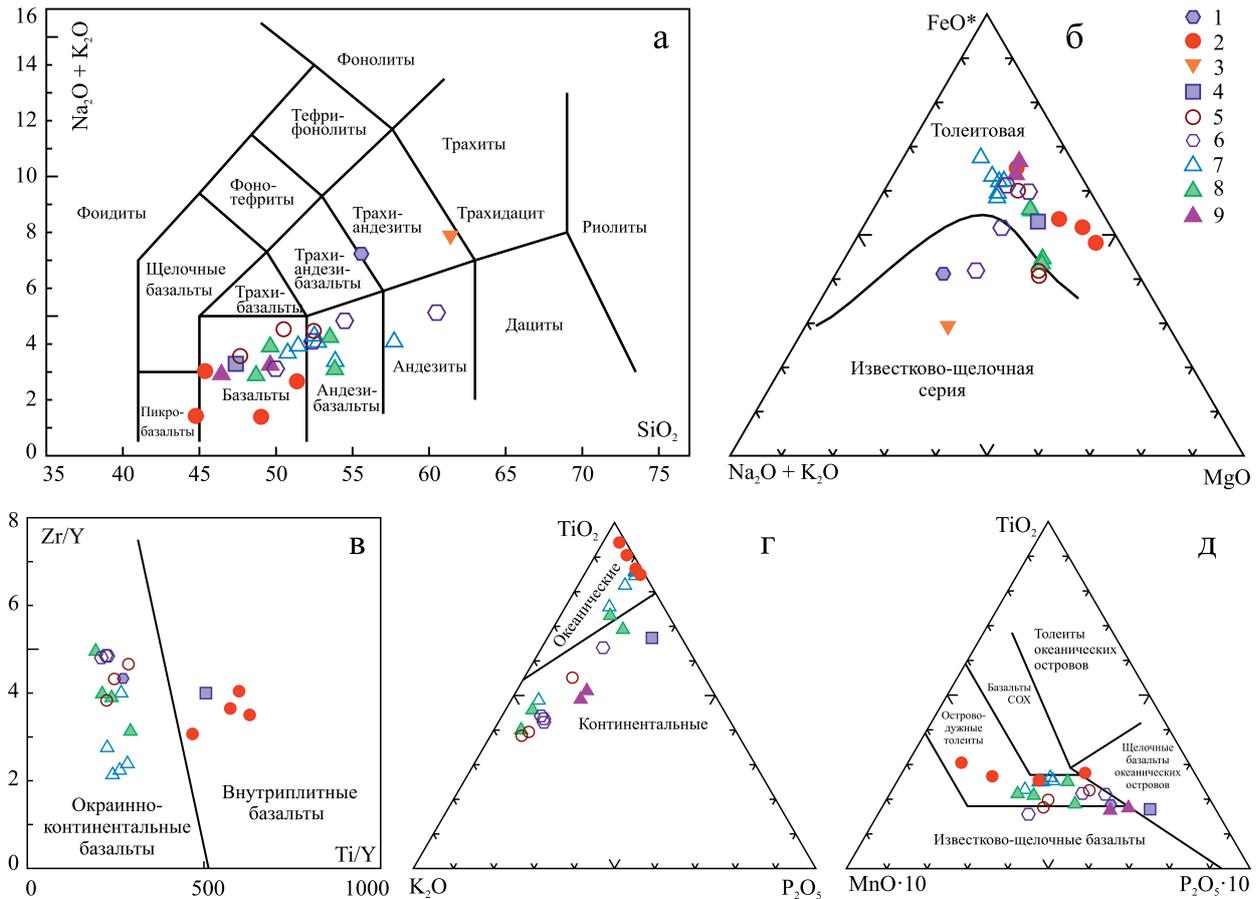
**Fig. 2.** Diagram of REE (a, в) and rare lithophile elements (б, г) normalized to CI chondrite and primitive mantle, respectively by (Sun, McDonough, 1989) in Permian-Triassic flood basalts in the Arctic part in the pre-Jurassic basement of the West Siberian platform.

в, г – borehole Yen-Yakhinskaya SG-7, а, б – other boreholes. 1 – borehole Stakhanovskaya 910; 2 – borehole Tyumenskaya SG-6; 3 – borehole Urengoyskaya 414-r; 4 – borehole Yuzhno-Chapurskaya 8; 5 – borehole Zapadno-Tarkosalinskaya 905, by (Ponomarev et al., 2017); 6 – borehole Lakyuganskaya 101, by (Ponomarev et al., 2020); 7, 8 – mean composition of the flood basalts of the Siberian platform, by (Almukhamedov et al., 2004): 7 – rift stage, 8 – cover stage; 9, 10 – borehole Yen-Yakhinskaya SG-7: 9 – upper part of the cross section; 10 – lower part of the cross section.

шими содержаниями несовместимых литофильных элементов, в том числе РЗЭ (45–67 г/т), менее фракционированным спектром РЗЭ ( $(La/Yb)_n = 1.5–2.2$ ), появлением отрицательной Се-аномалии ( $Ce/Ce^* = 0.62–0.71$ ), повышенными значениями отношений Nb/Ta (18–57) и Zr/Hf (34–46). Данные различия в геохимических характеристиках, включая появление отрицательной Се-аномалии, и различие в Nb/Ta-отношениях указывают на разные источники базальтовых расплавов на начальной и завершающей стадиях излияния траплов в районе

скв. Ен-Яхинская СГ-7. При сопоставлении с разрезом трапловых базальтов Сибирской платформы базальты нижней части разреза скв. Ен-Яхинская СГ-7 по геохимическим характеристикам в среднем соответствуют вулканитам рифтогенного этапа, а базальты верхней части разреза более близки к вулканитам покровного этапа (см. рис. 2в, г), по данным (Альмухамедов и др., 2004).

На диаграмме AFM (Kuno, 1968) (рис. 3б) подавляющее большинство точек составов трапловых вулканитов попадает в поле составов толеи-



**Рис. 3.** Положение составов пермско-триасовых базальтов арктической части Западно-Сибирской платформы на диаграммах: TAS (а); AFM (Kuno, 1968) (б), Ti/Y–Zr/Y (Pearce, Gale, 1975) (в),  $TiO_2$ – $K_2O$ – $P_2O_5$  (Pearce et al., 1975) (г),  $MnO$ – $TiO_2$ – $P_2O_5$  (Mullen, 1983) (д).

1 – скв. Стахановская 910; 2 – скв. Тюменская СГ-6; 3 – скв. Уренгойская-414; 4 – скв. Южно-Чапурская 8; 5 – скв. Западно-Таркосалинская 905, по (Пономарев и др., 2017); 6 – скв. Лакьюганская 101, по (Пономарев и др., 2020); 7, 8 – скв. Ен-Яхинская СГ-7: 7 – верхняя часть разреза, 8 – нижняя часть разреза; 9 – скв. Верхнехудосейская 1, по (Пономарев и др., 2019).

**Fig. 3.** Compositions of the Permian-Triassic flood basalts in the Arctic part of the basement of the West Siberian platform in diagrams: TAS (a), AFM (Kuno, 1968) (б), Ti/Y–Zr/Y (Pearce, Gale, 1977) (в),  $TiO_2$ – $K_2O$ – $P_2O_5$  (Pearce et al., 1975) (г),  $MnO$ – $TiO_2$ – $P_2O_5$  (Mullen, 1983) (д).

1 – borehole Stakhanovskaya 910; 2 – borehole Tyumenskaya SG-6; 3 – borehole Urengoyskaya 414-r; 4 – borehole Yuzhno-Chapurskaya 8; 5 – borehole Zapadno-Tarkosalinskaya 905, by (Ponomarev et al., 2017); 6 – borehole Lakyuganskaya 101, by (Ponomarev et al., 2020); 7, 8 – borehole Yen-Yakhinskaya SG-7: 7 – upper part of the cross section; 8 – lower part of the cross section; 9 – borehole Verkhnekhudoseiskaya 1, by (Ponomarev et al., 2019).

тов. На диаграмме Ti/Y–Zr/Y (Pearce, Gale, 1977) (рис. 3в) точки попадают как в поля внутриплитных, так и окраинно-континентальных базальтов. Аналогично точки составов образуют большой разброс на диаграмме  $TiO_2$ – $K_2O$ – $P_2O_5$  (Pearce et al., 1975) (рис. 3г) и попадают в поля как океанических, так и континентальных вулканитов. Вероятно, такое распределение фигуративных точек на диаграммах может являться следствием различной степени контаминации базальтового расплава коровым материалом, в частности широко распространенными в доюрском фундаменте надсубдук-

ционными вулканитами и вулканогенно-осадочными породами (Иванов и др., 2010). На диаграмме  $MnO$ – $TiO_2$ – $P_2O_5$  (Mullen, 1983) (рис. 3д) точки изученных составов пермско-триасовых базальтов группируются вокруг поля островодужных толейтов, но при этом попадают и в соседние поля щелочных базальтов океанических островов и известково-щелочных базальтов островных дуг. Такое положение точек составов типично для континентальных толейтовых базальтов и было отмечено еще автором данной дискриминационной диаграммы для траппов р. Колумбии (Mullen, 1983).

