

УДК 552.5:550.4+551.76

DOI: 10.24930/1681-9004-2025-25-4-861-875

Новые данные о составе, строении и условиях формирования пограничной юрско-меловой толщи юго-восточной части Анабаро-Ленского осадочного бассейна (север Восточной Сибири)

А. Ю. Попов, Б. Л. Никитенко

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск,
пр-т Академика Коптюга, 3, e-mail: PopovAY@ipgg.sbras.ru

Поступила в редакцию 23.12.2024 г., принята к печати 17.02.2025 г.

Объект исследований – верхняя юра и нижний мел левобережья нижнего течения р. Лены, вскрытые новой скважиной (93–80). *Цель исследований* – выявить особенности состава, строения и охарактеризовать условия формирования отложений. *Методы исследований* – расчленение и стратификация толщи лито- и биостратиграфическими методами, петрографическое изучение пород в шлифах, анализ данных минералогического и химического состава пород, полученных физико-химическими методами. При реконструкции обстановок формирования отложений использовались комплексные методические приемы, применяемые в ИНГГ СО РАН при генетических интерпретациях для терригенных мезозойских толщ Сибири. *Результаты*. Установлено, что глинисто-алевритовая часть разреза с базальным конгломератовым пластом (интервал 31.8–43.5 м) соответствует буолкалахской свите (волжский ярус–бореальный берриас), а вышележащая песчаная часть (интервал 4.0–31.8 м) – кигиляхской свите (бореальный берриас(?)-валанжин). Определены минералого-петрографические и литохимические характеристики отдельных слоев и пачек изученного разреза. Реконструирован направленный непрерывный регрессивный тренд формирования волжско-валанжинской толщи, выраженный в смене обстановок мелководно-морского, прибрежно-морского и дельтового комплексов. На границе буолкалахской и кигиляхской свит зафиксирована смена режима седиментации, отвечающая значительному увеличению темпов поступления терригенного материала в бассейн. Установлено, что основными источниками сноса являлись близко расположенные более древние осадочные образования, богатые кварцем, а также магматические породы кислого состава. Материнские толщи были подвержены слабому и умеренному химическому выветриванию.

Ключевые слова: верхняя юра, нижний мел, петрография, литохимия, обстановки и условия осадконакопления, Анабаро-Ленский осадочный бассейн, Арктика

Источник финансирования

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-17-00054, а также научно-методической поддержке ФНИ ИНГГ СО РАН (FWZZ-2022-0008)

New data on the composition, structure and conditions of formation of the boundary Jurassic-Cretaceous section of the southeastern part of the Anabar-Lena sedimentary basin (north of Eastern Siberia)

Alexei Yu. Popov, Boris L. Nikitenko

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, 3 Academician Koptug av.,
Novosibirsk 630090, Russia, e-mail: PopovAY@ipgg.sbras.ru

Received 23.12.2024, accepted 17.02.2025

Research subject. The Upper Jurassic and Lower Cretaceous sections of the left bank of the lower Lena River, opened by a new well (93–80). *Aim of the research* is to identify the features of the composition, structure and characterize the conditions of sediment formation. *Methods* include the dismemberment and stratification of strata by litho- and biostratigraphic methods, petrographic study of rocks in sections, analysis of data on the mineralogical and chemical composition of rocks obtained by physical–chemical methods. When reconstructing the sediment formation conditions, complex methodological

Для цитирования: Попов А.Ю., Никитенко Б.Л. (2025) Новые данные о составе, строении и условиях формирования пограничной юрско-меловой толщи юго-восточной части Анабаро-Ленского осадочного бассейна (север Восточной Сибири). *Литосфера*, 25(4), 861–875. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-4-861-875>. EDN: TUSMVF

For citation: Popov A.Yu., Nikitenko B.L. (2025) New data on the composition, structure and conditions of formation of the boundary Jurassic-Cretaceous section of the southeastern part of the Anabar-Lena sedimentary basin (north of Eastern Siberia). *Lithosphere (Russia)*, 25(4), 861–875. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-4-861-875>. EDN: TUSMVF

techniques used in the IPGG SB RAS in genetic interpretations for terrigenous Mesozoic strata of Siberia were used. *Results.* It was found that the clay-siltstone part of the section with a basal conglomerate layer (31.8–43.5 м) corresponds to the Buolkalakh Formation (Volgian–Boreal Berriasian). The overlying sandy part (4.0–31.8 м) corresponds to the Kigilakh Formation (Boreal Berriasian(?)–Valanginian). The mineralogical-petrographic and lithochemical characteristics of individual beds and members of the studied section have been revealed. It is reconstructed the directed regressive trend of the formation of the Volgian–Valanginian section, expressed in the change of shallow-marine, coastal-marine and delta environments. At the boundary of the Buolkalakh and Kigilakh Formations a sedimentation regime change was fixed. It is characterized by a significant increase in the rate of terrigenous material entering the basin. It was found that the main sources of demolition were closely located older sedimentary formations rich in quartz, as well as felsic igneous rocks. The parent strata were subject to low and moderate chemical weathering.

Keywords: *Upper Jurassic, Lower Cretaceous, petrography, lithochemistry, sedimentation conditions and environments, Anabar-Lena sedimentary basin, Arctic*

Funding information

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant No. 22-17-00054 and scientific and methodological support of the IPGG SB RAS (FWZZ-2022-0008)

ВВЕДЕНИЕ

До настоящего времени не снижается интерес к истории развития арктического Анабаро-Ленского осадочного бассейна. В частности, весьма актуальным остается изучение пограничных юрско-меловых отложений, для которых, как показали исследования (Каширцев и др., 2018, 2020; Никитенко и др., 2020, 2023; и др.), характерны интервалы, обогащенные сапропелевым органическим веществом. Именно погруженная волжско-берриасская толща может являться потенциальным очагом нефтегенерации на некоторых участках Лаптевоморского шельфа. На фоне существующих современных работ, посвященных палеонтолого-стратиграфическим аспектам изучения верхней юры и нижнего мела северных территорий Восточной Сибири, основные исследования вещественно-структурных характеристик слагающего их вещества проводились преимущественно в начале второй половины прошлого века, что также актуализирует современные комплексные литологические и литохимические исследования этого объекта.

Ритмичность отложений верхнеюрско-нижнемелового терригенного комплекса Анабаро-Ленского осадочного бассейна выражена весьма отчетливо (Каплан, 1976; Палеогеография..., 1983; Mork, Smelror, 2001; Девятов, Сапьяник, 2009; и др.). Считается, что с трансгрессии моря в позднеблатско-раннекелловейское время в рассматриваемом регионе начался крупный седиментационный цикл, однако ряд последующих регрессивных событий келловейского и оксфордского веков отразился в размыве накопившихся осадков на значительных территориях. Начало следующего седиментационного цикла маркируется регионально развитым глауконитсодержащим пластом часто с гравийно-галечным материалом. Его возраст на западных территориях бассейна датируется кон-

цом позднего оксфорда–киммериджем (Никитенко, 2009; Никитенко и др., 2022; и др.), а на востоке – как киммеридж-ранневолжский (Nikitenko et al., 2018; Kosenko et al., 2019; и др.). Мощности прибрежных киммеридж-средневолжских отложений на рассматриваемой территории, как правило, незначительны. В конце средневолжского времени имела место форсированная трансгрессия моря, крупнейшая для юрского периода в этом регионе, за ней последовало постепенное обмеление морского палеобассейна, продолжавшееся в нижнемеловую эпоху.

Ранее нами в рамках комплексных исследований детально рассмотрены литологические и литохимические особенности верхней юры–нижнего мела западной части Анабаро-Ленского осадочного бассейна (Никитенко и др., 2022, 2023; Пещевицкая и др., 2022; Попов и др., 2022, 2025). В целях получения новых данных о составе, строении и условиях формирования мезозоя в восточной части бассейна изучен разрез одной из новых скважин, пробуренной в 2016 г. АО “Алмазы Анабара” под маркировкой 93-80 (рис. 1). Местоположение скважины приурочено к внутреннему борту Предверхоянского регионального прогиба вблизи восточного склона Оленекского свода (Конторович и др., 2021). Разрез скважины вскрыл среднюю и верхнюю юру и нижнюю часть мела. Керн не сохранен.

Волжско-берриасская толща в восточной части Анабаро-Ленского бассейна представлена существенно алеврито-глинистой буолкалахской свитой морского генезиса, с размывом перекрывающей различные горизонты средней и верхней юры (Государственная..., 2013, 2014; Шурыгин, Дзюба, 2015). Ее мощность здесь варьируется от 60 до 170 м, увеличиваясь в северо-восточном направлении. Выше залегает алеврито-песчаная кигильхская свита, формировавшаяся при постепенной смене мелководно-морских обстановок континентальны-

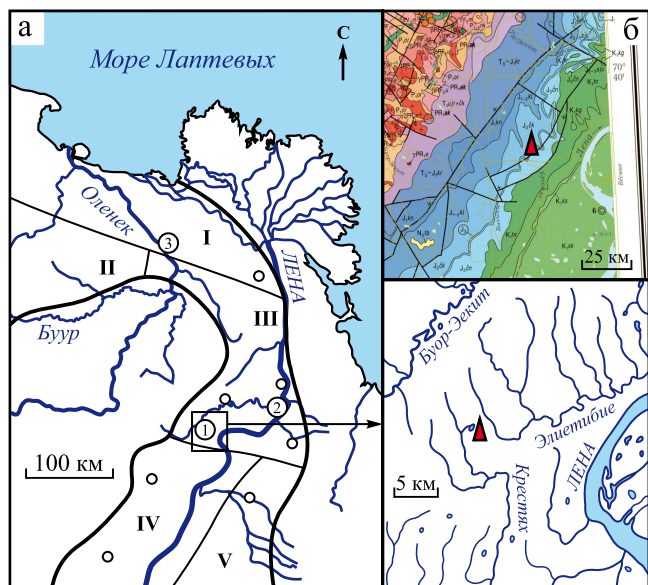


Рис. 1. Расположение опорных верхнеюрско-нижнемеловых разрезов (а) и фрагмент Государственной геологической карты Российской Федерации (2013) (б).

