



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 289–297

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 289–297

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-4-289-297>, EDN: WDTOSE

Научная статья

УДК 550.8

Особенности распределения естественных радиоактивных элементов в зависимости от палеогеографических условий осадконакопления верхнеюрских отложений (на примере Когалымско-Покачевского региона Западной Сибири)



Ю. В. Титов¹✉, К. В. Павленко^{1,2}, Э. М. Рахматуллина¹, Г. М. Галимова¹

¹000 «ЛУКОЙЛ-Инженеринг», Россия, 628486, г. Когалым, ул. Центральная, д. 19/18

²Образовательный центр г. Когалым (филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета), Россия, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, 628482, г. Когалым, ул. Береговая, д. 100

Титов Юрий Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, главный специалист, Yuriy.Titov@lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0002-4205-9620>

Павленко Кирилл Викторович, ¹инженер 2-й категории, ²ассистент, Kirill.Pavlenko@lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0003-4537-8296>

Рахматуллина Эльвина Маратовна, техник 1-й категории, elvina.oshimova@lukoil.com, <https://orcid.org/0009-0000-1858-2609>

Галимова Гульнаز Маратовна, старший научный сотрудник, Gulnaz.Galimova@lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0001-9185-4877>

Аннотация. Рассмотрены содержание и распределение естественных радиоактивных элементов (урана, тория, калия и соотношения между ними) в верхнеюрских отложениях Когалымско-Покачевского региона, изученных по девяти скважинам. На основании комплексных исследований установлена последовательная смена восьми субстановок, включающих отложения шельфовых илов, дальней зоны, переходной зоны, предфронтальной зоны пляжа, лагуны, берегового бара, подводного вала и песчаной гряды. Для каждой субстановки выявлены определенные закономерности процессов миграции и аккумуляции естественных радиоактивных элементов и определены их предельные значения. Результаты могут являться надежными индикаторами обстановок осадконакопления и применяться как для стратиграфического расчленения разрезов, так и для корреляции разновозрастных отложений, а также выступать дополнением к палеогеографическим исследованиям.

Ключевые слова: естественный радиоактивный элемент, уран, калий, торий, спектрометрический гамма-каротаж, верхнеюрские отложения, палеогеографические условия, субстановки

Для цитирования: Титов Ю. В., Павленко К. В., Рахматуллина Э. М., Галимова Г. М. Особенности распределения естественных радиоактивных элементов в зависимости от палеогеографических условий осадконакопления верхнеюрских отложений (на примере Когалымско-Покачевского региона Западной Сибири) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 289–297. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-4-289-297>, EDN: WDTOSE

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Features of the distribution of natural radioactive elements depending on the paleogeographic conditions of sedimentation of the Upper Jurassic sediments (on the example of the Kogalym-Pokachevsky region of Western Siberia)

Ю. В. Титов¹✉, К. В. Павленко^{1,2}, Э. М. Рахматуллина¹, Г. М. Галимова¹

¹LUKOIL-Engineering LLC, 19/18 Tsentralnaya St., Kogalym 628486, Russia

²Educational Center (Kogalym) Perm National Research Polytechnic University, 100 Beregovaya St., Kogalym 628482, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra, Russia

Yury V. Titov, Yuriy.Titov@lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0002-4205-9620>

Kirill V. Pavlenko, Kirill.Pavlenko@lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0003-4537-8296>

Elvina M. Rakhmatullina, elvina.oshimova@lukoil.com, <https://orcid.org/0009-0000-1858-2609>

Gulnaz M. Galimova, Gulnaz.Galimova@lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0001-9185-4877>

Abstract. The article discusses the content and distribution of natural radioactive elements (uranium, thorium, and potassium) in the Upper Jurassic deposits of the Kogalym-Pokachevsky region, based on data from nine wells. Through comprehensive studies, eight stages of deposition have been identified, including deposits from shelf silts to the prefrontal zone of the beach. Certain patterns of migration and accumulation



of these radioactive elements have been observed for each stage, and their limiting values have been determined. These results can serve as reliable indicators of sedimentation conditions, and can be useful for both stratigraphic analysis and correlation of sediments from different time periods. Additionally, they can contribute to paleogeographic research.

Keywords: natural radioactive element, uranium, potassium, thorium, spectrometric gamma logging, Upper Jurassic deposits, paleogeographic conditions, substitutions

For citation: Titov Yu. V., Pavlenko K. V., Rakhmatullina E. M., Galimova G. M. Features of the distribution of natural radioactive elements depending on the paleogeographic conditions of sedimentation of the Upper Jurassic sediments (on the example of the Kogalym-Pokachevsky region of Western Siberia). *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 289–297 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-4-289-297>, EDN: WDTOSE

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Поведение естественно-радиоактивных элементов (ЕРЭ) – урана, тория, калия и их отношений – в палеогеографических зонах седиментационных бассейнов освещено в многочисленных научных работах [1, 2 и др.]. Тем не менее, применительно к осадочным породам Западной Сибири данные исследования отражают наиболее общие закономерности в их распределении и носят фрагментарный характер, охватывая лишь отдельные участки территории. Существенный прогресс в исследовании данной проблематики стал возможен благодаря применению метода естественного гамма-излучения по керну. Метод базируется на определении массовой доли радиоактивных изотопов (излучающих радионуклидов) – калия-40, урана-238 и тория-232 в горных породах с помощью современного гамма-спектрометрического анализа. Данный подход позволяет выявить закономерности распределений естественных радиоактивных элементов, которые зависят от условий формирования осадочных пород в процессе их седиментации.

