

Научная статья

УДК 551.31:551.736.1(470.53)

doi: 10.17223/25421379/35/2

СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД НЕПСКОЙ СВИТЫ ВЕНДСКОГО ВОЗРАСТА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ (по результатам изучения керна скважины ВЧ-3Х)



Алексей Владимирович Плюснин¹, Зинаида Леонидовна Мотова²,
Рушан Рушанович Валеев³, Елена Михайловна Томилина⁴,
Владимир Александрович Фомин⁵

¹ ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть», Красноярск, Россия

¹ Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», Альметьевск, Россия

^{2,3,5} Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

³ АО «Верхнеконскнефтегаз», Иркутск, Россия

⁴ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

¹ PlyusninAV@knipi.rosneft.ru

² motova@crust.irk.ru

³ rrvaleev6@rosneft.ru

⁴ tomilinaelena.psu@yandex.ru

⁵ fovarid@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты петрографических и литогеохимических исследований непской свиты внутреннего района Сибирской платформы, изученных по керну скважины ВЧ-3Х. Разрез непской свиты характеризуется терригенным составом. Для терригенных пород характерна низкая степень сортировки и окатанности обломочного материала. Изученные породы непской свиты являются осадками первого цикла седиментации. Обнаруженные сходства петрографических и литогеохимических характеристик изученных песчаников нижне-непской и верхне-непской подсвит свидетельствуют о том, что седиментация этих пород происходила в схожем тектоническом режиме при поступлении обломочного материала из одной питающей провинции. Обилие обломков гранитоидов, кварцитов, сланцев (кремниевых, глинисто-кремниевых, глинистых) в кластогенной составляющей позволило установить, что терригенные породы непской свиты были образованы в основном за счет разрушения кислых магматических и метаморфических пород. Породы непской свиты центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы накапливались в остаточном бассейне, сформированном в результате вендских аккреционно-коллизийных событий, известных на юге Сибирской платформы, при этом в качестве основного поставщика обломочного материала в бассейн седиментации этой свиты выступали породы фундамента Сибирской платформы.

Ключевые слова: непская свита, венд, петрография, литогеохимия, геодинамика, Непско-Ботуобинская антеклиза, Сибирская платформа

Источник финансирования: исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-17-00196, <https://rscf.ru/project/23-17-00196/>).

Для цитирования: Плюснин А.В., Мотова З.Л., Валеев Р.Р., Томилина Е.М., Фомин В.А. Состав и условия формирования терригенных пород непской свиты Вендского возраста центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы (по результатам изучения керна скважины ВЧ-3Х) // Геосферные исследования. 2025. № 2. С. 19–33. doi: 10.17223/25421379/35/2

Original article

doi: 10.17223/25421379/35/2

COMPOSITION AND FORMATION CONDITIONS OF THE TERRIGENOUS ROCKS OF THE NEPSKAYA FORMATION OF THE VENDIAN AGE IN THE CENTRAL PART OF THE NEPSK-BOTUOBANSKAYA ANTECLISE (based on the results of studying the core of the VCh-3Kh well)

Alexey V. Plyusnin¹, Zinaida L. Motova², Rushan R. Valeev³, Elena M. Tomilina⁴, Vladimir A. Fomin⁵

¹ ООО RN-KrasnoyarskNIPIneft, Krasnoyarsk, Russia

¹ Almet'yevsk State Technological University "Higher School of Oil", Almet'yevsk, Russia

^{2,3,5} Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia

³ Verkhnechonskneftegaz JSC, Irkutsk, Russia

⁴ Perm State National Research University, Perm, Russia

¹ PlyusninAV@knipi.rosneft.ru

² motova@crust.irk.ru

³ rrvaleev6@rosneft.ru

⁴ tomilinaelena.psu@yandex.ru

⁵ fovarid@gmail.com

Abstract. The paper presents the results of petrographic and lithogeochemical studies of the Nepa Formation of the inner region of the Siberian Platform, studied from the core of the VCh-3Kh well. The section of the Nepa Formation is characterized by terrigenous composition. Terrigenous rocks are characterized by a low degree of sorting and roundness of clastic material. The studied rocks of the Nepa Formation are sediments of the first sedimentation cycle. The revealed similarities in the petrographic and lithogeochemical characteristics of the studied sandstones of the Nepa Formation Subformation indicate that the sedimentation of these rocks occurred in a similar tectonic regime, with the supply of clastic material from the same supply province. The abundance of fragments of granitoids, quartzites, schists (siliceous, argillaceous-silicic, argillaceous) in the clastogenic component made it possible to establish that the terrigenous rocks of the Nepa Formation were formed mainly due to the destruction of acidic igneous and metamorphic rocks. Both Archean-Early Proterozoic rocks of the basement of the Siberian Platform and igneous and metamorphic rocks of the adjacent areas of the Central Asian fold belt are assumed to be the main suppliers of clastic material to the sedimentation basin of the Nepa Formation.

Keywords: Nepa Formation; vendian; petrography; lithogeochemistry; geodynamics; Nepa-Botuoba anticline; Siberian platform

Source of financing: the research was supported by the Russian Science Foundation (grant no. 23-17-00196, <https://rscf.ru/project/23-17-00196/>).

For citation: Plyusnin A.V., Motova Z.L., Valeev R.R., Tomilina E. M., Fomin V.A. (2025) Composition and formation conditions of the terrigenous rocks of the Nepa Formation of the Vendian age in the central part of the Nepa-Botuoba anticline (based on the results of studying the core of the VCh-3Kh well). *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 2. pp. 19–33. (In Russian) doi: 10.17223/25421379/35/2

Введение

Начиная с 1970-х гг., на территории Непско-Ботубинской антеклизы (НБА) ведутся активные геологоразведочные работы с целью поиска углеводородов. Одним из основных объектов разработки являются терригенные отложения вендского возраста, в которых сосредоточено до половины запасов углеводородов данного региона. Представления о строении и условиях формирования глубокозалегающих горизонтов строятся по результатам изучения керна скважин. До недавнего времени освещенность продуктивных интервалов была низкой. С появлением современных керноотборочных снарядов отбор керна стал производиться со 100 %-м выносом в необходимом интервале, что значительно повысило детальность разреза. Помимо стандартных работ (описание керна, изучение фильтрационно-емкостных свойств и др.) появилась возможность проводить сиквенс-стратиграфические, петрографические и литогеохимические исследования с целью выявления основных этапов осадконакопления и прогноза распространения и качества коллекторов.

Настоящая работа является продолжением исследований поздневендских терригенных отложений непской свиты, распространенных на территории НБА.

Основная цель исследования заключается в реконструкции условий осадконакопления терригенных отложений непской свиты, распространенных в центральной части НБА, на основе петрографических и литогеохимических исследований керна скважины ВЧ-3Х (Верхнеченского месторождения), а также с учетом опубликованных данных по U-Pb (LA-ICP-MS) исследованиям возраста детритовых цирконов из нижне-непской подсвиты центральной части НБА [Изыурова и др., 2020]. В конечном итоге результаты исследований будут сопоставлены с аналогичными исследованиями авторов по терригенным породам непской свиты, распространенных на южной части НБА [Motova, Plyusnin, 2022].

Краткие сведения о геологическом строении

Район исследования приурочен к центральной части Непско-Ботубинской антеклизы, одноименному фациальному району в центре Приленско-Непской фациальной зоны (рис. 1).

Согласно принятой стратиграфической схеме [Решения четвертого..., 1989], в регионе выделены следующие свиты: непская (непский горизонт), тирская (тирский горизонт), а также перекрывающая их канганская свита нижнего подгоризонта даниловского горизонта.

На основании биостратиграфических исследований [Голубкова, Кузнецов, 2014] возраст рассматриваемых толщ определён как поздний венд.

Непская свита (названа по р. Непа на севере Иркутской области) с региональным несогласием залегает на образованиях фундамента. Стратотип свиты – в скв. Марковская 23 (интервал 2556,7–2650,9 м) [Решения четвертого..., 1989]. Подразделяется на верхненепскую и нижненепскую подсвиту [Шемин, 2007; Мельников, 2018].

Нижненепская подсвита литологически представлена гравийно-глинисто-песчаными породами. В подошве подсвиты отмечаются гравелиты в ассоциации с конгломератами и песчаниками; в средней части разреза залегают песчаники с прослоями алевролитов, которые выше переходят в алевролиты. Мощность подсвиты изменяется от первых метров до 70 м. На территории центральной части НБА в отложениях подсвиты выделяется верхнечонский второй продуктивный горизонт (ВЧ2), а на юге – безымянный.

