

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ

УДК 551.26

НЕОДНОРОДНОСТЬ ИСТОЧНИКОВ КЛАСТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД ТАУХИНСКОГО АККРЕЦИОННОГО КОМПЛЕКСА (СИХОТЭ-АЛИНЬ) НА РАННИХ СТАДИЯХ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ



С.Л. Медников¹, Н.Н. Крук¹, В.В. Голозубов²

¹Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

Дана геохимическая характеристика песчаников верхнего структурного уровня Таухинского аккреционного комплекса (Устиновский субтеррейн) Южного Сихотэ-Алиня. Доказано резкое различие состава и источников кластического материала турбидитов, проявленных в двух дискретных ареалах. Установлено, что ранняя стадия формирования таухинского комплекса не сопровождалась вулканической активностью. Терригенные породы имели локальные источники кластического материала.

Ключевые слова: Аккреционные комплексы, терригенные породы, источники кластического материала, геохимия, изотопная геохимия, Сихотэ-Алинь.

Введение

Аккреционные комплексы, образующиеся на конвергентных границах литосферных плит, включают в себя как породные ассоциации, сформированные в океанах (Ocean Plate Stratigraphy, OPS [Isozaki et al., 1990; Maruyama et al., 2010]), так и терригенные толщи континентального источника. Комплексное изучение таких объектов позволяет понять особенности геологических процессов, происходивших в зонах взаимодействия океанических и континентальных плит. Весьма информативным объектом в этих случаях являются толщи турбидитов, играющие роль матрикса аккреционных комплексов. Несмотря на то, что формирование таких толщ сопровождается эффективным усреднением материала, особенности состава осадочных пород зачастую дают информацию не только о природе и возрасте континентальных блоков, но и о локальных геологических процессах, протекавших как в момент формирования осадочных толщ, так и на предшествующих этапах геологической истории. В данной статье это демонстрируется на примере осадочных пород двух локальных районов в Таухинском террейне (южный Сихотэ-Алинь).

Сихотэ-Алинский орогенный пояс представляет собой коллаж юрских и раннемеловых террейнов различной природы, причлененных к восточной окраине Азиатского материка в мезозое. Западную часть пояса занимают фрагменты юрских аккреционных призм (врезка на рис. 1). В восточной части сосредоточены раннемеловые блоки различной природы. В их число входит Таухинский террейн –

фрагмент аккреционной призмы, локализованный в юго-восточной прибрежной части Приморья.

В строении Таухинского террейна выделяются два структурных этажа. Верхний этаж образован слабдеформированными вулканогенно-осадочными образованиями позднего мела – кайнозоя. Нижний структурный этаж сложен интенсивно дислоцированными мезозойскими образованиями Таухинского аккреционного комплекса.

По данным В.И. Голозубова и соавт. [Голозубов и др., 2006], в составе Таухинского аккреционного комплекса выделяются три крупных тектонических пакета пластин (субтеррейна), имеющие, в целом, близкий возраст, но различающиеся строением и составом образующих эти пластины пород. Это Силинский, Горбушинский и Устиновский субтеррейны (пакеты пластин), которые, перекрывая друг друга, смяты в одном структурном плане. Две нижние структурные единицы (Силинский и Горбушинский пакеты) включают фрагменты океанической литосферы (базальты, кремни, известняки, кремнистые алевролиты) позднепалеозойского–раннемезозойского возраста, перекрытые толщами раннемеловых турбидитов и олистостром. Устиновский пакет, образующий верхнюю структурную единицу, сложен терригенной толщей бериасского возраста, включающей песчаники, алевролиты и конгломераты.

Внутреннее строение Таухинского комплекса типично для аккреционных призм: более древние породы занимают верхние части разреза и подстилаются более молодыми [Геодинамика..., 2006]. Таким образом, отложение осадочных толщ Устиновского субтеррейна маркировало раннюю (начальную) стадию формирования аккреционного комплекса.