Методика исследования

В основу представленной работы положены результаты изучения элементного состава верхнеюрских отложений по девяти скважинам месторождений Когалымско-Покачевского региона (рис. 1). Исследования проводились на установке спектрального гамма-каротажа керна ПИК-ГАММА (Россия, АО «Геологика») со спектрометром-радиометром гамма-, бета- и альфа-излучения МКГБ-01 «РАДЭК», являющимся средством измерения (рег. № 21730-13). Всего исследовано свыше 360 погонных метров кернового материала.

В рамках проведения исследования выполнено седиментологическое описание кернового материала, на основании которого установлены условия формирования осадочных отложений на рассматриваемой территории. Использована классификация обстановок осадконакопления, разработанная О. С. Черновой [4] с уточнениями автора. При реконструкции обстановок осадконакопления также применялся ихнофациальный анализ, основанный на изучении следов жизнедеятельности организмов – ихнофоссилий [5].

Изучение вещественного состава пород выполнено с помощью гранулометрических, оптико-петрографических, рентгеновских и пиролитических исследований. По данным профильных гамма-спектрометрических исследований керна были выполнены непрерывные измерения K, U, Th, и общей радиоактивности с постоянной скоростью сканирования 0.10 м/мин. Результаты выполненных исследований по скважинам приведены в таблице .

Результаты и их обсуждение

По комплексу диагностических признаков установлено, что процесс формирования осадочных отложений на изучаемой территории протекал преимущественно в прибрежно-морских условиях с преобладанием волновой деятельности, при этом периодически, вследствие кратковременных трансгрессий, возникали мелководно-морские обстановки. Сопоставление результатов литолого-седиментологических исследований с данными спектрометрического анализа керна выявило, что содержание ЕРЭ изменяется в зависимости от субстановок осадконакопления.

Так, для субстановки шельфовых илов, представленной преимущественно глинисто-кремниевыми неравномерно углеродистыми породами, в целом характерны аномально высокие значения общей гамма-активности пород, достигающие 706 API и максимальные значения по содержанию урана – 44.00 млн^{-1} . Выделенные особенности могут быть объяснены высокой концентрацией органического вещества в глубоководной зоне палеобассейна и восстановительными условиями среды [6, 7]. По данным проведенного минералого-петрографического анализа с привлечением пиролитических исследований подтверждено значительное содержание органического вещества в породах до 15–20%, которое пигментирует породу бурым цветом и образует нитевидные, невыдержаные слойки толщиной 0.03 мм и менее. При этом обнаружена четкая взаимосвязь между характером распределением содержания урана и степенью обогащения пород органическим углеродом (TOC): при увеличении показателя TOC наблюдается

