

УДК 549.1:550.4:553.98(571.1)

О РОЛИ ВУЛКАНОКЛАСТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА В ПОРОДАХ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ

© 2003 г. Член-корреспондент РАН И. И. Нестеров,
И. Н. Ушатинский, А. В. Рыльков

Поступило 09.06.2003 г.

В последнее время в геологии Западной Сибири в связи с проходкой на севере региона целого ряда глубоких (более 5000 м) скважин, в том числе Тюменской сверхглубокой скважины ТСГ-6 (остановлена на глубине 7502 м предположительно в породах верхней перми), вновь усилился интерес к оценке роли вулканокластического (пирокластического) материала в формировании состава отложений осадочного чехла Западно-Сибирской плиты (ЗСП). Эта проблема всегда привлекала внимание исследователей, что связано с решением многих общегеологических и прикладных задач (стратиграфия, условия формирования отложений, влияние на коллекторские, экранирующие свойства пород и др.). Данная работа базируется преимущественно на результатах литогеохимического изучения пород осадочного чехла северной части ЗСП в интервале от триаса до палеогена включительно.

В геологическом строении региона выделяется консолидированное основание (фундамент) и перекрывающий его с угловым и стратиграфическим несогласием мезозойско-кайнозойский (а местами и палеозойский) осадочный (платформенный) чехол. В зависимости от времени консолидации основания и возраста нижних (непосредственно его перекрывающих) толщ чехла возраст фундамента принимается как домезозойский (с участием в его составе триасовых пород) или доюрский. Мощность (толщина) осадочного чехла в центральных и южных районах не превышает 3.5–4.5 км, а в северных достигает 7–8 км и более. В скв. ТСГ-6 пройден полный разрез осадочного чехла домезозойского фундамента. Кровля его вскрыта на глубине 7309 м, кровля триаса – на глубине 5610 м, кровля юры – на глубине 3782 м, кровля мела – на глубине 623 м и кровля палеогена – на глубине 90 м (табл. 1). Породы фундамента здесь представлены главным образом вулкано-

генными (базальтоиды) и частично вулканогенно-осадочными образованиями.

Платформенный чехол слагается морскими (преобладают) и субконтинентальными преимущественно терригенными песчано-алевритовыми и глинистыми осадками мезозоя (около 80% толщины чехла) и кайнозоя. В нижней части триаса присутствуют измененные вулканогенные породы базальтоидного ряда. В отложениях верхней юры и низов мела широко распространена толща битуминозных кремнисто-глинистых пород баженовской и других свит. В отложениях верхнего мела и палеогена присутствуют толщи кремнистых пород (диатомиты, опоки). К юрским и меловым отложениям приурочены крупнейшие залежи нефти и газа. Песчано-алевритовые толщи здесь сравнительно равномерно чередуются с глинистыми. Первые служат коллекторами углеводородов, вторые являются флюидоупорами, покрывками залежей нефти и газа. Диатомиты и опоки представляют собой ценное сырье для различных отраслей промышленности [1–5].

На присутствие в породах осадочного чехла ЗСП пирокластического материала отдельные исследователи (Т.И. Гурова, В.П. Казаринов, С.Г. Саркисян и др.) указывали еще на ранних этапах геологического изучения региона. Его наличие устанавливалось в петрографических шлифах и связывалось главным образом с поступлением в осадки вулканического пепла. Определялись обломки вулканического стекла, кварца, полевых шпатов и других минералов. В силу катагенетической измененности осадков идентификация и количественный учет содержания пирокластического материала в шлифах вызывали большие затруднения. Детально состав, содержание и генезис этого материала не изучался.

Позднее в связи с активизацией освоения Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции и соответствующим расширением и углублением геологических исследований появились дополнительные сведения о присутствии пирокластического материала в породах разных горизонтов осадочного чехла [3, 6, 7]. При этом подчеркивалось,

*Западно-Сибирский филиал
Института геологии нефти и газа
Сибирского отделения
Российской Академии наук, Тюмень*

Таблица 1. Содержание (мас. %) основных компонентов и величина эксгальвативного модуля в породах осадочного чехла

