



Пирокластический материал в баженовских отложениях Западной Сибири: его роль в седиментогенезе и возможные источники

Панченко И.В.¹, Соболев И.Д.², Латышев А.В.^{3,4}

¹ ЗАО «Моделирование и мониторинг геологических объектов им. В.А. Двуреченского», г. Москва, ivpanchenko89@gmail.com

² Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, sobolev_id@mail.ru

³ МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, г. Москва, anton.latyshev@gmail.com

⁴ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва.

Баженовская свита и одноименный горизонт Западной Сибири (верхняя юра – нижний мел) в настоящее время рассматриваются как яркие представители черносланцевых нефтеносных формаций. Для большинства черных сланцев характерны общие черты: распространение на обширных площадях при относительно небольшой мощности, длительные периоды формирования (несколько млн. лет), повышенные и иногда аномально высокие концентрации целого ряда элементов (С, U, S, Fe, Mg, P, Cu, Zn, Mo, V, Ni, Ba, As и др.). Кроме того, присущие обстановкам их образования дефицит осадочного материала и низкие темпы седиментации с эпизодами конденсированного осадконакопления благоприятствуют концентрированию и сохранению биогенного и пирокластического материала. В подобной специфике палеогеографических условий любое проявление эксплозивного вулканизма (в том числе на территориях, отдаленных на тысячи км) может сохраниться в черносланцевом разрезе: даже незначительное количество вулканогенного материала не будет «затеряно» в малых объемах накопившегося осадка и найдет геохимическое отражение (Юдович, Кетрис, 2010).

Попадание пеплового материала в морской бассейн вызывало выщелачивание его неустойчивых компонентов, что проецировалось на геохимическом составе вод и донных осадков (Юдович, Кетрис, 1988). Результирующий привнос ряда токсичных и тяжелых элементов (Pb, Sb, Hg, As, Cd, U и др.) в морские воды угнетающе сказывался на отдельных группах биоты. С другой стороны, обогащение среды спектром жизненно важных элементов (Mg, Ca, P, Fe, Zn, Si и др.) должно было привести к всплеску биопродуктивности экосистемы. Таким образом,

биогенный и вулканогенный источники вещества в течение черносланцевых эпизодов могли находиться в тесной взаимосвязи.

Баженовским отложениям, в особенности наиболее углеродистым разностям, свойственны высокие содержания элементов, тяготеющих к биофильной геохимической группе (Табл. 1) и, в то же время, относящихся к группе элементов-индикаторов участия в седиментогенезе магматических пород основного и среднего состава: Mg, Fe, Ca, V, Ba, Ni, Cu, Zn и др. (Юдович, Кетрис, 1988; Ван и др., 2011; Предтеченская, Малюшко, 2016). По материалам указанных работ, а также согласно интерпретации данных по (Юдович, Кетрис, 2010), уровни концентраций каждого из перечисленных элементов (Табл. 1) в баженовских породах указывают на вероятное участие сопутствующих вулканических процессов. Например, содержания V, Zn, Ba, Mo и U превышают кларковые для платформенных глин и кремневых пород более чем на порядок (Ронов и др., 1990; Григорьев, 2009); завышены концентрации Cr, Fe, Ni, As, Cu, Th и др. (Табл. 1). Помимо этого, даже в высококремниевых литотипах наблюдаются повсеместно высокие значения Ca и Mg.

Кроме того, в баженовских отложениях многократно отмечалась примесь минеральных агрегатов вулканокластического облика (Дорофеева и др., 1983; Ермолова, 2003; Ван и др., 2011; Предтеченская, Малюшко, 2016). Среди прочего, упоминаются копьевидые, оскольчатые, таблитчатые и идиоморфные зерна полевых шпатов без следов окатанности и водной транспортировки. По анализу этих материалов можно заключить, что пирокластические компоненты присутствуют на всех уровнях баженовского разреза. Поэтому предполагается, что в процессе формирова-

Таблица 1

Содержание некоторых химических элементов в баженовских отложениях в сравнении с кларковыми содержаниями глинистых и кремнистых пород. Выборка по 550 образцам.