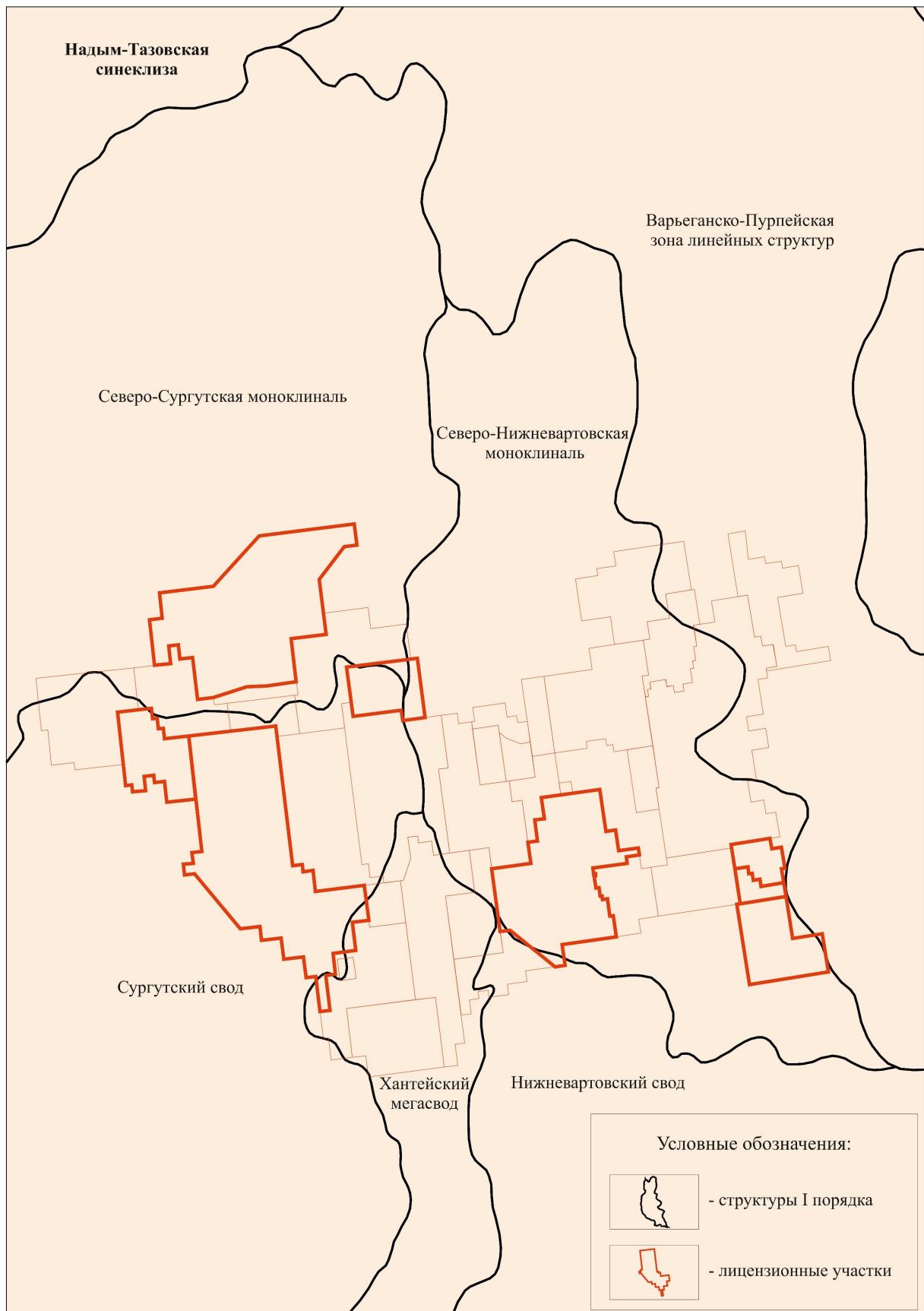


Рис. 1. Фрагмент из тектонической карты центральной части Западно-Сибирской плиты с нанесенными месторождениями [3]



**Содержание K, U, Th и их отношений в верхнеюрских отложениях Когалымско-Покачевского региона
Западной Сибири**

Субобстановка	Общая радиоактивность, API	K, %	U, млн ⁻¹	Th, млн ⁻¹	Th/U	U/K, 10 ⁻²	Th/K, 10 ⁻²
Шельфовых илов	66.16–706.42 257.82	0.15–4.92 2.33	0.01–44.18 17.27	0.00–5.3 2.12	0.00–76.00 1.53	0.00–25.28 7.33	0.00–10.1 1.08
Дальняя зона	52.16–140.03 100.17	0.91–6.00 3.51	0.01–1.94 0.60	0.27–9.63 3.28	0.15–605.00 34.01	0.00–1.40 0.20	0.08–4.12 0.94
Переходная зона	33.50–134.90 93.20	1.57–6.66 3.86	0.01–1.01 0.23	0.27–8.31 3.79	0.29–692.00 78.35	0.00–0.22 0.06	0.05–3.35 1.10
Предфронтальная зона пляжа	2.99–103.98 48.81	0.17–4.50 2.18	0.00–5.49 0.35	0.00–10.53 1.74	0.00–517.00 78.09	0.00–14.16 0.28	0.00–9.24 0.98
Лагуна	20.00–184.33 106.18	0.88–5.56 3.25	0.00–7.81 0.35	0.00–12.48 3.31	0.00–557 67.42	0.00–8.49 0.15	0.00–3.58 1.05
Берегового бара	7.73–94.02 44.04	0.77–5.03 2.76	0.00–0.18 0.02	0.00–8.02 1.51	0.17–802.00 108.13	0.00–0.09 0.01	0.00–2.27 0.58
Подводного вала	48.13–81.98 60.85	1.31–4.73 2.75	0.00–0.17 0.04	0.01–5.17 2.07	1.00–391.00 96.76	0.00–0.09 0.02	0.00–1.96 0.79
Песчаной гряды	17.94–153.69 76.27	0.55–5.05 2.79	0.00–0.29 0.05	0.00–8.37 2.34	0.20–712.00 141.60	0.00–0.15 0.02	0.00–4.51 0.94

Примечание. В числителе – интервалы содержаний, в знаменателе – среднее.

ется пропорциональное возрастание содержания урана в породах (рис. 2).

Однако не стоит также исключать вхождение урана в четырехвалентной форме в структуру апатита рыбных скелетов [8]. Выявлено, что глинисто-кремниевые породы рассматриваемой субобстановки характеризуются повышенным содержанием ихтиодетрита, имеющего изначально фосфатный (апатитовый) состав (рис. 3). Его обломки имеют удлиненную, реже нитевидную, неправильную формы, размеры варьируют в пределах 0.04–0.18 миллиметров, имеют темно-

бурую до черной интерференционную окраску, часто распределены по наслоению породы.

Несмотря на то, что соединения калия отличаются высокой химической активностью и хорошей растворимостью в водной среде, его концентрация в породах субобстановки шельфовых илов остается относительно низкой, варьирует в диапазоне от 0.0 до 4.92 млн⁻¹. Данная особенность обусловлена небольшим содержанием глинистого материала, представленного микрочешуйчатыми агрегатами гидрослюд, реже чешуйками мусковита, и полевых шпатах с пре-