**Таблица 4.** Отношения изотопов Sr и Nd в пермско-триасовых базальтах из доюрского фундамента арктической части Западно-Сибирской платформы**Table 4.** Sr and Nd isotope ratios of Permian-Triassic flood basalts in the basement of the Arctic zone of the West Siberian platform

Скважина	Ен-Яхинская СГ-7	Тюменская СГ-6		Уренгойская 414-р	Южно-Чапурская 8
Глубина, м	7959.9	6649	6975	5470	3762
Rb, г/т	1.26	0,51	0.82	60.02	6.22
Sr, г/т	97.19	179.19	83.12	1277.0	657.7
Sm, г/т	4.29	3.43	8.90	4.48	9.36
Nd, г/т	18.71	12.84	34.80	25.48	41.79
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}_m$	0.03742	0.00822	0.0284	0.1360	0.02737
$\pm 2\text{SE}$	0.00005	0.00003	0.0004	0.0017	0.00003
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_m$	0.70566	0.70552	0.70531	0.70503	0.70488
$\pm 2\text{SE}$	0.000013	0.000013	0.000019	0.000020	0.000014
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}_m$	0.1386	0.1617	0.1546	0.1062	0.1355
$\pm 2\text{SE}$	0.0004	0.0004	0.00086	0.00014	0.0004
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_m$	0.512788	0.51277	0.51271	0.512678	0.512713
$\pm 2\text{SE}$	0.000007	0.000015	0.000049	0.000005	0.000008
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$	0.70553	0.70550	0.70521	0.70455	0.70478
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_i$	0.512561	0.51251	0.51245	0.512504	0.512491
$\epsilon\text{Nd}$	4.8	3.7	2.7	3.7	3.4

Примечание. В индексе m – измеренные изотопные отношения, i – начальные изотопные отношения ( $T = 250$  млн лет),  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}} 0.1967$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}} 0.512638$ .

Note. In index m – measured isotope ratios, i – initial isotope ratios ( $T = 250$  MA),  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}} 0.1967$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}} 0.512638$ .

Измеренные и начальные изотопные отношения стронция и неодима в образцах пермско-триасовых базальтов арктической части Западно-Сибирской платформы приведены в табл. 4. На диаграмме  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-\epsilon\text{Nd}$  (рис. 4) точки изотопных составов базальтов сгруппированы вблизи и чуть выше линии главного мантийного тренда. При этом точки составов близки к области трапповых базальтов Сибирской платформы, по данным (Sharma et al., 1992). По всей видимости, это указывает на общий мантийный источник формирования траппов на обширной территории Евразии.

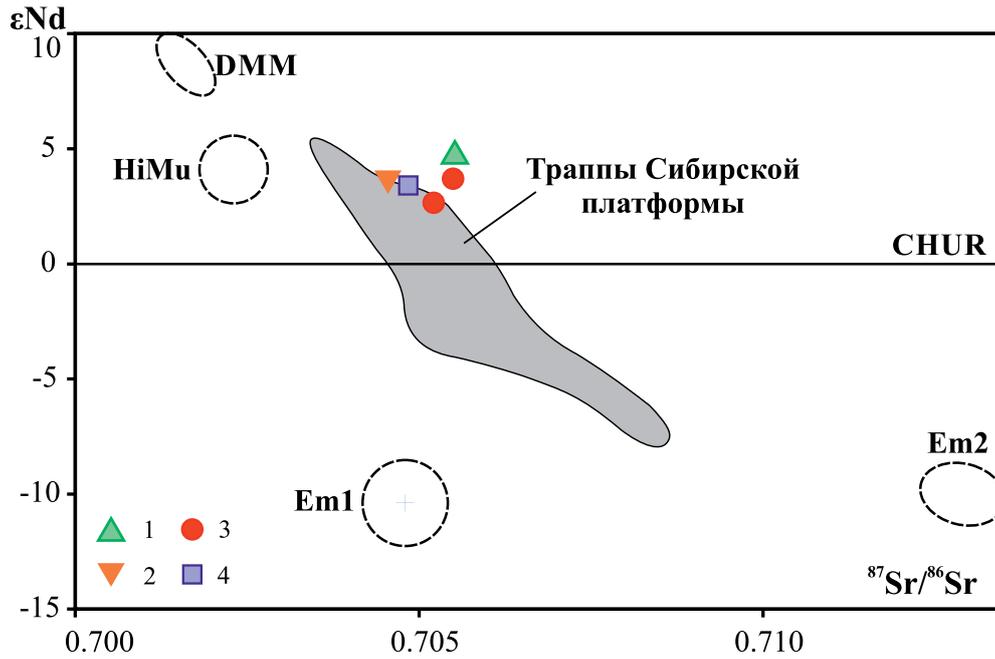
### Включения битумов

Микровключения твердого битума были найдены нами в миндалине в базальте из сверхглубокой скважины Тюменская СГ-6 с глубины 7310.6 м (рис. 5). Миндалины сложены хлоритом, халцедоном, кальцитом. Битум выполняет тонкую зону в миндалине мощностью 10–30 мкм. В центральной части миндалины битум присутствует в виде многочисленных каплевидных включений и их линейных скоплений. Битум находится преимущественно в окружении кальцита, однако местами непосредственно контактирует с хлоритом и халцедо-

ном. В проходящем свете битум не прозрачен, в тонких пленках просвечивает коричневым цветом. В отраженном свете битум выделяется на фоне других минералов низкой твердостью и низким коэффициентом отражения. Миндалины пересекаются более поздним кварцевым микропрожилком мощностью 30–50 мкм. В микропрожилке наблюдается в небольшом количестве переотложение битуминозного вещества.

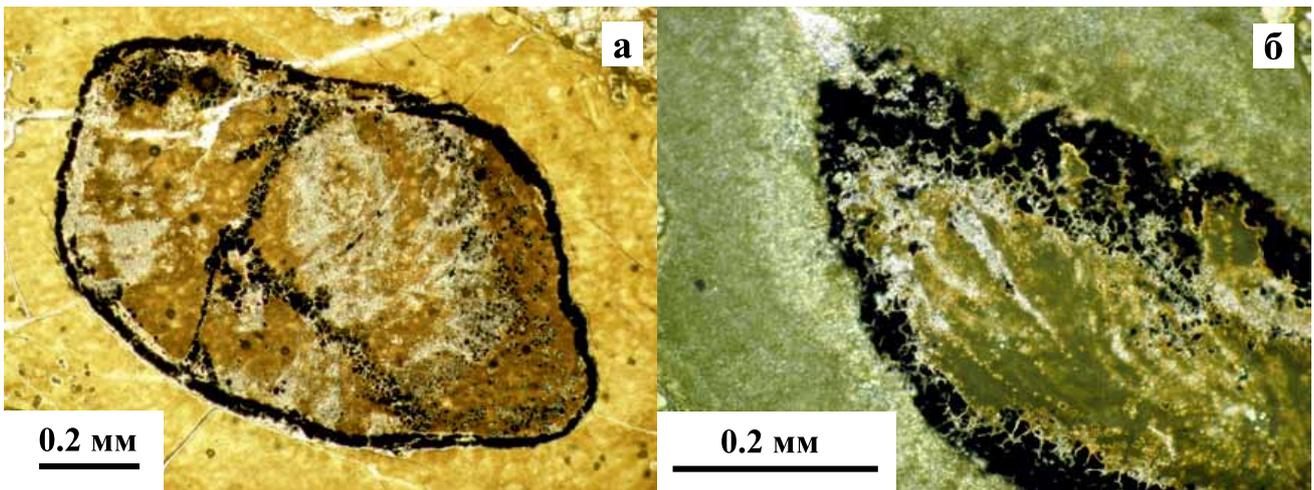
Рамановский спектр микровключений битума приведен на рис. 6. Экспериментальные рамановские спектры битума были разложены на несколько фойгтовских контуров с использованием программы Origin Pro 2020 (Academic). Спектры корректировались с учетом фотолюминесцентного фона, путем его вычитания полиномиальной функцией в спектральном диапазоне 1100–1800  $\text{cm}^{-1}$ .