Элемент	Al, Мас. %	Mg, Мас. %	Ca, Мас. %	Ti, Мас. %	Fe, Мас. %	P, Мас. %	S, Мас. %	Ba, Мас. %	Sr, г/т	Ni, г/т	As, г/т	Cr, г/т	V, г/т	Cu, г/т	Zn, г/т	U, г/т	Th, г/т	Mo, г/т	
Баженовские отложения (весь разрез суммарно)	1	3.2	0.4	1.0	0.2	2.8	0.1	2.6	0.21	194	132	46	118	629	146	504	24	7	54
	2	3.6	0.9	5.4	0.2	3.2	0.2	3.2	0.41	326	167	52	134	673	159	682	30	6	103
Верхняя толща баженовской свиты и нижне-тутлеймской подсвиты (без образцов с CaO>50Мас.%)	1	3.4	0.4	1.7	0.2	4.0	0.1	4.4	0.19	238	236	67	116	902	220	745	41	7	214
	2	4.3	0.7	4.7	0.2	4.4	0.2	4.7	0.57	308	255	73	133	906	229	825	44	7	202
<i>Данные по петрогенным элементам глинистых и кремнистых пород по (Ронов и др., 1990, табл.11)</i>								<i>Данные по редким элементам глинистых и кремнистых пород по (Григорьев, 2009)</i>											
<i>Кремнистые породы</i>	2	3.8	0.6	0.8	0.2	2.0	0.0	0.2	0.03	110	37	4.4	32	-	7	21	2.4	3.2	-
<i>Глины, глинистые сланцы платформ мезозоя и кайнозоя</i>	2	10	1.2	1.8	0.5	3.3	0.1	0.5	0.05	240	49	9.3	110	120	36	89	4.3	14	1.6

1 - медианное значение выборки; 2 - среднее значение

ния этих отложений вулканокластический материал вполне мог поставляться регулярно. Особенно заметное его количество трассируется в западных, Приуральских районах Западно-Сибирской плиты (Ермолова, 2003; Ван и др., 2011), где описываются прослой мощностью от десятков сантиметров до 5 м, обогащенные пирокластическими компонентами. Последние представлены, главным образом, кристаллокластами и продуктами изменения витрокластов.

Центральная и наиболее высокоуглеродистая область распространения баженовского горизонта представлена силицитами углеродистыми (2–30%), глинистыми (10–40%), карбонатно-глинистыми и глинисто-карбонатными кокколитофоридовыми, вплоть до известняков (CaO от 1 до 60%) и радиоляритами (SiO₂ 50–90%) (Немова, Панченко, 2017). В глинистой компоненте преобладают смешаннослойные образования, развивающиеся преимущественно по смектитам (Дорофеева и др., 1983, Предтеченская, Малюшко, 2016). В свою очередь, исходным веществом для образования смектитовых минералов послужили, в том числе, магматические продукты (Ван и др., 2011; Предтеченская, Малюшко, 2016).

Наконец, наиболее ярким свидетельством участия пирокластических компонентов в баженовской седиментации стали находки измененных туфов и туффитов андезибазальтового состава (Панченко и др., 2015). Туфо-

вые прослой крайне маломощны (от первых миллиметров до 1 см) и представляют собой продукты диа-катагенетического замещения кристалловитрокластических пеплов дальнего переноса. Подобные прослой могли осесть на дно морского бассейна и сохраниться в неразбавленном виде только в течение эпизодов с крайне низкой скоростью седиментации (по нашим оценкам, скорости накопления разных баженовских пачек варьировали от 20 до 1,5 мм в тыс. лет). Пирокластический материал этих тонких прослоев играет пренебрежимо малую роль в объеме всей баженовской толщи, поэтому он вряд ли мог существенно скорректировать геохимические свойства в масштабах всего разреза. Однако присутствие этих прослоев является важнейшим свидетельством эпизодического влияния вулканизма на осадочный и геохимический процессы в баженовском бассейне.

