ЛИТОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ, 2023, № 6, с. 588–599

УДК 552.578.3:550.41

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ С ЦЕЛЬЮ РЕКОНСТРУКЦИИ ПАЛЕОКЛИМАТА И СОСТАВА ИСТОЧНИКОВ СНОСА В ЗАПАДНО-СИБИРСКОМ ПОЗДНЕЮРСКО-НИЖНЕМЕЛОВОМ ОСАДОЧНОМ БАССЕЙНЕ

© 2023 г. В. Г. Эдер[a], *, А. Г. Замирайлова[b], **, П. А. Ян[b], ***

[a] *Геологический институт РАН, Пыжевский пер., 7, стр. 1, Москва, 119017 Россия*

[b] *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, просп. акад. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090 Россия*

**e-mail: edervika@gmail.com*

***e-mail: zamirailovaag@ipgg.sbras.ru*

****e-mail: yanpa@ipgg.sbras.ru*

Поступила в редакцию 30.05.2023 г.
После доработки 08.06.2023 г.
Принята к публикации 29.06.2023 г.

Для пород верхнеюрско-нижнемеловой баженовской свиты выявлена значимая положительная линейная зависимость содержания Th, Hf, Sc, La от содержания Al_2O_3, подтвержден их терригенный генезис. Определено, что образцы, в которых распределение значений отношений Sc/Al_2O_3 и La/Al_2O_3 не удовлетворяет линейной зависимости, это смешанные глинисто-кремнистые породы с содержанием $P_2O_5 > 1$ мас. % или существенно пиритизированные (в которых содержание пирита превышает содержание ОВ и $C/S \le 1$), а также силициты с содержанием $SiO_2 > 70$ мас. %. Сделаны выводы, что перед анализом геохимических индикаторов для реконструкций условий образования баженовской свиты, кроме карбонатизированных пород, должны быть удалены из выборки породы перечисленных выше типов, а также породы, претерпевшие катагенетическую каолинитизацию. Проведена реконструкция условий образования изучаемых отложений на основе анализа значений ряда геохимических модулей и индикаторов. В результате исследования вариаций CIA, CIW подтверждено, что климат в позднеюрско-раннемеловой период в Западно-Сибирском осадочном бассейне был теплым, семиаридным. Выявлено, что на протяжении всего рассматриваемого периода он существенно не менялся. Для отложений баженовской свиты ряд таких индикаторов, как $(La/Yb)_N$, Eu/Eu*, а также распределение значений содержания микроэлементов на треугольной диаграмме Th–La–Sc, дают основание предполагать, что накопление баженовской свиты в центральных и юго-восточных районах происходило при преимущественном воздействии областей сноса основного состава.

Ключевые слова: баженовская свита, верхняя юра, черные сланцы, микроэлементы, условия образования.

DOI: 10.31857/S0024497X2370026X, **EDN:** MVIUHE

Широко известный факт, что обогащенные аквагенным органическим веществом породы и “черные сланцы”, в том числе баженовская свита позднеюрско-раннемелового Западно-Сибирского осадочного бассейна (ЗСБ), являются аномальными геохимическими объектами, обогащенными P, U, V, Mo, Re, Se, Zn, Cu, Hg и рядом других элементов–примесей [Конторович, 1965; Ушатинский, 1982; Юдович, Кетрис, 1988, 1994 и др.]. Изучением закономерностей элементного и микроэлементного состава пород баженовской свиты ранее занимались А.Э. Конторович [1967], И.И. Плуман [1971], В.В. Хабаров с соавторами [1980], И.Н. Ушатинский [1982, 1984, 1988], В.М. Гавшин и В.А. Бобров [Доманикиты ..., 1982], С.В. Сараев [1987], Е.А. Предтеченская и Л.Д. Малюшко [Гурари и др., 1988; Предтеченская, Малюшко, 2016], В.М. Гавшин и В.А. Захаров [Gavshin, Zakharov, 1996], М.Ю. Зубков [2001], Г.А. Калмыков и др. [2009], Ю.Н. Занин с соавторами [Zanin et al., 2010, Занин, 2011, 2016а, 2016б], А.Ю. Бычков с соавторами [2016] и другие.

Согласно А.Э. Конторовичу [1967] чрезвычайно высокая обогащенность верхнеюрских отложений органическим веществом сказалась на особенностях накопления в осадках некоторых

химических элементов, в частности V, Ni, Mn, Fe и S; значительная часть V, и в меньшей степени Ni и Fe входит в состав битумоидов порфириновых комплексов. По данным И.Н. Ушатинского [1980], В.М. Гавшина, В.А. Боброва [Доманикиты ..., 1982] по сравнению с подстилающими и перекрывающими глинистыми породами высокоуглеродистые отложения баженовской свиты в среднем значительно обогащены Mo (в 60 раз), U (в 10 раз), V (в 5 раз), Ni, Cu, Ba (в 3–4 раза) Cr, Co, иногда B, Pb, обеднены (до 2 раз) Li, Ga, Sr, Zr. Согласно этим авторам по количеству микроэлементов, приходящемуся на единицу органического углерода, породы баженовской свиты сопоставимы с другими доманикитами и планктоногенными отложениями современных морей, отличаясь несколько повышенными содержаниями Zn и As. И.Н. Плуманом [1971] установлено сходство геохимических особенностей, в частности содержания U, отношения U/Th, содержания S, повышенные содержания Mo, V, Ni, Cu, P современных отложений морей с сероводородным заражением (Черное море и др.) и пород баженовской свиты, в результате чего был сделан вывод о том, что геохимическая среда осадконакопления последних аналогична черноморским, т.е. сероводородная в наддонной части бассейна седиментации. Большинство публикаций, касающиеся изучения микроэлементов баженовской свиты, посвящены поиску их связей с основными породообразующими компонентами пород для уточнения генезиса [Нефтегазоносные ..., 1987; Условия формирования ..., 1988; Рихванов и др., 2015]. В то же время результаты исследований, направленные на реконструкцию условий образования баженовских отложений посредством анализа геохимических модулей, включающих микроэлементы и редкоземельные элементы (РЗЭ), в литературе практически отсутствуют. Исключение представляют работы по реконструкции окислительно-восстановительных условий седиментации и диагенеза отложений баженовской свиты, на основе анализа степени пиритизации железа (СП = $Fe_{пир}/(Fe_{пир} + F_{реакц})$, урана аутигенного ($U_{аут} = U_{общ} - Th/3$) и отношения Mn/Al, Mo/Mn [Zanin et al., 2008; Эдер и др., 2019, 2022]. А также работа А.В. Маслова с соавторами [2007], в которой проведена оценка ряда показателей ($(La/Yb)_N$, (Fe + Mn)/Ti, цериевая аномалия)) для возрастных аналогов баженовской свиты и подстилающих их отложений – существенно глинистых абалакской и мулымьинской свит Шаимского района.

Настоящая работа посвящена исследованию закономерностей распространения микроэлементов, включая РЗЭ, в баженовской свите, с целью реконструкций условий ее образования: климата, состава источников сноса.