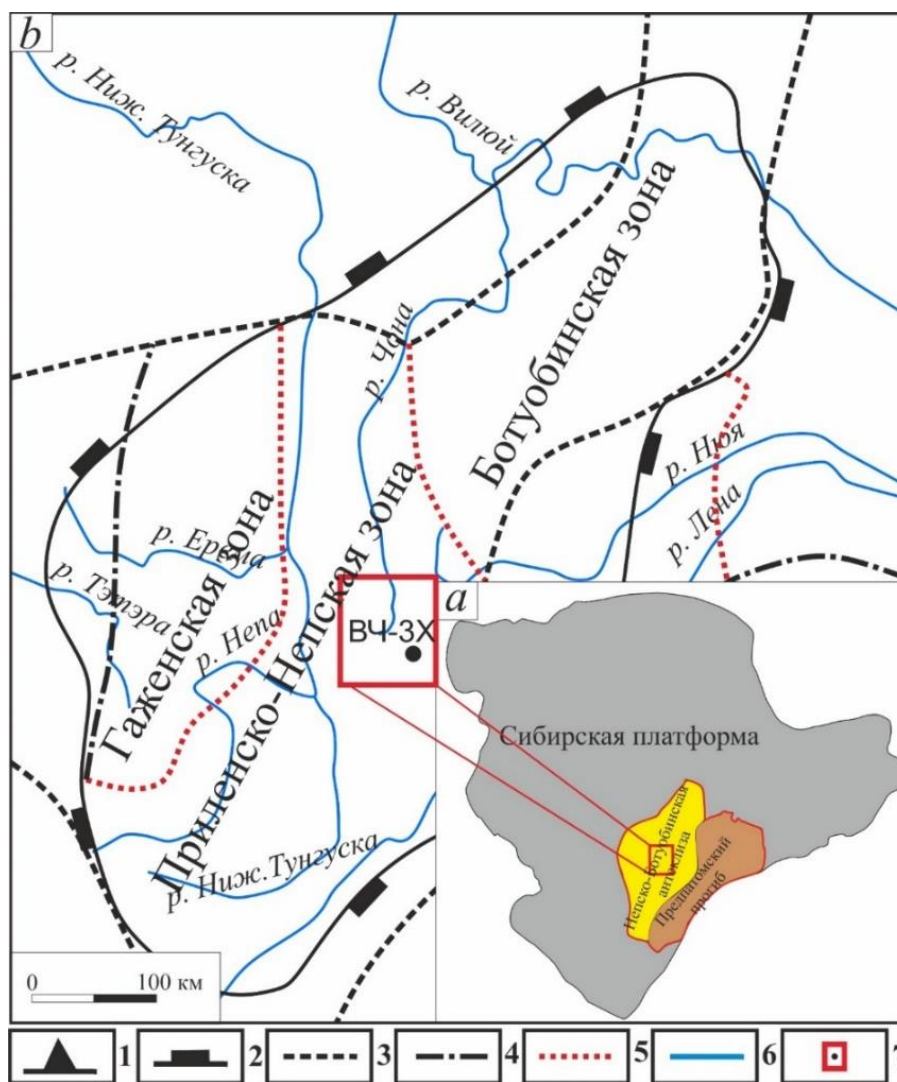


Рис. 1. Район исследований (а) и фрагмент схемы структурно-фациального районирования Сибирской платформы (б) [Стратиграфия..., 2005]

1 – граница Сибирской платформы; 2 – граница Непско-Ботубинской антеклизы; 3 – границы фациальных регионов; 4 – границы фациальных зон; 5 – границы фациальных зон; 6 – гидросеть; 7 – район исследования и изученная скважина

Fig. 1. Study area (a) and a fragment of the scheme of structural-facies zoning of the Siberian Platform (b) [Stratigraphy..., 2005]

1 – border of the Siberian platform; 2 – boundary of the Nepa-Botuoba anticline; 3 – boundaries of facies regions; 4 – boundaries of facies regions; 5 – boundaries of facies zones; 6 – hydraulic network; 7 – study area

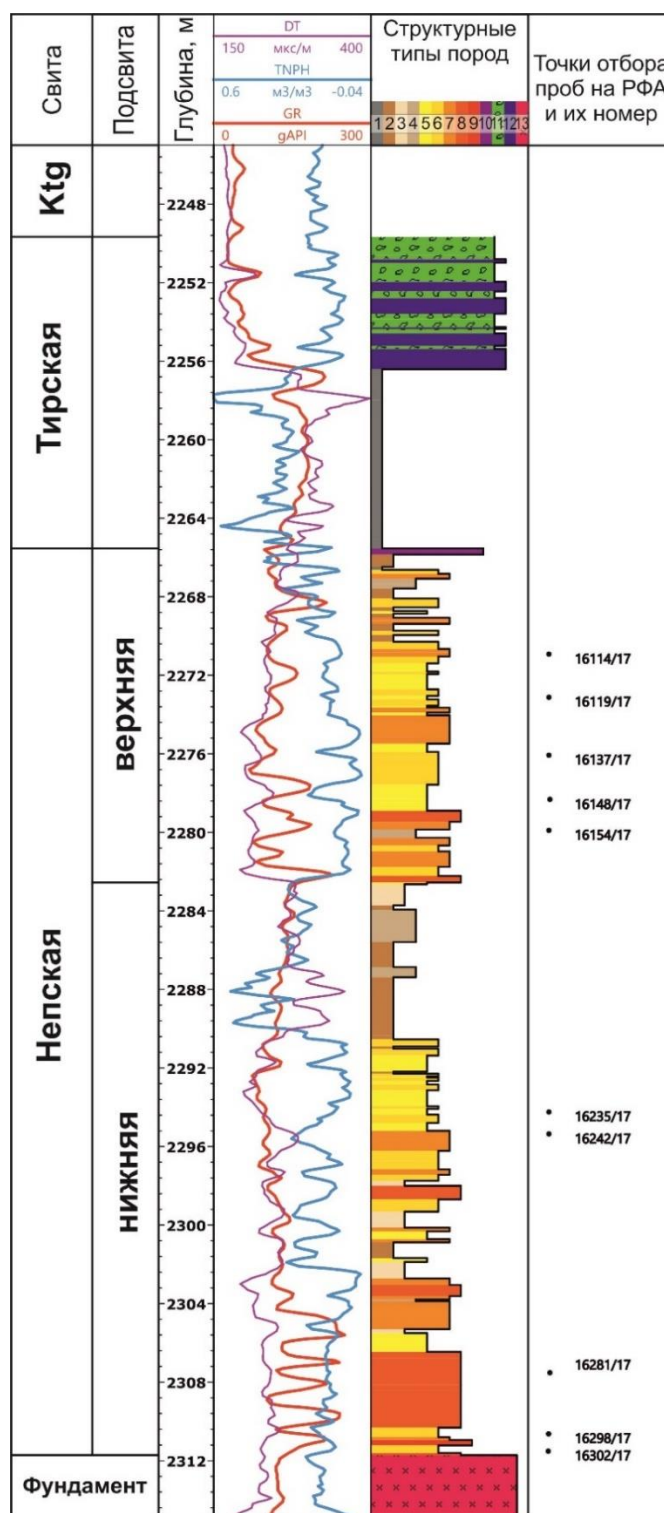


Рис. 2. Литологический разрез скважины ВЧ-3Х [Плюснин и др., 2019] с точками отбора проб

Структурные типы пород: 1 – аргилиты; 2 – алевролиты крупно-мелкозернистые; 3 – алевролиты мелко-крупнозернистые; 4 – переслаивание алевролитов и песчаников; 5 – песчаники мелкозернистые; 6 – песчаники среднезернистые; 7 – песчаники крупнозернистые; 8 – песчаники грубозернистые; 9 – гравелиты и конгломераты; 10 – терригено-сульфатно-карбонатные породы; 11 – доломиты брекчированные; 12 – доломиты; 13 – породы фундамента

Fig. 2. Lithological section of the well VCh-3X [Plyusnin et al., 2019] with sampling points

Structural types of rocks: 1 – argillites; 2 – coarse-fine-grained siltstones; 3 – fine-coarse-grained siltstones; 4 – interbedding of siltstones of terrigenous rocks; 5 – fine-grained sandstones; 6 – medium-grained sandstones; 7 – coarse-grained sandstones; 8 – coarse-grained sandstones; 9 – gravelites and conglomerates; 10 – terigen sulfate-carbonate rocks; 11 – brecciated dolomites; 12 – dolomites; 13 – rock foundation

Верхненепская подсвета литологически представлена гравийно-глинисто-песчаными породами с единичными прослоями смешанных терригенно-сульфатно-карбонатных пород. Подсвета представлена песчаниками: в нижней половине разреза – разнотерригенными неравномерно гравелистыми и гравийными, чередующимися с гравелитами, в верхней – мелкозернистыми с прослоями алевролитов. В кровле разреза подсветы располагаются смешанные терригенно-сульфатно-карбонатные породы. Мощность от первых десятков метров до 80 м. К верхненепской подсвете центральной части НБА приурочен верхнечонский первый продуктивный горизонт (ВЧ1), а на юге – ярактинский. Подробное описание свит рассматриваемого района приводится авторами в работе [Плюснин, Гёкче, 2020].