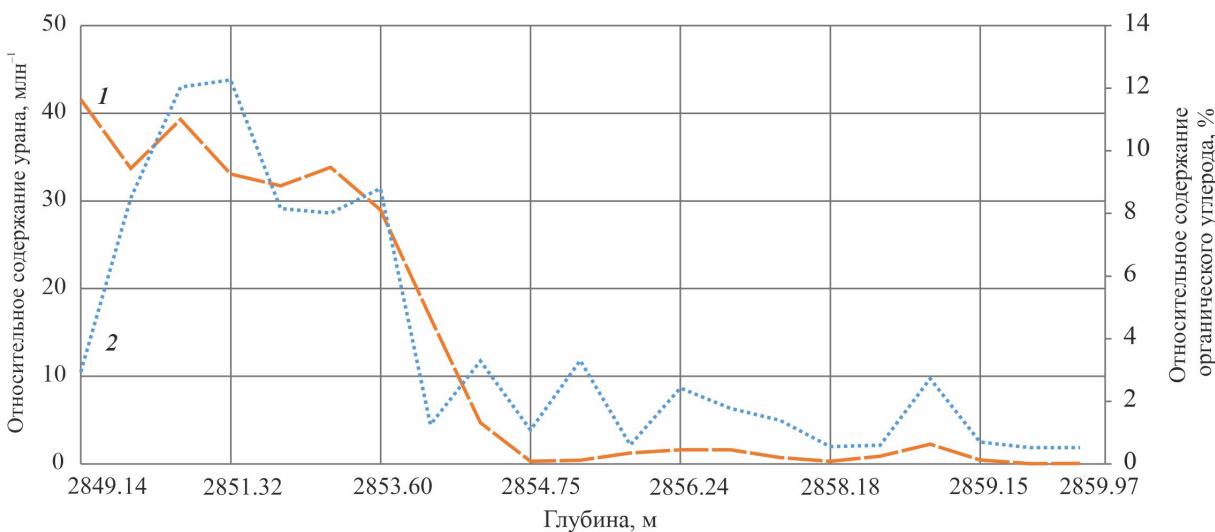


Рис. 2. Связь между относительным содержанием урана и органическим углеродом по разрезу верхнеюрских отложений: 1 – содержание урана, 2 – содержание ТОС (цвет онлайн)

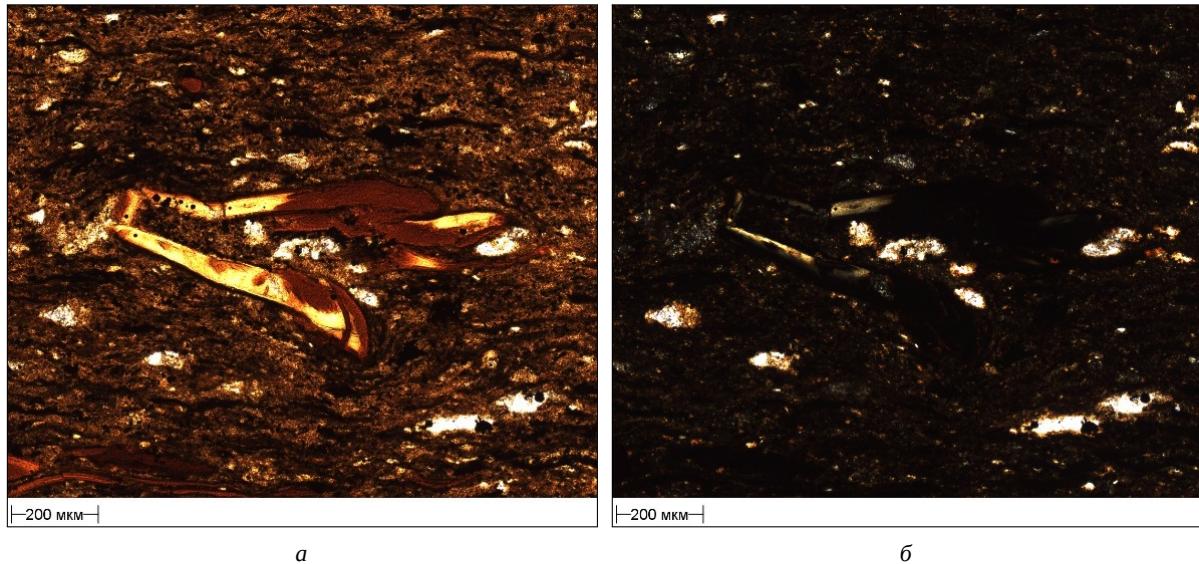


Рис. 3. Глинисто-кремниевая углеродистая порода, слабо алевритистая. Ихтиодетрит неправильной формы: *а* – без анализатора, *б* – с анализатором. Увеличение 10× (цвет онлайн)

обладанием плагиоклазов в составе отложений. В свою очередь, если калий преимущественно поступал в бассейн в большей степени в растворенной форме, тогда, как торий, содержание которого изменяется от 0 до 5.1 млн⁻¹, в основном транспортировался в связанном состоянии – на поверхности глинистых частиц и гидроокислов железа [9].

По направлению к прибрежной части бассейна в осадках, формирующихся в штормовых условиях ниже базиса волн, существенно снижается концентрация органического вещества и увеличивается гидрослюдистый состав глинистого материала, появляется калийсодержащая

терригенная примесь (рис. 4), что приводит к резкому понижению содержаний урана до уровня 0.01–1.94 млн⁻¹ и возрастанию концентрации калия до уровня 0.91–6.00 млн⁻¹ и тория до уровня 0.27–9.63 млн⁻¹. Параллельно отмечается тенденция к понижению параметров общей гамма-активности, которая колеблется в диапазоне 52.16–140.03 API.