Для исследования использовались результаты литолого-геохимических исследований 9 вертикальных разрезов. С целью систематизации полученных данных и сопоставления результатов территория исследований условно разделена на Центральный, Юго-Восточный и Южный районы (рис. 1). Центральный район включает Мансийскую синеклизу, Хантейскую гемиантеклизу, Сургутский свод, южную часть Южно–Надымской мегамоноклизы. К Юго–Восточному району принадлежат Колтогорско-Нюрольский желоб и примыкающие к нему положительные структуры: Александровский свод и Каймысовский своды, Средневасюганский мегавал, Усть–Тымская и Нюрольская мегавпадины. Южный район охватывает Северо–Межовскую мегамоноклиналь, Межовский мегамыс. Название тектонических элементов дано в соответствии с тектонической картой юрского структурного яруса [Конторович и др., 2001].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Баженовская свита по возрастному диапазону соответствует верхам нижневолжского подяруса – низам рязанского яруса [Решение ..., 2004; Постановление ..., 2006]. В Центральном районе в составе свиты выделяются 6 пачек, представленных преимущественно (кроме пачки 6) биогенными тонкозернистыми высокоуглеродистыми породами (силицитами, глинисто-кремнистыми и карбонатно-кремнистыми породами) [Панченко и др., 2016; Эдер и др., 2022], которые имеют свои литолого-геохимические особенности, а также палеонтологические и геофизические характеристики. В Юго-Восточном и Южном районах свита представлена только нижними пачками 1–4. Отсутствие пачек 5 и 6 в составе баженовской свиты интерпретируется как результат фациального замещения [Эдер и др., 2022]. Существенных изменений состава пород по разрезам баженовской свиты в изученных районах не выявлено, содержание кремнистого вещества изменяется в диапазоне 30–60 мас. %, редко до 70–80 мас. %, глинистого материала – 10–35 мас. %, редко до 40–45 мас. %, органического вещества – 2–25 мас. %. Содержание карбонатов (кальцита и доломита), в рассматриваемых отложениях не превышает 5 мас. %, за исключением “кокколитовой” пачки 5, где оно изменяется от 10–40 мас. %, и прослоев карбонатизированных радиоляритов или конкреций. Более подробно состав пород баженовской свиты описан в публикациях Ю.Н. Занина с соавторами [Zanin et al., 2008], А.Э. Конторовича и др. [2016], В.Г. Эдер и др. [2016].

Определение основных породообразующих оксидов (SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, MnO, K_2O, Na_2O, P_2O_5, BaO) выполнялось методом РФА на спектрометре ARL–9900–XP в Институ-

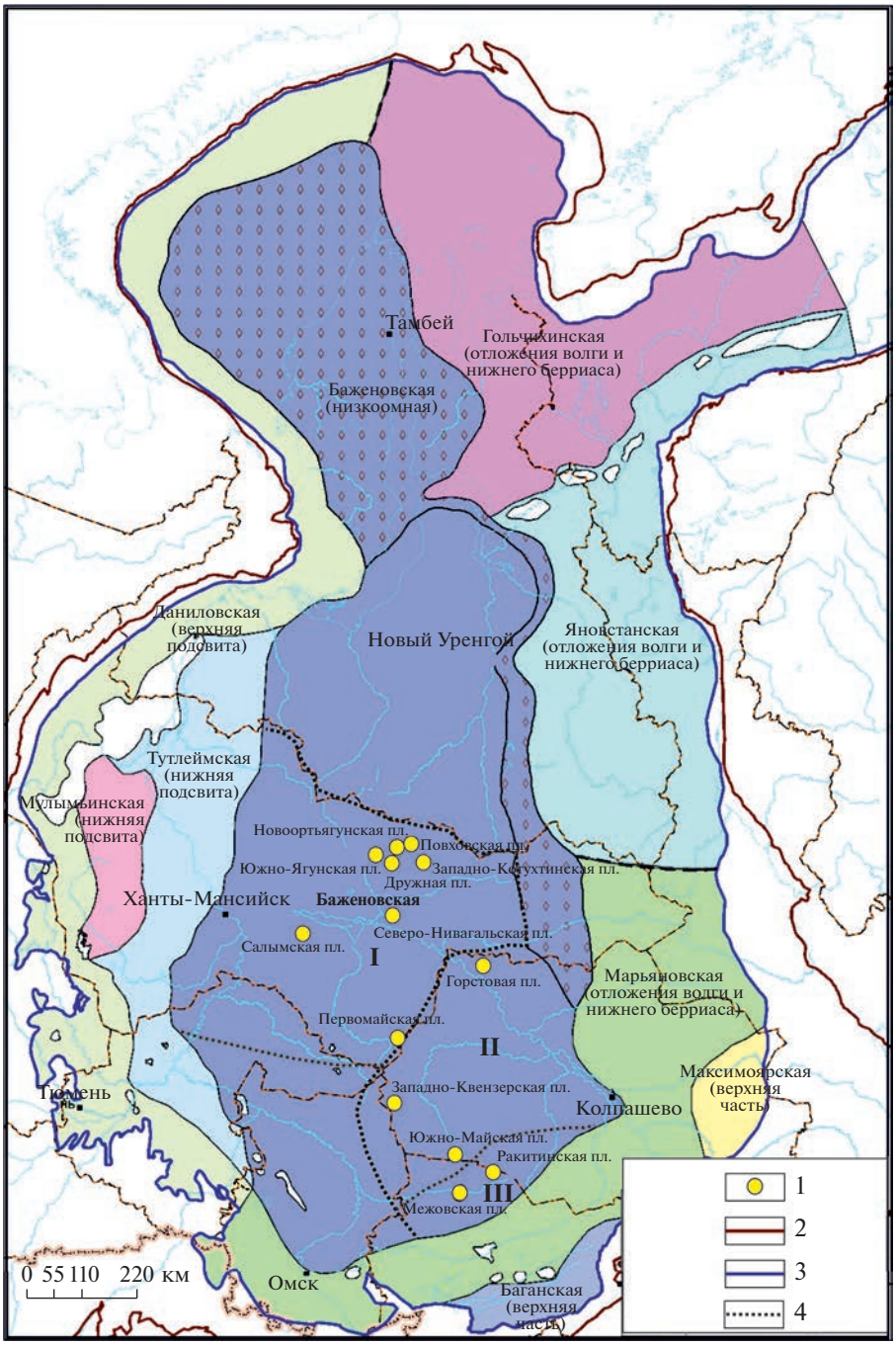


Рис. 1. Карта расположения изученных разрезов на схеме фациально-стратиграфического районирования баженовского горизонта [Рыжкова и др., 2018].
1 – местоположение изученных разрезов, 2 – граница отложений мезозоя, 3 – граница отложений баженовского горизонта, 4 – границы между условно выделенными районами исследования: I – Центральный, II – Юго-Восточный, III – Южный.