Фактический материал и методы исследования

Работа выполнена на основе исследований терригенных отложений венда в разрезе скважины ВЧ-3Х. Детальная литолого-фациальная характеристика разреза скважины опубликована в работе [Плюснин и др., 2019] (см. рис. 2). Петрографические исследования шлифов из осадочных пород выполнены в ООО «ТННЦ» по методике НСОММИ МР № 184 (исполнитель Е.В. Мартынюк) с использованием поляризационного микроскопа Nikon Eclipse E600POL (Nikon, Япония).

Определение основных петрогенных оксидов производилось на рентгенофлуоресцентном спектрометре S8 Tiger (Bruker AXS GmbH, Германия) в НОЦ «Геотермохронологии» ИГиНГТ КФУ. Подготовка проб для анализа породообразующих элементов выполнена путем плавления 0,5 г порошка пробы, 2 г тетрабората лития и 2 г в муфельной печи с последующим отливом стеклообразного диска. При калибровке спектрометра и для контроля качества измерений использованы государственные стандартные образцы химического состава горных пород – ГСО № 8871-2007, ГСО № 3333-85, ГСО № 3191-85. Точность анализа составляла 1–5 отн. % для элементов с концентрациями выше 1–5 мас. % и до 12 отн. % для элементов с концентрацией ниже 0,5 мас. %. Обработка результатов проводилась посредством разработанных методик в программе Spectra Plus (Bruker AXS GmbH, Германия).

Генетическая типизация терригенных пород проведена с использованием системы петрохимических модулей по методике [Юдович, Кетрис, 2000].

Петрографическая характеристика

Исследованные образцы пород нижненепской подсветы представлены алевролитами, песчаниками и гравелитами. Всего изучено пять шлифов. В соответствии с классификацией по Н.В. Логвиненко [Логвиненко, 1974] минеральный состав терригенных

пород нижненепской подсветы отвечает аркозам (рис. 3, а).

Текстура пород слабо выраженная слойчатая, подчеркнутая слойками, обогащенными грубо-, крупно- и средне-псаммитовым материалом, и акцессорными минералами, толщиной до 3,6 мм, микрослоистая за счет однонаправленной ориентировки большинства удлиненных зерен. Структура псаммитовая, псефитовая и алевролитовая. Преобладающий размер от 0,05 до 3,5 мм, единично до 4–7 мм (рис. 4).

Форма обломков субизометричная, слабоудлиненная, редко удлиненная, полуокатанная, реже окатанная, иногда неокатанная и угловатая. Единичные гравийные обломки значительно удлиненны (рис. 4, d). Снизу вверх по разрезу степень сортировки изменяется от плохой до средней. Плохая сортировка преобладает в большинстве образцов. Для пород характерен смешанный тип цементации: кварцевый регенерационный цемент, либо бесцементное контактное соединение зерен кварца и обломков пород, которое характеризуется конформной структурой, или пленочно-поровый глинистый цемент, преимущественно гидрослюдистый, а также поровый карбонатный и сульфатный цемент (рис. 4, e, f). Состав обломочной части: кварц (51–60 %), полевые шпаты (28–34 %), слюды (от 1 до 2 %) и обломки пород (от 4 до 16 %). Полевые шпаты слабо или полностью пелитизированные, частично растворены, представлены ортоклазом и микроклином. Слюды представлены отдельными чешуйками и мелкими листочками гидратированного биотита и единично – мусковита и хлорита. Обломки пород представлены кварцитами, которые преобладают в большей степени, гранитоидами и микросланцами (кремниевыми, глинисто-кремниевыми, глинистыми). Аутигенные минералы: кальцит, доломит, ангидрит, гидрослюда цемента и пирит. Акцессорные минералы: циркон, турмалин, монацит, сфен. Постседиментационные преобразования: структура вдавливания и образование конформных структур за счет регенерации кварца и уплотнения обломков; пелитизация и частичное растворение полевых шпатов; корродирование кромок зерен на границе с карбонатом, укрупнение чешуек гидрослюдистого цемента.

Исследованные образцы пород верхненепской подсветы представлены песчаниками. Всего изучено пять шлифов. В соответствии с классификацией по Н.В. Логвиненко [Логвиненко, 1974] минеральный состав этих пород отвечает аркозам (см. рис. 3, b). Текстура слойчатая, подчеркнутая слойками, обогащенными грубопсаммитовым материалом и титанистыми минералами, толщиной до 2,4 мм и микрослоистая, обусловленная однонаправленной ориентировкой большинства слабоудлиненных и удлиненных обломков. Структура псаммитовая, псефитовая и алевролитовая. Преобладающий размер от 0,03 до 3,7 мм (рис. 5).

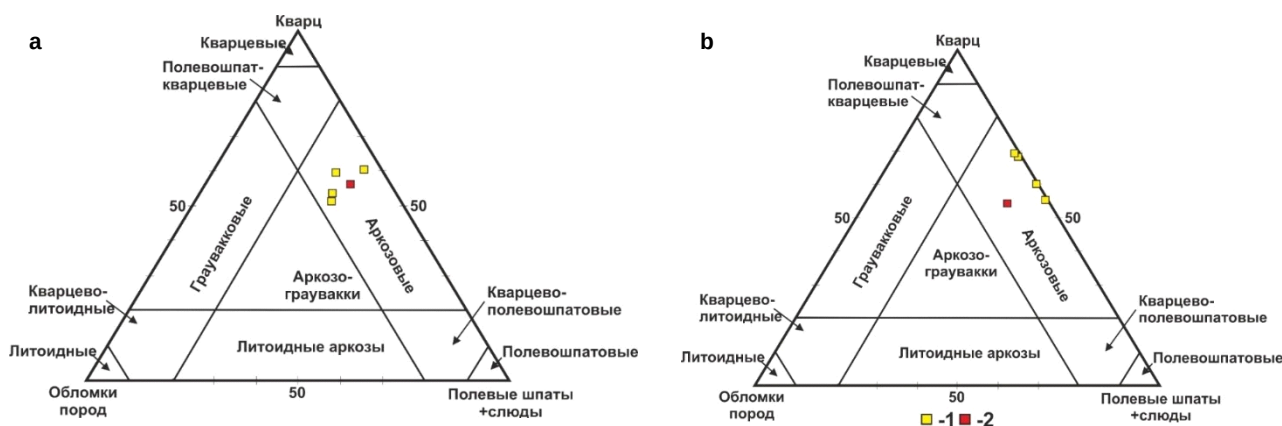


Рис. 3. Классификационные диаграммы для терригенных пород нижненепской (а) и верхненепской (b) подсвет по Н.В. Логвиненко [Logvinenko, 1974]

1 – песчаники; 2 – гравелиты

Fig. 3. Classification diagrams for terrigenous rocks of the Lower Nep (a) and Upper Nep (b) formations after [Logvinenko, 1974]