1 – изученный разрез, 2 – разрез мыса Чуча, 3 – разрез р. Оленек; кружки – опорные верхнеюрско-нижнемеловые разрезы; толстые линии – граница распространения юрских толщ, тонкие линии – границы позднелюрских терригенно-минералогических провинций по (Каплан и др., 1972): I – Приморская (Ленская подпровинция), II – Анабаро-Хатангская, III – Оленекская, IV – Молодо-Жиганская (Сюнжудинская подпровинция), V – Восточно-Якутская; красный треугольник – расположение скв. 93-80.

Fig. 1. Location of the supporting Upper Jurassic–Lower Cretaceous sections (a) and a fragment of the State Geological Map of the Russian Federation (2013) (b).

1 – studied section, 2 – Cape Chucha section, 3 – Olenek River section; circles – supporting Upper Jurassic–Lower Cretaceous sections; thick lines – the boundary of the Jurassic strata, thin lines – the boundaries of the Late Jurassic terrigenous–mineralogical provinces (Kaplan et al., 1972): I – Primorsky (Lena substructure), II – Anabar-Khatanga, III – Olenek, IV – Molodo-Zhigansk (Siungudinsk substructure), V – East Yakut; the red triangle is the location of well 93-80.

ми. Подавляющая ее часть, как считается, соответствует валанжину, а мощность возрастает с северо-запада на юго-восток от 60–100 до 300 м (Государственная..., 2013, 2014).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Фактический материал в виде полевого описания керна скважины и отобранных на комплексные виды исследований образцов получен непосредственно авторами. Мощность изученного раз-

реза составила 46 м (интервал глубин 4–50 м). Посредством оптической микроскопии исследованы 25 шлифов глинисто-алевритовых и песчаных пород. Используемое деление на гранулометрические классы и типы соответствует предложенным в работе (Фролов, 1993). При определении состава обломочной части пород применялась классификация В.Д. Шутова (1967). Для семи глинисто-алевритовых образцов методом рентгеноструктурного анализа на автоматизированном порошковом дифрактометре ДРОН-8 с многоканальным детектором Mythen 2R1D определен минеральный состав валовых проб (аналитик Н.А. Пальчик). Литохимические исследования проведены на основе данных о содержании породообразующих оксидов 25 образцов, полученных на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL-9900-XP (аналитик Н.Г. Карманова). Аналитические данные получены в Аналитическом центре ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Положение в разрезе образцов, взятых на различные виды анализов, указано на рис. 2. Данные химического состава пород анализировались с использованием классификационных и генетических диаграмм (Herron, 1988; Roser, Korsch, 1988). При анализе индекса химического изменения (CIA) учитывались практически полное отсутствие в породах карбонатной составляющей и незначительное (в третьем знаке после запятой) влияние молекулярных количеств Са в апатите. Для всех полученных значений отношение молекулярных количеств оксидов Са/Na < 1.

При реконструкции обстановок формирования отложений использовались комплексные методические приемы, применяемые в ИНГТ СО РАН при генетических интерпретациях для терригенных мезозойских толщ Сибири и подробно освещенные в работах (Конторович и др., 2010; Советов, Попов, 2024). При классификации обстановок осадконакопления использована модель, предложенная для морского побережья с терригенной седиментацией и основанная на характере гидродинамического воздействия на осадок (Обстановки..., 1990; Einsele, 1992). Расчленение и стратификация рассматриваемого разреза выполнены авторами лито- и биостратиграфическими методами. Последние основывались на анализе комплексов фораминифер.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе проведенных исследований установлено, что нижняя часть изученного разреза (интервал 45–50 м), представленная неравномерным волнисто-линзовидным переслаиванием крупноалевритовых (до тонкопесчаных) и алеврито-глинистых слоев мощностью порядка 0.5–2.0 см (рис. 3а, 4а) с отдельными, до первых дециметров, песчаными слоями, соответствует **чекуровской свите**

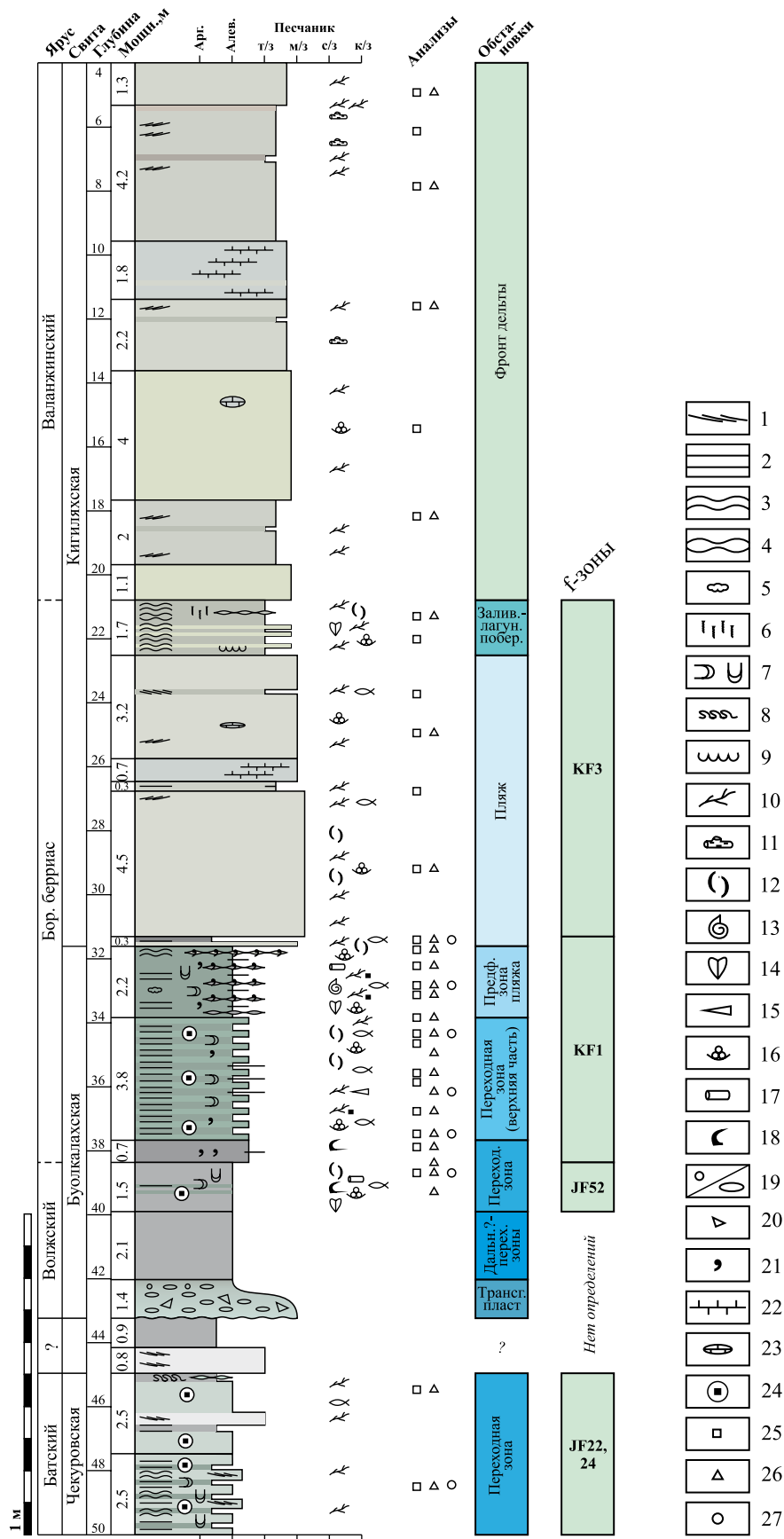


Рис. 2. Седиментационный разрез изученной толщи.

1–5 – текстура: 1 – пологокосослоистая, 2 – горизонтально-слоистая, 3 – волнисто-слоистая, 4 – волнисто-линзовидно-слоистая, 5 – мелкокомковатая; 6–9 – текстурные нарушения: 6 – активная биотурбация, 7 – отдельные горизонтальные и вертикальные следы жизнедеятельности, 8 – конседиментационные смятия, 9 – внутрiformационные размывы; 10–18 – органические остатки: 10 – растительный детрит, 11 – крупные растительные остатки, 12 – раковинный детрит, 13 – аммониты (фрагменты), 14 – двустворчатые моллюски, 15 – ростры белемнитов, 16 – фораминиферы, 17 – деналиум, 18 – онихиты; 19–21 – неорганические включения: 19 – гравийные/галечные обломки, 20 – древесные обломки, 21 – глауконит; 22 – кальцитизированные породы; 23, 24 – конкреции: 23 – карбонатные, 24 – пиритовые; 25–27 – изученные образцы: 25 – петрография, 26 – литохимия, 27 – рентгеноструктурный анализ; цветом на седиментационном разрезе отмечен оригинальный оттенок пород.