те геологии и минералогии (ИГМ) СО РАН (аналитик Н.Г. Карманова). Этим видом анализа исследовано 457 образцов пород. Для уточнения вещественного состава пород дополнительно определялись содержания: 1) органического углерода (весовым полумикрометодом с помощью экспресс–анализатора (АН–7529) на углерод и в некоторых разрезах методом пиролиза (SR Analyzer – POPI) (аналитики Е.А. Костырева, Г.П. Туркова, Н.В. Аксенова, ИНГГ СО РАН); 2) серы сульфидной, сульфатной и форм железа – химическими методами анализа (аналитик Л.А. Горчу-

кова, ИГМ СО РАН). Минеральный состав пород определялся согласно методической схеме, описанной в работе [Эдер и др., 2022].

Определения редкоземельных и высокозарядных элементов (Hf, Nb, Ta, Zr), а также Ba, Rb, Sr, Th, U, Y выполнены методом масс–спектрометрии с индуктивно–связанной плазмой (ИСП–МС) в ИГМ СО РАН (аналитики И.В. Николаева, С.В. Палесский) по методикам, изложенным в статьях [Николаева и др., 2008, 2012]. Все измерения выполнены на ИСП масс–спектрометре высокого разрешения ELEMENT фирмы Finnigan Mat (Germany) в ИГМ СО РАН (аналитик А.В. Николаева). Всего этим видом исследования изучено 418 образцов. Определение содержания Sc произведено только в 87 образцах (Салымская, Западно-Котухтинская, Северо-Нивагальская, Первомайская площадь.

Известно, что РЗЭ элементы являются в большинстве геологических процессов одними из наименее подвижных [Taylor, McLennan, 1985]. На них слабо влияют процессы гидротермального изменения и низкотемпературного метаморфизма, а также постседиментационные трансформации, поэтому их содержания наиболее корректно отражают ряд принципиальных особенностей, влияющих на формирования состава большинства осадочных пород, например, состав магматических пород в источниках сноса [Маслов, 2005]. Этот факт предопределяет важность использования РЗЭ для восстановления условий образования отложений.

В рамках настоящей работы проанализированы следующие геохимические модули, индексы и индикаторные отношения для баженовской свиты:

1) для уточнения климатических особенностей использованы: индекс химического изменения ($CIA = 100 \times Al_2O_3/(Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)$) [Nesbitt, Young, 1982] и химический индекс выветривания ($CIW = 100 \times Al_2O_3/(Al_2O_3 + CaO + Na_2O)$) [Harnois, 1988];

2) для оценки состава пород в источниках сноса использовались следующие геохимические индикаторы:

– отношение нормализованных по хондриту или стандартным составам глинистых сланцев (NASC, PAAS и др.)) значений La к Yb $(La/Yb)_N$ [Taylor, McLennan, 1985];

– распределение Hf, Th, Co, La и Sc на треугольных диаграммах [Wronkiewicz, Condie, 1987];

– европиевая аномалия [Taylor, McLennan, 1985; McLennan, Taylor, 1991], рассчитываемая как $Eu/Eu^* = Eu_N/(0.5 \times (Sm_N + Gd_N))$, где N обозначает нормированные значения по хондриту или стандартным составам глинистых сланцев (NASC, PAAS и др.).

Результаты анализов существенно измененных в диа- и катагенезе пород при расчете геохимических показателей не учитывались, что более подробно будет обсуждено ниже по тексту.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Климатические особенности

По данным А.В. Гольберта [Гольберт, 1968; Брадучан и др., 1986] климат в северной части позднеюрско-нижнемелового осадочного бассейна Западной Сибири был теплый, равномерно влажный, среднегодовая температура составляла 18–19°С, тип химического выветривания подзолистый, интенсивно проявлявшийся, что приводило к высвобождению и массовой миграции железистых растворов. В южной половине ЗСБ климат был субтропический семиаридный, тип выветривания красноземый, среднегодовая температура 22–24°С. Теплый влажный климат благоприятствовал высокой биопродуктивности морских ландшафтов [Гурова, Казаринов, 1962; Брадучан и др., 1986; Конторович и др., 1975, 1994, 2013].

Известно, что интенсивность химического выветривания в областях размыва напрямую коррелируется с климатом. Для осадочных образований гумидных климатических обстановок характерен вынос из полевых шпатов Ca, Na и K, что ведет к увеличению соотношения алюминия и щелочей в продуктах выветривания. В аридных и гляциальных обстановках в область аккумуляции, напротив, поступает слабо переработанный процессами выветривания на палеоводосборах материал, представленный в основном глинистыми минералами [Nessbit, Young, 1982; Visser, Young, 1990; Маслов, 2005]. С этими процессами и связана информативность индексов CIA и CIW для реконструкций палеоклиматических обстановок.

Необходимо отметить, что породы баженовской свиты погружены на глубину 2500–3500 м, в связи с чем претерпели существенные изменения (окремнение, карбонатизацию, пиритизацию). Во избежание ошибки интерпретации геохимических данных, используемая в настоящем исследовании база данных, была проанализирована на присутствие в ней существенно измененных пород. В связи с этим первоначально из выборки были удалены известняки, карбонат-содержащие породы (карбоната более 5 мас. %). За исключением карбонат-содержащих пород кокколитовой пачки 5, где карбонатный материал является седиментационным [Панченко и др., 2016; Эдер и др., 2022]. В качестве дополнительного признака для выявления существенно измененных пород использовалось отношение C/S [Эдер и др., 2021]. Далее анализировался состав пород, для которых

Таблица 1. Средние значения CIA, CIW в породах баженовской свиты

Район	Площадь	CIA (среднее значение/ стандартное отклонение)	CIW (среднее значение/ стандартное отклонение)
Южный	Межовская пл.	76 ± 4	89 ± 3
	Ракитинская пл.	72 ± 2	85 ± 2
Юго-Восточный	Горстовая пл.	75 ± 4	87 ± 4
	Западно-Квензерская пл.	76 ± 0.3	87 ± 4
	Южно-Майская пл.	76 ± 3	88 ± 3
Центральный	Дружная пл.	74 ± 5	88 ± 4
	Новортьягунская пл.	76 ± 6	88 ± 5
	Повховская пл.	77 ± 4	89 ± 5
	Южно-Ягунская пл.	76 ± 2	89 ± 3

значения рассматриваемых в работе модулей выветривания оказались существенно повышенными или пониженными относительно основной массы пород. Более детально выявлялись их петрографические особенности, информация о которых была получена в ходе изучения шлифов, а также образцов при помощи сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Так, например, оказалось, что каолинитизированные породы, которые по химическому составу не отличаются от основной массы пород баженовской свиты, характеризуются повышенными значениями CIW и CIA, а существенно окремненные породы с SiO_2 > 70 мас. % – пониженными значениями этих показателей. Таким образом, было подтверждено, что корректная интерпретация геохимических модулей для реконструкций условий образования невозможна без тщательного изучения особенностей вещественного состава пород и выявления свидетельств их вторичных преобразований. Некоторые такие особенности состава, в частности в высокоуглеродистых тонкозернистых породах, выявляются только на стадии ультрамикроисследований, как, например, в СЭМ.