1 – sandstones; 2 – gravelites

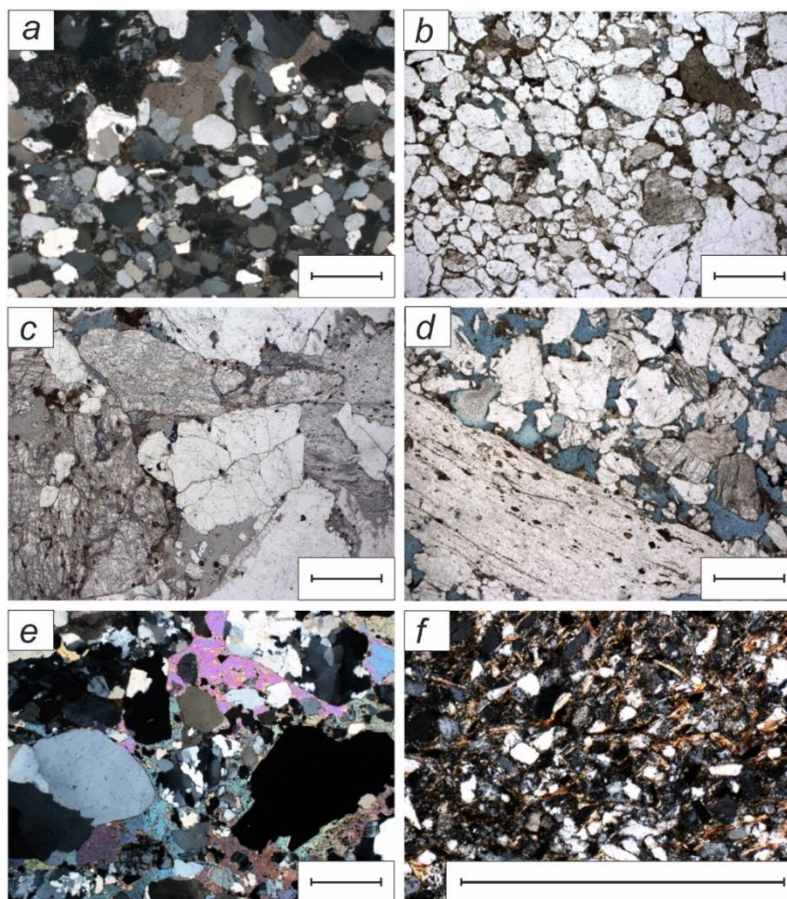


Рис. 4. Микрофотографии шлифов терригенных пород нижненепской подсветы

a – песчаник разномерный с редкими обломками гравийной размерности; b – песчаник разномерный гравелистый; c – гравелит мелко-галечниковый песчаный с плёночно-поровым глинистым цементом; d – песчаник разномерный гравийный, пористый; e – поровый сульфатный цемент, представленный пойкилитовыми кристаллами ангидрита; f – алевролит мелко-крупнозернистый песчаный, слюдястый с плёночно-поровым глинистым цементом. Длина масштабной линейки 1 мм. Николи прямые b–d. Николи скрещенные a, e, f

Fig. 4. Micrographs of thin sections of terrigenous rocks of the lower nep subformation

a – inequigranular sandstone with rare fragments of gravel size; b – inequigranular gravelly sandstone; c – small-pebble sandy gravelstone with film-pore clayey; d – inequigranular gravel, porous sandstone; e – porous sulfate cement, represented by poikilitic anhydrite crystals; f – fine-coarse-grained sandy, micaceous siltstone with film-pore clay cement. The length of the scale bar is 1 mm. Nikoli straight b–d. Nikoli crossed a, e, f

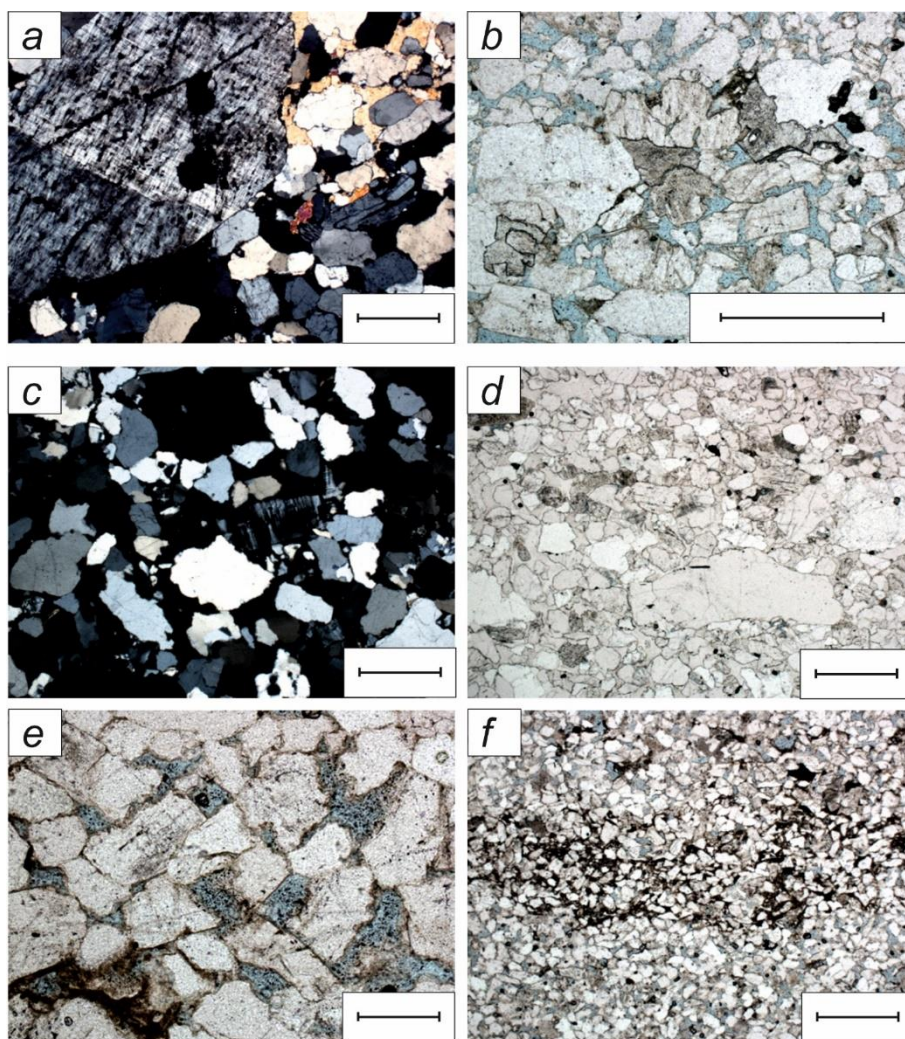


Рис. 5. Микрофотографии шлифов терригенных пород верхненепской подсвиты

а – песчаник разномзернистый гравелистый, участками с поровым сульфатным цементом, и бесцементное контактное соединение зерен кварца и полевых шпатов; б – песчаник разномзернистый слабо алевритистый, с хаотичным расположением зерен и обломков; в – бесцементное контактное соединение зерен кварца и полевых шпатов, которое характеризуется конформной структурой; д – песчаник крупно-, мелко-, среднезернистый с единичными включениями грубообломочного материала; е – песчаник мелко-среднезернистый пористый; ф – песчаник мелкозернистый алевритовый с пленочно-поровым глинистым цементом. Длина масштабной линейки 1 мм. Никולי прямые б, д–ф. Никולי скрещенные а, в

Fig. 5. Micrographs of thin sections of terrigenous rocks of the upper nepa subformation

а – sandstone of various grains, gravelly, in areas with pore sulfate cement, and a cementless contact connection of quartz grains and feldspars; б – heterogranular sandstone, slightly silty, with a chaotic arrangement of grains and fragments; в – cementless contact connection of quartz grains and feldspars, which is characterized by a conformal structure; д – coarse-fine-medium-grained sandstone with isolated inclusions of coarse clastic material; е – fine-medium-grained porous sandstone; ф – fine-grained silty sandstone with film-pore clay cement. The length of the scale bar is 1 mm. Nikoli straight б, д–ф. Nikoli crossed а, в

Форма обломков субизометричная, неправильная, удлиненная, полуокатанная, полуугловатая, редко окатанная. Гравийные обломки окатанные, полуокатанные, реже полуугловатые. Снизу вверх по разрезу степень сортировки попеременно изменяется от плохой до средней. Преобладает средняя сортировка зерен. Для пород характерен смешанный тип цементации. Кварцевый или полевошпатовый регенерационный цемент (см. рис. 5, в). Бесцементное контактное соединение зерен кварца и обломков пород, которое

характеризуется конформной структурой (рис. 5, а, в). Пленочно-поровый глинистый цемент, преимущественно гидрослюдистый. Поровый карбонатный и сульфатный цемент. Состав обломочной части: кварц (55–70 %), полевые шпаты (31–41 %), слюды (от 1 до 3 %) и обломки пород присутствуют в незначительном количестве (ед. до 10 %). Полевые шпаты представлены зернами ортоклаза, микроклина, единично плагиоклазов. Редкие слюды представлены пластинками биотита и мусковита. Обломки пород

представлены гранитоидами, кварцитами, глинистыми сланцами. Аутигенные минералы: кальцит, доломит, ангидрит, гидрослюда цемента и пирит. Акцессорные минералы: циркон, ильменит, турмалин, циркон, монацит и сфен. Постседиментационные преобразования: структура вдавливания и образование конформных структур за счет регенерации кварца и уплотнения обломков; пелитизация и частичное растворение полевых шпатов; корродирование кромок зёрен на границе с карбонатом, укрупнение чешуек гидрослюдистого цемента.

Геохимическая характеристика

Содержания петрогенных оксидов и рассчитанные значения петрохимических модулей по [Юдович, Кетрис, 2000] приведены в таблице.