Fig. 2. Sedimentary section of the studied stratum.

1–5 – texture: 1 – gently cross bedding, 2 – horizontal bedding, 3 – wavy bedding, 4 – wavy-lenticular bedding, 5 – fine-crumby; 6–9 – textural disturbances: 6 – active bioturbation, 7 – separate horizontal and vertical traces of vital activity, 8 – consedimentary crumpling, 9 – erosion boundaries; 10–18 – organic remains: 10 – plant detritus, 11 – large plant remains, 12 – shell detritus, 13 – ammonites (fragments), 14 – bivalves, 15 – belemnite rostra, 16 – foraminifera, 17 – dentalium, 18 – onychites; 19–21 – inorganic inclusions: 19 – gravel/pebble, 20 – bone fragments, 21 – glauconite; 22 – calcified rocks; 23, 24 – nodules: 23 – carbonate, 24 – pyrite; 25–27 – studied samples: 25 – petrography, 26 – lithochemistry, 27 – X-ray diffraction analysis; the color on the sedimentation section is the original shade of the rocks.

байос-батского возраста (см. рис. 2). В породах присутствуют ихнофоссилии *Planolites*, реже *Thalassinoides*. Были диагностированы фораминиферы, характерные для f-зон JF22 и JF24. Песчаные прослои имеют аркозовый состав (рис. 5). К сожалению, в разрезе присутствует интервал без опробования и подробного литологического описания, что не позволяет точно датировать вышележащие отложения (1.7 м), подстилающие конгломератовый пласт.

Глинисто-алевритовая часть разреза с базальным конгломератовым пластом в основании (интервал 31.8–43.5 м) соответствует **буолкалахской свите** волжско-берриасского возраста (см. рис. 2). Базальный пласт свиты развит регионально и содержит характерные обломки фосфоритов (см. рис. 3б). Вверх он переходит в алевропесчаник глинистый, гравийно-галечный и имеет общую мощность 1.4 м. Вышележащие 10.3 м в основном представлены алевритами крупнозернистыми, послойно мелкозернистыми и тонкопесчаными, в разной степени глинистыми (см. рис. 3в, 4б–г). Присутствуют песчаные тонкозернистые прослои более светлых оттенков мощностью первые сантиметры, подчеркивающие неравномерную горизонтальную, в верхней части – волнистую и линзовидно-линзовидную слоистость. Послойно проявлена слабая биотурбация с преобладанием горизонтальных следов жизнедеятельности (ихнофоссилии *Chondrites*). Породы имеют зеленовато-серые цвета. Характерной особенностью отложений является присутствие рассеянных глауконитовых глобул (первые проценты) (см. рис. 4в). Их доля возрастает в верхних 2.2 м свиты (до 10% от объема породы), где они концентрируются линзами и прослоями совместно с обломками песчаной размерности и раковинным детритом (см. рис. 4д). Также свита обогащена различными макрофаунистическими остатками: раковинами двустворчатых моллюсков (преимущественно в виде детрита), рострами белемнитов, онихитами. Присутствуют трубки ден-

талиума, пиритизированные остатки высших водорослей, мелкий углефицированный растительный детрит, мелкие фосфатные костные фрагменты. В этом интервале встречены микрофоссилии, характерные для верхов волжского яруса и бореального берриаса (f-зоны JF52, KF1).

Петрографический анализ показал, что в составе крупноалевритовой и песчаной фракций наиболее грубозернистых слоев буолкалахской свиты, характеризующейся низкой степенью окатанности обломков, преобладают кварц и полевые шпаты, составляющие в среднем по 35–40% обломочной части (см. рис. 5). Последние представлены преимущественно калиевыми разновидностями, плагиоклазы относительно редки (до 10% обломков). Доля литокластов составляет в среднем 15%, они представлены эффузивами кислого, возможно среднего, состава, карбонатными и глинистыми породами, реже хлоритизированными неидентифицируемыми обломками, единичными слюдистыми сланцами. Повышенное содержание литокластов фиксируется в наиболее грубозернистых прослоях верхней части свиты. Также постоянно присутствует обломочная слюда (порядка 10%), представленная биотитом, реже мусковитом. Для акцессорного комплекса характерны сфен и циркон, встречаются апатит, единичный гранат. В качестве аутигенных компонентов развит пирит (1–3% породы), периодически проявляется поровый кальцит (до 1–2%).

По данным рентгеноструктурного анализа, глинистое вещество изученных образцов свиты, доля которого относительно обломочной части варьируется от 30 до 50%, представлено трудноразделимым агрегатом диоктаэдрической слюды мусковитового типа 2M₁ и крайне неупорядоченным иллит-сметитом (порядка 65% глинистой части), а также железисто-магнезиальным хлоритом (до 35%). Последний активно развивается по глауконитам верхней части свиты.

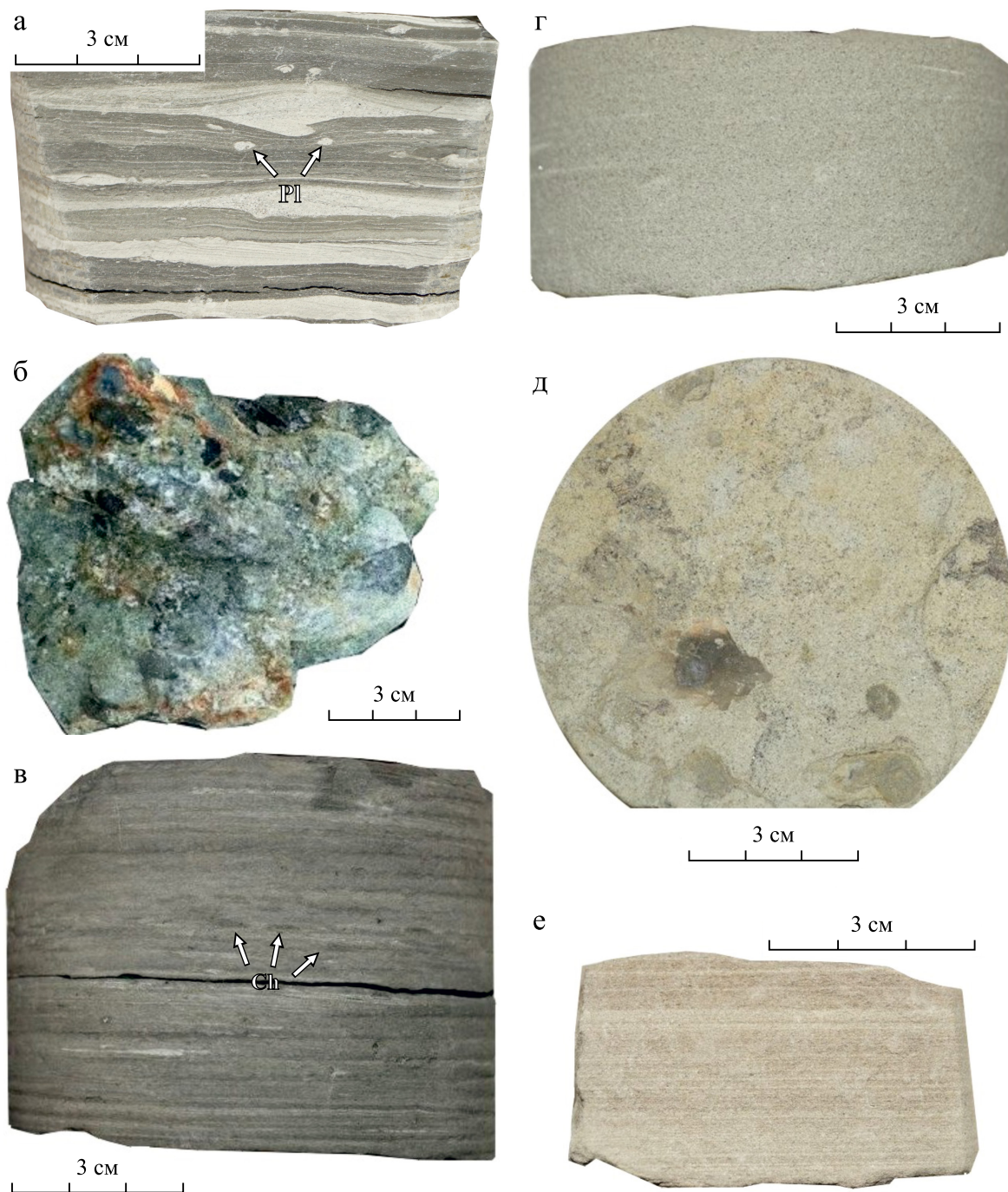


Рис. 3. Фотографии пород.

а – волнисто-линзовидное переслаивание алевропесчаника и алевроаргиллита с ихнофоссилиями *Planolites* (Pl), чекуровская свита, гл. 48.5 м; б – базальный конгломерат буолкалахской свиты, гл. 43.0 м; в – алевролит мелко- и крупнозернистый послойно-глинистый с ихнофоссилиями *Chondrites* (Ch), буолкалахская свита, гл. 36.0 м; г – песчаник мелкозернистый массивный, кигильяхская свита, гл. 25.2 м; д – алевропесчаник глинистый биотурбированный (плоскость напластования), кигильяхская свита, гл. 21.6 м; е – песчаник тонко- и мелкозернистый с тонкопараллельной слоистостью косой серии, кигильяхская свита, гл. 6.6 м.