В результате исследования выявлено, что для пород баженовской свиты характерны средние значения CIA = 72–76, CIW = 85–89 (табл. 1). Известно, что CIA >70 характеризует теплый климат, <70 – холодный или аридный [Nesbitt, Young, 1982]; CIW > 80 – теплый климат, <80 – холодный [Harnois, 1988]). Таким образом, согласно этим показателям, климат в позднеюрско–раннемеловой период на территории Западной Сибири был теплым, семиаридным, что в целом подтверждает выводы предыдущих исследователей. Существенной разницы в величинах этих показателей в породах баженовской свиты разрезов Центрального (Дружная, Новоортьягунская, Повховская, Южно-Ягунская площади), Юго-Восточного (Горстовая, Западно-Квензерская, Южно-Майская площади) и Южного районов (Ракитинская, Межовская площади) не наблюдается. Интересным фактом является то, что все образцы от подошвы до кровли баженовской свиты существенно по этим показателям не отличаются, что говорит об относительно стабильных климатических условиях на протяжении всего периода ее седиментации. В то же время ранее нами [Эдер и др., 2022], по результатам детального анализа трендов изменения состава пород и особенностей распространения фауны по вертикали в баженовской свите, а также сопоставления изученных разрезов с кривыми глобальных климатических изменений в этот период, было высказано предположение о том, что во время накопления “кокколитовой” пачки 5 (поздневолжское время–начало рязанского века) произошло изменение геохимической обстановки в результате похолодания. По-видимому, порог изменения климата с теплого на холодный не был достигнут в этот период, но для смены фауны с преимущественно кремнистой на кремнисто-карбонатную некоторого похолодания (сопровождаемого развитием аридизации) было достаточно в совокупности с другими возможными факторами изменения палеообстановок.

Состав пород источников сноса

По данным ряда исследователей [Гольберт и др., 1968; Брадучан и др., 1986; Конторович и др., 2013 и др.] главными формами рельефа складчатого обрамления в волжско-раннерязанское время были холмогорья Палео-Урала, низменная денудационная равнина Казахской складчатой страны, холмогорья и низкогорья Алтае-Саянской складчатой области и Енисейского кряжа, а также возвышенное плато запада Сибирской платформы. Вдоль обрамления Западно-Сибирской плиты многими авторами [Гурова, Казаринов, 1962; Брадучан и др., 1986; Решения ..., 1991

и др.] выявлен закономерный фациальный ряд от прибрежно-морских песчано-алевритовых (местами с гравием и галькой) осадков верхней–средней сублиторали, распространенных исключительно во внешней зоне бассейна, до морских алеврито-глинистых (в том числе местами относительно низкоуглеродистых аргиллитов) осадков глубокой части шельфа (нижняя сублитораль) в зоне, прилегающей к псевдоабиссальной впадине.

По мнению А.Н. Стафеева и соавторов [2019], верхневолжский палеобассейн постоянно снабжался питательными веществами: 1) из Арктического океана по цепочке проточных бассейнов следовало проливное течение, во время трансгрессий оно смещалось к Таймырскому острову и заливало Южно-Таймырский холмистый бассейн, из которого, кроме терригенного материала выносились биофильные элементы, из Вилюйского бассейна сток был минимальным; 2) во время регрессий – сток питательных веществ усиливался из Вилюйского бассейна.

А.Э. Конторович с соавторами [2019] предположили существование маргинального фильтра в восточном обрамлении ЗСБ во время осадконакопления баженовской свиты. Согласно А.П. Лисицыну [1994], маргинальный фильтр представляет собой узкий пояс, протягивающийся на сотни километров вдоль берегов континентов, в пределах которого происходит смешивание речных и морских вод, на этих участках происходит удаление наиболее значительной части взвешенных в воде веществ, а также многих металлов, присутствующих не только во взвешенной, но и в растворенных формах, террагенного органического вещества и др. По подсчетам А.Э. Конторовича и соавторов [2019], масса осадков баженовской свиты на завершающих этапах диагенеза (пересчитанная на сухое вещество) составляла порядка 228 трлн т, из них масса осадков в области восточного маргинального фильтра, занимающего лишь 21% общей площади бассейна – 122 трлн т (53% всех осадков) и на остальной акватории морского бассейна – 107 трлн т. Таким образом, основная часть терригенного материала в позднеюрско–раннемеловом морском бассейне Западной Сибири, отлагаясь в восточной его части, формируя марьяновскую и яновстанскую свиты. В целом, по мнению многих исследователей, основной источник сноса терригенного материала, поступающего в верхневолжский бассейн, находился на северо-востоке от ЗСБ [Конторович и др., 2013, 2019]. На его западном обрамлении суша была пенепленизирована, терригенный снос был заметно пониженным и преобладало химическое выветривание [Гурова, Казаринов, 1962; Занин и др., 2003].

Для разграничения состава пород областей питания часто используются диаграммы Th–Hf–Co и La–Th–Sc [Wronkiewicz, Condie, 1987], а также отношение $(La/Yb)_N$ [Taylor, McLennan, 1985; Yang et al., 1998]. Для выявления приуроченности элементов, используемых в настоящей работе, к биогенной или терригенной компонентам пород проведен анализ корреляционных связей Th, Hf, Sc, Co, La, Yb с Al_2O_3 и $C_{орг}$. В результате установлено, что высокая положительная зависимость наблюдается для Th ($R = 0.96$), Hf ($R = 0.95$), с Al_2O_3 (рис. 2). Для La и Sc при первой итерации корреляционная зависимость с Al_2O_3 оказалась низкой. В то же время, судя по полученному графику, очевидно, что для большей части образцов (около 90%) распределение отношения La/Al_2O_3 и Sc/Al_2O_3 подчиняется линейной положительной зависимости. При более детальном анализе состава образцов, в которых распределение этого отношения не удовлетворяет линейной зависимости, определено, что это породы: а) с содержанием $P_2O_5 > 1$ мас. %; б) окремненные породы с содержанием $SiO_2 > 70$ мас. %; в) существенно пиритизированные породы (содержание пирита превышает содержание ОВ и $C/S \leq 1$), расположенные у границы баженовской и георгиевской свит. Так как вышеперечисленные характеристики пород подтверждают их особый состав, связанный с наличием фосфатного материала остатков костей скелетов рыб, который мог сорбировать La и Sc, или со значительными постседиментационными изменениями, эти образцы были удалены из выборки и не использованы при построении треугольной диаграммы Th–La–Sc. После описанной выше коррекции базы данных коэффициент корреляции La/Al_2O_3 повысился до 0.75, Sc/Al_2O_3 – до 0.71, что указывает на значимую положительную линейную зависимость между этими величинами. При корреляции Th, Hf, La и Sc выявлено, что зависимость от содержания $C_{орг}$ у этих элементов отсутствует ($R < 0.1$) (см. рис. 2). Что касается Co и Yb, то выявлено, что зависимости их содержания от содержания $C_{орг}$ ($R = 0.32–0.39$) и Al_2O_3 низкие ($R = 0.25–0.31$) (см. рис. 2). Однако, для Yb наблюдается положительная значимая зависимость с содержанием La ($R = 0.79$) (рис. 3), что косвенно подтверждает его связь с терригенной составляющей пород.