Петрохимический состав терригенных пород непской свиты скважины ВЧ-3Х

Petrochemical composition of terrigenous rocks of the Nepa Formation from the VCh-3X well

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Литология	Песчаник	Песчаник	Песчаник	Песчаник	Песчаник	Песчаник	Алевролит	Гравелит	Песчаник	Песчаник
Лабораторный номер	16114/17	16119/17	16137/17	16148/17	16154/17	16235/17	16242/17	16281/17	16298/17	16302/17
Подсвита	Верхненепская					Нижненепская				
Глубина, м	2270,94	2273,13	2276,08	2278,35	2279,91	2294,25	2295,38	2307,6	2310,64	2311,52
SiO ₂ , мас. %	67,36	74,86	85,44	76,81	76,41	80,27	65,83	69,73	69,17	71,89
TiO ₂	0,64	0,36	0,63	0,42	2,10	0,69	1,01	0,18	0,13	0,37
Al ₂ O ₃	9,78	9,14	4,79	8,34	7,77	5,77	10,59	9,45	9,62	7,83
Fe ₂ O ₃ общ	1,19	0,91	0,51	0,92	0,57	0,84	1,74	1,28	1,32	1,69
MnO	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
MgO	4,64	1,66	0,38	1,82	0,95	0,65	1,71	2,19	3,62	3,61
CaO	0,74	0,55	0,16	0,59	0,25	0,26	0,89	0,45	0,93	0,99
Na ₂ O	0,40	1,54	1,49	0,90	1,20	2,83	3,13	1,72	0,96	0,54
K ₂ O	6,59	7,01	4,03	6,77	5,96	4,14	5,90	7,64	5,89	5,31
P ₂ O ₅	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06	0,02	0,06	0,03	0,00	0,00
ППП	3,27	1,55	0,56	1,62	1,93	1,24	3,79	3,07	4,31	4,22
Сумма	94,68	97,62	98,04	98,23	97,19	96,70	94,65	95,76	95,97	96,46
log (SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	0,84	0,91	1,25	0,96	0,99	1,14	0,79	0,87	0,86	0,96
log (Fe ₂ O ₃ /K ₂ O)	-0,74	-0,89	-0,89	-0,87	-1,00	-0,69	-0,53	-0,78	-0,65	-0,50
ГМ	0,18	0,15	0,07	0,13	0,14	0,09	0,22	0,16	0,17	0,15
ФМ	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,02	0,03	0,04
НКМ	0,71	0,94	1,15	0,92	0,92	1,21	0,85	0,99	0,71	0,75

Примечание. Петрохимические модули [Юдович, Кетрис, 2000]: ГМ (гидролизатный) = (TiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃+FeO+MnO)/SiO₂; ФМ (фемический) = (Fe₂O₃+FeO+MnO+MgO)/SiO₂; модуль нормированной щелочности НКМ = (Na₂O+K₂O)/Al₂O₃.

Note. Petrochemical modules [Yudovich, Ketris, 2000]: GM (hydrolysate) = (TiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃+FeO+MnO)/SiO₂; FM (femic) = (Fe₂O₃+FeO+MnO+MgO)/SiO₂; modulus of normalized alkalinity NKM = (Na₂O+K₂O)/Al₂O₃.

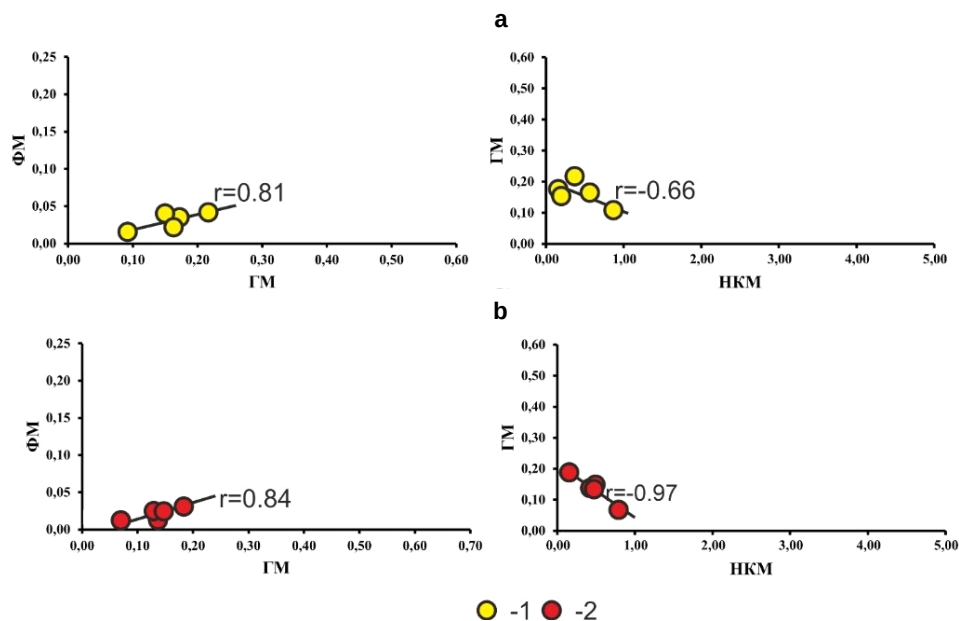


Рис. 6. Диаграммы ГМ-ФМ и НКМ-ГМ по [Юдович, Кетрис, 2000] для терригенных пород нижненепской подсвиты (а), верхненепской подсвиты (б)

1 – точки проб из нижненепской подсвиты; 2 – точки проб из верхненепской подсвиты

Fig. 6. Diagrams of GM-FM and NKM-GM according to [Yudovich, Ketris, 2000] for terrigenous rocks of the Lower Nepa Subformation (a) and the Upper Nepa Subformation (b)

1 – points of samples from the lower nep subformation; 2 – points of samples from the upper nepa subformation

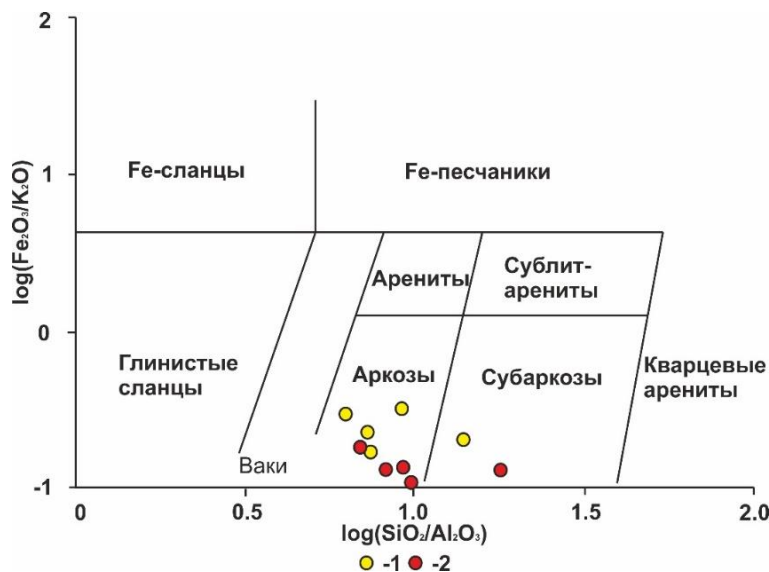


Рис. 7. Положение фигуративных точек состава терригенных пород нижненепской подсвиты (1), верхненепской подсвиты (2) по [Herron, 1988]

1 – точки проб из нижненепской подсвиты; 2 – точки проб из верхненепской подсвиты

Fig. 7. Position of figurative points of composition of terrigenous rocks of the Lower Nepa Subformation (1) and the Upper Nepa Subformation (2) according to [Herron, 1988]

1 – points of samples from the lower nep subformation; 2 – points of samples from the upper nepa subformation

В терригенных породах верхненепской подсвиты содержания SiO_2 варьируются от 67,36 до 85,44 мас. %. Значения гидролизатного модуля в исследуемых породах изменяются в широком диапазоне

(0,07–0,18), что позволяет классифицировать их, как супер- и нормосилиты. Изученные образцы характеризуются различными значениями модуля нормированной щелочности ($\text{НКМ} = 0,71\text{--}1,25$). Для пород

верхненепской подсвиты отмечается положительная корреляция ГМ-ФМ ($r = 0,83$) и отрицательная НКМ-ГМ ($r = -0,81$) (см. рис. 6, b).

Обсуждение результатов

Терригенные породы нижненепской подсвиты в основном сложены плохо отсортированным полуокатанным и неокатанным материалом, что может указывать на близость пород источника к бассейну седиментации. Породы преимущественно полевошпатового состава, с повышенным содержанием полевых шпатов (до 34 %). Сравнительный анализ составов обломков в терригенных породах нижненепской подсвиты, распространенных в центральной и южной частях НБА, демонстрирует определенные отличия (см. рис. 3, a). А именно, терригенные породы нижненепской подсвиты, распространенные в

центральной части НБА, обнаруживают более однородный состав обломков, принадлежат группе аркозов, и в целом содержат меньшее количество обломков пород.