Температура преобразования битума определялась в соответствии с процедурой, описанной в (Kouketsu et al., 2014). Согласно данному геотермометру, мы полагаем, что температура преобразования битума не превышала 300°C. Одним из признаков низких температур метаморфизма является различие интенсивностей мод около 1600 и 1350  $\text{cm}^{-1}$  в полтора раза, что также позволяет нам сделать предположение о еще более низкой тем-



**Рис. 4.** Диаграмма  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ – $\epsilon\text{Nd}$  для трапповых базальтов из фундамента Западно-Сибирской платформы. Серое поле – траппы Сибирской платформы, по (Sharma et al., 1992). 1 – скв. Ен-Яхинская СГ-7, 2 – скв. Уренгойская-414, 3 – скв. Тюменская СГ-6, 4 – скв. Южно-Чапурская 8. CHUR (chondritic uniform reservoir) – хондритовый однородный резервуар, DMM – деплетированная мантия COX, Em1, Em2 – обогащенная мантия первого и второго типа, HiMu – мантийный резервуар с повышенным  $\mu = ^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ .

**Fig. 4.** Diagrams  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ – $\epsilon\text{Nd}$  of the flood basalts in the Arctic part of the basement of the West Siberian platform. Gray field – traps of the Siberian platform, by (Sharma et al., 1992). 1 – borehole Yen-Yakhinskaya SG-7, 2 – borehole Urengoyskaya 414-r, 3 – borehole Tyumenskaya SG-6, 4 – borehole Yuzhno-Chapurskaya 8. CHUR – chondritic uniform reservoir, DMM – depleted MORB mantle, Em1, Em2 – enriched mantle type 1 and type 2, HiMu – mantle reservoir with high  $\mu = ^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ .

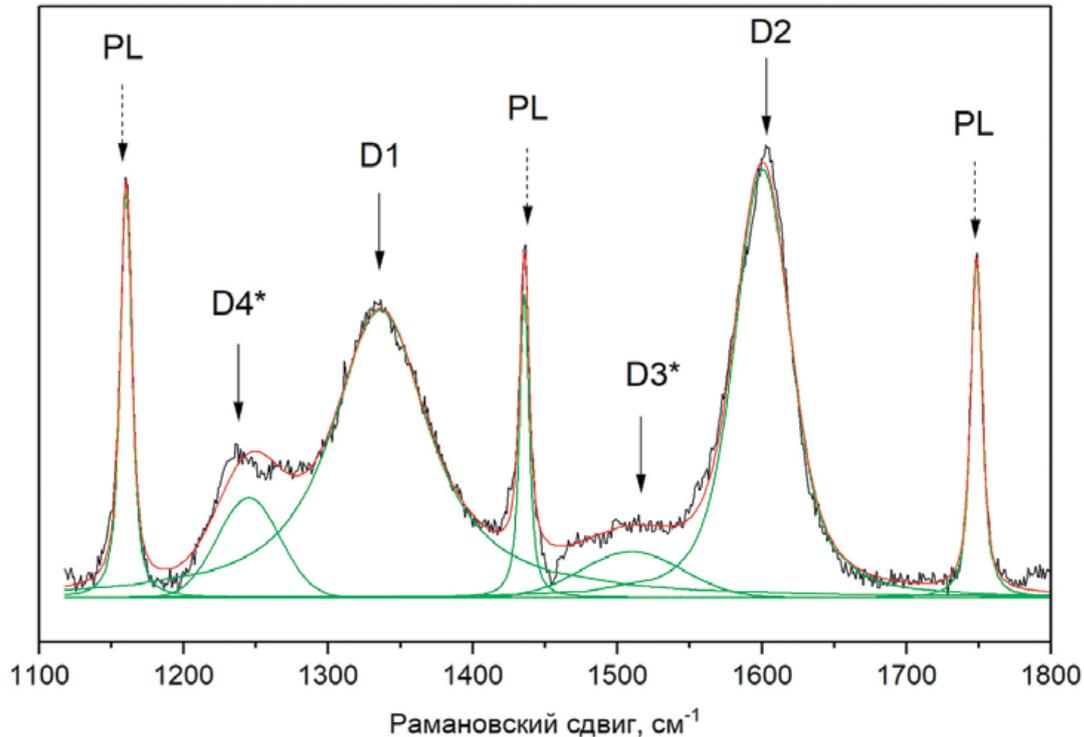


**Рис. 5.** Включения битума в двух миндалинах в базальте из сверхглубокой скважины Тюменская СГ-6 (глубина 7310.6 м).

а – проходящий свет, б – проходящий свет с анализатором.

**Fig. 5.** Bitumen inclusions in two amygdalae in basalt from an ultradeep borehole Tyumenskaya SG-6 (depth 7310.6 m).

а – transmitted light, б – transmitted light with analyzer.



**Рис. 6.** Экспериментальный рамановский спектр включений битума из скв. Тюменская СГ-6, глубина 7310.6 м (выделен черным цветом).

Зеленым цветом выделено разложение спектра на элементарные составляющие с помощью Фойгтовских контуров, красным – суммарный контур. Сплошные стрелки – отождествление колебательных мод в соответствии с (Kouketsu et al., 2014), пунктирные стрелки – фотолюминесцентные линии. Звездочка – зафиксированное положение мод D3 и D4 при 1510 и 1245  $\text{cm}^{-1}$  соответственно.

**Fig. 6.** Experimental Raman spectra of a bitumen inclusions from borehole Tyumenskaya SG-6, depth 7310.6 m (black line).

Green line is decomposition of the spectrum into elementary components using Voigt contours. Red line is integral contours. Solid arrows – identification of vibrational modes in accordance with (Kouketsu et al., 2014), dotted arrows – photoluminescent lines. Asterisk – fixed position of modes D3 and D4 at 1510 and 1245  $\text{cm}^{-1}$  respectively.

температуре преобразования – порядка 150°C. Помимо этого, в работе (Kouketsu et al., 2014) показано, что при температурах метаморфизма менее 300°C интенсивность D4-пика увеличивается. Наблюдаемая нами мода около 1600  $\text{cm}^{-1}$  становится шире и не раскладывается на две компоненты G и D2 при использовании Фойгтовских контуров (Wopenka, Pasteris, 1993). При этом важным условием деконволюции является фиксированное положение мод D3 и D4 при 1510 и 1245  $\text{cm}^{-1}$  соответственно ввиду их уширенного контура.

Используя прямую корреляция между шириной колебательных мод D1 и D2 ( $81 \pm 3$  и  $46 \pm 1$   $\text{cm}^{-1}$  соответственно) и температурой преобразования, согласно геотермометру (Kouketsu et al., 2014), мы получаем рассчитанные значения температур  $304 \pm 7$  и  $222 \pm 4$ °C соответственно (погрешность определена как доверительный интервал, рассчитанный по трем измерениям ширины соответствующих мод).

Таким образом, учитывая перечисленные особенности рамановского спектра, можно сделать вывод, что температура преобразования битума была порядка 150–300°C. Данная температура в целом соответствует температуре формирования метаморфогенных минералов во вмещающих зеленокаменно-измененных базальтах и не превышает современные пластовые температуры на глубине 7.3 км в скв. Тюменская СГ-6.

## ОБСУЖДЕНИЕ

### Геохимические особенности

Пермско-триасовые трапповые базальты арктической части Западной Сибири достаточно близки по составу к траппам Сибирской платформы, по данным (Альмухамедов и др., 2004; Криволицкая, Рудакова, 2009; и др.), и в целом соответствуют

аналогичным внутриконтинентальным траппам. В арктической части Западно-Сибирской платформы нами практически не встречены субщелочные вулканиды шощонитовой серии и кислые вулканиды риолит-дацитового состава, имеющие распространение в приуральской части фундамента Западно-Сибирской платформы. По всей видимости, наблюдаемые вариации составов базальтовых лав комплекса являются в значительной мере отражением процессов фракционирования, прежде всего темноцветных силикатов, в меньшей мере титаномагнетита и лишь отчасти, возможно, плагиоклаза.

Наличие в некоторых проанализированных образцах отрицательной аномалии по Ta, Nb, Ti свидетельствует о возможной контаминации островодужными вулканидами и вулканогенно-осадочными породами. Это находит отражение также в положении точек составов базальтов на дискриминационных диаграммах (см. рис. 3). Становление пермско-триасового базальтоидного комплекса имело место в условиях рифтогенного растяжения относительно молодой континентальной литосферы, сформировавшейся в позднем палеозое в результате процессов субдукции и коллизии, в связи с чем состав рециклированной сублитосферной мантии в известной степени дополнен и обогащен “субдукционным” компонентом (Иванов и др., 2010).