Порода	Компоненты					ЭМ	Взр Отм	T, °C Ктг
	Si	Ti	Al	Fe	Mn			
Гл	27.62	0.52	9.54	5.15	0.07	10.1	Р	15–20
Дт	35.75	0.31	4.41	2.43	0.02	7.9	90	ПК _{1–2}
Оп	38.87	0.22	3.53	2.15	0.01	9.8	К ₂	20–30
Гл	28.81	0.57	8.24	4.73	0.05	8.4	523	ПК _{2–3}
Гл	29.15	0.51	8.91	6.26	0.04	12.4	К ₁	30–85
Пч	29.23	0.42	7.22	5.44	0.06	13.1	1750	МК _{1–2}
Бж	25.85	0.37	4.55	4.81	0.04	13.2	Ј ₃	80–90
Пч	28.68	0.41	8.01	6.44	0.05	15.8	3782	МК _{1–2}
Гл	28.34	0.53	8.56	6.32	0.06	12.1	Ј ₂	80–97
Пч	29.47	0.55	8.37	5.84	0.03	10.7	3982	МК _{2–3}
Гл	28.27	0.53	8.18	6.45	0.03	12.2	Ј ₁	90–150
Пч	30.33	0.59	7.49	6.01	0.09	10.3	4803	МК _{3–5}
Гл	27.81	0.52	8.93	6.72	0.03	13.1	Т	150–190
Пч	32.82	0.43	5.88	6.11	0.08	14.4	5610	МК ₄ –АК ₁
Среднее	28.28	0.46	7.27	5.34	0.05	11.7	Н.о.	Н.о.
Без Дт и Оп	30.07	0.49	7.82	5.85	0.04	12.1	»	»
Различные породы фундамента							РZ 7309	120–210 АК ₁ –АК ₂

Примечание. Гл – глинистые, Пч – песчано-алевритовые породы, Дт – диатомиты, Оп – опоки, Бж – баженины. ЭМ – геохимический эксгальвативный модуль, Взр – геологический возраст, Отм – отметки глубины залегания кровли (в метрах), T – пластовая температура, Ктг – стадии катагенеза отложений, Н.о. – не определялось. Температуры и глубины приводятся по скв. ТСГ-6 в соответствии со стратиграфической схемой ЗапСибНИГНИ.

что в древних породах выявляется лишь малая часть пирокластического материала, тогда как его большая часть не фиксируется из-за вторичных изменений осадков в процессе их глубинного катагенеза и метаморфизма. Такой подход привел к появлению взглядов о чуть ли не первостепенной роли пирокластического материала (и, соответственно, вулканической деятельности) в формировании ряда толщ осадочного чехла. Особенно это касалось глинистых и кремнистых пород эоцена (диатомиты люлинворской свиты), верхнего мела (опоки березовской свиты), верхней юры (битуминозные кремнистые глины баженовской свиты) и некоторых других толщ. В то же время местоположение вулканических аппаратов, типы, характер вулканической деятельности и поступления в осадки пирокластического материала обстоятельно не рассматривались. Практически почти не учитывались и геохимические показатели (компонентный состав, микроэлементы, изотопный анализ и др.) присутствия вулканического эксгальвативного материала в терригенных породах (осадках), в том числе и эксгальвативный геохимический модуль (Fe + Mn/Ti).

Между тем исследования [8] современных и древних осадков (пород) океанов, морей, озер в областях с установленной вулканической деятельностью и в областях с безусловным отсутствием вулканизма показали, что такие осадки уверенно различаются по величине эксгальвативного модуля. Значения модуля в пределах 10–25 являются типичными для терригенных пород и лишь при его значениях выше 25 можно говорить о существенном присутствии в составе исходных осадков эксгальвативного материала. Следует отметить, что высокие значения модуля, возникающие при постседиментационных изменениях осадков (железо-марганцевые карбонатные конкреции, пирит и др.), легко распознаются по составу и строению пород.

На всей территории ЗСП залегание осадочных толщ платформенного чехла почти горизонтальное (региональные углы наклона исчисляются в минутах). Никаких безусловных признаков существования молодых (современных) или древних вулканических аппаратов в составе чехла не установлено, их местоположение во всей обширной геологической литературе по региону практически

ки не рассматривается. Лишь в низах триаса установлено проявление базальтового магматизма.

Постседиментационные преобразования отложений чехла связаны не с воздействием вулканизма, а с региональным фоном изменения осадков (пород). Степень их катагенеза возрастает с глубиной погружения от стадий ПК₁₋₂ вверху до стадий МК₄₋₅ в нижней части чехла, а в отложениях триаса до стадии АК₁ (см. табл. 1). Однако породы чехла практически не претерпели вулканического метаморфизма. Влияние базальтового магматизма в триасе носит в пространстве и времени весьма ограниченный характер и не может рассматриваться в качестве регионального фона изменения осадков, в том числе при прогнозе нефтегазоносности на севере региона [9].