Глинистые минералы в разрезе изучаемых отложений представлены каолинитом, гидрослюдой, хлоритом и др. Преобладающим минералом в данной ассоциации выступает гидрослюда, по результатам рентгеноструктурного анализа ее содержание колеблется от 1 до 14% от объ-

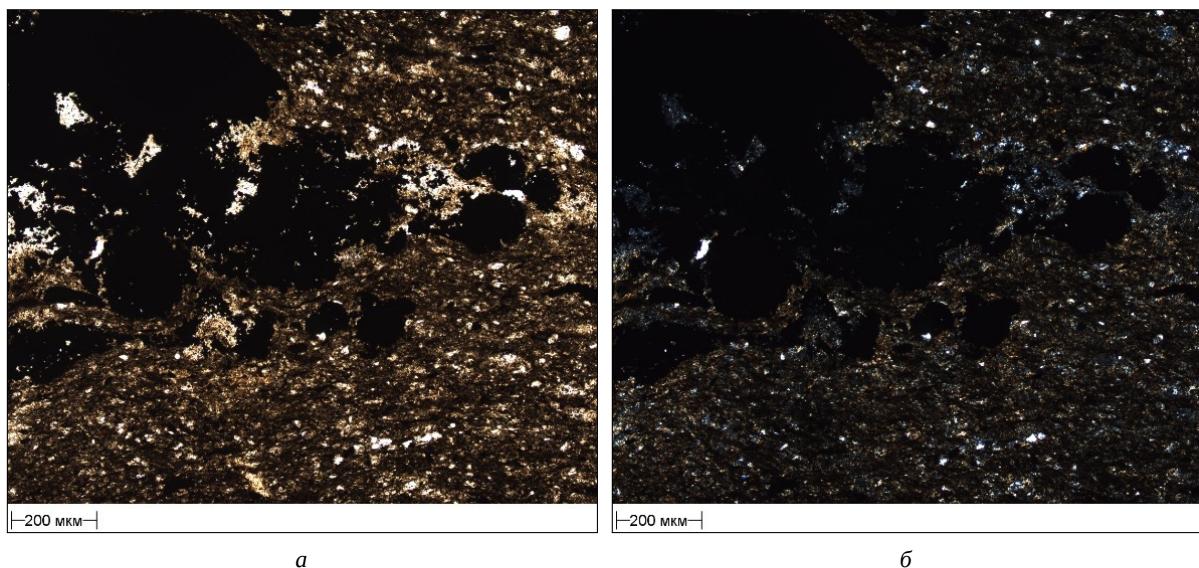


Рис. 4. Глинисто-кремниевая низкоуглеродистая порода, алевритистая. Терригенная примесь представлена зернами кварца и полевых шпатов: *а* – без анализатора, *б* – с анализатором. Увеличение 10× (цвет онлайн)

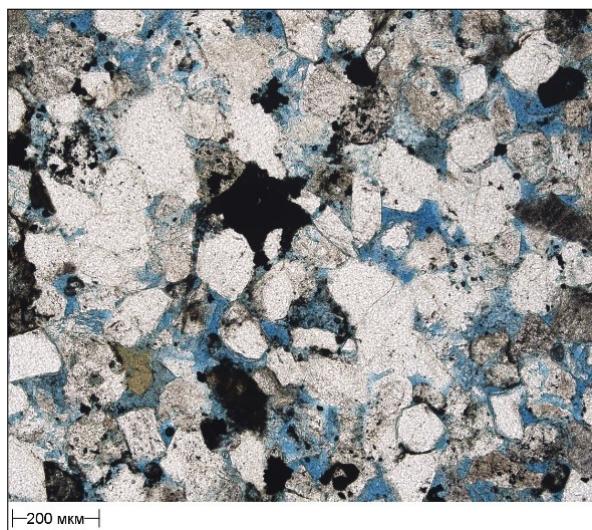


ема породы. В составе терригенной фракции присутствуют зерна кварца, реже полевых шпатов алевритовой размерности, изометричной, таблитчатой, призматической, шестоватой, полигональной формы, окатанные, полуокатанные, угловатые, размером 0.03×0.05 мм и менее. Наиболее близка к субобстановке дальней зоны по распределению ЕРЭ переходная зона, характеризующаяся ритмичным чередованием песчано-пелито-алевритовых разностей, формирующихся в условиях низкой степени восстановленности среды. Особенности ее осадконакопления также проявляются в уменьшении количества биогенного материала, поступающего в осадок, и продолжающимся снижением количества урана в диапазоне от 0.01 до 1.01 млн⁻¹. Наряду с этими показателями общая гамма-активность пород остается практически неизменной, находится в пределах от 33.50 до 134.90 API. Осадки переходной зоны отличаются незначительным снижением концентраций тория, сопровождающимся увеличением содержания калия. Такие изменения могут свидетельствовать о преобладающем влиянии сорбционной формы накопления радиоэлемента в глинистом материале, а также поступлении полевошпатовой кластики.

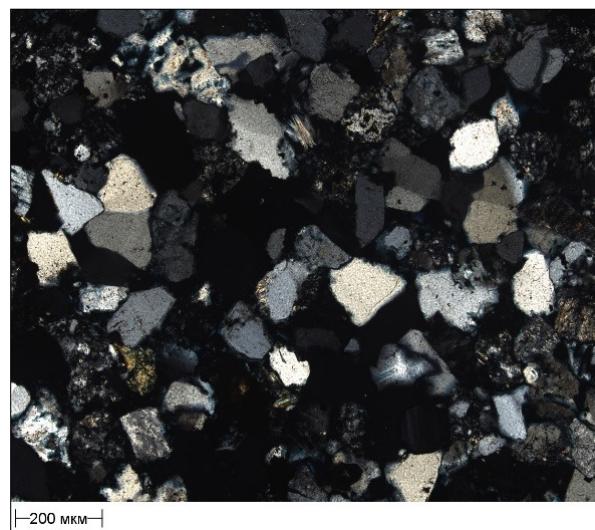
В предфронтальной зоне пляжа, между базисом спокойных волн и средним уровнем низкой воды, по мере движения в сторону суши наблюдаются постепенное увеличение размера зерен, значительное количество вертикальных следов жизнедеятельности донных организмов, процессы взмучивания волнением. Одновременно происходит привнос и перераспределение второстепенных и акцессорных минералов. Эти процессы способствуют повышению концентрации урана и тория в отложениях, при этом