Отрицательная Се-аномалия в островодужных вулканидах обычно связывается с примесью в источнике субдуцированных осадков (Bellot et al., 2018). В случае с базальтами верхней части разреза скважины Ен-Яхинской СГ-7 (6925–6945 м) может иметь место контаминация базальтового расплава нижележащими палеозойскими островодужными вулканидами или осадочными породами. Стоит отметить, что отрицательная Се-аномалия носит единичный характер для пермско-триасовых трапповых вулканидов Сибири.

### Интрузивные аналоги

Присутствие габбровых интрузивов пермско-триасового возраста, синхронных с трапповым вулканизмом в доюрском фундаменте арктической части Западной Сибири, достоверно не подтверждено. Несколькими скважинами в фундаменте вскрыты интрузии основного и среднего состава. К их числу относятся Сюнай-Салинская 45 (расслоенная интрузия габбро-диоритов) (Ерохин и др., 2019) и Новопортовская 215 (оливиновые габбро) (Бочкарев и др., 2010; Ерохин и др., 2016). Однако данные об абсолютном возрасте для перечисленных интрузивов на данный момент отсутствуют. Оливиновые габбро из скв. Новопортовская 215 характеризуются повышенными содержаниями  $TiO_2$  и  $K_2O$  – 1.8 и 2.6 мас. % соответственно (Бочкарев и др., 2010), что позволяет предпола-

гать их возможную связь с внутриплитным магматизмом. Между тем появление пермско-триасовой интрузии на раннеюрском эрозионном срезе фундамента могло произойти только при интенсивном воздымании и существенной эрозии данного блока земной коры в течение среднего–верхнего триаса.

### Битумы в базальте

Находка битумов в миндалинах в скв. Тюменская СГ-6 является первой для пермско-триасовых трапповых базальтов в фундаменте арктической части Западно-Сибирской платформы. Ранее твердый битум (антраксолит) был описан в агатах миндалинах в пермско-триасовых вулканидах на Среднем Урале, в разрезе по р. Синара (Erokhin, Ivanov, 2019). Включения битумов в миндалинах упоминаются в трапповых базальтах Нидымской свиты ( $T_1$ ) в скальных обнажениях на берегу р. Ниж. Тунгуска (Сибирь) (Гусев и др., 2018, с. 84). В мире известны единичные места находок битумов в вулканидах: в миндалинах базальтов нижнего девона Минусинской впадины Хакасии (Серебренникова и др., 2003), в гидротермальных прожилках и миндалинах мезозойских долерито-базальтов земли Франца Иосифа (Клубов и др., 1997), во вторичных гидротермальных образованиях Богемского массива в Чехии (Филиппов, 2013) и в некоторых других местах.

Присутствие битумов можно интерпретировать как свидетельство миграции углеводородов на этапе формирования низкотемпературной гидротермальной минерализации в миндалинах. Температура преобразования битума, оцененная нами в 150–300 °С, в целом соответствует температуре водного метаморфизма вмещающей базальтовой толщи. И, по всей видимости, миграция углеводородов совпала по времени с данным низкотемпературным преобразованием базальтов. Однако относительно происхождения углеводородов нельзя сделать однозначных выводов. Они могут иметь как глубинное мантийное происхождение, предполагаемое неорганическими гипотезами происхождения нефти, так и быть результатом мобилизации органического вещества из нижележащих осадочных толщ.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, нами получены новые данные и обобщены результаты предшествующих исследований вещественного состава пермско-триасовых трапповых вулканидов из доюрского фундамента арктической части Западно-Сибирской платформы. Показано их большое сходство по геохимическим характеристикам и изотопному составу Sr и Nd с траппами Сибирской платформы. Наличие в некоторых проанализированных образцах отрица-

тельной аномалии по Та, Nb, Ti, а также отрицательной Се аномалии свидетельствует о возможной контаминации базальтов нижележащими палеозойскими островодужными вулканитами и вулканогенно-осадочными породами. Изучены геохимические различия верхней и нижней части разреза базальтовой толщи, вскрытой сверхглубокой скважиной Ен-Яхинская СГ-7. Показано, что базальты нижней части разреза близки к вулканитам рифтогенного этапа Сибирской платформы, а базальты верхней части разреза соответствуют вулканитам покровного этапа Сибирской платформы по (Альмухамедов и др., 2004). Пермско-триасовый базальтовый вулканизм арктической части Западно-Сибирской плиты связан, как и по всей территории плиты, с зонами активного рифтогенного растяжения, для которых грабены являются их поверхностным структурным выражением, а вулканиты – магматическим.

Впервые найдены включения битума в миндалинах пермско-триасовых базальтов в сверхглубокой скважине Тюменская СГ-6 на глубине 7310.6 м. Температура преобразования битума, по данным рамановской спектроскопии, составляет 15–300°C и в целом соответствует температуре водного метаморфизма вмещающей базальтовой толщи. Наличие включений битума в миндалинах может быть свидетельством миграции углеводородов через толщу трапповых базальтов.

#### Благодарности

Авторы признательны В.С. Бочкареву за предоставленные образцы вулканитов и аналитикам лаборатории ФХМИ ИГГ УрО РАН к.г.-м.н. Д.В. Киселевой, Т.Г. Окуневой, Н.П. Горбуновой, Н.В. Чередниченко.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альмухамедов А.И., Медведев А.Я., Золотухин В.В. (2004) Вещественная эволюция пермтриасовых базальтов Сибирской платформы во времени и пространстве. *Петрология*, **12**(4), 339-353.
- Багурина Т.П., Сараев С.В., Травин А.В. (2005) Каменноугольные и пермтриасовые вулканиты в зоне сочленения Урала и Западной Сибири. *Геология и геофизика*, **46**(5), 504-516.
- Берзин С.В., Иванов К.С., Зайцева М.В. (2016) Пермтриасовые базальты фундамента Западно-Сибирского бассейна, вскрытые сверхглубокой скважиной Ен-Яхинская СГ-7. *Литосфера*, (6), 117-128.
- Бочкарев В.С., Брехунцов А.М., Иванов К.С. (2013) Основные результаты сверхглубокого бурения скважин (СГ-6 Тюменской и СГ-7 Ен-Яхинской) в Западной Сибири. *Горн. ведомости*, (12), 6-30.
- Бочкарев В.С., Брехунцов А.М., Лукомская К.Г. (2010) Складчатый фундамент полуострова Ямал. *Горн. ведомости*, (8), 6-35.
- Буслов М.М., Сафонова И.Ю., Федосеев Г.С., Рейчоу М., Дэвис К., Бабин Г.А. (2010) Пермтриасовый плюмовый магматизм Кузнецкого бассейна (Центральная Азия): геология, геохронология, геохимия и геодинамические следствия. *Геология и геофизика*, **51**(9), 1310-1328.
- Гусев Н.И., Строев Т.С., Шарипов А.Г., Назаров Д.В., Круглова А.А., Никольская О.А., Саванин В.В., Гладышева А.С., Михайлов Д.А., Сергеева Л.Ю., Николаева Л.С., Богомолов В.П., Савельев С.О. (2018) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Норильская. Лист Q-47-Тура. Объяснительная записка. СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 328 с.
- Добрецов Н.Л. (2005) Крупнейшие магматические провинции Азии (250 млн лет): сибирские и эмейшаньские траппы (платобазальты) и ассоциирующие гранитоиды. *Геология и геофизика*, **46**(9), 870-890.
- Ерохин Ю.В., Иванов К.С. (2016) Минералогия фаялитового габбро из доюрского фундамента Новопортовской площади (Южный Ямал, Арктика). *Вестн. Уральского отделения РМО*, **13**, 43-51.
- Ерохин Ю.В., Иванов К.С., Бочкарев В.С., Пономарев В.С., Захаров А.В. (2019) Габброиды доюрского основания Арктики и их сульфидная минерализация (Сюнай-Салинская площадь, полуостров Ямал). *Минералогия*, **5**(3), 38-46.
- Ёлкин Е.А., Конторович А.Э., Бахарев Н.К., Беляев С.Ю., Варламов А.И., Изох Н.Г., Каныгин А.В., Каштанов В.А., Кирда Н.П., Клец А.Г., Конторович В.А., Краснов В.И., Кринин В.А., Моисеев С.А., Обут О.Т., Сараев С.В., Сенников Н.В., Тищенко В.М., Филиппов Ю.Ф., Хоменко А.В., Хромых В.Г. (2007) Палеозойские фациальные мегазоны в структуре фундамента Западно-Сибирской геосинеклизы. *Геология и геофизика*, **48**(6), 633-650.
- Западная Сибирь. Геология и полезные ископаемые России. (2000) Т. 2 (Ред. А.Э. Конторович, В.С. Сурков). СПб.: ВСЕГЕИ, 477 с.
- Иванов К.П. (1974) Триасовая трапповая формация Урала. М.: Наука, 154 с.
- Иванов К.П., Иванов К.С., Расулов А.Т., Ронкин Ю.Л. (2010) О возрасте и составе туринской серии на реке Синара (Средний Урал). *Горн. ведомости*, (5), 52-57.
- Иванов К.С., Ерохин Ю.В. (2019) О времени заложения системы триасовых рифтов Западной Сибири. *Докл. АН*, **486**(1), 88-92.
- Иванов К.С., Костров Н.П. (2019) О взаимосвязи геодинамики, теплового потока, глубинного строения и нефтегазоносности Ямала. *Докл. АН*, **486**(2), 208-211.
- Иванов К.С., Лац С.А., Коротеев В.А., Костров Н.П., Погромская О.Э. (2018) Главные причины закономерности размещения месторождений нефти Западно-Сибирской платформы. *Докл. АН*, **481**(3), 285-288.
- Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Пучков В.Н., Пономарев В.С., Костров Н.П., Хиллер В.В. (2021). Складчатый фундамент полуострова Ямал и его структурные связи. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 285 с.
- Киричкова А.И. (2011) Триас Западной Сибири: литостратоны опорных разрезов. *Разведка и охрана недр*, (4), 27-33.
- Клубов Б.А., Винокуров И.Ю., Гарибьян Е.В. (1997) Битумопроявления на о-ве Хейса. *Геология нефти и газа*, (2), 1-6.
- Коротков Б.С., Симонов А.В. (2010) Перспективы поисков газа в глубоких горизонтах Западной Сибири. *Научно-технический сборник. Вести газовой науки*,