Таким образом, сделаны выводы, что Th, Hf, La и Sc в породах баженовской свиты имеют терригенный генезис и могут быть использованы для реконструкций состава пород источников сноса. То же касается и Yb. Co, для которого зависимость с содержаниями $C_{орг}$ и Al_2O_3 оказалась низкая, для подобного исследования не пригоден. В связи с этим из двух треугольных диаграмм Th–Hf–Co и La–Th–Sc [Wronkiewicz, Condie, 1987] для баженовской свиты использовалась лишь первая.

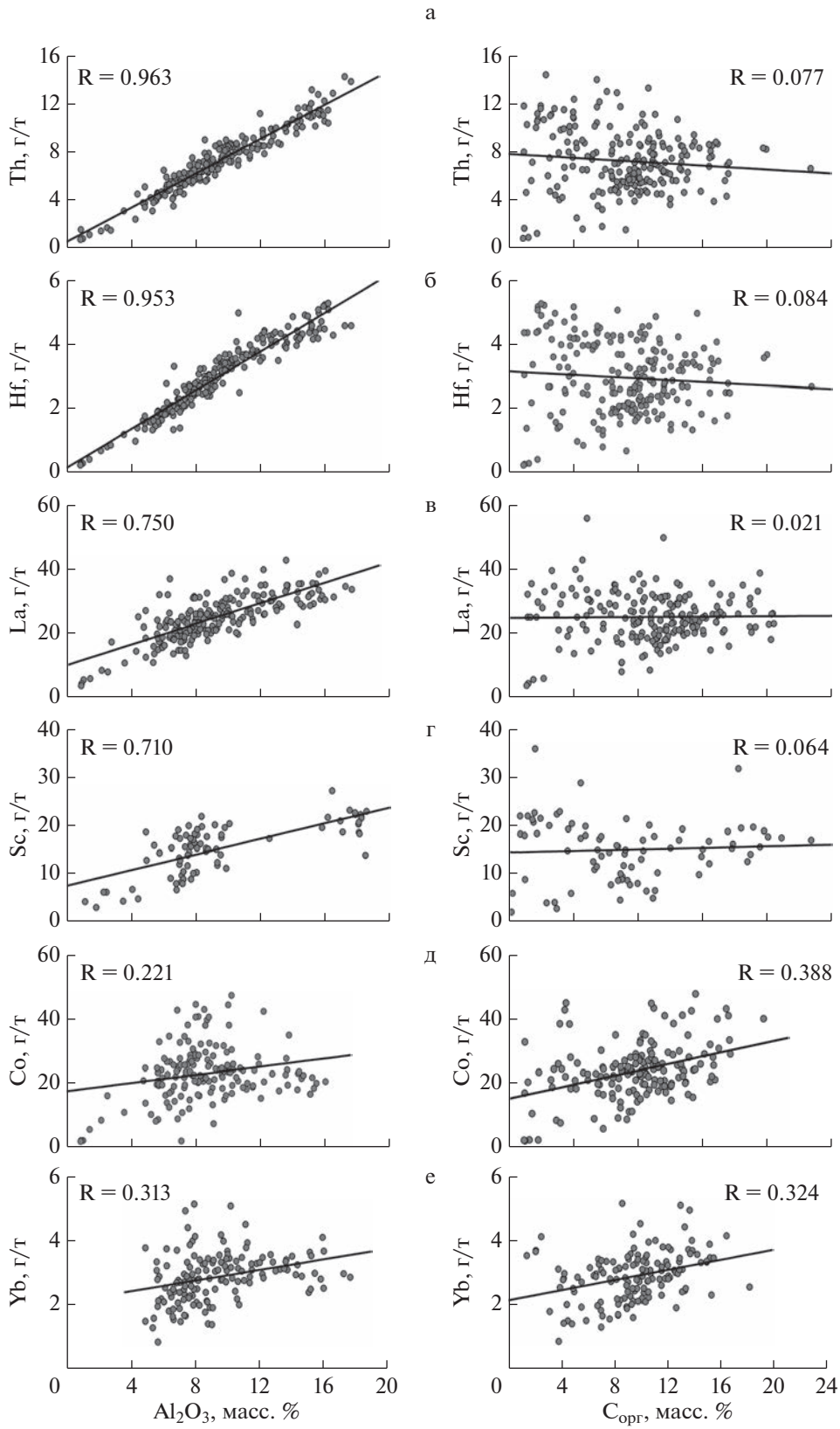


Рис. 2. Зависимость содержаний Th (а), Hf (б), La (в), Sc (г), Co (д), Yb (е) (г/т) от Al_2O_3 (мас. %) и $C_{орг}$ (мас. %) в породах баженовской свиты изученных разрезов.
R – коэффициент корреляции.

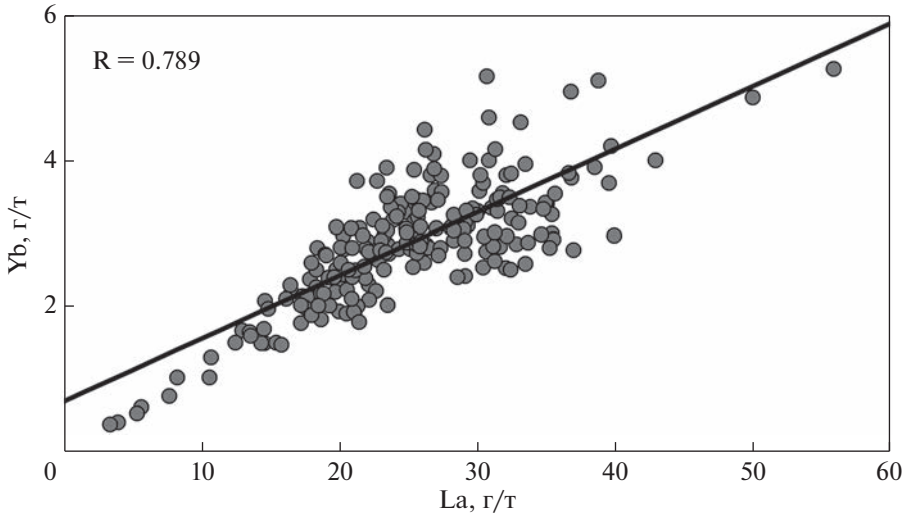


Рис. 3. Зависимость содержаний La и Yb в породах баженовской свиты изученных разрезов.

В результате анализа закономерностей распределения величин $(La/Yb)_N$ (табл. 2) выявлено, что для пород баженовской свиты значения этого показателя изменяются от 4.9 до 7. Согласно С. Тейлору, С. МакЛеннану [Taylor, McLennan, 1985] $(La/Yb)_N > 8$ указывают на кислый состав источников сноса, <4 – основной, от 4 до 8 – промежуточный. Таким образом, значения $(La/Yb)_N$, выявленные для пород баженовской свиты характеризуют промежуточный (между основным и кислым) состав пород в областях питания или несут признаки смешения материала источников кислого и основного состава, что по нашему мнению является наиболее вероятным в случае баженовской свиты. Имея ввиду, что по предположениям большинства исследователей основной источник сноса в рассматриваемый период времени находился на северо-востоке ЗСБ и был представлен траппами.