Образования Таухинского комплекса проявлены в тектонических окнах среди позднемеловых – кайнозойских пород верхнего структурного этажа. Доступные для наблюдения обнажения протягиваются прерывистой полосой в северо-восточном направлении

на расстояние около 300 км при ширине до 70 км. Отложения Устиновского пакета доступны для непосредственного изучения в двух районах: к югу от п. Кавалерово, севернее перевала Базовый, и в районе д. Щербаковка по долине р. Аввакумовка (рис. 1).

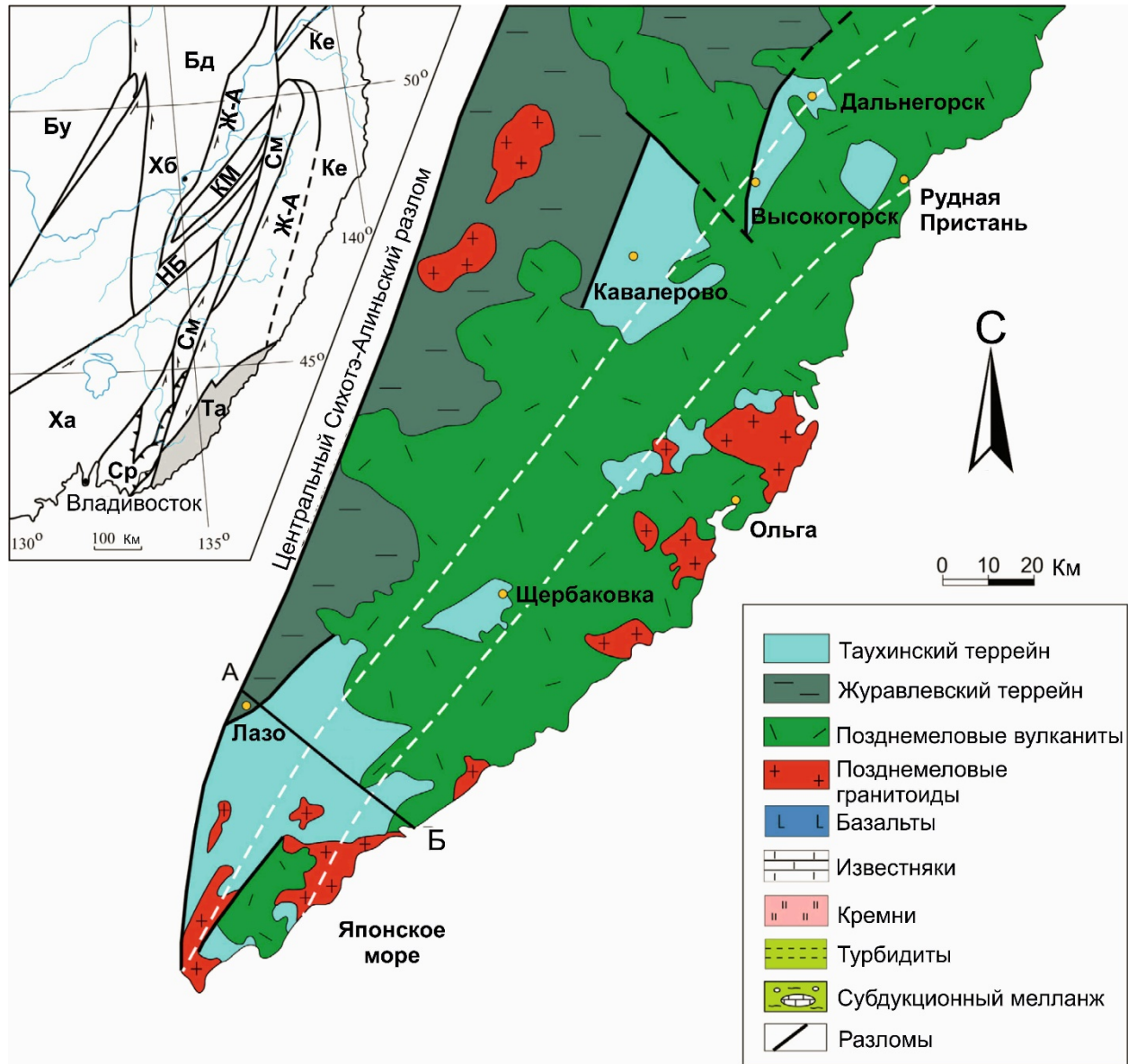


Рис. 1. Тектоно-стратиграфическая схема Таухинского террейна [Khanchuk et al., 2016]