- (2), 48-56.
- Криволюцкая Н.А., Рудакова А.В. (2009) Строение и геохимические особенности пород трапповой формации Норильской мульды (СЗ Сибирской платформы). *Геохимия*, (7), 675-698.
- Крук Н.Н., Плотников А.В., Владимиров А.Г., Кутюлин В.А. (1999) Геохимия и геодинамические условия формирования траппов Кузбасса. *Докл. АН*, **369**(6), 812-815.
- Лобова Г.А., Коржов Ю.В., Кудряшова Л.К. (2014) Генезис доюрских залежей нефти Рогожниковской группы месторождений по данным гравиразведки и геохимии (Тюменская область). *Изв. Томск. политехн. ун-та*, **324**(1), 65-72.
- Медведев А.Я., Альмухамедов А.И., Кирда Н.П. (2003) Геохимия пермотриасовых вулканитов Западной Сибири. *Геология и геофизика*, **44**(1-2), 86-100.
- Мещеряков К.А., Карасёва Т.В. (2011) Особенности обнаружения разрушенных залежей нефти на больших глубинах. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, **6**(3), Статья № 27.
- Мещеряков К.А., Карасёва Т.В., Кожанов Д.Д., Мещерякова О.Ю. (2019) Триасовый нефтегазоносный комплекс – потенциальный объект для прироста ресурсной базы Западной Сибири. *Вестн. Перм. ун-та. Геология*, **18**(1), 73-78.
- Мясникова Г.П., Солопахина Л.А., Мариненкова Н.Л., Клопов А.Л., Шпильман А.В., Яцканич Е.А. (2005) Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности доюрских отложений территории ХМАО. *Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Восьмая научно-практическая конференция. Ханты-Мансийск*, 148-163.
- Наставко А.В., Бородин Е.В., Изох А.Э. (2012) Петролого-минералогические особенности вулканитов центральной части Кузбасса (Южная Сибирь). *Геология и геофизика*, **53**(4), 435-449.
- Никишин В.А., Малышев Н.А., Никишин А.М., Обметко В.В. (2011) Позднепермско-триасовая система рифтов Южно-Карского осадочного бассейна. *Вестн. Моск. университета. Сер. 4: Геология*, (6), 3-9.
- Патон М.Т., Иванов А.В., Фиорентини М.Л., МакНаугтон Н.Ж., Мудровская И., Резницкий Л.З., Демонтерова Е.И. (2010) Позднепермские и раннетриасовые магматические импульсы в Ангаро-Тасеевской синклинали, Южно-Сибирские траппы и их возможное влияние на окружающую среду. *Геология и геофизика*, **51**(9), 1298-1309.
- Подурушин В.Ф. (2011) Тектоника фундамента и ее влияние на формирование газового потенциала полуострова Ямал. *Вести газовой науки*, (3), 65-72.
- Пономарев В.С., Ерохин Ю.В., Иванов К.С. (2017) Вещественный состав базальтов из доюрского основания Западной Сибири (Западно-Таркосалинская площадь, ЯНАО). *Изв. УГГУ*, (1), 14-18.
- Пономарев В.С., Иванов К.С., Ерохин Ю.В. (2019) Вещественный состав базальтов и долеритов из доюрского основания Западно-Сибирской плиты (Верхнехудо-сейская площадь, ЯНАО). *Изв. высших учебн. завед. Северо-Кавказский регион. Естеств. науки*, (3), 62-69.
- Пономарев В.С., Иванов К.С., Ерохин Ю.В. (2020) Composition of volcanites from pre-Jurassic basement of the Western Siberian megabasin (Lakyuganskaya oil exploration area, YNAD). *Изв. УГГУ* (2), 7-19.
- Попов Е.А., Стовбун Ю.А., Русских А.С. (2021) Об источнике нефтеносного потенциала доюрского комплекса Западной Сибири. (Ч. 1). *Бурение и нефть*, (1).
- Попов В.С., Богатов В.И., Петрова А.Ю., Беляцкий Б.В. (2003) Возраст и возможные источники гранитов Мурзинско-Адуйского блока, Средний Урал, Rb-Sr и Sm-Nd изотопные данные. *Литосфера*, (4), 3-18.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
- Пучков В.Н., Иванов К.С. (2020) Тектоника севера Урала и Западной Сибири: общая история развития. *Геотектоника*, (1), 41-61.
- Сараев С.В., Батурина Т.П., Пономарчук В.А., Травин А.В. (2009) Пермотриасовые вулканиты Колтогорско-Уренгойского рифта Западно-Сибирской геосинеклизы. *Геология и геофизика*, **50**(1), 4-20.
- Серебрянникова О.В., Васильев Б.Д., Туров Ю.П., Филиппова Т.Ю. (2003) Нафтиды в базальтах нижнего девона Северо-Минусинской впадины. *Докл. АН*, **390**(4), 525-527.
- Смирнов В.Н., Иванов К.С. (2019) Структурные связи Урала и Западной Сибири: единый этап формирования на границе перми и триаса. *Докл.*, **488**(3), 294-297.
- Смирнов В.Н., Иванов К.С., Краснобаев А.А., Бушляков И.Н., Калеганов Б.А. (2006) Результаты R-Ag датирования Адуйского гранитного массива (Восточный склон Среднего Урала). *Литосфера*, (2), 148-156.
- Сурков В.С., Жеро О.Г., Смирнов Л.В. (1984) Арктико-Североатлантическая рифтовая мегасистема. *Геология и геофизика*, (8), 3-11.
- Тимонин Н.И. (1998) Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Екатеринбург: УрО РАН, 240 с.
- Федосеев Г.С., Сотников В.И., Рихванов Л.П. (2005) Геохимия и геохронология пермотриасовых базитов северо-западной части Алтае-Саянской складчатой области. *Геология и геофизика*, **46**(3), 289-302.
- Филиппов М.М. (2013) Антраксолиты. СПб.: ВНИГРИ, 296 с.
- Anosova M.O., Kostitsyn Yu.A., Kogarko L.N. (2019) Correlation of High-Calcium Silica Undersaturated Complex of the Maymecha-Kotuy Province with Siberian Flood Basalts: New Age Data on the Kugda Massif (Polar Siberia). *Geochem. Int.*, **57**(12), 1339-1342.
- Arndt N., Chauvel C., Czamanske G., Fedorenko V. (1998) Two mantle sources, two plumbing systems: tholeiitic and alkaline magmatism of the Maymecha River basin, Siberian flood volcanic province. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **133**(3), 297-313.
- Augland L.E., Ryabov V.V., Vernikovskiy V.A., Planke S., Polozov A.G., Callegaro S., Jerram D.A., Svendsen H.H. (2019) The main pulse of the Siberian Traps expanded in size and composition. *Sci. Rep.*, **9**, #18723.
- Bellot N., Boyet M., Doucelance R., Bonnand P., Savov I.P., Plank T., Elliott T. (2018) Origin of negative cerium anomalies in subduction-related volcanic samples: Constraints from Ce and Nd isotopes. *Chem. Geol.*, **500**, 46-63.
- Berzin S.V., Ivanov K.S., Streletskaya M.V., Zaytseva M.V., Soloshenko N.G. (2018) Pb, Sr and Nd Isotope Ratios of Permian-Triassic Flood Basalts in the Basement of the West Siberian Plate. *Russian Forum of Young Scientists*,