По данным [Wronkiewicz, Condie, 1987] кислые породы характеризуются повышенными содержаниями La и Th и пониженными Co, Sc, Cr, Th по сравнению с основными. Согласно расположению значений содержаний Th, La и Sc на треугольной диаграмме Th–La–Sc [Wronkiewicz, Condie, 1987] области сноса терригенного материала были представлены породами кислого и основного состава, предположительно при преобладании последних (рис. 4).

В рамках настоящей работы выявлено, что в баженовской свите значения европиевой аномалии изменяются в пределах 0.9–1.2. В то же время известно, что для кислых магматических пород характерны значения $Eu/Eu^* < 0.85$, в отличие от базальтоидов ($Eu/Eu^* > 0.85$) [Taylor, McLennan,

Таблица 2. Средние значения $(La/Yb)_N$ в глинисто-кремнистых породах баженовской свиты

Район	Площадь	$(La/Yb)_N$
Южный	Межовская пл.	6.6 ± 0.7
	Ракитинская пл.	6.7 ± 0.3
Юго-Восточный	Горстовая пл.	6.5 ± 1.0
	Западно-Квензерская пл.	5.8 ± 0.9
	Южно-Майская пл.	6.1 ± 1.2
Центральный	Дружная пл.	4.9 ± 0.6
	Новоортъягунская пл.	5.8 ± 1.0
	Повховская пл.	6.0 ± 1.1
	Южно-Ягунская пл.	7.0 ± 1.3
Шаимский [Маслов, Алексеев, 2007]	Мулымьинская свита	4.2
	Абалакская свита	5.8

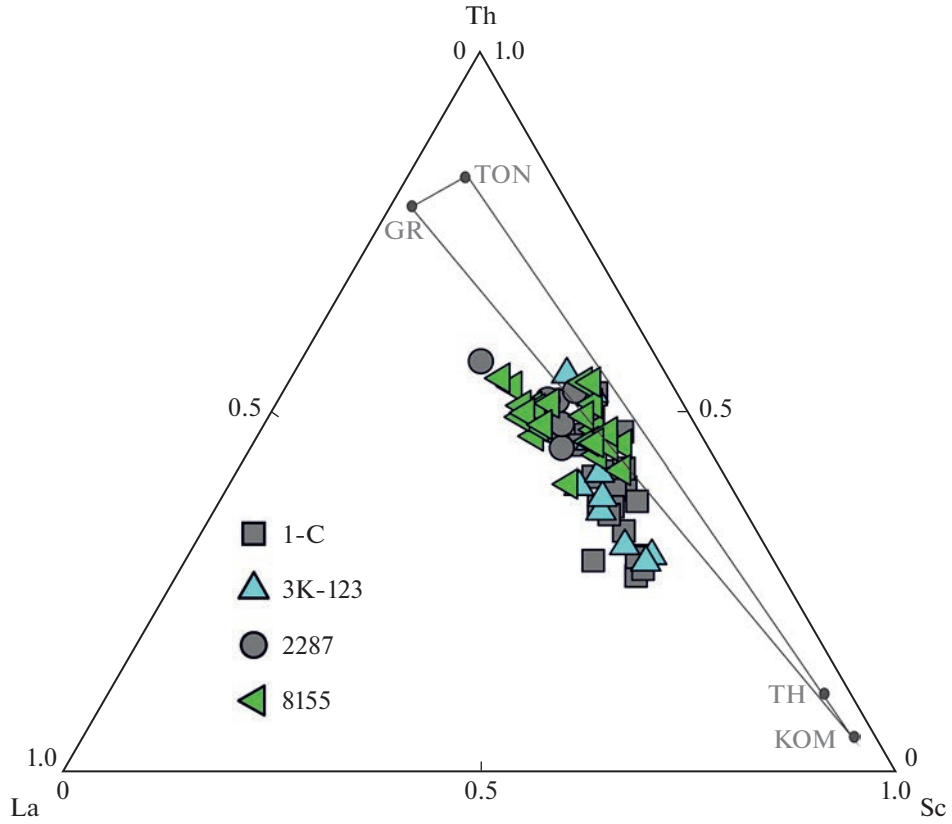


Рис. 4. Диаграмма Th–La–Sc [Wronkiewicz, Condie, 1987], характеризующая породы области сноса для отложений баженовской свиты в разрезах скважин на Салымской (1-С), Западно-Котухтинской (3К-123), Первомайской (2287), Северо-Нивагальской (8155) площадях.
GR – граниты, TON – тоналиты, TH – толеиты, KOM – коматииты.

1985; McLennan, Taylor, 1991]. Соответственно, значения европиевой аномалии в породах баженовской свиты указывают на преимущественно основной состав областей сноса. Таким образом, анализ комплекса геохимических показателей, основанных на соотношении ряда микроэлементов, включая РЗЭ, позволяет предполагать, что при седиментации изучаемых отложений преобладали источники сноса преимущественно основного состава. Эти выводы коррелируются с полученными ранее данными А.В. Масловым и соавторами [2007] для алевроаргиллитов мулымьинской и абалакской свит Шаимского района (см. табл. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для пород верхнеюрско-нижнемеловой баженовской свиты выявлена значимая положительная линейная зависимость Th, Hf, Sc, La от содержания Al_2O_3, подтвержден их терригенный генезис. Определено, что образцы, в которых распределение значений отношений Sc/Al_2O_3 и La/Al_2O_3 не удовлетворяет линейной зависимости, это смешанные глинисто-кремнистые породы с содержанием P_2O_5 >1 мас. % или существенно пиритизированные (в которых содержание пирита превышает содержание ОВ и C/S ≤1), а также силициты с содержанием SiO_2 >70 мас. %. Сделаны выводы, что перед анализом геохимических индикаторов для реконструкций условий образования баженовской свиты, кроме карбонатизированных пород, должны быть удалены из выборки породы с перечисленными выше особенностями вещественного состава, а также породы, претерпевшие катагенетическую каолинитизацию. Таким образом подтверждено, что для корректности выводов по реконструкциям условий образования отложений на основе анализа значений ряда геохимических модулей и индикаторов необходимо тщательное изучение минерального состава и вторичных преобразований пород.

Согласно анализу показателей климата (CIA, CIW) подтверждено, что в волжское – раннеберриасское время мобилизация осадочного вещества происходила в стабильных условиях теплого семиаридного климата.

По комплексу геохимических признаков $(La/Yb)_N$, Eu/Eu*, анализу распределения значе-

ний на треугольной диаграмме Th–La–Sc определено, что в Центральный и Юго-Восточный районы поступали продукты размыва преимущественно пород основного состава, при некотором поступлении материала пород кислого состава.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают особую благодарность С.В. Сараеву за идею и обсуждение результатов настоящего исследования, А.В. Маслову – за ценные советы по улучшению текста статьи.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов Минобрнауки России (госзадание) FMMG-2023-0008, FWZZ-2022-0007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Брадучан Ю.В., Гольберт А.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А., Булынникова С.П., Климова И.Г., Месежников М.С., Вячикоева Н.П., Козлова Г.Э., Лебедев А.И., Нальняева Т.И., Турбина А.С. Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). Новосибирск: Наука, 1986. 217 с.