Условные обозначения для врезки: КМ – Киселевско-Маноминский террейн; Ке – Кемский террейн; Ж-А – Журавлевско-Амурский террейн; Та – Таухинский террейн; См – Самаркинский террейн; НБ – Наданьхада-Бикинский террейн; Бд – Баджалский террейн; Хб – Хабаровский террейн; Ср – Сергеевский террейн; Бу – Буреинский супертеррейн

Fig. 1. Tectonic-stratigraphic scheme of the Taukhinsky terrane [Khanchuk et al., 2016]

Legend for sidebar: KM – Kiselevka-Manoma terrane; Ke – Kema terrane; Zh-A – Zhuravlevka-Amur terrane; Ta – Taukha terrane; Sm – Samarka terrane; Nb – Nadanhada-Bikin terrane; Bd – Badzhal terrane; Kh – Khabarovsk terrane; Sr – Sergeevka terrane; Bu – Bureya terrane

Отложения первого (северного) ареала описаны как устиновская толща, второго (южного) – как таухинская свита [Голозубов, Ханчук, 1995; Голозубов и др., 2006].

Устиновская толща и таухинская свита образованы турбидитами, но имеют, как будет показано ниже, существенно разный состав пород и разные источники кластического материала.

Методы исследования

Осадочные разрезы устиновской толщи и таухинской свиты были опробованы в стратотипических местностях: севернее перевала Базовый и в районе д. Щербаковка (см. рис. 1). Для изучения вещественного состава и изотопных характеристик выбирались наименее выветрелые пробы пород, в наименьшей степени подверженные поздним изменениям (последний фактор контролировался изучением петрографических шлифов). Геохимические исследования выполнены в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Содержания петрогенных компонентов определены методом РФА на спектрометре ARL-9900 XL (аналитики – Н.М. Глухова, Н.Г. Карманова и А.Н. Таряник) по стандартной методике. Содержания редких и редкоземельных элементов определены методом ICP-MS на приборе FINIGAN ELEMENT (аналитики – И.В. Николаева, С.В. Палесский) по методике [Николаева и др., 2008].

Sm-Nd изотопные исследования выполнены по валовым пробам в Геологическом институте Кольского научного центра РАН (Апатиты, Россия) на семиканальном масс-спектрометре Finnigan-MAT-262 (RPQ) в статическом двухленточном режиме, с использованием ренийевых и танталовых лент по методике [Баянова, 2004]. Нормирование изотопных отношений Nd выполнено по отношению $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$. Ошибка в $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ отношениях составляла 0,3 % (2 σ). Холостое загрязнение на период измерений составило 0,06 нг для Sm и 0,3 нг для Nd. Среднее значение отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в стандарте JNd₁-1 за период измерений составило $0,512090 \pm 13$ (N = 15). Значение параметра $\epsilon\text{Nd}(T)$ рассчитано относительно однородного хондритового резервуара (CHUR) с современными характеристиками $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512638$; $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,1967$ [Jacobsen, Wasserburg, 1984]. Модельные возрасты TNd(DM) вычислены по данным [Goldstein, Jacobsen, 1988] для резервуара деплетированной мантии с $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_0 = 0,513151$ и $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,21365$.