- KnE Engineering*, 46-54.
- Erokhin Yu.V., Ivanov K.S. (2019) On the discovery and study of anthraxolite in Triassic plagiortholite on the border of the Ural and western Siberia. *Geosci. J.*, **23**, 273-279.
- Ferrari A. C., Robertson J. (2000) Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon. *Phys. Rev. B*, **61**(20), #14095.
- Ivanov A.V., He H., Yang L., Nikolaeva I.V., Palesskii S.V. (2009)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of intrusive magmatism in the Angara-Taseevskaya syncline and its implication for duration of magmatism of Siberian Traps. *J. Asian Earth Sci.*, **35**(1), 1-12.
- Ivanov K.S., Puchkov V.N., Fyodorov Yu.N., Erokhin Yu.V., Pogromskaya O.E. (2013) Tectonics of the Urals and adjacent part of the West-Siberian platform basement: Main features of geology and development. *J. Asian Earth Sci.*, **72**, 12-24.
- Kogarko L.N., Zartman R.E. (2011) New Data on the Age of the Guli Intrusion and Implications for the Relationships between Alkaline Magmatism in the Maymecha-Kotuy Province and the Siberian Superplume: U-Th-Pb Isotopic Systematics. *Geochem. Int.*, **49**(5), 439-448.
- Kouketsu Y., Mizukami T., Mori H., Endo S., Aoya M., Hara H., Nakamura D., Wallis S. (2014) A new approach to develop the Raman carbonaceous material geothermometer for low-grade metamorphism using peak width. *Island Arc*, **23**(1), 33-50.
- Kuno H. (1968) Differentiation of basalt magmas. *Basalts: the poldervaart treatise on rocks of basaltic composition. V. 2*. N.Y.: Interscience, 623-688.
- Lahfid A., Beyssac O., Deville E., Negro F., Chopin C., Goffé B. (2010) Evolution of the Raman spectrum of carbonaceous material in low-grade metasediments of the Glarus Alps (Switzerland). *Terra Nova*, **22**(5), 354-360.
- Latyshev A.V., Veselovskiy R.V., Ivanov A.V. (2018) Paleomagnetism of the Permian-Triassic intrusions from the Tunguska syncline and the Angara-Taseeva depression, Siberian traps large igneous province: evidence of contrasting styles of magmatism. *Tectonophysics*, **723**, 41-55.
- Mullen E.D. (1983) MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **62**, 53-62.
- Pearce J.A., Gale G.H. (1977) Identification of ore-deposition environment from trace-element geochemistry of associated igneous host rocks. Volcanic processes in ore genesis. L.: Inst. Mining Metallurg, 14-24.
- Pearce T.H., Gorman B.E., Birkett T.C. (1975) The TiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **24**(3), 419-426.
- Puchkov V.N., Ernst R.E., Ivanov K.S. (2021) The importance and difficulties of identifying mantle plumes in orogenic belts: An example based on the fragmented large igneous province (LIP) record in the Ural fold belt. *Precamb. Res.*, **361**, 106186.
- Rahl J.M., Anderson K.M., Brandon M.T., Fassoulas C. (2005) Raman spectroscopic carbonaceous material thermometry of low-grade metamorphic rocks: Calibration and application to tectonic exhumation in Crete, Greece. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **240**(2), 339-354.
- Reichow M.K., Pringle M.S., Al'Mukhamedov A.I., Allen M.B., Andreichev V.L., Buslov M.M., Davies C.E., Fedoseev G.S., Fitton J.G., Inger S., Medvedev A.Ya., Mitchell C., Puchkov V.N., Safonova I.Yu., Scott R.A., Saunders A.D. (2009) The timing and extent of the eruption of the Siberian Traps large igneous province: Implications for the end-Permian environmental crisis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **277**, 9-20.
- Reichow M.K., Saunders A.D., White R.V., Al'Mukhamedov A.I., Medvedev A.Ya. (2005) Geochemistry and petrogenesis of basalts from the West Siberian Basin: an extension of the Permo-Triassic Siberian Traps, Russia. *Lithos*, **79**(3-4), 425-452.
- Robertson J. (1991) Hard amorphous (diamond-like) carbons. *Progress in Solid State Chem.*, **21**(4), 199-333.
- Sadezky A., Sadezky A., Muckenhuber H., Grothe H., Niessner R., Poschl U. (2005) Raman microspectroscopy of soot and related carbonaceous materials: spectral analysis and structural information. *Carbon*, **43**(8), 1731-1742.
- Sharma M., Basu A.R., Nesterenko G.V. (1992) Temporal Sr-, Nd- and Pb-isotopic variations in the Siberian flood basalts: Implications for the plume-source characteristics. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **113**(3), 365-381.
- Streletskaia M.V., Zaytceva M.V., Soloshenko N.G. (2017) Sr and Nd chromatographic separation procedure for precise isotope ratio measurement using TIMS and MC-ICP-MS methods. *European winter conference on plasma spectrochemistry (EWPCS-2017)*, #319.
- Sun S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc., Spec. Publ.*, **42**, 313-345.
- Svetlitskaya T.V., Nevolko P.A. (2016) Late Permian–Early Triassic traps of the Kuznetsk Basin, Russia: Geochemistry and petrogenesis in respect to an extension of the Siberian Large Igneous Province. *Gondwana Res.*, **39**, 57-76.
- Tuinstra F., Koenig J.L. (1970) Raman spectrum of graphite. *J. Chem. Phys.*, **53**(3), 1126-1130.
- Wopenka B., Pasteris J.D. (1993) Structural characterization of kerogens to granulite-facies graphite: applicability of Raman microprobe spectroscopy. *Amer. Mineral.*, **78**(5-6), 533-557.

## REFERENCES

- Al'mukhamedov A.I., Medvedev A.Ya., Zolotukhin V.V. (2004) Chemical evolution of the Permian-Triassic basalts of the Siberian platform in space and time. *Petrology*, **12**(4), 297-311. (Translated from *Petrologiya*, **12**(4), 339-353).
- Anosova M.O., Kostitsyn Yu.A., Kogarko L.N. (2019) Correlation of High-Calcium Silica-Undersaturated Complex of the Maymecha-Kotuy Province with Siberian Flood Basalts: New Age Data on the Kugda Massif (Polar Siberia). *Geochem. Int.*, **57**(12), 1339-1342.
- Arndt N., Chauvel C., Czamanske G., Fedorenko V. (1998) Two mantle sources, two plumbing systems: tholeiitic and alkaline magmatism of the Maymecha River basin, Siberian flood volcanic province. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **133**(3), 297-313.
- Augland L.E., Ryabov V.V., Vernikovskiy V.A., Planke S., Polozov A.G., Callegaro S., Jerram D.A., Svensen H.H. (2019) The main pulse of the Siberian Traps expanded in size and composition. *Sci. Rep.*, **9**, #18723.
- Baturina T.P., Saraev S.V., Travin A.V. (2005) Carboniferous and Permo-Triassic volcanics in the Urals-West Siberia