Fig. 3. Photographs of rocks.

а – wavy-lenticular interlacing of silty sandstones and siltstones with *Planolites* (Pl) ichnofossils, Chekurovka Frn., depth 48.5 m; б – basal conglomerate of the Buolkalakh Frn., depth 43.0 m; в – fine-coarse-grained siltstone layered with clay with *Chondrites* (Ch) ichnofossils, Buolkalakh Frn., depth 36.0 m; г – fine-grained massive sandstone, Kigilyakh Frn., depth 25.2 m; д – bioturbated silty-clay sandstone (stratification plane), Kigilyakh Frn., depth 21.6 m; е – fine-grained sandstone with finely parallel stratification of the oblique series, Kigilyakh Frn., depth 6.6 m.

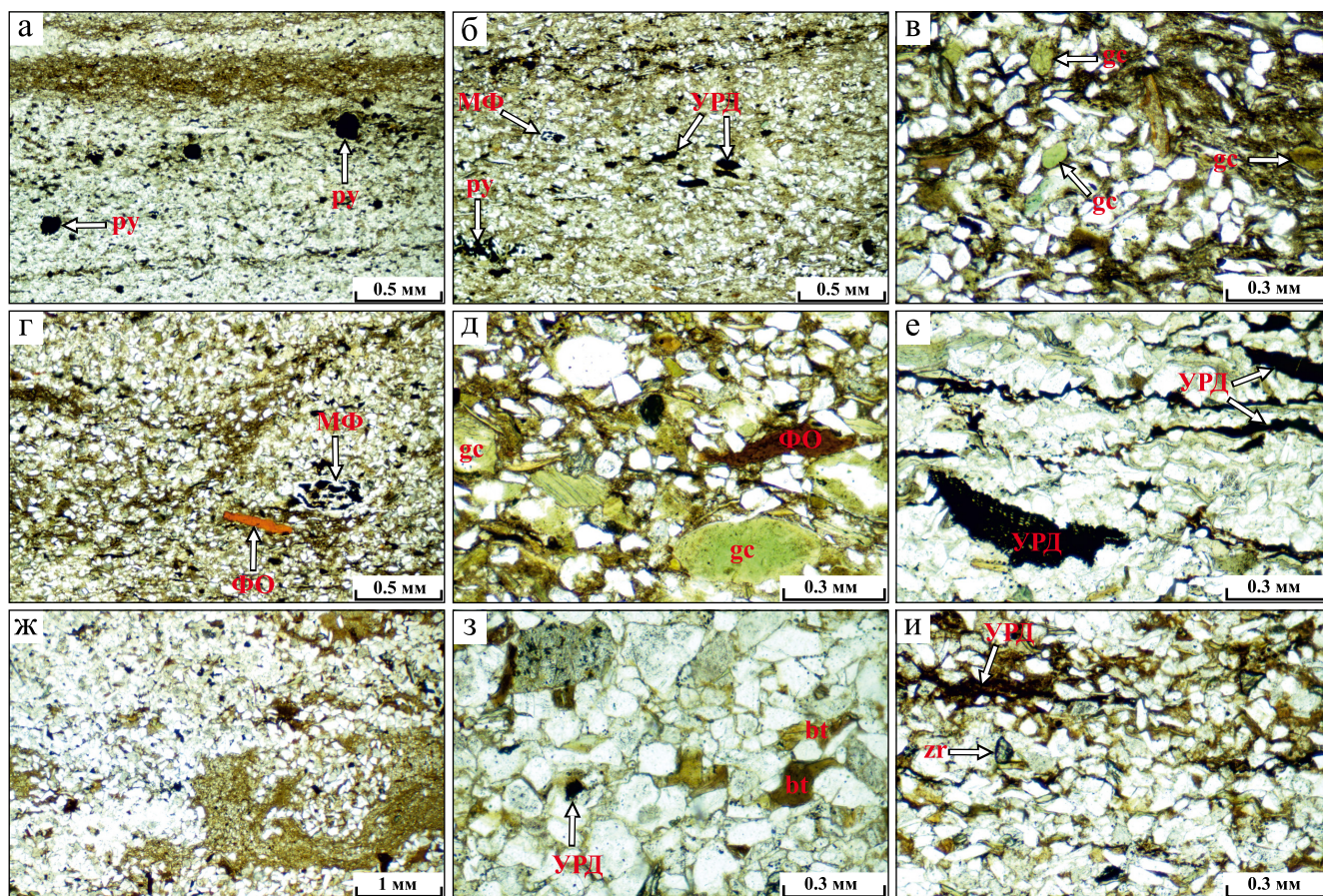


Рис. 4. Фотографии шлифов пород в проходящем свете.

а – переслаивание алевролита крупнозернистого и алевроаргиллита с фрамбоидальными конкрециями пирита (py), Чекуровская свита, гл. 48.5 м; б – алевролит мелко- и крупнозернистый, буолкалахская свита, гл. 38.8 м; в – песчаник тонкозернистый с глауконитовыми глобулами (gc), буолкалахская свита, гл. 38.0 м; г – алевролит крупнозернистый глинистый слабобиотурбированный с микрофаунистическими остатками (МФ), фосфатными обломками (ФО), буолкалахская свита, гл. 34.8 м; д – алевропесчаник с глауконитовыми глобулами, буолкалахская свита, гл. 32.4 м; е – песчаник мелкозернистый с углефицированным растительным детритом (УРД), кигильяхская свита, гл. 27.0 м; ж – песчаник тонкозернистый неравномерно глинистый биотурбированный, кигильяхская свита, гл. 21.6 м; з – песчаник мелкозернистый, bt – биотит, кигильяхская свита, гл. 14.2 м; и – песчаник тонко- и мелкозернистый с углефицированным растительным детритом, zr – циркон, кигильяхская свита, гл. 6.6 м.

Fig. 4. Photographs of rock in thin sections under transmitted light.

а – interlacing of coarse-grained siltstone and silty mudstone with framboidal nodules of pyrite (py), Chekurovka Frm., depth 48.5 m; б – fine-grained siltstone, Buolkalakh Frm., depth 38.8 m; в – fine-grained sandstone with glauconite globules (gc), Buolkalakh Frm., depth 38.0 m; г – coarse-grained clayey siltstone, slightly bioturbated with microfaunistic (МФ) and phosphate (ФО) remains, Buolkalakh Frm., depth 34.8 m; д – silty sandstone with glauconite globules, Buolkalakh Frm., depth 32.4 m; е – fine-grained sandstone with carboniferous plant detritus (УРД), Kigilyakh Frm., depth 27.0 m; ж – fine-grained, irregularly clayey bioturbated sandstone, Kigilyakh Frm., depth 21.6 m; з – fine-grained sandstone, bt – biotite, Kigilyakh Frm., depth 14.2 m; и – fine-grained sandstone with carboniferous plant detritus, zr – zircon, Kigilyakh Frm., depth 6.6 m.

Анализ распределения породообразующих оксидов в алевролитах буолкалахской свиты показал (табл. 1), что для нее в целом характерны достаточно выдержанные содержания SiO_2 (55–60 мас. %), Al_2O_3 (15–17 мас. %), $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$; 5–8 мас. %), MnO (0.5–0.6 мас. %), MgO (2.5–3.5 мас. %) и K_2O (3.0–3.5 мас. %). Фиксируются некоторые изменения в содержании TiO_2 (0.7–1.0 мас. %), CaO (1.5–3.0 мас. %), Na_2O (1.5–3.0 мас. %), P_2O_5 (0.1–

0.5 мас. %) и общее снижение вверх доли SO_3 (от 0.8 до 0.2 мас. %). Изменчивым содержанием породообразующих оксидов характеризуются прослойки верхней части свиты, обогащенные хлоритизированными глауконитовыми глобулами, литокластами песчаной размерности и раковинным детритом. В них возрастает содержание оксидов Fe, Mg иногда Ca, при уменьшении – Si, Na. Использование классификационной диаграммы М. Хиррона (Her-



Рис. 5. Положение фигуративных точек изученных алеврито-песчаных (чекуровская, буолкалахская свита) и песчаных (кигиляхская свита) пород на классификационной треугольной диаграмме (Шутов, 1967).

Поля: 5 – аркозы, 6 – граувакковые аркозы, 8 – полевошпатово-кварцевые граувакки, 10 – кварцево-полевошпатовые граувакки, 12 – полевошпатовые породы (не собственно терригенное происхождение).

Fig. 5. The position of the figurative points of the studied silty-sandy (Chekurovka Frm., Buolkalah Frm.) and sandy (Kigilyakh Frm.) rocks on the classification triangular diagram (Shutov, 1967).

Fields: 5 – arcose, 6 – graywacke arcose, 8 – feldspar-quartz graywacke, 10 – quartz-feldspar graywacke, 12 – feldspar rocks.

гон, 1988) показало, что фигуративные точки пород буолкалахской свиты сосредоточены в поле сланцев, вблизи поля вакк. Анализ петрохимических модулей (Юдович, Кетрис, 2000) (табл. 2) позволил охарактеризовать породы как сиаалиты (отчасти псевдосиаалиты при MgO более 3 мас. %) нормально-железистые, нормально-титанистые и нормально-щелочные.