содержание калия несколько снижается. Важно отметить, что значения общей гамма-активности характеризуются тенденцией к снижению и находятся в пределах от 2.99 до 103.98 API, демонстрируя значительный разброс показателей. Отложения предфронтальной зоны представлены песчаниками мелкозернистыми, алевритовыми, неравномерно глинистыми, биотурбированными. Среди обломочной части преобладает кварц, в подчиненном количестве содержатся полевые шпаты и обломки горных пород, присутствуют слюды (рис. 5). Полевые шпаты представлены кислыми плагиоклазами, калиевыми полевыми шпатами. Среди обломков пород преобладают эфузивы кислого состава, а метаморфические породы встречаются в меньшем количестве. Аксессорные минералы представлены цирконом, апатитом, в меньшей степени эпидотом, турмалином, хромшпинелидом. В составе глинистой фракции согласно результатам рентгеноструктурного анализа содержание каолинита варьируется в пределах от 2 до 10%, гидрослюд – от 2 до 8%, в значительно меньшем количестве содержится хлорит – от 0 до 2% от объема породы.

Вдоль побережий происходило формирование аккумулятивных песчаных тел, представленных береговыми барами, подводными валами и песчаными грядами. Следует отметить, что слои, мощность которых не превышает 4 метров, были отнесены к субобстановкам подводного вала и песчаным грядам. В процессе их осадконакопления наблюдается улучшение отсортированности пород, при этом возрастает доля грубообломочного песчаного материала. Существенное влияние на состав отложений оказывают калийсодержащие породообразующие компоненты и глинистые минералы (преимущественно



a



б

Рис. 5. Песчаник мелкозернистый, алевритистый. Обломочная часть представлена зернами кварца, полевых шпатов и обломков пород: а – без анализатора, б – с анализатором. Увеличение 10× (цвет онлайн)



гидрослюды), что приводит к повышению концентрации калия в осадках. Параллельно отмечается снижение содержания урана, обусловленное уменьшением углеродистого состава пород – содержание органического вещества снижается до 1.5 млн^{-1} . Отложения отличаются низкими показателями общего гамма-излучения, причем даже пиковые значения не превышают отметку в 94.02 API. На распределение тория оказывают значительное влияние источники сноса (акцессорные минералы) и обломки пород в составе породообразующей части. Породы изучаемой субобстановки представлены песчаниками мелкозернистыми, редко – средне-мелкозернистыми, алевритовыми (рис. 6). В составе обломочной части наблюдается примерно равное соотношение зерен кварца, полевого шпата и обломков различных горных пород, в некоторых случаях последние могут преобладать над остальными составляющими. Среди акцессорных минералов преобладают титанистые минералы, сфен, циркон и апатит, при этом в меньшем количестве встречаются эпидот и турмалин. В составе глинистой фракции содержание каолинита составляет 1–6% от общего объема породы, содержание гидрослюд варьируется в диапазоне 0–5%, а доля хлорита находится в пределах 2–6%.

Субобстановка лагуны, генетически связанная с аккумулятивными песчаными телами (береговые бары, подводные валы и др.), формировалась при активном поступлении обломочного материала с суши. Это способствовало накоплению терригенных осадков, которые характеризуются чередованием и переслаиванием алевролитов и глин с подчиненными прослоями песчаного материала. Распределение химических элементов в этих отложениях в значительной степени

определяется содержанием глинистого материала и терригенных обломков. Следует обратить внимание, согласно исследованиям А. Э. Конторовича с соавторами [10], что повышенные концентрации урана в этих отложениях объясняются присутствием органического углерода в форме рассеянного углисто-растительного детрита и обугленных растительных остатков. Одновременно прослеживается усиление показателей гамма-излучения горных пород, характеризующееся существенной вариабельностью значений от 17.94 до 153.69. В составе аллотигенной части доминирует кварц, полевые шпаты и обломки пород присутствуют в меньшем количестве (рис. 7). Акцессорные минералы представлены цирконом, турмалином, гранатом. Глинистые минералы в разрезе изучаемых отложений представлены каолинитом, гидрослюдой, хлоритом и др. Преобладающим минералом в данной ассоциации выступает гидрослюда, содержание которой, согласно данным РСА, достигает 17% от общего объема породы.

Представляет интерес анализ изменения торий-уранового отношения, которое экстремально убывает в углеродистых породах, минимум приурочен к шельфовым илам глубоководной части моря. В затопляемой зоне пляжа характер распределения данного соотношения приобретает слаженно-упорядоченный вид, при этом максимальные показатели фиксируются в песчаных отложениях береговых баров. Анализ графика зависимости содержания урана от тория демонстрирует четкое разделение зон, соответствующих различным субобстановкам осадконакопления. Соотношение Th/U выступает надежным индикатором для дифференциации отложений, сформированных в различных седиментацион-