- junction zone. *Geol. Geofiz.*, **46**(5), 504-516. (In Russ.)
- Bellot N., Boyet M., Doucelance R., Bonnand P., Savov I.P., Plank T., Elliott T. (2018) Origin of negative cerium anomalies in subduction-related volcanic samples: Constraints from Ce and Nd isotopes. *Chem. Geol.*, **500**, 46-63.
- Berzin S.V., Ivanov K.S., Streletskaya M.V., Zaytseva M.V., Soloshenko N.G. (2018) Pb, Sr and Nd Isotope Ratios of Permian-Triassic Flood Basalts in the Basement of the West Siberian Plate. *Russian Forum of Young Scientists, KnE Engineering*, 46-54.
- Berzin S.V., Ivanov K.S., Zaitseva M.V. (2016) Permian-Triassic basalts from basement of the West Siberian basin from superdeep hole Yen-Yakhinskaya SG-7. *Lithosphere (Russia)*, (6), 117-128. (In Russ.)
- Bochkarev V.S., Brekhuntsov A.M., Ivanov K.S. (2013) Main results of ultra-deep drilling of wells (Tyumenskaya SG-6 and Yen-Yakhinskaya SG-7) in Western Siberia. *Gornye Vedomosti*, (12), 6-30. (In Russ.)
- Bochkarev V.S., Brekhuntsov A.M., Lukomskaya K.G. (2010) Folded basement of the Yamal Peninsula. *Gornye Vedomosti*, (8), 6-35. (In Russ.)
- Buslov M.M., Safonova I.Y., Fedoseev G.S., Reichow M.K., Davies K., Babin G.A. (2010) Permo-Triassic plume magmatism of the Kuznetsk basin, Central Asia: geology, geochronology, and geochemistry. *Russian Geology and Geophysics*, **51**(9), 1021-1036. (Translated from *Geol. Geofiz.*, **51**(9), 1310-1328).
- Dobretsov N.L. Large igneous provinces of Asia (250 ma): Siberian and Emeishan traps (plateau basalts) and associated granitoids. *Geol. Geofiz.* **46**(9), 870-890. (In Russ.)
- Erokhin Yu.V., Ivanov K.S. (2016) Mineralogy of fayalite gabbro from the pre-Jurassic basement of the Novoportovskaya area (South Yamal, Arctic). *Vestn. Ural. otdel. RMO*, **13**, 43-51. (In Russ.)
- Erokhin Yu.V., Ivanov K.S. (2019) On the discovery and study of anthraxolite in Triassic plagioclase on the border of the Ural and western Siberia. *Geosci. J.*, **23**, 273-279.
- Erokhin Yu.V., Ivanov K.S., Bochkarev V.S., Ponomarev V.S., Zakharov A.V. (2019) Gabbroids of the pre-Jurassic basement of the Arctic and their sulfide mineralization (Syunai-Salinskaya area, Yamal Peninsula). *Mineralogiya*, **5**(3), 38-46. (In Russ.)
- Fedoseev G.S., Sotnikov V.I., Rikhvanov L.P. (2005) Geochemistry and geochronology of Permo-Triassic basites in the Northwestern Altai-Sayan folded area. *Geol. Geofiz.*, **46**(3), 289-302. (In Russ.)
- Ferrari A.C., Robertson J. (2000) Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon. *Phys. Rev. B*, **61**(20), #14095.
- Filippov M.M. (2013) Anthraxolites. St. Petersburg, FGUP VNIGRI Publ., 296 p. (In Russ.)
- Gusev N.I., Stroev T.S., Sharipov A.G., Nazarov D.V., Kruglova A.A., Nikol'skaya O.A., Savanin V.V., Gladysheva A.S., Mikhailov D.A., Sergeeva L.Yu., Nikolaeva L.S., Bogomolov V.P., Savel'ev S.O. (2018) State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Norilsk series. Sheet Q-47-Toura. Explanatory note. St. Petersburg, Cartographic factory VSEGEI Publ., 328 p. (In Russ.)
- Ivanov A.V., He H., Yang L., Nikolaeva I.V., Palesskii S.V. (2009)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of intrusive magmatism in the Angara-Taseevskaya syncline and its implication for duration of magmatism of Siberian Traps. *J. Asian Earth Sci.*, **35**(1), 1-12.
- Ivanov K.P. (1974) Triassic trap formation of the Urals. Moscow, Nauka Publ., 154 p. (In Russ.)
- Ivanov K.P., Ivanov K.S., Rasulov A.T., Ronkin Yu.L. (2010) On the age and composition of the Turin series on the Sinara River (Middle Urals). *Gornye Vedomosti*, (5), 52-57. (In Russ.)
- Ivanov K.S., Erokhin Y.V. (2019) On time of the Triassic rifts system origin in Western Siberia. *Dokl. Earth Sci.*, **486**(1), 521-524. (Translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **486**(1), 88-92).
- Ivanov K.S., Erokhin Yu.V., Puchkov V.N., Ponomarev V.S., Kostrov N.P., Hiller V.V. (2021). Folded basement of the Yamal Peninsula and its structural connections. Ekaterinburg, IGG UB RAS, 285 p. (In Russ.)
- Ivanov K.S., Kostrov N.P., Koroteev V.A. (2019) The relationship among geodynamics, heat flow, deep structure, and the oil and gas potential of Yamal. *Dokl. Earth Sci.*, **486**(1), 490-493. (Translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **486**(2), 208-211).
- Ivanov K.S., Puchkov V.N., Fyodorov Yu.N., Erokhin Yu.V., Pogromskaya O.E. (2013) Tectonics of the Urals and adjacent part of the West-Siberian platform basement: Main features of geology and development. *J. Asian Earth Sci.*, **72**, 12-24.
- Ivanov K.S., Lats S.A., Koroteev V.A., Kostrov N.P., Pogromskaya O.E. (2018) The Main Factors Affecting the Distribution of Oil Fields in the West Siberian Platform. *Dokl. Earth Sci.*, **481**(3), 873-876. (Translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **481**(3), 285-288).
- Kirichkova A.I. (2011) Triassic of Western Siberia: lithostratons of reference sections. *Razvedka i Okhrana Nedr*, (4), 27-33. (In Russ.)
- Klubov B.A., Vinokurov I.Yu., Garibyan E.V. (1997) Bitumen shows on Hayes Island. *Geologiya Nefti i Gaza*, (2), 1-6. (In Russ.)
- Kogarko L.N., Zartman R.E. (2011) New Data on the Age of the Guli Intrusion and Implications for the Relationships between Alkaline Magmatism in the Maymecha-Kotuy Province and the Siberian Superplume: U-Th-Pb Isotopic Systematics. *Geochem. Int.*, **49**(5), 439-448.
- Korotkov B.S., Simonov A.V. (2010) Prospects for gas exploration in the deep horizons of Western Siberia. *Nauchno-tehnicheskii Sbornik. Vesti Gazovoi Nauki*, (2), 48-56. (In Russ.)
- Kouketsu Y., Mizukami T., Mori H., Endo S., Aoya M., Hara H., Nakamura D., Wallis S. (2014) A new approach to develop the Raman carbonaceous material geothermometer for low-grade metamorphism using peak width. *Island Arc*, **23**(1), 33-50.
- Krivolutskaya N.A., Rudakova A.V. (2009) Structure and geochemical characteristics of trap rocks from the Noril'sk trough, Northwestern Siberian craton. *Geochem. Int.*, **47**(7), 635-656. (Translated from *Geokhimiya* (7), 675-698).
- Kruk N.N., Plotnikov A.V., Vladimirov A.G., Kutolin V.A. (1999) Geochemistry and geodynamic conditions for the formation of Kuzbass traps. *Dokl. Akad. Nauk*, **369**(6), 812-815. (In Russ.)
- Kuno H. (1968) Differentiation of basalt magmas. *Basalts: the poldervaart treatise on rocks of basaltic composition. V. 2*. N.Y., Interscience, 623-688.
- Lahfid A., Beyssac O., Deville E., Negro F., Chopin C., Goffé B. (2010) Evolution of the Raman spectrum of car-