Учитывая, что прослой туфов и туффитов накапливались на этапах наиболее медленного осадконакопления, следует полагать, что на протяжении большей части седиментационного цикла пирокластический материал сохранялся в резко разбавленном и «камуфлированном» виде. Мы провели детальное сравнение геохимических составов обнаруженных туфов и вмещающих их углеродистых силицитов. При близких концентрациях большей части петрогенных элементов в туфах и силицитах, можно выявить определенные различия в поведении некоторых

элементов (Рис. 1а). Для туфов характерно хаотичное распределение $TiO_2-Al_2O_3$ и положительная корреляция титанистости с железистостью, указывающие на их магматическое происхождение. Поведение фигуративных точек составов баженовских силицитов характерно для осадочной породы: концентрации Ti, Al, Zr и K находятся в тесной корреляционной взаимосвязи, что указывает на терригенный источник этих элементов. На диаграммах распределения нормированной щелочности, железного, мафического и алюмокремниевого модулей (Юдович, Кетрис, 2010) области фигуративных точек туфов и силицитов нередко соприкасаются, что

может указывать на геохимическое родство этих пород.

Для туфов и углеродистых силицитов отмечаются близкие концентрации и характер распределения элементов-примесей (Рис. 1б, в). Для них свойственно обогащение крупноионными литофильными элементами (Cs, Rb, Ba, Pb, Sr) относительно высоkozарядных (Ta, Nb, Zr, Hf), редкоземельных элементов и Y, минимум по Ta и Nb, максимум по Pb и U, что характерно для пород, образовавшихся в надсубдукционной геодинамической обстановке. Общей чертой для туфов и силицитов являются повышенные и при этом близкие содержания Ba, Cr, V, U,