Бычков А.Ю., Калмыков Г.А., Бугаев И.А., Балушкина Н.А., Калмыков А.Г. Геохимические особенности пород баженовской и абалакской свит (Западная Сибирь) // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2016. № 6. С. 86–93.

Гавшин В.М., Бобров В.А. Закономерности распределения микроэлементов в баженовской свите // Доманикиты Сибири и их роль в нефтегазоносности. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1982. С. 76–91.

Гольберт А.В., Маркова Л.Г., Полякова И.Д., Сакс В.Н., Тесленко Ю.В., Сакс В.Н. Палеоландшафты Западной Сибири в юре, мелу и палеогене / Под ред. В.Н. Сакса. М.: Наука, 1968. 152 с.

Гурова Т.И., Казаринов В.П. Литология и палеогеография Западно–Сибирской низменности в связи с нефтегазоносностью. М.: Гостоптехиздат, 1962. 350 с.

Доманикиты Сибири и их роль в нефтегазоносности // Сборник научных трудов / Под ред. Ф.Г. Гурари. Новосибирск: Изд-во СНИИГГиМС, 1982. 138 с.

Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г., Красавчиков В.О. Редкоземельные элементы в баженовской свите Западно-Сибирского осадочного бассейна // Литосфера. 2011. № 6. С. 38–54.

Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. Роль верхнеюрского-нижнемелового выветривания Урала в формировании отложений георгиевского и баженовского горизонтов Западно-Сибирской плиты // Вестник ТГУ. Сер. Науки о Земле (геология, география, метеорология, геодезия). Приложение: Материалы научных конференций, симпозиумов, школ, проводимых в ТГУ. 2003. Т. II. № 3. С. 257–259.

Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. Уран, торий и калий в черных сланцах баженовской свиты Западно–Сибирского морского бассейна // Литология и полез. ископаемые. 2016а. № 1. С. 82–94.

Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. Халькофильные элементы в черных сланцах баженовской свиты Западно-Сибирского морского бассейна // Геология и геофизика. 2016б. Т. 57. № 4. С. 771–781.

Зубков М.Ю. Анализ распределения K, U, Th и B в верхнеюрских отложениях центральной части Красноленинского свода (Западная Сибирь) с целью их стратификации, корреляции и выделения в них потенциально продуктивных пластов // Геохимия. 2001. № 1. С. 51–70.

Калмыков Г.А., Балушкина Н.С., Алешин А.П., Глебочева Н.К. Об особенности распределения радиоактивности в породах баженовской свиты на западном склоне Сургутского свода Западной Сибири // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2009. № 1. С. 38–46.

Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975. 680 с.

Конторович А.Э. Геохимия верхнеюрских отложений Западно-Сибирской плиты // Литология и полез. ископаемые. 1967. № 3. С. 90–102.

Конторович В.А., Беляев С.Ю., Конторович А.Э., Красавчиков В.О., Конторович А.А., Супруненко О.И. Тектоническое строение и история развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 11–12. С. 1832–184.

Конторович А.Э., Сурков В.С., Трофимук А.А. и др. Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири. Западно–Сибирский бассейн. Новосибирск, 1994. Вып. 2. 201 с.

Конторович А.Э., Конторович В.А., Рыжкова С.В., Шурыгин Б.Н., Вакуленко Л.Г., Гайдебурова Е.А., Данилова В.П., Казаненков В.А., Ким Н.С., Костырева Е.А., Москвин В.И., Ян П.А. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 972–1012.

Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Никитенко Б.Л., Рыжкова С.В., Борисов Е.В., Ершов С.В., Костырева Е.А., Конторович В.А., Нехаев А.Ю., Пономарева Е.В., Фомин М.А., Ян П.А. Маргинальный фильтр волжско–раннеберриасского Западно-Сибирского морского бассейна и его влияние на распределение осадков // Литология и полез. ископаемые. 2019. № 3. С. 199–210.

Конторович А.Э., Ян П.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Эдер В.Г. Классификация пород баженовской свиты // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 11. С. 2034–2043.

Конторович А.Э. Химический состав осадочных пород Западно-Сибирской плиты // Докл. АН СССР. 1965. Т. 163. № 4. С. 984–987.

Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 25. С. 735–743.

Маслов А.В., Алексеев В.П. Особенности химического состава РЗЭ–Th–Sc-систематика тонкозернистых пород нижнего мезозоя Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) // Известия вузов. Геология и разведка. 2007. № 2. С. 21–29.

Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретация полученных данных // Учебное пособие по разделам дисциплин “Литология” и “Лабораторные методы изучения полез. ископаемых” для студентов специальности 080100 – “Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископае-

мых". Екатеринбург: Федеральное агентство по образованию ГОУ ВПО "Уральский гос. горный унив-т", Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2005. 289 с.

Николаева И.В., Палесский С.В., Козьменко О.А., Аношин Г.Н. Определение редкоземельных и высокозарядных элементов в стандартных геологических образцах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИПС-МС) // Геохимия. 2008. № 10. С. 1085–1091.

Николаева И.В., Палесский С.В., Чирко О.С., Черноножкин С.М. Определение основных и примесных элементов в силикатных породах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой после сплавления с $LiBO_2$ // Аналитика и контроль. 2012. Т. 16. № 2. С. 134–142.

Панченко И.В., Немова В.Д., Смирнова М.Е., Ильина М.В., Барабошкин Е.Ю., Ильин В.С. Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения керна и ГИС // Геология нефти и газа. 2016. № 6. С. 22–34.

Плуман И.И. Урановость черных аргиллитов волжского яруса Западно-Сибирской плиты, как критерий геохимических условий осадконакопления // Геохимия. 1971. № 9. С. 1138–1143.

Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 36. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. 64 с.

Предтеченская Е.А., Малюшко Л.Д. Геохимические особенности и факторы модели баженовской свиты в центральных и юго-восточных районах Западно-Сибирской плиты // Известия вузов. Геология и разведка. 2016. № 4. С. 23–36.

Решения V Межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозойским отложениям Западно-Сибирской равнины (Тюмень, 1990 г.) Тюмень, 1991. 54 с.

Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири (Новосибирск, 2003 г.). Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. 114 с.

Рихванов Л.П., Усольцев Д.Г., Ильенок С.С., Ежова А.В. Минералого-геохимические особенности баженовской свиты Западной Сибири по данным ядерно-физических и электронно-микроскопических методов исследований // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 1. С. 50–63.

Рыжкова С.В., Бурштейн Л.М., Ершов С.В., Казаненков В.А., Конторович А.Э., Конторович В.А., Нехаев А.Ю., Никитенко Б.Л., Фомин М.А., Шурыгин Б.Н., Бейзель А.Л., Борисов Е.В., Золотова О.В., Калинина Л.М., Пономарева Е.В. Баженовский горизонт Западной Сибири: строение, корреляция и толщины // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 7. С. 1053–1074.