- bonaceous material in low-grade metasediments of the Glarus Alps (Switzerland). *Terra Nova*, **22**(5), 354-360.
- Latyshev A.V., Veselovskiy R.V., Ivanov A.V. (2018) Paleomagnetism of the Permian-Triassic intrusions from the Tunguska syncline and the Angara-Taseeva depression, Siberian traps large igneous province: evidence of contrasting styles of magmatism. *Tectonophysics*, **723**, 41-55.
- Lobova G.A., Korzhov Yu.V., Kudryashova L.K. (2014) Genesis of pre-Jurassic oil deposits of the Rogozhnikovskaya group of fields according to gravity and geochemistry data (Tyumen region). *Izv. Tomsk. Politekh. Univ.*, **324**(1), 65-72. (In Russ.)
- Medvedev A.Ya., Al'mukhamedov A.I., Kirda N.P. Geochemistry of Permo-Triassic volcanic rocks of West Siberia. *Geol. Geophys.*, **44**(1-2), 86-100. (In Russ.)
- Meshcheryakov K.A., Karaseva T.V., Kozhanov D.D., Meshcheryakova O.Yu. (2019) Triassic oil and gas complex is a potential object for increasing the resource base of Western Siberia. *Vest. Perm. Univ. Geol.*, **18**(1), 73-78. (In Russ.)
- Meshcheryakov K.A., Karaseva T.V. (2011) Features of detection of destroyed oil deposits at great depths. *Neftegazovaya Geologiya. Teoria i Praktika*, **6**(3), Article No. 27\_2011. (In Russ.)
- Mullen E.D. (1983) MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **62**, 53-62.
- Myasnikova G.P., Solopakhina L.A., Marinenkova N.L., Klopov A.L., Shpil'man A.V., Yatskanich E.A. (2005) Geological structure and prospects for oil and gas potential of pre-Jurassic deposits in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. *Ways to realize the oil and gas potential of KhMAO. Eighth scientific and practical conference. Khanty-Mansiisk*, 148-163. (In Russ.)
- Nastavko A.V., Borodina E.V., Izokh A.E. (2012) Petrological and mineralogical features of volcanic rocks from the Central Kuznetsk basin (Southern Siberia). *Russ. Geol. Geophys.*, **53**(4), 334-346. (Translated from *Geol. Geofiz.*, **53**(4), 435-449).
- Nikishin V.A., Malyshev N.A., Nikishin A.M., Obmetko V.V. (2011) Late Permian-Triassic rift system of the South Kara sedimentary basin. *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 4: Geol.*, (6), 3-9. (In Russ.)
- Paton M.T., Fiorentini M.L., Mudrovska I., Ivanov A.V., Reznitskii L.Z., Demonterova E.I., McNaughton N.J. (2010) Late Permian and Early Triassic magmatic pulses in the Angara-Taseeva syncline, Southern Siberian traps and their possible influence on the environment. *Russ. Geol. Geophys.*, **51**(9), 1012-1020. (Translated from *Geol. Geofiz.*, **51**(9), 1298-1309).
- Pearce J.A., Gale G.H. (1977) Identification of ore-deposition environment from trace-element geochemistry of associated igneous host rocks. *Volcanic processes in ore genesis*. London, Inst. Mining Metallurg, 14-24.
- Pearce T.H., Gorman B.E., Birkett T.C. (1975) The TiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **24**(3), 419-426.
- Podurushin V.F. (2011) Basement tectonics and its influence on the formation of the gas potential of the Yamal Peninsula. *Vesti Gazovoi Nauki*, (3), 65-72. (In Russ.)
- Ponomarev V.S., Erokhin Yu.V., Ivanov K.S. (2017) Material composition of basalts from the pre-Jurassic basement of Western Siberia (West-Tarkosalinskaya area, YaNAO). *Izv. UGGU*, (1), 14-18. (In Russ.)
- Ponomarev V.S., Ivanov K.S., Erokhin Yu.V. (2019) Material composition of basalts and dolerites from the pre-Jurassic basement of the West Siberian Plate (Verkhnekhudoseyskaya area, YaNAO). *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Severo-Kavkazskii region. Estestv. Nauki*, (3), 62-69. (In Russ.)
- Ponomarev V.S., Ivanov K.S., Erokhin Yu.V. (2020) Composition of volcanites from pre-Jurassic basement of the Western Siberian megabasin (Lakyuganskaya oil exploration area, YaNAO). *Izv. UGGU*, (2), 7-19. (In Russ.)
- Popov E.A., Stovbun Yu.A., Russkikh A.S. (2021) On issue of Pre-Jurassic oil potential of Western Siberia. (Pt. I). *Burenie i Neft'*, (1).
- Popov V.S., Bogatov V.I., Petrova A.Yu., Belyatskii B.V. (2003) Age and possible sources of granites of the Murzinsko-Adui block, Middle Urals, Rb-Sr and Sm-Nd isotope data. *Lithosphere (Russia)*, (4), 3-18. (In Russ.)
- Puchkov V.N. (2010) Geology of the Urals and Cis-Urals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa, DesignPolygraphService Publ., 280 p. (In Russ.)
- Puchkov V.N., Ernst R.E., Ivanov K.S. (2021) The importance and difficulties of identifying mantle plumes in orogenic belts: An example based on the fragmented large igneous province (LIP) record in the Ural fold belt. *Precamb. Res.*, **361**, 106186.
- Puchkov V.N., Ivanov K.S. (2020) Tectonics of the Northern Urals and Western Siberia: general history of development. *Geotectonics*, **54**(1), 35-53.
- Rahl J.M., Anderson K.M., Brandon M.T., Fassoulas C. (2005) Raman spectroscopic carbonaceous material thermometry of low-grade metamorphic rocks: Calibration and application to tectonic exhumation in Crete, Greece. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **240**(2), 339-354.
- Reichow M.K., Pringle M.S., Al'mukhamedov A.I., Allen M.B., Andreichev V.L., Buslov M.M., Davies C.E., Fedoseev G.S., Fitton J.G., Inger S., Medvedev A.Ya., Mitchell C., Puchkov V.N., Safonova I.Yu., Scott R.A., Saunders A.D. (2009) The timing and extent of the eruption of the Siberian Traps large igneous province: Implications for the end-Permian environmental crisis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **277**, 9-20.
- Reichow M.K., Saunders A.D., Whitea R.V., Al'mukhamedov A.I., Medvedev A.Ya. (2005) Geochemistry and petrogenesis of basalts from the West Siberian Basin: an extension of the Permo-Triassic Siberian Traps, Russia. *Lithos*, **79**(3-4), 425-452.
- Robertson J. (1991) Hard amorphous (diamond-like) carbons. *Progress in Solid State Chem.*, **21**(4), 199-333.
- Sadezky A., Sadezkaya A., Muckenhuber H., Grothe H., Niessner R., Poschl U. (2005) Raman microspectroscopy of soot and related carbonaceous materials: spectral analysis and structural information. *Carbon*, **43**(8), 1731-1742.
- Saraev S.V., Baturina T.P., Ponomarchuk V.A., Travin A.V. (2009) Permo-Triassic volcanics of the Koltogory-Urengoi rift of the West Siberian geosyncline. *Russ. Geol. Geophys.*, **50**(1), 1-14. (Translated from *Geol. Geofiz.*, **50**(1), 4-20).
- Serebrennikova O.V., Turov Yu.P., Filippova T.Yu., Vasil'ev B.D. (2003) Naphthides in Lower Devonian basalts in the North Minusinsk depression. *Dokl. Earth Sciences*, **390**(4), 604-606. (Translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **390**(4), 525-527).

- Sharma M., Basu A.R., Nesterenko G.V. (1992) Temporal Sr-, Nd- and Pb-isotopic variations in the Siberian flood basalts: Implications for the plume-source characteristics. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **113**(3), 365-381.
- Smirnov V.N., Ivanov K.S. (2019) Structural connections between the Urals and Western Siberia: a common stage of formation at the Permian–Triassic boundary. *Dokl. Earth Sci.*, **488**(1), 1051-1054. (Translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **488**(3), 294-297).
- Smirnov V.N., Ivanov K.S., Krasnobaev A.A., Bushlyakov I.N., Kaleganov B.A. (2006) K-Ar dating result of Aduisky granite massif (Eastern slope of Middle Urals). *Lithosphere (Russia)*, (2), 148-156. (In Russ.)
- Streletskaya M.V., Zaytceva M.V., Soloshenko N.G. (2017) Sr and Nd chromatographic separation procedure for precise isotope ratio measurement using TIMS and MC-ICP-MS methods. *European winter conference on plasma spectrochemistry (EWCPs-2017)*, #319.
- Sun S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc., Spec. Publ.*, **42**, 313-345.
- Surkov V.S., Zhero O.G., Smirnov L.V. (1984) Arctic-North Atlantic Rift Megasytem. *Geol. Geofiz.*, (8), 3-11. (In Russ.)
- Svetlitskaya T.V., Nevolko P.A. (2016) Late Permian–Early Triassic traps of the Kuznetsk Basin, Russia: Geochemistry and petrogenesis in respect to an extension of the Siberian Large Igneous Province. *Gondwana Res.*, **39**, 57-76.
- Timonin N.I. (1998) Pechora plate: history of geological development in the Phanerozoic. Ekaterinburg, UB RAS, 240 p. (In Russ.)
- Tuinstra F., Koenig J.L. (1970) Raman spectrum of graphite. *J. Chem. Phys.*, **53**(3), 1126-1130.
- Western Siberia. Geology and minerals of Russia. (2000) V. 2 (Eds A.E. Kontorovich, V.S. Surkov) St. Petersburg, VSEGEI Publ, 477 p. (In Russ.)
- Wopenka B., Pasteris J.D. (1993) Structural characterization of kerogens to granulite-facies graphite: applicability of Raman microprobe spectroscopy. *Amer. Mineral.*, **78**(5-6), 533-557.
- Yolkin E.A., Kontorovich A.E., Bakharev N.K., Belyaev S.Yu., Izokh N.G., Kanygin A.V., Kashtanov V.A., Kirida N.P., Klets A.G., Kontorovich V.A., Moiseev S.A., Obut O.T., Saraev S.V., Sennikov N.V., Filippov Yu.F., Khomenko A.V., Khromykh V.G., Varlamov A.I., Krasnov V.I., Krinin V.A., Moiseev S.A., Obut O.T., Saraev S.V., Sennikov N.V., Tishenko V.M., Filippov Yu.F., Khomenko A.B., Khromykh V.G. (2007) Paleozoic facies megazones in the basement of the West Siberian geosyncline. *Russ. Geol. Geophys.*, **48**(6), 491-504. (Translated from *Geol. Geofiz.*, **48**(6), 633-650).