Верхняя часть разреза (27.3 м, интервал 4.0–31.8 м) представлена песчаниками и алевролитами **кигиляхской свиты** берриас-валанжинского возраста, залегающими на буолкалахской свите без видимого размыва (см. рис. 2). Провести точную границу между бореальным берриасом и валанжином по имеющимся материалам затруднительно. В основании свиты наблюдается маломощный интервал (до 0.5 м) слабоволнистого переслаивания аргиллита и песчаника мелкозернистого с резкими граница-

Таблица 1. Содержание породообразующих оксидов в породах изученного разреза, мас. %
Table 1. Contents of the main rock-forming oxides in the studied samples, wt %

Свита	Кол-во проб	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ общ	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	BaO	SO ₃
Кигиляхская	7	63.6–67.3 65.67	0.5–0.7 0.57	14.3–15.3 14.72	3.9–5.5 4.77	0.03–0.05 0.04	1.7–2.1 1.93	1.6–2.1 1.77	3.5–3.9 3.65	3.3–3.5 3.43	0.19–0.25 0.22	0.13–0.16 0.15	0.01–0.14 0.03
Буолкалахская (верхи)	2	44.7–51.8 48.28	0.8–0.9 0.85	14–15.8 14.89	13.1–20.3 16.68	0.06–0.08 0.07	4–5.6 4.81	1.27 1.27	1.2–2.2 1.7	2.2–3.3 2.78	0.23–0.33 0.28	0.06–0.1 0.08	0.15–0.27 0.21
Буолкалахская	14	53.8–60.09 57.64	0.7–1 0.83	14.4–17 15.63	4.9–10.8 7.48	0.05–0.06 0.06	2.4–3.5 2.94	1.7–3.3 2.28	1.5–2.9 2.33	2.7–3.6 3.23	0.12–0.48 0.25	0.07–0.12 0.10	0.19–0.8 0.49
Чекуровская	2	58.2–62.9 60.52	0.7–0.8 0.77	15.4–16.5 15.93	5.4–6.3 5.83	0.06–0.08 0.07	1.6–2.3 1.92	0.8–1 0.89	3.4–3.8 3.64	3.6–4 3.77	0.2–0.22 0.21	0.09 0.09	0.24–0.28 0.26

Примечание. Числитель – минимальное–максимальное значение, знаменатель – среднее.

Note. The numerator – minimum–maximum value, the denominator – average value.

Таблица 2. Значения петрохимических модулей и индекса CIA для пород изученного разреза

Table 2. The values of the petrochemical modules and the CIA index for the rocks of the studied section

Свита	Кол-во проб	ГМ	ФМ	ЖМ	ТМ	НКМ	ЩМ	CIA
Кигиляхская	7	<u>0.29–0.34</u> 0.31	<u>0.08–0.12</u> 0.10	<u>0.26–0.35</u> 0.31	<u>0.03–0.04</u> 0.04	<u>0.46–0.49</u> 0.48	<u>1.02–1.12</u> 1.06	<u>52.5–53.8</u> 53.2
Буолкалахская (верхи)	2	<u>0.58–0.79</u> 0.68	<u>0.33–0.58</u> 0.46	<u>0.79–1.37</u> 1.08	<u>0.06</u> 0.06	<u>0.25–0.35</u> 0.3	<u>0.54–0.66</u> 0.6	<u>62.4–67.5</u> 64.95
Буолкалахская	14	<u>0.34–0.49</u> 0.42	<u>0.12–0.26</u> 0.18	<u>0.32–0.72</u> 0.46	<u>0.05–0.06</u> 0.05	<u>0.27–0.42</u> 0.36	<u>0.49–0.87</u> 0.72	<u>50.7–65.2</u> 57.8
Чекуровская	2	<u>0.34–0.41</u> 0.37	<u>0.11–0.15</u> 0.13	<u>0.34–0.37</u> 0.35	<u>0.05</u> 0.05	<u>0.45–0.48</u> 0.47	<u>0.86–1.08</u> 0.97	<u>56.4–59</u> 57.7

Примечание. Числитель – минимальное–максимальное значение, знаменатель – среднее. Петрохимические модули – по (Юдович, Кетрис, 2000): ГМ – гидролизатный $((\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}} + \text{MnO})/\text{SiO}_2)$, ФМ – фемический $((\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}} + \text{MnO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2)$, ЖМ – железный $((\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}} + \text{MnO})/(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3))$, ТМ – титановый $(\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$, НКМ – нормированной щелочности $((\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3)$, ЩМ – щелочной $(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$. Индекс химического изменения (CIA) – $100 \times \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, молекулярные количества.

Note. The numerator – minimum–maximum value, the denominator – average value. Petrochemical modules (Yudovich, Ketris, 2000): HM – hydrolyzate $((\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{tot}} + \text{MnO})/\text{SiO}_2)$, FM – femic $((\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{tot}} + \text{MnO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2)$, IM – iron $((\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{tot}} + \text{MnO})/(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3))$, TM – titanium $(\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$, NKM – normalized alkalinity $((\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3)$, AM – alkaline $(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$. Chemical Index of Alteration (CIA) – $100 \times \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, molecular quantities.

ми слоев мощностью от первых сантиметров до дециметра. Выше (8.7 м) залегают песчаники мелкозернистые, массивные и со слабовыраженной прерывистой мелкой косою слоистостью, подчеркнутой растительным детритом (см. рис. 3г, 4е). Породы имеют светло-зеленовато-серые цвета. Встречаются битые раковины моллюсков и костный фосфатный детрит. Присутствуют фораминиферы, соответствующие f-зоне KF3. Выше наблюдается относительно маломощная (1.7 м, интервал 21.1–22.8 м) пачка линзовидно-волнистого переслаивания алевролита и песчаника тонко- и мелкозернистого с толщиной слоев от первых сантиметров до дециметра. В песчанике отмечаются мелкие косые однонаправленные серии восходящей ряби. Осадки подвержены неравномерной биотурбации (разнонаправленные неидентифицированные следы) (см. рис. 3д, 4ж). Верхняя изученная часть кигиляхской свиты (интервал 4.0–21.1 м) сложена достаточно однородными песчаниками мелкозернистыми с послойной вариацией тонкопесчаной и алевритовой примеси (см. рис. 4з, ж). Текстура преимущественно массивная, присутствуют отдельные неравномерные пологокосые серии дециметрового масштаба, подчеркнутые гранулометрической неоднородностью (см. рис. 3е), иногда тонкими намывами мелкого растительного детрита и слюд. Для пород характерны светло-серые и светло-зеленые оттенки. В рассеянном виде присутствует обильный, в том числе весьма крупный, растительный детрит, встречаются редкие фораминиферы.

Выполненные петрографические исследования позволили отнести песчаные породы кигиляхской свиты преимущественно к аркозам и грау-

вакковым аркозам (см. рис. 5). Обломки характеризуются невысокой степенью окатанности и плохой сортировкой. В их составе преобладают полевые шпаты (50–55% обломочной части), представленные преимущественно калиевыми разновидностями, кварц составляет 25–30%. Обломки пород (порядка 10%) представлены эффузивами кислого, возможно среднего, состава, глинистыми и алевритовыми породами, редкими слюдястыми сланцами, хлоритизированными обломками различной структуры (в том числе редкими хлоритизированными обломками глауконитовых глобул), единичными карбонатными породами. Присутствует значительное количество обломочной слюды (от 10 до 20%) – биотит, реже мусковит. Аксессуарный комплекс унаследован от буолкалахской свиты и представлен цирконом, сфеном, апатитом, гранатом. Постоянно отмечается поровый глинистый материал (5–10%), редко проявляется неравномерный кальцитовый и сидеритовый цемент (до 1%). Единичный аутигенный пирит встречен лишь в нижних слоях свиты.

Анализ содержания в песчаниках кигиляхской свиты породообразующих оксидов показал (см. табл. 1), что в них, при выдержанных значениях Al_2O_3 (14–16 мас. %), $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ (5 мас. %), MgO (2 мас. %), K_2O (3.5 мас. %), CaO (1.5–2.0 мас. %) и P_2O_5 (0.2–0.25 мас. %), фиксируется некоторое увеличение содержания SiO_2 (65 мас. %) и Na_2O (3.5–4.0 мас. %), снижение доли TiO_2 (от 0.8 до 0.5 мас. %) и SO_3 (от 2.5 до менее 0.03 мас. %) и вариации в содержании MnO (0.35–0.65 мас. %). По классификации М. Хиррона (Herron, 1988), породы свиты соответствуют ваккам. Значения петрохимиче-

ских модулей (Юдович, Кетрис, 2000) (см. табл. 2) позволяют классифицировать их как миоциллиты и гипосиллиты нормально-железистые, нормально-титанистые и нормально-щелочные.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные новые данные о структурно-текстурных, минералого-петрографических и литохимических характеристиках изученных отложений, с учетом существующих палеогеографических представлений (рис. 6), позволили сделать некоторые выводы об обстановках и условиях их формирования (см. рис. 2). Изученная часть чекуровской свиты формировалась в обстановке верх-



Рис. 6. Палеогеографическая схема арктических районов Сибири в волжско-берриасское время, по (Nikitenko et al., 2018).