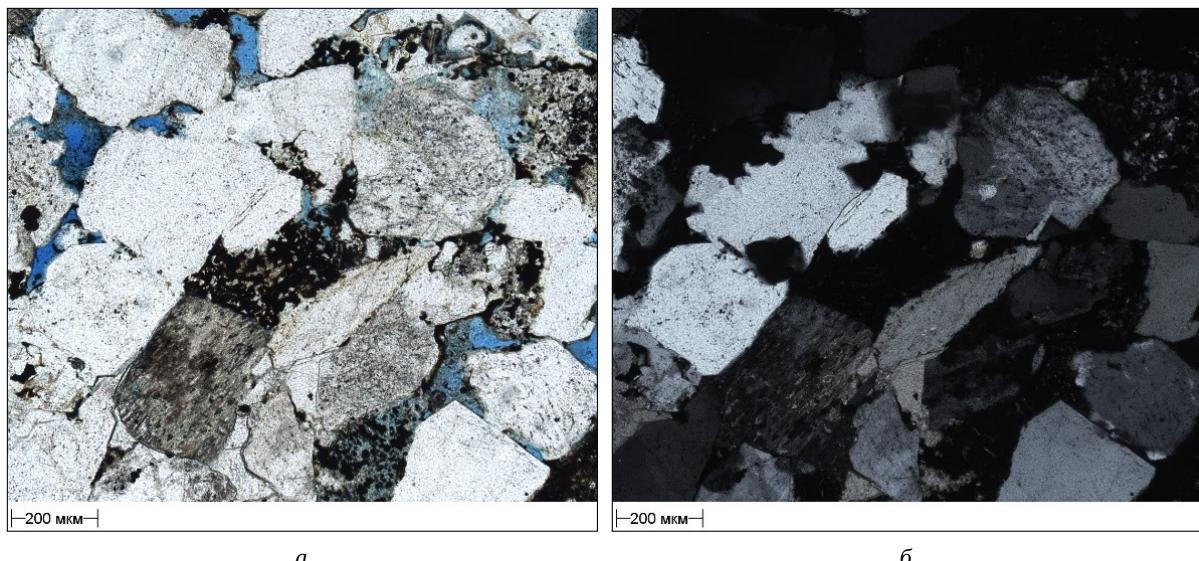


Рис. 6. Песчаник средне-мелкозернистый, слабо алевритистый, карбонатистый, слабо пиритизированный: *а* – без анализатора, *б* – с анализатором. Увеличение 10× (цвет онлайн)

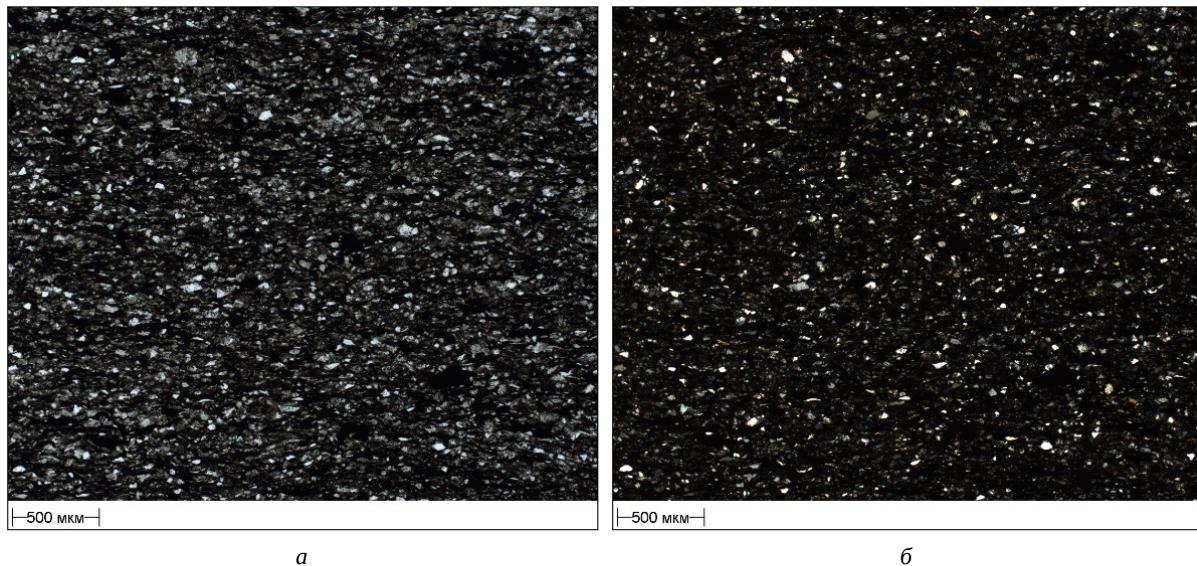


Рис. 7. Алевролит крупно-мелкозернистый, глинистый, слюдистый: *а* – без анализатора, *б* – с анализатором. Увеличение 4× (цвет онлайн)

ных условиях – как в прибрежных, так и морских (рис. 8).

Такая дифференциация обусловлена спецификой геохимического поведения и миграции Th и U в водных растворах. Существенное различие в подвижности этих элементов объясняется значительно более высокой мобильностью урана по сравнению с торием, что связано с его способностью к изменению валентного состояния. Закономерности изменения калий-уранового и торий-калиевого отношений в осадочных последовательностях демонстрируют четкую тенденцию к увеличению в направлении повышения степени мористости. Этот процесс характеризуется постепенным возрастанием значений обоих отношений по мере усиления влияния морских условий осадконакопления. Примечательно, что наиболее

существенные отклонения от общей тенденции наблюдаются в отложениях предфронтальной зоны пляжа и лагун. В этих условиях отмечается выраженная неравномерность поступления терригенного материала, а также происходят регулярные изменения гидродинамической активности среды осадконакопления.