Результаты исследований

Песчаники северного ареала (устиновской толщи) характеризуются высокой кремнекислотностью (70,98–76,61 мас. % SiO₂ при среднем содержании около 73,64 мас. %). Для пород типичны низкие содержания фемических элементов и кальция, умеренные – глинозема (таблица). Содержания щелочей варьируют в довольно широких пределах (Na₂O – 2,06–3,15 мас. %; K₂O – 1,73–2,31 мас. %). Отношение K₂O/Na₂O меняется от 0,8 до 1,18.

Редкоэлементный состав пород сильно варьирует. Общей особенностью являются пониженные в сравнении со средним составом постархейского глини-

стого сланца (PAAS) [Тейлор, МакЛеннан, 1988] концентрации крупноионных литофильных (LILE), редкоземельных (REE) и большинства высокозарядных (HFSE) элементов (таблица). Содержания Zr, Hf и Y в наименее кремнекислых породах (70–71 % SiO₂) достигают уровня, характерного для PAAS и даже превышают его (таблица), а с ростом кремнекислотности резко снижаются. Аналогичным образом ведут себя и другие несовместимые элементы, однако вариации их концентраций не столь значительны (таблица).

Для пород характерны асимметричные спектры распределения REE (рис. 2, а) с преобладанием легких лантаноидов над тяжелыми: отношение $(\text{La}/\text{Yb})_N$ закономерно варьирует от 7,6 до 10. В спектрах присутствует отчетливый европиевый минимум. На мультиэлементных спектрах присутствуют отчетливые минимумы по Nb, Ta и Ti (рис. 2, б).

Для песчаников устиновской толщи характерны резко отрицательные значения ϵNd_t (–16,3) и модельный Nd возраст около 2,0 млрд лет [Ханчук и др., 2013].

Песчаники таухинской свиты (южный ареал) характеризуются более низкой кремнекислотностью (63,74–68,88 мас. % SiO₂ при среднем содержании около 66 мас. %). В сравнении с породами устиновской свиты они обогащены фемическими компонентами, кальцием, в меньшей степени – глиноземом. Также для них характерна натровая специализация щелочей (мас. %): Na₂O 3,01–3,42; K₂O 1,5–1,71; K₂O/Na₂O 0,44–0,56.

Редкоэлементный состав песчаников характеризуется невысокими концентрациями LILE и HFSE, пониженными как относительно PAAS, так и в сравнении с породами северного ареала, за исключением их наиболее кремнекислых разностей (таблица). Содержание PЗЭ также значительно ниже, чем в породах северного ареала (78–96 г/т). Спектры распределения PЗЭ менее дифференцированные $((\text{La}/\text{Yb})_N = 5,6–5,9)$, европиевый минимум проявлен слабее (рис. 2, в). Форма мультиэлементных диаграмм для песчаников таухинской свиты и устиновской толщи практически идентична (рис. 2, б, д). Закономерных изменений концентраций несовместимых элементов в зависимости из кремнекислотности пород в южном ареале не наблюдается.

Изотопный состав неодима в песчаниках таухинской свиты ($^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,1279$; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512626 \pm 9$) значимо более радиогенный, чем в породах устиновской: значения ϵNd_t положительные (+0,8), модельный Nd возраст – 0,94 млрд лет.

Обсуждение результатов

На диаграмме [Herron, 1988] для терригенных пород фигуративные точки преимущественно сконцен-

трированы в поле вакк. При этом составы песчаников таухинской свиты смещены к области глинистых сланцев относительно песчаников устиновской толщи, составы которых тяготеют к области лититов (рис. 3, а).