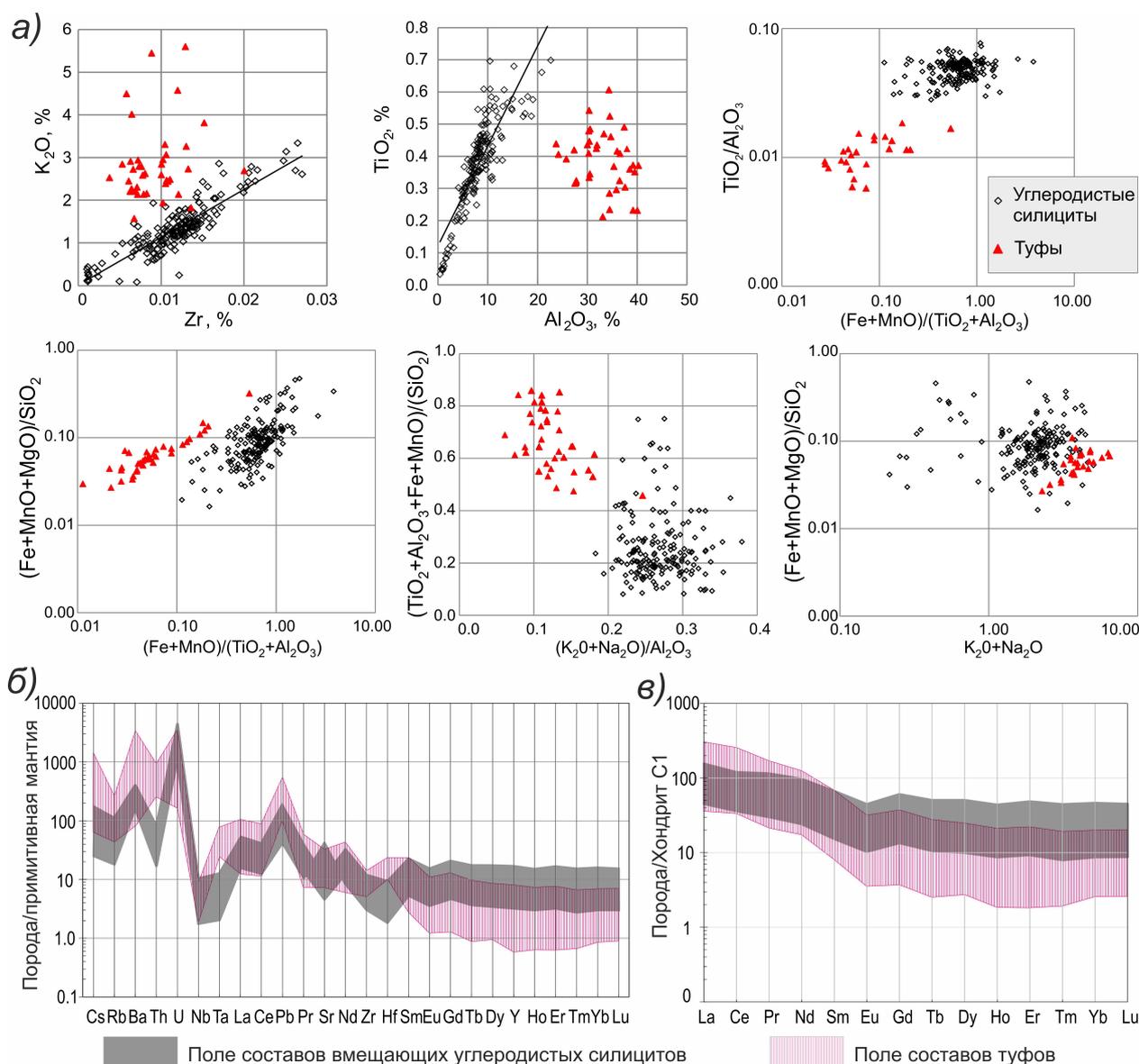


Рис. 1. Диаграммы с соотношениями составов туфов и вмещающих их баженовских углеродистых силицитов: а – некоторые модульные диаграммы распределения порообразующих элементов; б, в – диаграммы (б – мультиэлементная, в – редкоземельная) распределения элементов-примесей с полями составов туфов и углеродистых силицитов, нормировано к составу примитивной мантии и хондриту C1, соответственно по (Sun, McDonough, 1989).

As, Sr и Nb. В силицитах концентрируется больше Mo, Ni, Cu, Zn и тяжелых редкоземельных элементов. В туфах существенно выше содержания Th, Ta, Pb и Hf, незначительно выше Mg, Ba, V, Cr и Rb.

Таким образом, наблюдаются схожие геохимические характеристики баженовских силицитов и туфов. При этом туфы характеризуют первичное магматическое вещество, а в баженовских силицитах наблюдается примесь пирокластического материала, близкого по геохимическому составу к изученным туфовым прослоям.

Другой важный вопрос – диагностика возможного источника пирокластического материала в процессе формирования баженовских отложений. Судя по полученным геохимическим данным, источником пирокластического материала могли быть надсубдукционные палеовулканические пояса, с преимущественно андезитобазальтовым вулканизмом. В поздней юре – раннем мелу подобные вулканические пояса известны в Южно-Анжуйской зоне (3500–4000 км к северо-востоку) и в Закавказье (2500–3000 км к юго-западу). Кроме того, учитывая возможности ветров доставлять тонкие пепловые частицы на многие тысячи километров, любой из активных вулканов мог поставлять пирокластическое вещество в баженовское море. Изучая площадную неоднородность состава баженовских туфов, мы выявили субмеридиональную геохимическую зональность. Растущие с запада на восток содержания K_2O и SiO_2 в них, при сокращении в этом же направлении Fe, MgO, концентраций тяжелых элементов (Pb, W, и др.), указывают на западный источник пеплового разности. По данным предшествующих исследований, именно в Приуральских частях Западной Сибири отмечается наибольшее количество вулканогенного материала, что хорошо согласуется с нашими результатами. Из этого следует, что преобладающим источником пирокластического вещества могло быть Закавказье. Однако нельзя исключать влияние и других источников пирокластического вещества.