Звездочка – положение изученного разреза; точки – разрезы р. Анабар и Анабарского залива; пирамидки – участки возвышенности; желтым отмечена суша, голубым – верхняя сублитораль и средняя сублитораль, приближенная к берегу, синим – средняя сублитораль, удаленная от берега, и нижняя сублитораль.

Fig. 6. Paleogeographic scheme of the Arctic regions of Siberia in the Volgian-Berriasian time, according to (Nikitenko et al., 2018).

Asterisk – position of the studied section; red dots – sections of the Anabar River and the Anabar Bay; pyramids – areas of elevation; yellow – land; blue – upper sublittoral and middle sublittoral, close to the shore; dark blue – middle sublittoral, remote from the shore and lower sublittoral.

ней части переходной зоны побережья при регулярном воздействии штормовых волн. Развитый регионально конгломератовый пласт в основании буолкалахской свиты имеет все характерные черты базального горизонта крупной трансгрессии. Подобное эвстатическое событие носит глобальный характер и фиксируется во многих осадочных толщах северного полушария. В изученном разрезе этот пласт перекрывается наиболее глубоководными из изученных алевроитоглинистыми отложениями. Структурно-текстурные особенности пород вышележащей части свиты позволяют интерпретировать их как сформировавшиеся при постепенной смене обстановок переходной зоны побережья (периодическое волновое воздействие) обстановками нижней части предфронтальной зоны пляжа (постоянное волновое воздействие) при низком темпе поступления осадочного материала в бассейн. Отложения нижней части кигильяхской свиты отражают смену седиментационного режима и увеличение количества терригенного материала, поступающего в бассейн. Они формировались в обстановках верхней части предфронтальной зоны пляжа и пляжа с комбинированным волновым и приливно-отливным воздействием на осадок. Залегающая выше маломощная пачка (1.7 м), вероятно, формировалась в относительно мелководных обстановках заливно-лагунного побережья в условиях слабой гидродинамики придонных вод. Формирование верхней изученной части свиты происходило в обстановках фронта дельты при значительном поступлении в бассейн алевроитопесчаного материала. Отсутствие здесь макрофаунистических остатков, вероятно, отражает значительное опреснение вод речным стоком. В целом для волжско-валанжинской части разреза характерен выраженный непрерывный регрессивный тренд формирования.

Изученный разрез сопоставлен с разновозрастными опорными толщами региона (см. рис. 1). Основные данные об их составе и строении представлены в работах второй половины прошлого века (Емельянец, 1960; Джиноридзе, Меледина, 1965; Биджиев, Михайлов, 1966; Сафронов, 1974; Зинченко, Репин, 1982; Меледина и др., 1991; и др.), в том числе в фондовых материалах (Битерман и др., 1977ф; Галабала и др., 1984ф; и др.). К сожалению, имеющиеся литологические данные не отличаются детальностью. Тем не менее для волжско-валанжинского интервала всех рассмотренных разрезов отмечается общий тренд на поглубление обломочной части, который отражает направленное уменьшение глубин бассейна. Также для северной части Предверхожского прогиба существует принципиальная схема строения пограничных юрско-меловых толщ (Биджиев, 1973), согласно которой происходит существенное их опесчанивание в юго-западном направлении, в сторону внутренней зоны существовавшей

го в то время залива (см. рис. 6). В противоположном же направлении, во внешней зоне залива, существовали нормально-морские обстановки.

Для более детальных сопоставлений нами использованы наиболее представительные современные данные хорошо стратифицированных разрезов мыса Чуча (Kosenko et al., 2019) и р. Оленек (Nikitenko et al., 2018) (см. рис. 1). Отмечено, что при сходных в целом литологических характеристиках волжской части разрезов имеет место значительное увеличение мощностей существенно алевритового бореального берриаса на внешнем борту Предверхоянского прогиба (разрез мыса Чуча). В верхах разреза также появляются песчаные прослои. На севере же региона (разрез р. Оленек) нормально-морской бореальный берриас ожидаемо более глинистый. Что касается нижних частей валанжина, представленных преимущественно песчаниками, то они имеют близкие черты для всех трех разрезов.

Данные о структуре и составе обломочной части изученных пород позволили получить представление об основных источниках сноса. Преобладание в песчаной фракции буолкалахской и кигильяхской свит слабоокатанных зерен, низкая степень их сортировки, аркозовый состав и характерный комплекс акцессорных минералов указывают на близость материнских толщ, имеющих существенно кислый состав. Расположение фигуративных точек пород на генетической диаграмме F1–F2 (Roser, Korsch, 1988), характеризующей состав петрофонда (рис. 7), позволяют предположить, что при формировании буолкалахской свиты наблюдалось значительное влияние богатых кварцем осадков. Некоторое смещение фигуративных точек пород кигильяхской свиты в сторону поля кислых магматических пород может свидетельствовать о возрастании их роли в областях размывов в это время. Кроме того, повышенное содержание MgO в прослоях верхней части буолкалахской свиты, наиболее обогащенных кластическим материалом, может отражать присутствие в них продуктов разрушения вулканогенных или вулканогенно-осадочных пород. Смещение фигуративных точек этой части разреза в поле отрицательных значений параметра F1 ожидаемо и отражает значительное содержание в породах аутигенного железа (преимущественно в глауконите и пирите). Основной территорией сноса того времени традиционно считается Оленекское поднятие, где размывались более древние осадочные толщи и кислые изверженные допалеозойские породы (Каплан и др., 1972; Каплан, 1976). Согласно предложенной схеме районирования позднеюрских терригенно-минералогических провинций для севера Восточной Сибири (см. рис. 1б), район исследований располагается в южной части Оленекской провинции, окаймляющей одноименное поднятие с севера и востока.

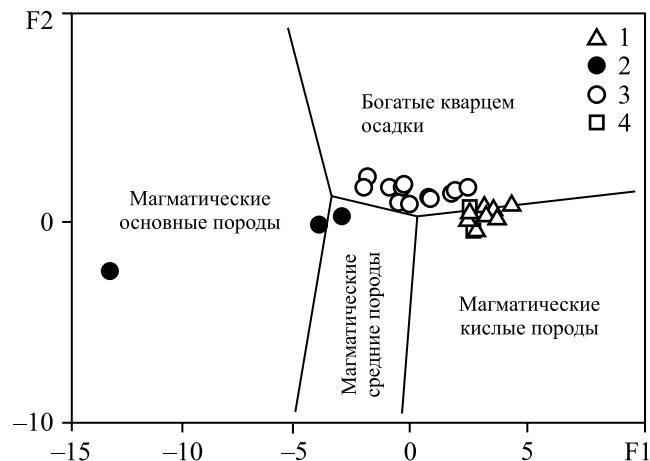


Рис. 7. Положение фигуративных точек изученных пород на генетической диаграмме F1–F2 (Roser, Korsch, 1988).

$$F1 = 30.638 \times \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 2.541 \times \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031 \times \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382; \\ F2 = 56.5 \times \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.879 \times \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404 \times \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89.$$

1 – песчаники кигильяхской свиты, 2 – алевропесчаники буолкалахской свиты (верхний слой), 3 – глинистые алевриты буолкалахской свиты, 4 – алевропесчаники чекуровской свиты.

Fig. 7. The position of the figurative points of the studied rocks on the genetic diagram F1–F2 (Roser, Korsch, 1988).

$$F1 = 30.638 \times \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 2.541 \times \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031 \times \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382; \\ F2 = 56.5 \times \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.879 \times \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404 \times \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89.$$

1 – sandstones of the Kigilyakh Frm., 2 – silty sandstones of the Buolkalakh Frm. (upper layer), 3 – clayey siltstones of the Buolkalakh Frm., 4 – siltstones and sandstones of the Chekurovka Frm.

Установлено, что практически все изученные породы (как глинисто-алевритовые, так и песчаные) характеризуются выдержанными значениями индекса химического изменения (CIA) (Nessbit, Young, 1982), которые составляют в среднем 57 пунктов (см. табл. 2), что может свидетельствовать о слабом и умеренном химическом выветривании пород в источниках сноса. Об этом свидетельствует и невысокое содержание в породах продуктов гидролиза (гидролизатный модуль), а также преобладание в глинистой составляющей буолкалахской свиты разупорядоченного иллит-сметита. Примечательно, что полученные значения CIA несколько ниже установленных ранее для разновозрастных алеврито-глинистых толщ в районах нижнего течения р. Анабар и Анабарского залива (см. рис. 6), которые колеблются в среднем от 64 до 73 (Попов и др., 2022, 2025). Принимая во внимание

зависимость величин CIA от размерности (чем грубее породы, тем ближе значения CIA к значениям петрофонда), можно считать величины индекса в двух рассматриваемых регионах сопоставимыми и предполагать, что интенсивность выветривания пород в них существенно не различалась, являясь при этом невысокой. Подобное предположение неплохо сочетается с тем, что рассматриваемые территории в позднеюрское и раннемеловое время располагались в высоких широтах (Torsvik, Cocks, 2017) и, как следствие, характеризовались относительно низкими среднегодовыми температурами, влияющими на понижение интенсивности процессов химического выветривания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования позволили расчленить, стратифицировать и детально охарактеризовать литологические и литохимические особенности нового разреза пограничной юрско-меловой толщи на юго-востоке Анабаро-Ленского осадочного бассейна, вскрытой скважиной 93-80 (интервал глубин 4–50 м). Установлено, что глинисто-алевритовая часть разреза с базальным конгломератовым пластом (интервал 31.8–43.5 м) соответствует буолкалахской свите (волжский ярус–бореальный берриас), а вышележащая алеврито-песчаная часть (интервал 4.0–31.8 м) – кигиляхской свите (бореальный берриас(?)-валанжин). На основе полученных данных реконструированы обстановки формирования отложений. Буолкалахская свита формировалась при постепенной смене обстановок переходной зоны побережья обстановками нижней части предфронтальной зоны пляжа при низком темпе поступления терригенного материала в бассейн. Отложения кигиляхской свиты формировались в обстановках верхней части предфронтальной зоны пляжа, заливно-лагунного побережья и фронта дельты при возрастании темпов поступления терригенного материала в бассейн. Отмечен выраженный регрессивный тренд волжско-берриасской части, который характерен для всех разновозрастных толщ региона.