**Содержания петрогенных (мас. %), редких и редкоземельных (г/т) элементов
в песчаниках Устиновского субтеррейна**

**The content of petrogenic (wt. %), rare and rare earth (ppm) elements
in the sandstones of the Ustinovsky subterrane**

№ Пр.	PAAS	18-2	18-3	18-6	19-1	20-3	20-4	20-7	28-4	28-6	28-8
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	62,80	71,91	70,98	74,46	71,12	74,94	76,61	75,47	68,88	66,58	63,74
TiO ₂	1	0,58	0,59	0,49	0,34	0,46	0,4	0,4	0,5	0,57	0,57
Al ₂ O ₃	18,90	12,87	13,41	11,88	13,5	10,19	10,76	11,09	12,64	12,94	12,48
Fe ₂ O ₃ *	7,18	4,23	4,31	4,06	2,83	3,5	3,93	3,47	4,22	5,38	4,58
MnO	0,11	0,05	0,04	0,04	0,06	0,09	0,05	0,03	0,12	0,12	0,19
MgO	2,20	1,02	1,11	0,96	0,52	1,14	1,09	1,02	1,53	1,67	1,63
CaO	1,30	0,81	0,71	0,52	1,83	1,49	0,42	0,57	2,15	2,41	4,55
Na ₂ O	1,20	2,06	2,13	2,02	3,15	2,08	2,24	2,24	3,42	3,04	3,01
K ₂ O	3,70	2,13	2,31	1,94	3,71	1,73	1,79	2,1	1,5	1,71	1,69
P ₂ O ₅	0,16	0,15	0,14	0,12	0,07	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12	0,11
п.п.п.	6	3,01	3,26	2,61	1,86	3,12	2,29	2,42	3,79	4,57	6,35
Сумма	99,9	98,9	99,09	99,2	99,18	98,98	99,75	99	99,09	99,21	99,04
Rb	160	92	94	78	125	62	65	54	50	61	53
Cs	15	9,3	9,3	8,6	9,0	2,1	2,6	1,4	7,1	8,0	6,2
Sr	200	101	101	83	176	165	110	143	206	178	252
Ba	650	410	434	451	646	323	282	296	144	169	170
Y	27	27	27	25	37	19	17	16	20	22	20
Zr	210	357	323	305	194	264	144	108	153	166	130
Nb	19	11,5	11,4	11,2	15,3	6,2	6,6	4,9	5,6	7,2	5,2
Hf	5	8,3	7,6	9,3	6,8	5,9	4,7	2,6	4,9	5,3	3,1
Ta	1,2	0,9	0,9	0,8	1,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4
Th	14,6	12,7	12,1	13,1	16,2	7,4	6,5	5	5,7	6,3	4,4
U	3,1	2,7	2,7	2,7	3,9	1,5	1,6	1,3	1,5	1,6	1,3
Sc	16	9	10	8	7	10	8	9	11	78	13
Co	23	8	8	9	4	11	10	10	10	17	14
La	38	32,37	32,64	30,04	37,95	21,95	15,69	17,28	16,77	18,2	15,2
Ce	80	62,27	62,64	59,38	75,81	42,47	31,74	31,84	32,70	36,62	30,31
Pr	8,9	7,58	7,52	7,28	9,42	5,35	3,97	4,12	4,26	4,78	3,8
Nd	32	26,28	26,99	26,63	31,85	19,35	14,66	14,83	16,12	18,22	14,33
Sm	5,60	4,72	4,87	5,35	6,82	3,52	3,07	2,84	3,71	4,01	2,81
Eu	1,10	0,75	0,75	0,98	1,27	0,67	0,79	0,59	0,92	0,95	0,66
Gd	4,70	4,49	4,45	4,93	6,43	3,24	3,32	2,67	3,26	3,68	2,82
Tb	0,77	0,72	0,71	0,66	0,84	0,51	0,44	0,43	0,53	0,5	0,48
Dy	4,40	4,12	3,92	4,10	5,74	2,95	2,7	2,36	3,28	3,5	2,87
Ho	1	0,78	0,78	0,82	1,16	0,57	0,6	0,48	0,74	0,75	0,57
Er	2,90	2,24	2,24	2,39	3,56	1,7	1,6	1,32	2,06	2,22	1,7
Tm	0,40	0,36	0,36	0,35	0,55	0,25	0,22	0,2	0,31	0,35	0,27
Yb	2,80	2,18	2,27	2,1	3,35	1,65	1,31	1,2	2,00	2,2	1,73
Lu	0,43	0,33	0,33	0,33	0,49	0,24	0,2	0,18	0,3	0,32	0,24

Примечание. 1 – постархейский австралийский глинистый сланец, 2–8 – песчаники северного ареала (устиновская толща, окрестности п. Кавалеро), 9–11 – песчаники южного ареала (таухинская свита, окрестности д. Щербаковка). Fe₂O₃* – суммарное железо в форме Fe₂O₃.