Таким образом, поднимается вопрос о влиянии вулканизма на формирование черносланцевой баженовской свиты и ее фациальных аналогов. Избыточные для осадочных пород содержания V, Ba, As, Ni, Mo, Fe, Mg, P, S, Ca, Cu, Zn в высокоуглеродистых баженовских отложениях могут быть объяснены заметной ролью вулканогенного материала в условиях конденсированного осадконакопления. Пирокластический материал мог служить дополнительным источником биогенных элементов (Mg, P, Ca, Zn и др.), что должно найти отражение в анализе биопродуктивности баженовского моря. Выявлено, что влияние вулканизма растет к западным

областям Западной Сибири, где в баженовском горизонте сконцентрированы залежи нефти, приуроченные к коллекторам с повышенной магниальностью (Немова, Панченко, 2017). Дальнейшее изучение роли вулканогенного источника вещества может прояснить многие вопросы условий формирования и происхождения баженовской нефтеносности.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ в рамках проекта № 18-05-00494.

Литература

- Ван А.В., Предтеченская Е.А., Злобина О.Н. Продукты вулканизма в юрских отложениях приуральской части Западно-Сибирской плиты // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2011. № 4. С. 15–22.
- Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 383 с.
- Дорофеева Т.В., Краснов С.Т., Лебедев А.А. Коллекторы нефти баженовской свиты Западной Сибири. Л.: Недра, 1983. 131 с.
- Ермолова Т.Е. Литологические признаки дизъюнктивных дислокаций (латеральных флюидоупоров) в юрских и нижнемеловых отложениях Западной Сибири // Геология нефти и газа. 2003. № 4. С. 14–20.
- Немова В.Д., Панченко И.В. Локализация приточных интервалов баженовской свиты и их емкостное пространство на Средне-Назымском месторождении // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2017. Т. 12. № 1. С. 1–24.
- Панченко И.В., Камзолкин В.А., Латышев А.В., Соболев И.Д. Туфы и туффиты в баженовском горизонте (Западная Сибирь) // Эволюция осадочных процессов в истории Земли: материалы 8-го Всероссийского литологического совещания (Москва, 27–30 октября 2015 г). Том II. Москва: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. С. 258–261.
- Предтеченская Е.А., Малюшко Л.Д. Геохимические особенности и факторные модели баженовской свиты в центральных и юго-восточных районах Западно-Сибирской плиты // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. № 4. С. 23–36.
- Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М., Наука. 1990. 181 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 1988. 272 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические и минералогические индикаторы вулканических продуктов в осадочных толщах. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 412 с.
- Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes (1989) // A.D. Saunders, M.J. Norry (eds). Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, Special Publications, London. V. 42. P. 313–345.

Pyroclastic material in the Bazhenovo deposits of Western Siberia: its role in sedimentogenesis and possible sources

Panchenko I.V.¹, Sobolev I.D.², Latyshev A.V.^{3,4}

¹ “Modeling and monitoring of geological objects named after V.A. Dvurechensky” JSC, Moscow, ivpanchenko89@gmail.com

² Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, sobolev_id@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Moscow, anton.latyshev@gmail.com

⁴ Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow.

The influence of pyroclastic material on the genesis of the Bazhenovo formation is discussed. Geochemical anomalies in a number of elements can be explained by a volcanogenic source, and episodes of ecosystem development could be closely related to synchronous volcanic processes. Comparison of sedimentary Bazhenovo rocks with interlayers of tuffs found in Bazhenovo sediments indicates their geochemical relationship and reveals the confinement of camouflage pyroclastics to suprasubduction settings, presumably basaltic andesite volcanism. The zoning of the Bazhenovo deposits indicates a western source of pyroclastics.