Заключение

На основании проведенного комплексного исследования морских и прибрежно-морских отложений с доминирующим влиянием волнового режима осадконакопления и анализа распределения урана, тория и калия, а также их отношений выявлены определенные закономерности процессов миграции и аккумуляции естествен-

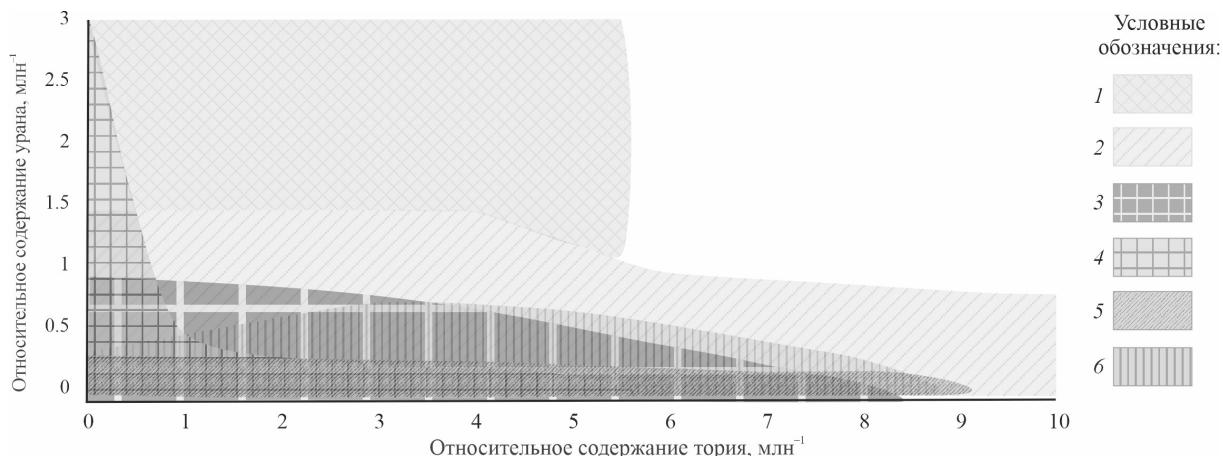


Рис. 8. Соотношение Th/U верхнеюрских отложений Когалымского и Покачевского регионов Западной Сибири. Субобстановки: 1 – шельфовых илов; 2 – дальней зоны; 3 – переходной зоны; 4 – предфронтальной зоны пляжа; 5 – аккумулятивных форм; 6 – лагуны



ных радиоактивных элементов, характеризующие субобстановки верхнеюрских отложений на рассматриваемой территории. Исследования показали четкую принадлежность конкретных диапазонов концентраций естественных радиоактивных элементов к определенным условиям осадконакопления, что позволило определить их предельные значения для каждой субобстановки. Полученные результаты могут служить надежными индикаторами обстановок осадконакопления и использоваться как для стратиграфического расчленения разрезов, так и для корреляции разновозрастных отложений. Данный метод выступает важным дополнением к палеогеографическим исследованиям, значительно обогащая классические подходы литолого-седиментологического анализа и повышая их точность.

Библиографический список

1. Турышев В. В. Изучение пород-коллекторов Западной-Сибири гамма-спектрометрическим методом : монография. Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2019. 380 с.
2. Зубков А. А. Оценка миграционной способности техногенных гамма-излучающих радионуклидов методом гамма-спектрометрии в эксплуатационных горизонтах пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов филиала «Северский» ФГУП «НО РАО» // Разведка и охрана недр. 2023. № 7. С. 54–58. https://doi.org/10.53085/0034-026X_2023_07_54, EDN: UZEFDA
3. Тектоническая карта Мезозойско-Кайнозойского платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. Масштаб 1 : 500000 / под ред. И. И. Нестерова. Тюмень : ЗапСибНИГНИ, 1984.
4. Чернова О. С. Обстановки седиментации терригенных природных резервуаров : учебное пособие. Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. 108 с.
5. Ян П. А. Ихнофации в разрезе васюганского сиквенса (по материалам Тюменской СГ-6) // Литосфера. 2003. № 1. С. 54–63.
6. Занин Ю. Н., Замирайлова А. Г., Эдер В. Г. Некоторые аспекты формирования баженовской свиты в центральных районах Западно-Сибирского осадочного бассейна // Литосфера. 2005. № 4. С. 118–135.
7. Zanin Yu. N., Eder V. G., Zamirailova A. G. Composition and formation environments of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous black shale Bazhenov Formation (the central part of the West Siberian Basin) // Marine and Petrol. Geol. 2008. Vol. 25. P. 289–306. <https://doi.org/10.1016/j.marpgeo.2007.07.009>, EDN: LLDRUH
8. Ченцов И. Г. К вопросу о форме нахождения урана в фосфоритах // Атомная энергия. 1956. Вып. 5. С. 113–118.
9. Смыслов А. А. Уран и торий в земной коре. Л. : Недра, 1974. 231 с.
10. Конторович А. Э., Берман Е. Л., Богородская Л. И., Винокур Б. Г., Колганова М. М., Липницкая Л. Ф., Мельникова В. М., Стасова О. Ф., Фомичев А. С. Геохимия юрских и нижнемеловых отложений Западно-Сибирской низменности. М. : Недра, 1971. 250 с.

Поступила в редакцию 25.07.2025; одобрена после рецензирования 08.08.2025;
принята к публикации 18.09.2025; опубликована 25.12.2025

The article was submitted 25.07.2025; approved after reviewing 08.08.2025;
accepted for publication 18.09.2025; published 25.12.2025