Note. 1 – post-archean australian shale, 2–8 – sandstones of the northern area (Ustinovskaya strata, environs of the village of Kavalero), 9–11 – sandstones of the southern area (the Taukhinsky suite, environs of the village of Shcherbakovka). Fe₂O₃* – total Fe as Fe₂O₃.

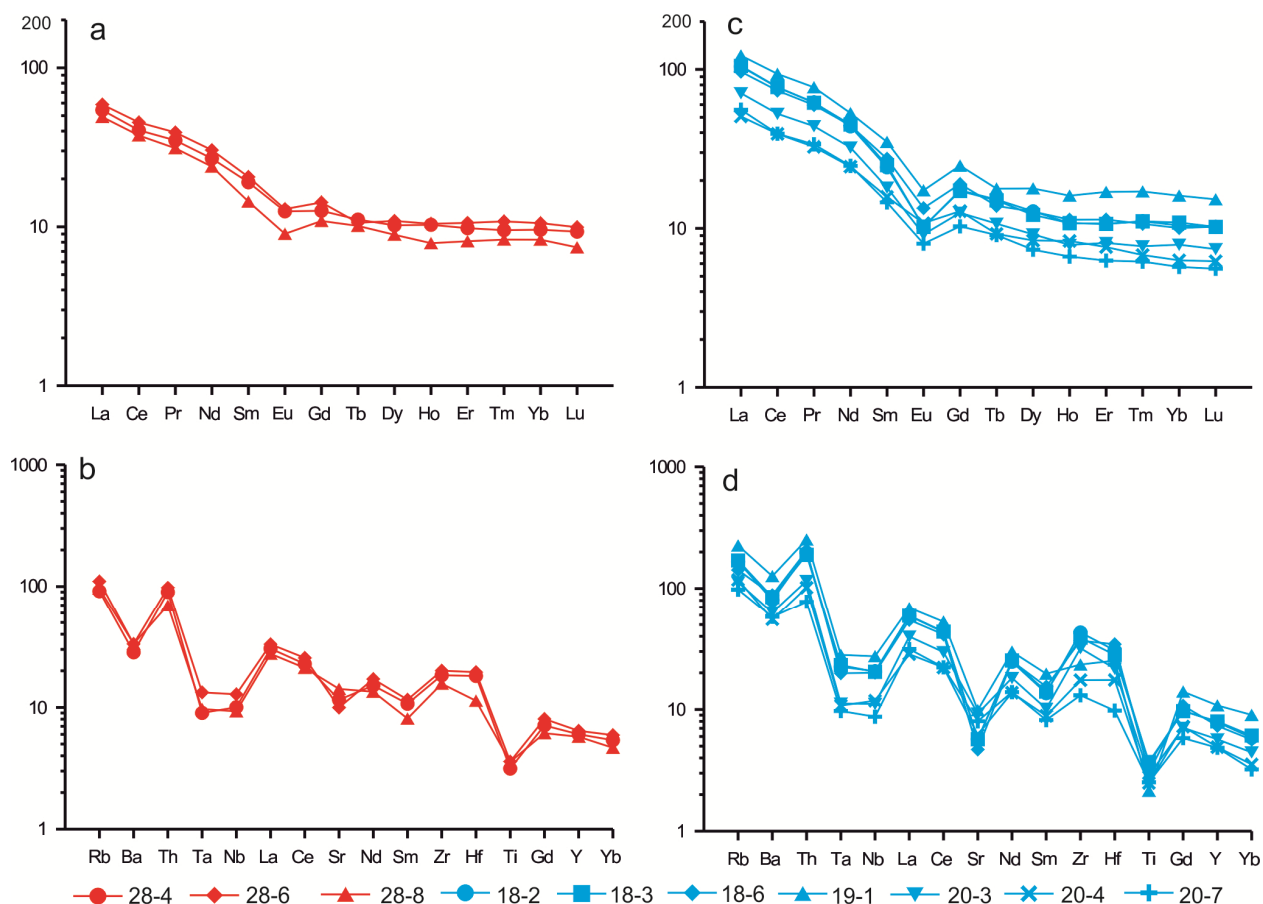


Рис. 2. Спектры распределения редкоземельных элементов в песчаниках Устиновского субтеррейна
a, b – южный ареал; *c, d* – северный ареал. Спектры распределения РЗЭ нормированы по составу хондрита [Boyton, 1984], мультиэлементные диаграммы – по составу примитивной мантии [Taylor, McLennan, 1985]

Fig. 2. The REE distribution spectra in the sandstones of the Ustinovsky subterranean

a, b – southern range; *c, d* – northern area. The REE distribution spectra are normalized by the composition of chondrite [Boyton, 1984], multi-element diagrams – by the composition of the primitive mantle [Taylor, McLennan, 1985]

На диаграмме отношения индекса интенсивности химического выветривания (CIA) и индекса зрелости осадков (ICV) [Nesbitt, Young, 1982] песчаники северного ареала относятся к зрелым отложениям от слабо до интенсивно выветрелых. Песчаники южного ареала соответствуют незрелым отложениям (рис. 3, *b*). Таким образом, породы северного ареала имеют литогенную природу, в то время как песчаники таухинской свиты – преимущественно петрогенные отложения.

На диаграмме [Roser, Korsch, 1986], предназначенной для реконструкции обстановок формирования осадочных толщ, фигуративные точки составов песчаников устиновской толщи попадают в область пассивных континентальных окраин, таухинской свиты – в поля активных континентальных окраин и океанических островных дуг (рис. 4, *a*). На диаграммах [Bhatia, 1983] точки составов песчаников северного ареала преимущественно сконцентрированы в поле активных континентальных окраин, южного – в поле