Вместе с тем определение количества и состава пирокластического материала в породах древних толщ действительно представляет большие трудности из-за влияния постседиментационных процессов. Однако ориентировочные данные на этот счет можно получить на основании изучения современных осадков морей и океанов (включая зоны активного вулканизма). Согласно таким данным [8], годовой баланс материала разных источников питания в современных осадках морей и океанов выглядит следующим образом, 10⁶ т: сток рек – 18530, сток растворенных веществ – 3200, ледниковый сток – 1500, абразия берегов и дна – 500, эоловый материал – 1600, вулканогенный материал – 2000–3000, всего 27330–28330. Из этих величин видно, что вклад вулканогенного материала в общей массе осадков Мирового океана составляет лишь 6–8%. Даже в зоне активного андезитового вулканизма (наиболее богато эксгальтивным материалом) по периферии Тихого океана вклад вулканического материала в общую массу осадков составляет не более 30%, а в центральной области этого океана (базальтовый подводный вулканизм) не превышает 10%. Значительное количество тонкого вулканического пепла, способного разноситься на большие расстояния, возникает лишь при андезитовом типе вулканизма взрывного характера. Для базальтового вулканизма характерны главным образом спокойные лавовые потоки.

Территория Западной Сибири, как известно, в течение мезозоя и кайнозоя (по крайней мере после нижнего триаса) не представляла собой области активного вулканизма андезитового типа. Триасовые трапповые формации Сибири относятся к базальтовому типу вулканизма. Следовательно, согласно приведенным данным, все отлагавшиеся в Западно-Сибирском бассейне мезозойские и кайнозойские осадки (даже с учетом эолового поступления) не могли содержать в общем случае более 10% вулканического эксгальтивного материала. Об этом же свидетельствуют и минералого-геохимические данные.

Основными литотипами пород осадочного чехла являются песчаники с алевролитами, глины, баженинты, диатомиты и опоки. На севере региона в низах юры и верхах триаса присутствуют гравелиты и конгломераты, а в самых низах триаса – туфы, туффиты, эффузивы. Абсолютно доминирующее значение занимают песчано-алевритовые и глинистые породы (примерно в равном соотношении), доля остальных пород в общей массе не превышает 10–15%.

На большей части ЗСП песчаники осадочного чехла относятся к полимиктовой разновидности. Основными минералами являются полевые шпаты, кварц, слюды (табл. 2). Цементом служит глинистый (каолинит, гидрослюды, хлорит) и карбонатный (кальцит, сидерит) материал. На севере региона песчаники триаса и нижней юры относятся к грауваккам. Содержание обломков пород в них достигает 80% и более. Обломки в граувакках представлены кварцем, кремнистыми сланцами, кварцитами, окремненными эффузивами, туфами, аргиллитами, алевролитами. В составе цемента доминирует железистый хлорит. В алевролитах и глинах нижнего триаса содержание пирокластического (пеплового) материала не превышает (по шлифам) 10–20%, а выше по разрезу его литотипное присутствие почти не фиксируется. В составе пирокластического материала наблюдаются обломки вулканического стекла, кварца, полевых шпатов. Средняя величина эксгальтивного модуля для этого литотипа составляет 10.7. Вариации средних значений по чехлу находятся в пределах 10–17 (см. табл. 1, 2), т.е. находятся в рамках кларковых значений для терригенных отложений без присутствия эксгальтивного вулканического материала.

Глинистые породы относятся к пелитовым и алевропелитовым разностям. Содержание глинистого вещества в них достигает 70–75%, оно слагается смешанослойными смектитовыми образованиями, гидрослюдами, хлоритами, реже присутствует каолинит. На севере региона в глинистом веществе доминируют железистые хлориты и гидрослюды, в связи с чем здесь глины и песчаники имеют (по сравнению с породами центральных районов) более железистый химический состав. Средняя величина эксгальтивного модуля для глин составляет 11.2, а его вариации по чехлу изменяются в пределах от 8 до 14, т.е. также находятся в рамках кларковых значений.