Положение большинства фигуративных точек на диаграмме F – Q – L (полевые шпаты – кварц – обломки пород) [Dickinson, Suczek, 1979] позволяет рассматривать магматические и метаморфические комплексы внутренних частей кратонов и рециклированных орогенов в качестве основных поставщиков обломочного материала в бассейн седиментации нижненепской подсвиты центральной части НБА. При этом для терригенных отложений нижненепской подсвиты, распространенных на юге НБА, в качестве источников рассматриваются породы внутренних частей кратона, рециклированных орогенов, а также островодужных комплексов (рис. 8, a).

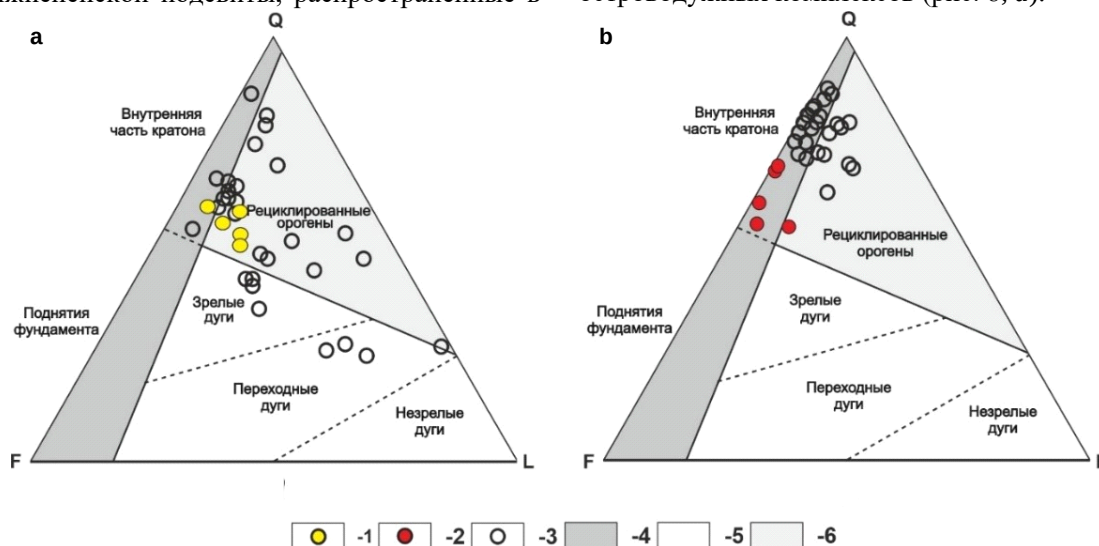


Рис. 8. Возможные типы источников питания для песчаников нижненепской (a) и верхненепской (b) подсвит по пороодообразующим компонентам [Dickinson, Suczek, 1979]

Q – кварц, L – обломки пород, F – полевые шпаты. 1 – песчаники нижненепской подсвиты; 2 – песчаники верхненепской подсвиты; 3 – точки составов терригенных пород непской свиты, распространенных на юге НБА [Motova, Plyusnin, 2022]; 4–6 – группы источников: 4 – континентальный блок, 5 – магматические дуги, 6 – рециклированные орогены

Fig. 8. Possible types of food sources for sandstones of the Lower Nepa (a) and Upper Nepa (b) subformations according to rock-forming components [Dickinson, Suczek, 1979]

Q – quartz, L – rock fragments, F – feldspars. 1 – gerbils of the Lower Nep subformation; 2 – sandstones of the Upper Nepa subformation; 3 – points of composition of terrigenous rocks of the Nepa Formation, distributed in the south of the NBA [Motova, Plyusnin, 2022]; 4–6 – groups of sources: 4 – continental block, 5 – magmatic arcs, 6 – recycled orogens

Для терригенных пород верхненепской подсвиты, распространенных в центральной части НБА, отмечается увеличение степени зрелости обломочного материала, что свидетельствует об удаленности пород источника от бассейна седиментации. Породы верхненепской подсвиты центральной части НБА обнаруживают преимущественно полевошпат-кварцевый состав. Сравнительный анализ составов обломочной части терригенных пород верхненепской подсвиты,

распространенных в центральной и южной частях НБА, демонстрирует меньшее количество обломков пород в отложениях верхненепской подсвиты, распространенных в центральной части НБА (см. рис. 3, b). Анализ состава обломков пород и минералов тяжелой фракции позволяет предположить, что в области источника пород верхненепской подсвиты разрушались преимущественно магматические и метаморфические породы кислого состава.

Следует отметить, что в изученных терригенных породах верхне- и нижненепской подсвит, распространенных в центральной части НБА, отсутствуют обломки пород основного состава, которые присутствуют в породах нижненепской подсвиты, распространенных на юге НБА [Motova, Plyusnin, 2022]. Характер положения точек составов верхненепской подсвиты, распространенных в центральной части НБА, на диаграмме кварц – полевые шпаты – обломки пород [Dickinson, Suczek, 1979] позволяет предположить в качестве основных источников обломочного материала в бассейн седиментации этих отложений магматические и метаморфические образования внутренних частей кратонов (см. рис. 8, b).

Результаты сиквенс-стратиграфических исследований пород верхне- и нижненепской подсвит в керне скважины ВЧ-3Х, расположенной в центральной части НБА, а также разрезов этих подсвит, распространенных на юге НБА, совпадают и позволяют сделать выводы, что непская свита сформирована в результате двух трансгрессивно-регрессивных циклов, связанных с относительным колебанием уровня моря [Плюснин и др., 2019, 2020].

Генетическая типизация терригенных пород непской свиты, проведенная с использованием системы петрохимических модулей по [Юдович, Кетрис, 2000], позволила аттестовать их как петрогенные осадочные образования, т.е. породы, образованные за счет разрушения первично-магматических и метаморфических пород. Это подтверждает положительная корреляция ГМ-ФМ и отрицательная НКМ-ГМ. Аналогичные характеристики получены авторами ранее для пород непской свиты, распространенных на юге НБА [Motova, Plyusnin, 2022].

Литогеохимическая классификация пород подтверждает результаты петрографии. На диаграмме М. Херрона [Heron, 1988] большинство точек попало в область аркоз.

Для терригенных пород непской свиты, распространенных в центральной части НБА, проведены U-Pb (LA-ICP-MS) исследования возраста детритовых цирконов [Изыурова и др., 2020]. Из базальных отложений непской свиты, по-видимому, нижненепской свиты, из керна скважины, расположенной в районе Верхнечонского месторождения, выделены детритовые цирконы (87 зерен). Конкордантные значения получены для 66 зерен ($d < 5\%$). Возраст самого молодого детритового циркона составил 631 ± 14 млн лет, самого древнего – 2722 ± 38 млн лет. Архейские оценки возраста определены для 4 зерен (6%), 58 зерен (88%) отвечают раннему протерозою, 4 зерна детритовых цирконов (6%) соответствуют позднему протерозою. На рис. 9 приведено сопоставление опубликованных ранее данных по результатам U-Pb (LA-ICP-MS) исследований возраста детритовых цирконов из терригенных отложений ниже- и верхненепской подсвит

[Изыурова и др., 2020; Motova, Plyusnin, 2022] с возрастом пород террейнов северного сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) (по [Donskaya et al., 2017]), а также с оценками возраста пород фундамента южной окраины Сибирской платформы (по [Rojas-Agramonte et al., 2011]). В результате сопоставления можно сделать вывод о том, что в непское время в бассейн седиментации обломочный материал поступал как за счет разрушения архейских и раннепротерозойских магматических и метаморфических пород фундамента Сибирской платформы, так и при участии позднепротерозойских пород, слагающих северный сегмент ЦАСП. При этом породы нижненепской подсвиты, распространенные в центральной части НБА, обнаруживают обильную популяцию детритовых цирконов раннепротерозойского возраста, в меньшем количестве присутствуют детритовые цирконы архейского и позднепротерозойского возраста. Для терригенных пород ниже- и верхненепской подсвит, распространенных на юге НБА, характерно наличие обильных популяций архейского, ранне- и позднепротерозойского возрастов. Таким образом, можно предположить, что терригенные породы непской свиты, распространенные в центральной части НБА, образовались преимущественно за счет разрушения магматических и метаморфических пород фундамента южной окраины Сибирской платформы. Комплексы пород, слагающих террейны северного сегмента ЦАСП, в бассейн седиментации этой свиты разрушались в меньшем количестве. В то же время на юге НБА в бассейн седиментации непской свиты обломочный материал поступал в равных количествах как с территории внутренних частей Сибирской платформы, так и с прилегающих областей северного сегмента ЦАСП.