Установлено, что основными источниками сноса на период формирования буолкалахской и кигиляхской свит являлись близко расположенные более древние осадочные образования, богатые кварцем, а также магматические породы кислого состава. Материнские толщи были подвержены слабому и умеренному химическому выветриванию.

Результаты исследований уточняют и дополняют имеющиеся сведения об истории развития восточной части Анабаро-Ленского осадочного бассейна на рубеже юрского и мелового периодов, а также позволяет расширить представления об эволюции этого бассейна в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Биджиев Р.А. (1973) Волжский ярус на севере Приверхо-анского прогиба (внутренняя зона). *Бюлл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол.*, **XLIII**(2), 61-71.
- Биджиев Р.А., Михайлов Н.П. (1966) Волжский ярус на севере Приверхо-анского прогиба. *Бюлл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол.*, **XLII**(3), 55-64.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. (2013) М-6 1 : 1 000 000 (третье поколение). Сер. Анабаро-Вилуйская. Лист R-51 – Джарджан. СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. (2013) М-6 1 : 1 000 000 (третье поколение). Сер. Анабаро-Вилуйская. Лист R-51 – Джарджан. Объяснит. записка. СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 397 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. (2014) М-6 1 : 1 000 000 (третье поколение). Сер. Лапеево-Сибироморская. Лист S-51 – Оленекский залив. Объяснит. записка. СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 274 с.
- Девятков В.П., Сапьяник В.В. (2009) Главнейшие геологические события мезозоя Сибири. *Региональная геология. Стратиграфия и палеонтология фанерозоя Сибири*. Новосибирск: СНИИГиМС, 123-130.
- Джиноридзе Н.М., Меледина С.В. (1960) К стратиграфии средне- и верхнеюрских отложений низовьев р. Лены. *Геология и геофизика*, (3), 137-142.
- Емельянцева Т.М., Кравцова А.И., Пук П.С. (1960) Геология и перспективы нефтегазоносности низовьев р. Лены. Л.: Гостехиздат, 145 с.
- Зинченко В.Н., Репин Ю.С. (1982) Особенности строения разрезов юрских отложений Предверхо-анского прогиба (северная ветвь). *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (4), 25-35.
- Каплан М.Е. (1976) Литология морских мезозойских отложений севера Восточной Сибири. Л.: Недра, 229 с.
- Каплан М.Е., Ронкина З.З., Королева Р.В. (1972) Юрские терригенно-минералогические провинции севера Сибири. *Геология и геофизика*, (9), 47-56.
- Каширцев В.А., Никитенко Б.Л., Пешевская Е.Б., Фурсенко Е.А. (2020) Органическая геохимия и микрофоссилии верхней юры и нижнего мела низовьев р. Оленек. *Геология и геофизика*, **61**(12), 1716-1734.
- Каширцев В.А., Никитенко Б.Л., Пешевская Е.Б., Фурсенко Е.А., Шевченко Н.П. (2018) Биогеохимия и микрофоссилии верхней юры и нижнего мела Анабарского залива моря Лаптевых. *Геология и геофизика*, **59**(4), 481-501.
- Конторович А.Э., Вакуленко Л.Г., Казаненков В.А., Скворцов М.Б., Ян П.А., Быков В.В., Попов А.Ю., Саенко Л.С. (2010) Седиментогенез коллекторов среднего-верхнего бата и их нефтеносность в Широком Приобье. *Геология и геофизика*, **51**(2), 187-200.
- Конторович В.А., Конторович А.Э., Калинин А.Ю., Калинина Л.М., Лапковский В.В., Лунов Б.Л., Моисев С.А., Соловьев М.В. (2021) Сейсмогеологическая и структурно-тектоническая характеристика континентальной окраины Сибирской платформы (Хантгско-Ленское междуречье). *Геология и геофизика*, **62**(8), 1153-1171.

- Меледина С.В., Шурыгин Б.Н., Злобина О.Н., Левчук М.А., Нальниева Т.Н., Никитенко Б.Л. (1991) Чекурская свита (бат-келловей) в стратотипе. *Детальная стратиграфия и палеонтология юры и мела Сибири*. Новосибирск: Наука, 5-195.
- Никитенко Б.Л. (2009) Стратиграфия, палеобиогеография и биофации юры Сибири по микрофауне (фораминиферы и остракоды). Новосибирск: Параллель, 680 с.
- Никитенко Б.Л., Девятков В.П., Пещевицкая Е.Б., Попов А.Ю., Фурсенко Е.А., Хафаева С.Н. (2022) Стратиграфия, литология и геохимия прибрежных и мелководно-морских разрезов верхов средней юры–низов мела р. Анабар (Арктическая Сибирь). *Геология и геофизика*, **63**(5), 673-708.
- Никитенко Б.Л., Девятков В.П., Родченко А.П., Левчук Л.К., Пещевицкая Е.Б., Фурсенко Е.А. (2020) Гольчихинская свита (верхи бата–низы бореального берриаса) Енисей-Хатангского прогиба (запад Северо-Сибирской низменности). *Геология и геофизика*, **61**(4), 508-526.
- Никитенко Б.Л., Пещевицкая Е.Б., Каширцев В.А., Фурсенко Е.А., Попов А.Ю., Хафаева С.Н., Брагин В.Ю. (2023) Микрофоссилии, высокоразрешающая стратиграфия, геохимия и литология верхней юры и нижнего мела (урдюкхайнская и паксинская свиты) п-ова Нордвик, Анабарский залив, море Лаптевых. *Геология и геофизика*, **64**(11), 1586-1615.
- Обстановки осадконакопления и фации. (1990) (Под ред. Х. Рединга). М.: Мир, 352 с.
- Палеогеография севера СССР в юрском периоде. (1983) (Под ред. К.В. Боголепова). Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 188 с.
- Пещевицкая Е.Б., Никитенко Б.Л., Попов А.Ю. (2022) Реконструкции палеообстановок в разрезе на р. Анабар (бат–бореальный берриас, север Сибири) по литологии, фораминиферам и палиноморфам. *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*, (11), 29-35.
- Попов А.Ю., Вакуленко Л.Г., Никитенко Б.Л. (2022) Петрографические и литогеохимические особенности верхов средней юры–низов нижнего мела нижнего течения реки Анабар (Восточная Сибирь, Арктика). *Геология и геофизика*, **63**(9), 1233-1252.
- Попов А.Ю., Вакуленко Л.Г., Никитенко Б.Л., Пальчик Н.А., Мельников К.К. (2025) Минералого-петрографические и литохимические особенности верхней юры–низов нижнего мела п-ова Нордвик (север Восточной Сибири). *Геология и геофизика*, **66**(1).
- Сафронов А.Ф. (1974) Геология и перспективы нефтегазоносности северной части Предверхоанского прогиба. Новосибирск: Наука, 112 с.
- Советов Ю.К., Попов А.Ю. (2024) Литология. Избранные лекции. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 316 с.
- Фролов В.Т. (1993) Литология. Кн. 2. М.: Изд-во МГУ, 432 с.
- Шурыгин Б.Н., Дзюба О.С. (2015) Граница юры и мела на севере Сибири и бореально-тетическая корреляция приграничных толщ. *Геология и геофизика*, **56**(4), 830-844. <https://doi.org/10.15372/GiG20150413>
- Шутов В.Д. (1967) Классификация песчанников. *Литология и полез. ископаемые*, (5), 86-103.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2000) Основы литохимии. СПб.: Наука, 479 с.
- Einsele G. (1992) Sedimentary basins: evolution, facies, and sediment budget. Berlin: Springer, 628 p.
- Herron M.M. (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *J. Sediment. Petrol.*, **58**, 820-829.
- Kosenko I.N., Urman O.S., Metelkin E.K., Shurygin B.N., Igolnikov A.E. (2019) New Data on the Litho- and Biostratigraphy of the J/K Boundary Interval of the Lower Reaches of the Lena River (Eastern Siberia). *Open J. Geol.*, **9**(10), 554-557.
- Mork A., Smelror M. (2001) Correlation and Non-Correlation of High Order Circum-Arctic Mesozoic Sequences. *Polarforschung*. Bremerhaven: Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research & German Society of Polar Research, **69**, 65-72.
- Nesbitt H.W., Young G.M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, **299**, 715-717.
- Nikitenko B.L., Pestchevitskaya E.B., Khafaeva S.N. (2018) High-resolution stratigraphy and palaeoenvironments of the Volgian-Valanginian in the Olenek key section (Anabar-Lena region, Arctic East Siberia, Russia). *Revue de Micropaléontologie*, **61**, 271-312.
- Roser B.P., Korsch R.J. (1988) Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chem. Geol.*, **67**, 119-139.
- Torsvik T.H., Cocks L.R.M. (2017) Earth history and Palaeogeography. Cambridge and N. Y.: Cambridge University Press, 317 p.