Сараев С.В. Петрохимический метод в изучении минерального состава пород баженовской свиты Западной Сибири // Геология и геофизика. 1987. № 10. С. 33–38.

Стафеев А.Н., Ступакова А.В., Суслова А.А., Гилаев Р.М., Шелков Е.С., Книппер А.А. Баженовский горизонт Сибири (титон–нижний берриас): тектонические и гидродинамические условия осадконакопления // Георесурсы. 2019. Т.21. № 2. С. 117–128.

Гурари Ф.Г., Вайц Э.Я., Меленевский В.Н., Москвин В.И., Перозио Г.Н., Предтеченская Е.А., Рудницкая Д.И., Стасова О.Ф., Фролов В.Х., Фролова Л.А. Условия формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты / Под ред. Ф.Г. Гурари. М.: Недра, 1988. 199 с.

Ушатинский И.Н., Харин В.С., Гаврилова Л.М. Геохимические критерии оценки нефтегазоносности мезозойских отложений Западной Сибири // Геохимические критерии оценки нефтегазоносности мезозойских отложений Западной Сибири. Вып. 157. Тюмень, 1980. С. 48–50.

Ушатинский И.Н., Гаврилова Л.М., Волкова Л.Я. Геохимия породообразующих и малых элементов баженовской свиты Среднего Приобья // Геохимия сложнопостроенных месторождений нефти и газа. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1988. С. 44–61.

Ушатинский И.Н., Ибрагимова Т.А. Особенности литологического строения баженовской свиты (месторождения Большой Салым) // Нефтегазовая геология и геофизика. 1982. № 11. С. 12–13.

Ушатинский И.Н. Состав и микроэлементы пород баженовской свиты и вмещающих глин // Ассоциация микроэлементов с органическим веществом в осадочных толщах Сибири. Новосибирск: ИГиГ СО РАН СССР, 1984. С. 21–31.

Хабаров В.В., Нелепченко О.М., Волков Е.Н. и др. Уран, калий и торий в битуминозных породах баженовской свиты Западной Сибири // Советская геология. М.: Недра, 1980. С. 94–105.

Эдер В.Г., Рыжкова С.В., Дзюба О.С., Замирайлова А.Г. Литостратиграфия и обстановки седиментации баженовской свиты (Западная Сибирь) в центральном, юго-восточном и северном районах ее распространения // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2022. Т. 30. № 5. С. 46–74.

Эдер В.Г. Замирайлова А.Г., Жигульский И.А. Литология баженовской свиты в районах Хантейской гемиантеклизы и Межовского мегамыса Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Геология нефти и газа. 2016. № 6. С. 87–96.

Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Калмыков Г.А. Свидетельства образования карбонатных пород на геохимических барьерах в черных сланцах на примере баженовской свиты Западной Сибири // Георесурсы. 2019. Т. 21. № 2. С. 2–10.

Эдер В.Г., Балушкина Н.С., Замирайлова А.Г., Фомин А.Н. Литолого-геохимические свидетельства катагенетических преобразований черных сланцев на примере баженовской свиты Западной Сибири // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2021. № 1. С. 58–70.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 1988. 210 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах. Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. 303 с.

Gavshin V.M., Zakharov V.A. Geochemistry of the Upper Jurassic–Lower Cretaceous Bazhenov Formation, West Siberia // Economic Geology. 1996. V. 91. P. 122–133.

Harnois L. The CIW index: A new chemical index of weathering // Sedimentary Geology. 1988. V. 55. № 3–4. P. 319– 322.

McLennan L.C., Taylor S.R. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends // The Journal of Geology. 1991. V. 99. P. 1–21.

Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climate sand plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.

Taylor S.R., McLennan S.M. The Continental Crust: Its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Oxford: Blackwell, 1985. 312 p.

Visser J.N.J., Young G.M. Major element geochem istry and paleoclim atology of the Permo-Carboniferous glaciogene Dwyka Formation and post-glacial mudrocks in Southern Africa // Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol. 1990. V. 81. P. 49–57.

Wronkiewicz D.J., Condie K.C. Geochemistry of shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: source-area weathering and provenance // Geochim. Cosmochim. Acta. 1987. V. 51. P. 2401–2416.

Yang H., Kyser K., Ansdell K. Geochemical La and Nd isotopic compositions of the metasedimentary rocks in the La Ronge Domain, Trans–Hudson Orogen, Canada: implications for evolution of the domain // Prec. Res. 1998. V. 92. P. 37–64.

Zanin Y.N., Eder V.G., Zamirailova A.G., Krasavchikov V.O. Models of the REE distribution in the black shale Bazhenov Formation of the West Siberian marine basin, Russia // Chemie der Erde – Geochemistry. 2010. V. 70. № 4. P. 363–376.

Zanin Y.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 Petroleum Geology. 2008. V. 25. P. 289–306.

Features of Using the Lithogeochemical Indicators for the Reconstruction of Paleoclimate and Composition of Demolition Sources in the Late Jurassic-Lower Cretaceous West Siberian Sedimentary Basin

V. G. Eder[1, *], A. G. Zamiralova[2, **], P. A. Yan[2, *]**

[1]*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Pyzhevsky lane, 7, bld. 1, Moscow, 119017 Russia*

[2]*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, akad. Koptyuga avenue, 3, Novosibirsk, 630090 Russia*

**e-mail: edervika@gmail.com*

***e-mail: zamirailovaag@ipgg.sbras.ru*

****e-mail: yanpa@ipgg.sbras.ru*

For the rocks of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Bazhenov formation, a significant positive linear dependence of the Th, Hf, Sc, La content on the Al_2O_3 content was revealed, and their terrigenous genesis was confirmed. It has been determined that the samples in which the distribution of the values of the Sc/Al_2O_3 and La/Al_2O_3 ratios does not satisfy the linear dependence are mixed clayey-siliceous rocks with a P_2O_5 content >1 mas. % or substantially pyritized (in which the content of pyrite exceeds the content of S and $C/S \le 1$), as well as siliceous mudstones with a SiO_2 content >70 mas. % by weight. It is concluded that before analyzing geochemical indicators for reconstructing the conditions of formation of the Bazhenov formation, in addition to carbonated rocks, rocks of the above types, as well as rocks that have undergone late diagenetic kaolinization, should be excluded from the analysis. The conditions of formation of the studied deposits were reconstructed based on the analysis of the values of a number of geochemical modules and indicators. As a result of the study of CIA, CIW variations, it was confirmed that the climate in the Late Jurassic-Early Cretaceous period in the West Siberian sedimentary basin was warm, semiarid. It was revealed that during the entire period under review, it did not change significantly. For the deposits of the Bazhenov formation, a number of indicators such as (La/Yb)N, Eu/Eu*, as well as the distribution of trace element content values on the triangular diagram Th–La–Sc, suggest that in the central and southeastern regions of the formation distribution area, the sources of demolition of the mafic composition prevailed.

Keywords: Bazhenov formation, Upper Jurassic, black shales, trace elements, conditions of formation.