Согласно современным представлениям о геодинамической эволюции южной окраины Сибирской платформы, в венде имели место аккреционно-коллизийные события за счет приращения к южной окраине платформы орогена, сформированного в акватории Палеоазиатского океана и в настоящее время входящего в структуру северного сегмента ЦАСП [Powerman et al., 2015; Donskaya et al., 2017; Gladkochub et al., 2019]. На заключительном этапе этих вендских аккреционно-коллизийных событий сформирована серия прогибов. Формирование терригенных толщ в этой серии происходило как за счет разрушения внутренних областей фундамента платформы, так и за счет поступления обломочного материала с орогена. Приведенные в работе характеристики терригенных пород непской свиты, распространенных в центральной части НБА, несколько отличаются от аналогичных характеристик пород непской свиты, распространенных на юге НБА [Motova, Plyusnin, 2022].

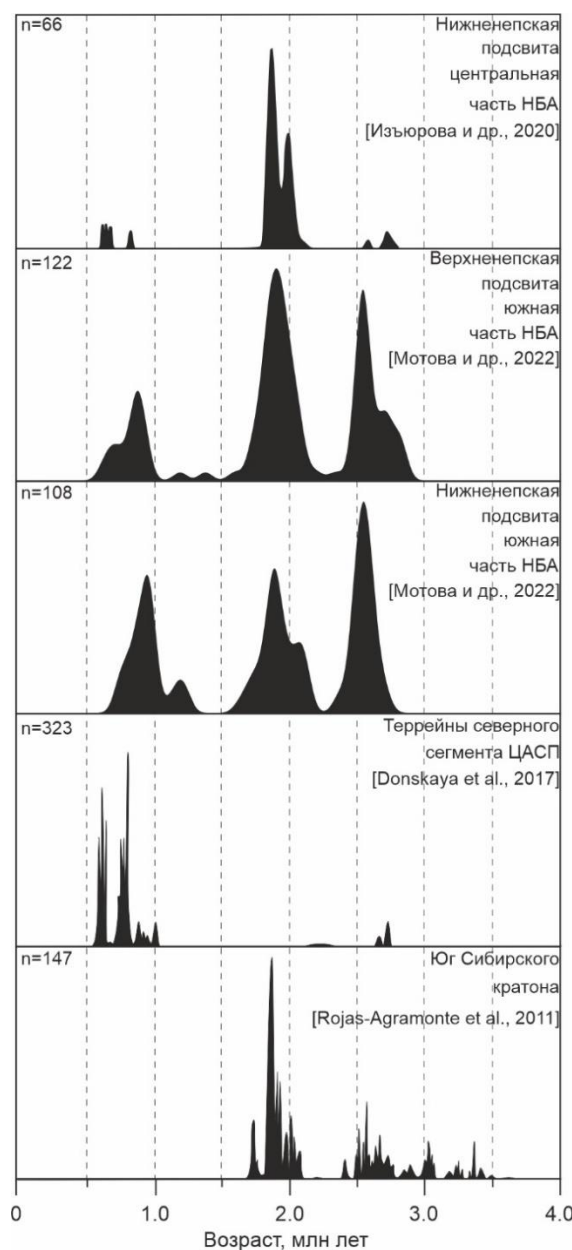


Рис. 9. Сопоставление возрастных спектров для обломочных цирконов непской свиты внутренних районов Сибирской платформы со спектрами по террейнам ЦАСП и фундаменту южной окраины Сибирской платформы

Fig. 9. Comparison of age spectra for detrital zircons from the Nepa Formation of the surrounding Siberian Platform with spectra from CAPS terranes and the basement of the southern margin of the Siberian Platform

Учитывая то, что исследованный разрез непской свиты расположен в центральной части НБА и, следовательно, находится на удалении от прилегающих областей ЦАСП, можно предположить следующее: седimentация изученных пород непской свиты центральной части НБА происходила в остаточном бассейне, сформированном в результате вендских аккреционно-коллизийных событий, при этом в качестве

основного поставщика обломочного материала в бассейне седimentации этой свиты выступали породы фундамента Сибирской платформы.

Заключение

Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, позволили сделать следующие выводы:

1. Изученные породы верхне- и нижнекембрийской подсистемы, распространенные в центральной части НБА, представлены алевролитами, песчаниками и гравелитами, сложенными преимущественно полукатанным и неокатанным обломочным материалом.

2. Терригенные породы кембрийской свиты обнаруживают кварц-полевошпатовый состав и классифицируются как аркозы.

3. Генетическая типизация, проведенная с применением системы петрохимических модулей, свидетельствует о том, что эти породы являются осадками первого цикла седиментации, т.е. образованными преимущественно за счет первично-магматических и метаморфических пород.

4. Обилие обломков гранитоидов, кварцитов и сланцев в кластогенной составляющей изученных образцов позволило установить, что отложения кембрийской свиты образованы в основном за счет разрушения кислых магматических и метаморфических пород.

5. По анализу опубликованных данных по результатам U-Pb (LA-ICP-MS) исследований возраста детритовых цирконов, отобранных из терригенных пород нижне- и верхнекембрийской подсистемы, распространенных в центральной и южной частях НБА [Изьурова и др., 2020; Motova, Plyusnin, 2022], в совокупности

реконструкций пород источника сноса, проведенной по методике [Dickinson, Suczek, 1979], выявлены следующие различия. А именно, в качестве источника терригенных пород кембрийской свиты центральной части НБА предполагаются преимущественно породы фундамента южной окраины Сибирской платформы. Комплексы пород, слагающих террейны северного сегмента ЦАСП, в бассейне седиментации этой свиты разрушались в меньшем количестве. На юге НБА в бассейн седиментации кембрийской свиты обломочный материал поступал в равных количествах как с территории внутренних частей Сибирской платформы, так и с прилегающих областей северного сегмента ЦАСП.

6. Совокупность полученных данных, приведенных в настоящей работе и опубликованных результатов изучения терригенных пород кембрийской свиты, расположенных в центральной и южной частях НБА, позволяют предположить, что породы кембрийской свиты центральной части НБА накапливались в остаточном бассейне, сформированном в результате вендских аккреционно-коллизийных событий, при этом в качестве основного поставщика обломочного материала в бассейн седиментации этой свиты выступали породы фундамента Сибирской платформы.

Список источников

Голубкова Е.Ю., Кузнецов А.Б. Таксономическое разнообразие и корреляция эдиакарических комплексов акантоморфной палинофлоры мира // Водоросли в эволюции биосферы / отв. ред. С.В. Рожнов. Серия: Гео-биологические процессы в прошлом. М. : ПИН РАН, 2014. С. 119–140.

Изьурова Е.С., Постникова О.В., Постников Л.В., Зуева О.А. Фациально-палеогеографические реконструкции для постгляциальных отложений венда юго-востока Непско-Ботуобинской антеклизы // Литология и полезные ископаемые. 2020. № 5. С. 419–437.

Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. М. : Высшая школа, 1974. 400 с.

Мельников Н.В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы (Стратиграфия, история развития). 2-е изд., доп. Новосибирск : СНИИГГиМС, 2018. 177 с.

Плюснин А.В., Гёкче М.И. Состав и строение кембрийского и тирского горизонтов Приленско-Кембрийской литолого-фациальной зоны Непско-Ботуобинской антеклизы по результатам изучения кернового материала // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020. № 1. С. 75–89.

Плюснин А.В., Неделько О.В., Вилесов А.П., Черепкова А.А., Максимова Е.Н. Секвенс-стратиграфическая модель кембрийской и тирской свит венда центральной части Непского свода (Непско-Ботуобинская антеклиза, Сибирская платформа) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т. 14, № 2. URL: http://www.ngtp.ru/rub/2019/13_2019.html (дата доступа: 01.03.2023).

Решения четвертого межведомственного регионального совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы. Новосибирск : СНИИГГиМС, 1989. С. 40.

Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / ред. А.Э. Конторович. Новосибирск : Гео, 2005. 432 с.

Шемин Е.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы (Непско-Ботуобинская, Байкитская антеклизы и Катангская седловина). Новосибирск : СО РАН, 2007. 467 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб. : Наука, 2000. 497 с.

Dickinson W.R., Suczek C.A. Plate tectonics and sandstone compositions // American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 1979. V. 63. P. 2164–2182.

Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Fedorovsky V.S., Sklyarov E.V., Cho M., Sergeev S.A., Demonterova E.I., Mazukabzov A.M., Lepekhina E.N., Cheong W., Kim J. Pre-collisional (> 0.5 Ga) complexes of the Olkhon terrane (southern Siberia) as an echo of events in the Central Asian Orogenic Belt // Gondwana Research. 2017. V. 42. P. 243–263.

Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // Journal of Sedimentary Petrology. 1988. V. 58. P. 820–829.

Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Stanevich A.M., Pisarevsky S.A., Zhang S., Motova Z.L., Mazukabzov A.M., Li H. U-Pb detrital zircon geochronology and provenance of Neoproterozoic sedimentary rocks in southern Siberia: New insights into breakup of Rodinia and opening of Paleo-Asian Ocean // Gondwana Research. 2019. V. 65. P. 1–16.

Motova Z.L., Plyusnin A.V. Provenances and sedimentation settings of the vendian terrigenous rocks of the southern part of Nepa-Botuoba antecline (Siberian platform) // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2022. V. 13 (5).

Powerman V., Shatsillo A., Chumakov N., Kapitonov I., Hourigane J. Interaction between the Central Asian Orogenic Belt (CAOB) and the Siberian craton as recorded by detrital zircon suites from Transbaikalia // *Precambrian Research*. 2015. V. 267. P. 39–71.

Rojas-Agramonte Y., Kröner A., Demoux A., Xia X., Wang W., Donskaya T., Liu D., Sun M. Detrital and xenocrystic zircon ages from Neoproterozoic to Palaeozoic arc terranes of Mongolia: Significance for the origin of crustal fragments in the Central Asian Orogenic Belt // *Gondwana Research*. 2011. V. 19(3). P. 751–763.

References

Golubkova E.Yu., Kuznecov A.B. *Taksonomicheskoe raznoobrazie i korrelyatsiya ediakarskih kompleksov akantomorfnoj palinoflory mira* [Taxonomic diversity and correlation of Ediacaran complexes of acanthomorphic palynoflora of the world] // *Vodorosli v evolyucii biosfery*. Otv. red. S.V. Rozhnov. Ser. "Geo-biologicheskie processy v proshlom" Moscow. PIN RAN. 2014. pp. 119–140. In Russian

Izyurova E.S., Postnikova O.V., Postnikov A.V., Zueva O.A. *Fatsial'no-paleogeograficheskie rekonstruktsii dlya postglyatsial'nykh otlozheniy venda yugo-vostoka Nepsko-Botuobinskoy anteklizy* [Facies and Paleogeographic Reconstructions of Vendian Postglacial Deposits in the Southeastern Nepa-Botuoba Antecline] // *Lithology and Mineral Resources*. 2020. 55 (5). pp. 419–437. In Russian

Logvinenko N.V. *Petrografiya osadochnykh porod* [Petrography of Sedimentary Rocks]. Moscow : Vysshaya Shkola, 1974. 400 p. In Russian

Mel'nikov N.V. *Vend-kembriyskiy solerodny basseyn Sibirskoy platform* [Vendian-Cambrian salt-bearing basin of the Siberian platform]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2009. 148 p. In Russian

Plyusnin A.V., Gekche M.I. *Sostav i stroenie nepsko i tirskei svity Prilensko-Nepskei strukturnofatsial'noi zony NepskoBotuobinskoi anteklizy po rezul'tatam izucheniya kernovogo materiala* // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka*. 2020. No. 2. pp. 75–89. In Russian

Plyusnin A.V., Nedel'ko O.V., Vilesov A.P., Cherepkova A.A., Maksimova E.N. *Sekvens-stratigraficheskaya model' nepskei i tirskei svity venda tsentral'noi chasti Nepskego svoda* (Nepsko-Botuobinskaya antekliza, Sibirskaya platforma) [Electronic resource]: *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2019. V. 14, No. 2. Electronic resource URL: http://www.ngtp.ru/rub/2019/13_2019.html (Date of accessed: 01.03.2023). In Russian

Resheniya 4-go mezhdvornstvennogo regional'nogo stratigraficheskogo soveshchaniya po utochneniyu i dopolneniyu stratigraficheskikh skhem venda i kembriya vnutrennikh raionov Sibirskoi platform [Decisions of the 4th Interdepartmental Regional Stratigraphic Conference on the Refinement and Supplementation of the Vendian and Cambrian Stratigraphic Schemes for Internal Regions of the Siberian Platform], Mel'nikov N.V., Khomentovskii V.V., and Repin L.N., Eds. Novosibirsk: SNIIGiMS, 1989. In Russian

Stratigrafiya neftegazonosnykh basseinov Sibiri. Rifei i vend Sibirskoi platformy i ee skladchatogo obramleniya [Stratigraphy of Petroliferous Basins in Siberia: Riphean and Vendian in the Siberian Platform and Its Folded Framing], Mel'nikov N.V., Ed. Novosibirsk: Geo, 2005. In Russian

Shemin G.G. *Geologiya i perspektivy neftegazonosnosti venda i nizhnego kembriya tsentral'nykh rajonov Sibirskoi platform (Nepsko-Botuobinskaya, Baikitskaya anteklizy i Katangskaya sedlovina)* [Geology and oil and gas potential of the Vendian and Lower Cambrian in the central regions of the Siberian platform (Nepsko-Botuobinskaya, Baikite anteclines and Katanga saddle)]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2007, 467 p. In Russian

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Osnovy litokhimii* [Fundamentals of lithochemistry]. St. Petersburg, Nauka Publ. 2000. 479 p. In Russian
Dickinson W.R., Suczek C.A. Plate tectonics and sandstone compositions. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. 1979. V. 63. pp. 2164–2182.

Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Fedorovsky V.S., Sklyarov E.V., Cho M., Sergeev S.A., Demanterova E.I., Mazukabzov A.M., Lepekhina E.N., Cheong W., Kim J. Pre-collisional (> 0.5 Ga) complexes of the Olkhon terrane (southern Siberia) as an echo of events in the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*. 2017. V. 42. pp. 243–263.

Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // *Journal of Sedimentary Petrology*. 1988. V. 58. pp. 820–829.

Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Stanevich A.M., Pisarevsky S.A., Zhang S., Motova Z.L., Mazukabzov A.M., Li H. U-Pb detrital zircon geochronology and provenance of Neoproterozoic sedimentary rocks in southern Siberia: New insights into breakup of Rodinia and opening of Paleo-Asian Ocean. *Gondwana Research*. 2019. V. 65. pp. 1–16.

Motova Z.L., Plyusnin A.V. Provenances and sedimentation settings of the Vendian terrigenous rocks of the southern part of Nepa-Botuoba antecline (Siberian platform) // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2022. 13 (5). In Russian

Powerman V., Shatsillo A., Chumakov N., Kapitonov I., Hourigane J. Interaction between the Central Asian Orogenic Belt (CAOB) and the Siberian craton as recorded by detrital zircon suites from Transbaikalia // *Precambrian Research*. 2015. V. 267. pp. 39–71.

Rojas-Agramonte Y., Kröner A., Demoux A., Xia X., Wang W., Donskaya T., Liu D., Sun M. Detrital and xenocrystic zircon ages from Neoproterozoic to Palaeozoic arc terranes of Mongolia: Significance for the origin of crustal fragments in the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*. 2011. V. 19 (3). pp. 751–763.

Информация об авторах:

Плюснин А.В., кандидат геолого-минералогических наук, эксперт по седиментологии, ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть», Красноярск, Россия; научный консультант департамента нефтегазового инжиниринга ПИНШ, Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», Альметьевск, Республика Татарстан, Россия.

E-mail: PlyusninAV@knipi.rosneft.ru

Мотова З.Л., кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия.
E-mail: motova@crust.irk.ru

Валеев Р.Р., кандидат геолого-минералогических наук, начальник управления, управление по разработке месторождений, АО «Верхнечонскнефтегаз», Иркутск, Россия; ведущий инженер, Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия.

E-mail: rrvalееv6@rosneft.ru

Томилина Е.М., старший преподаватель кафедры минералогии и петрографии, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия.

E-mail: tomilinaelena.psu@yandex.ru

Фомин В.А., аспирант, Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия.

E-mail: fovarid@gmail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Plyusnin A.V., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Expert in Sedimentology, LLC "RN-KrasnoyarskNIPIneft", Krasnoyarsk, Russia; scientific consultant of the department of oil and gas engineering PINSH, Almeteyevsk State Technological University "Higher School of Oil", Almeteyevsk, Republic of Tatarstan, Russia.

E-mail: PlyusninAV@knipi.rosneft.ru

Motova Z.L., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Researcher, Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia.

E-mail: motova@crust.irk.ru

Valeev R.R., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Head of Department, Field Development Department, Verkhnechonskneftegaz JSC, Irkutsk, Russia; Leading engineer, Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia.

E-mail: rrvalееv6@rosneft.ru

Tomilina E. M., Senior Lecturer, Department of Mineralogy and Petrography, Perm State National Research University, Perm, Russia.

E-mail: tomilinaelena.psu@yandex.ru

Fomin V.A., post-graduate student, Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia.

E-mail: fovarid@gmail.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.04.2023; одобрена после рецензирования 03.05.2024; принята к публикации 02.06.2025

The article was submitted 12.04.2023; approved after reviewing 03.05.2024; accepted for publication 02.06.2025