REFERENCES

- Kaplan M.E., Ronkina Z.Z., Koroleva R.V. (1972) Jurassic terrigenous-mineralogical provinces of Northern Siberia. *Geol. Geofiz.*, (9), 47-56. (In Russ.)
- Kashirtsev V.A., Nikitenko B.L., Peshchevitskaya E.B., Fursenko E.A. (2020) Organic geochemistry and microfossils of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous strata in the lower reaches of the Olenek River (northeastern framing of the Siberian Platform, Arctic Siberia). *Russ. Geol. Geophys.*, **61**(12), 1412-1428 (translated from *Geol. Geofiz.*, **61**(12), 1716-1734). <https://doi.org/10.15372/RGG2020131>
- Kashirtsev V.A., Nikitenko B.L., Peshchevitskaya E.B., Fursenko E.A., Shevchenko N.P. (2018) Biogeochemistry and microfossils of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous of the Anabar Bay, Laptev Sea. *Russ. Geol. Geophys.*, **59**(4), 386-404 (translated from *Geol. Geofiz.*, **59**(4), 481-501). <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2017.09.004>
- Kontorovich V.A., Kontorovich A.E., Kalinin A.Yu., Kalinina L.M., Lapkovskii V.V., Lunev B.V., Moiseev S.A., Solov'ev M.V. (2021) Seismogeologic, Structural, and Tectonic Characteristics of the Continental Margin of the Siberian Platform (Khatanga-Lena Interfluvium). *Russ. Geol. Geophys.*, **62**(8), 947-963 (translated from *Geol. Geofiz.*, **62**(8), 1153-1171). <https://doi.org/10.2113/RGG20214352>
- Kontorovich A.E., Vakulenko L.G., Kazanenkov V.A., Skvortsov M.B., Yan P.A., Bykov V.V., Popov A.Yu., Saenko L.S. (2010) Sedimentogenesis and resource potential of Middle-Upper Bathonian reservoirs in the Middle Ob' region. *Russ. Geol. Geophys.*, **51**(2), 147-158 (translated from *Geol. Geofiz.*, **51**(2), 187-200). <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2009.12.019>
- Kosenko I.N., Urman O.S., Metelkin E.K., Shurygin B.N., Igonnikov A.E. (2019) New Data on the Litho- and Biostratigraphy of the J/K Boundary Interval of the Lower Reaches of the Lena River (Eastern Siberia). *Open J. Geol.*, **9**(10), 554-557.
- Meledina S.V., Shurygin B.N., Zlobina O.N., Levchuk M.A., Nal'nyaeva T.N., Nikitenko B.L. (1991) The Chekurovka Fm. (Bathonian-Callonian) in the stratotype. *Detailed stratigraphy and paleontology of the Jurassic and Cretaceous of Siberia*. Novosibirsk, Nauka Publ., 5-195.
- Mork A., Smelror M. (2001) Correlation and Non-Correlation of High Order Circum-Arctic Mesozoic Sequences. *Polarforschung*. Bremerhaven: Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research & German Society of Polar Research, **69**, 65-72.
- Nesbitt H.W., Young G.M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, **299**, 715-717.
- Nikitenko B.L. (2009) Jurassic stratigraphy, paleobiogeography and biofacies of Siberia on microfauna (foraminifers and ostracodes). Novosibirsk, Parallel' Publ., 680 p. (In Russ.)
- Nikitenko B.L., Devyatov V.P., Peshchevitskaya E.B., Popov A.Yu., Fursenko E.A., Khafaeva S.N. (2022) Stratigraphy, Lithology, and Geochemistry of Coastal and Shallow-Sea Sections of the Uppermost Middle Jurassic–the Lowermost Cretaceous Section in the Anabar River Region (Arctic Siberia). *Russ. Geol. Geophys.*, **63**(5), 558-589 (translated from *Geol. Geofiz.*, **63**(5), 673-708). <https://doi.org/10.2113/RGG20204262>
- Nikitenko B.L., Devyatov V.P., Rodchenko A.P., Levchuk L.K., Pestchevitskaya E.B., Fursenko E.A. (2020) The Gol'chikha Formation (upper Bathonian–lower Boreal Berriasian) of the Yenisei-Khatanga Depression (West of the North Siberian Lowland). *Russ. Geol. Geophys.*, **61**(4), 412-427 (translated from *Geol. Geofiz.*, **61**(4), 508-526). <https://doi.org/10.15372/RGG2019082>
- Nikitenko B.L., Peshchevitskaya E.B., Kashirtsev V.A., Fursenko E.A., Popov A.Yu., Khafaeva S.N., Bragin V.Yu. (2023) Microfossils, High-Resolution Stratigraphy, Geochemistry and Lithology of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous (Urdyuk-Khaya and Paksa Formations) in the Nordvik Peninsula, Anabar Bay, Laptev Sea. *Russ. Geol. Geophys.*, **64**(11), 1323-1346 (translated from *Geol. Geofiz.*, **64**(11), 1586-1615). <https://doi.org/10.2113/RGG20234612>
- Nikitenko B.L., Peshchevitskaya E.B., Khafaeva S.N. (2018) High-resolution stratigraphy and palaeoenvironments of the Volgian-Valanginian in the Olenek key section (Anabar-Lena region, Arctic East Siberia, Russia). *Revue de Micropaléontologie*, **61**, 271-312.
- Paleogeography of the north of the USSR in the Jurassic. (1983) (Ed. K.V. Bogolepov). Novosibirsk, Nauka Publ., 188 p. (In Russ.)
- Peshchevitskaya E.B., Nikitenko B.L., Popov A.Y. (2022) Reconstructions of paleoenvironments in the section on the Anabar River (Bathonian – Boreal Berriasian, north of Siberia) by lithology, foraminifera, and palynomorphs. *Geology and Mineral Resources of Siberia*, (11), 29-35 (translated from *Geologiya i Mineral'no-syr'evye Resursy Sibiri*, (11), 29-35). <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2022-11c-29-35>
- Popov A.Yu., Vakulenko L.G., Nikitenko B.L. (2022) Petrography and lithochemochemistry of the uppermost Middle Jurassic–Lower Cretaceous strata in the lower reaches of the Anabar River (East Siberia, Arctic). *Russ. Geol. Geophys.*, **63**(9), 1020-1035 (translated from *Geol. Geofiz.*, **63**(9), 1233-1252). <https://doi.org/10.2113/RGG20214346>
- Popov A.Yu., Vakulenko L.G., Nikitenko B.L., Pal'chik N.A., Melnikov K.K. (2025) Mineralogical, petrographic, and lithochemical features of the Upper Jurassic–Lower Cretaceous section of the Nordvik peninsula (north of Eastern Siberia). *Russ. Geol. Geophys.*, **66**(1) (translated from *Geol. Geofiz.*, **66**(1)). <https://doi.org/10.2113/RGG20244773>
- Roser B.P., Korsch R.J. (1988) Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chem. Geol.*, **67**, 119-139.
- Safronov A.F. (1974) Geology and prospects of oil and gas potential of the northern part of the Predverkhoyansk trough. Novosibirsk, Nauka Publ., 112 p. (In Russ.)
- Sedimentation and Tectonics. (1986) (Ed. H.G. Reading). N. Y., Elsevier Publ. (translated under the title *Obstanovki osadkonakopleniya i fatsii*. (1990) Moscow, Mir Publ., 352 p.).
- Shurygin B.N., Dzyuba O.S. (2015) The Jurassic/Cretaceous boundary in northern Siberia and the Boreal-Tethyan correlation of the boundary beds. *Russ. Geol. Geophys.*,

- 56**(4), 652-662 (translated from *Geol. Geofiz.*, **56**(4), 830-844). <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.03.013>
- Shutov V.D. (1967) Classification of sandstones. *Litologiya i Polez. Iskop.*, (5), 86-103. (In Russ.)
- Sovetov Yu.K., Popov A.Yu. (2024) Lithology. Selected lectures. Novosibirsk, IPTs NGU Publ., 316 p. (In Russ.)
- State Geological Map of the Russian Federation. (2013) Scale 1 : 1 000 000 (third generation). The Anabaro-Vilyuiskaya Ser. Sheet R-51 – Dzhardzhan. Explanatory note. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 397 p. (In Russ.)
- State Geological Map of the Russian Federation. (2014) Scale 1 : 1 000 000 (third generation). The Laptevo-Sibiromorskaya Ser. Sheet S-51 – Olenek Bay. Explanatory note. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 274 p. (In Russ.)
- Torsvik T.H., Cocks L.R.M. (2017) Earth history and Palaeogeography. Cambridge and N. Y., Cambridge University Press Publ., 317 p.
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2000) Fundamentals of lithochemistry. St.Petersburg, Nauka Publ., 479 p. (In Russ.)
- Zinchenko V.N., Repin Yu.S. (1982) Structural features of sections of Jurassic sediments of the Predverkhoyansk trough (northern branch). *Izv. AN SSSR. Ser. Geol.*, (4), 25-35. (In Russ.)