Баженовская свита (титон–берриас) занимает особое положение в разрезе осадочного чехла ЗСП. Она одновременно является региональным флюидоупором, нефтематеринской свитой и вместилищем залежей нефти [4, 7]. Баженинты представляют собой высокобитуминозные кремнисто-глинистые коллекторы в составе баженовской свиты. Породы имеют почти горизонтальное залегание, уровень их катагенеза не превышает стадий МК₁₋₂ (см. табл. 1). При средней мощности 35–40 м и преимущественной глубине залегания

Таблица 2. Состав (мас. %) основных литотипов пород осадочного чехла

Компонент	Песчаники	Глины	Баженинты	Диатомиты	Опоки
Химический состав					
SiO ₂	67.13	57.71	55.26	76.41	82.92
TiO ₂	0.78	0.87	0.51	0.41	0.42
Al ₂ O ₃	14.02	17.11	7.64	8.06	6.23
Fe ₂ O ₃	3.31	4.82	4.03	3.48	3.05
FeO	2.17	3.12	2.03	0.29	0.23
CaO	1.35	1.72	5.12	0.32	0.36
MgO	1.51	1.91	0.93	1.21	1.12
MnO	0.05	0.06	0.03	0.05	0.02
Na ₂ O	2.35	1.38	1.04	0.68	0.49
K ₂ O	2.41	2.52	1.52	1.28	1.15
П.п.п.	4.93	8.21	21.33	7.42	3.86
C _{орг}	0.62	1.25	11.26	0.61	0.56
P ₂ O ₅	0.06	0.09	0.53	0.02	0.06
S _{общ}	0.15	0.79	3.92	0.11	0.11
ЭМ	10.7	11.2	14.1	8.9	9.2
Минеральный состав					
Кв (Оп)	30	9.50	4 (39)	7 (60)	5 (67)
ПШ (Обл)	34 (15)	4.50	2.00	3.00	2.50
ГлМ (Сл)	10 (5)	76	25	27	23
Кб	3.50	4.50	8.00	1.00	1.00
Пт	0.50	2.00	7.00	0.50	0.50
Прочие	2.00	1.50	1.50	1.50	1.00

Примечание. Кв – кварц, Оп – опал (в диатомитах), кристобалит (в опоках), халцедон (в баженинтах), ПШ – полевые шпаты, Обл – обломки пород, ГлМ – глинистые минералы, Сл – слюды, Кб – карбонаты, Пт – пирит, ЭМ – геохимический эксгаллятивный модуль.

2–3 км (на севере до 4 км) свита распространена на большей части территории ЗСП. Она сформировалась в условиях теплого гумидного климата, в период обширной позднеюрской трансгрессии. Это был этап устойчивого тектонического покоя с приоритетом химического выветривания пород на суше. Проявления вулканической деятельности нигде не зафиксированы. Темп поступления терригенного материала был замедленным, превалировало не вулканогенное, а терригенно-био-генное осадконакопление. Содержание органического вещества (см. табл. 2) достигает ныне 10–20% (достигало 50% и более), органогенного кремнезема (опал, халцедон) 40% и более (до 80%), карбонатов 10–20%.

За счет активного химического выветривания пород на суше в баженовский бассейн поступало большое количество кремния, что обеспечивало массовое развитие кремнескелетных организмов (радиолярии и др.), давших большое количество кремнезема и ОВ в осадках. Терригенный материал представлен главным образом глинистым

веществом с преобладанием смешанослойных смектитовых образований в его составе. Специальные исследования [4] обнаруживают их слюдистую, а не пелловую (как в бентонитах) основу. Высокие концентрации микроэлементов в баженинтах связаны с органическим веществом, а не с вулканическим материалом, как считают некоторые геологи [7]. Кларки большинства микроэлементов в вулканических породах основного ряда значительно ниже, чем в осадочных терригенно-био-генных породах. По всему разрезу и площади распространения баженовской свиты (в том числе в районах, близких к обрамлению ЗСП) значения геохимического модуля не превышают 12–15 (табл. 3). Зоны предполагаемого подводного вулканизма нигде достоверно не выявляются, содержание эксгаллятивного материала всюду не выходит за пределы кларковых значений для терригенных пород.

Рассматриваемые диатомиты и опоки приурочены соответственно к эоценовой и сенонской кремнистым формациям в составе осадочного

Таблица 3. Содержание микроэлементов в породах баженовской свиты, 10^{-4} %

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	По свите	Кларк
Li	49	13	6	5	9	11	67	24	15
B	92	55	42	51	67	59	85	70	5.1
V	337	450	315	308	199	551	325	317	200
Cr	100	110	65	46	90	131	405	160	200
Co	37	25	23	21	18	21	31	25	45
Ni	172	215	177	206	168	306	130	173	160
Cu	146	158	103	83	69	132	135	109	100
Ga	13	6	5	5	6	7	23	11	18
Zr	201	185	109	115	169	185	300	210	100
Mo	164	90	69	80	68	75	3	66	1.4
Pb	17	11	4	4	8	10	17	17	8.1
U	35	46	46	45	44	48	5	32	0.5
ЭМ	13.2	12.1	12.8	11.7	9.8	8.9	10.4	10.8	Н.о.

Примечание. 1 – Красноленинский, 2 – Салымский, 3 – Сургутский, 4 – Вартовский, 5 – Каймысовский, 6 – Губкинский, 7 – Тазовский районы. Н.о. – не определялось. ЭМ – эксгальтивный геохимический модуль. Кларк приведен по А.П. Виноградову для основных пород.

чехла ЗСП [5]. Обе формации имеют широкое площадное распространение (до 1 млн. км²) и значительную мощность (сотни метров). Глубина их залегания не превышает 300–400 м (эоцен) и 700–800 м (сенон). Во многих местах диатомиты выходят на поверхность, где представляют собой легкодоступные месторождения кремнистого сырья. Толщи сохраняют исходное залегание, породы не метаморфизированы, уровень их литификации находится в пределах подстадий ПК₁–ПК₃ (см. табл. 1). Условия формирования этих формаций имеют много общих черт с таковыми баженовской толщи (тектонический покой, теплый климат, приоритет биогенной седиментации и др.). И здесь, и там кремний поступал в бассейн седиментации за счет химического выветривания пород на суше (вулканическая деятельность не фиксируется), его обилие способствовало массовому развитию кремнескелетных диатомей, послуживших в осадках основным источником кремния для диатомитов и опок. Среднее содержание кремнезема в диатомитах составляет 75–77%, в опоках – 83–85%, основными минералами являются соответственно опал и кристобалит (см. табл. 2). Переход опала в кристобалит (и далее в халцедон) происходит уже на ранних стадиях литогенеза осадков без всякого влияния вулканической деятельности. Эксгальтивный модуль для этих пород не превышает 9–10, т.е. находится на нижней границе значений для терригенных пород.

Таким образом, проведенные литогеохимические исследования в комплексе с геологическими, тектоническими и палеогеографическими данными однозначно указывают на весьма ограниченный вклад вулканического (эксгальтивного) пирокластического материала (преимущественно дальний эоловый привнос) в состав отложений

осадочного чехла Западно-Сибирской плиты, а отсюда следует и его малосущественное влияние на коллекторские, экранирующие и другие свойства пород. Известные концепции о проявлении в регионе активной вулканической деятельности (в том числе подводной) в мезозойско-кайнозойское время (по крайней мере, после раннего триаса) требуют обстоятельного обоснования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К. и др.* Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975. 680 с.
2. Геология и нефтегазоносность Надым-Пур-Тазовского междуречья. Труды конференции / Под ред. Н.Х. Кулахметова, Б.В. Никулина. Тюмень; Тарко-сале: ЗапСибНИГНИ, 1995. 258 с.
3. Тюменская сверхглубокая скважина. Сборник научных докладов / Под ред. В.Б. Мазура. Пермь: КамНИИКИГС, 1996. 376 с.
4. *Нестеров И.И., Ушатинский И.Н., Малыхин А.Я. и др.* Нефтегазоносность глинистых пород Западной Сибири. М.: Недра, 1987. 256 с.
5. Опалиты Западной Сибири. Сборник научных трудов / Под ред. П.П. Генералова. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1987. 155 с.
6. *Ван А.В., Казанский Ю.П.* Вулканокластический материал в осадках и осадочных породах. Новосибирск, Наука, 1985. 128 с.
7. *Гурари Ф.Г., Вайц Э.Я., Меленевский В.Н. и др.* Условия формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты. М.: Недра, 1988. 200 с.
8. *Страхов Н.М.* Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. М.: Наука, 1976. 300 с.
9. *Ушатинский И.Н., Рыльков А.В.* // Отеч. геология. 2002. № 1. С. 8–13.