континентальных островных дуг (рис. 4, *b*). В целом перечисленные данные указывают на то, что породы северного ареала в максимальной степени соответствуют продуктам размыва рециклированных орогенов с дополнительным вкладом молодого (позднепалеозойского–раннемезозойского) магматического материала преимущественно кислого состава. В области питания южного ареала диагностируется значительно более высокая доля низкокремнистого петрогенного ювенильного компонента.

На бинарных диаграммах (рис. 5, *a–d*) отчетливо наблюдаются дискретные тренды эволюции редкоэлементного состава пород с изменением их кремнекислотности. Следовательно, наблюдаемые различия вещественного состава обусловлены не различной долей в источнике кластического материала одного и того же спектра пород, а разницей в составе питающих областей осадконакопления.

Дополнительную информацию об источниках сноса осадочного материала дают результаты изуче-

ния возраста и изотопных характеристик детритовых цирконов. Эти данные для песчаников устиновской толщи и таухинской свиты опубликованы в работах [Kai et al., 2017] и [Tsutsumi et al., 2016] соответственно. Синтез данных приведен на рис. 6. Из рис. 6 видно, что песчаники обоих ареалов характеризуются близким набором возрастов детритовых цирконов. Для них характерны две группы возрастов: палеозой-мезозойские и докембрийские. Среди последних преобладают цирконы с возрастом 1 800–2 500 млн лет, встречаются единичные более древние зерна. Большая часть фанерозойской популяции цирконов имеет

юрские и позднепермские возрасты, в подчиненном количестве присутствуют пермские, раннетриасовые, редко – девон-каменноугольные.

Анализируя распределение возрастов детритовых цирконов в песчаниках северного и южного ареалов необходимо отметить два момента. Во-первых, наиболее молодой пик цирконов для обоих ареалов имеет возраст 171–165 млн лет. Эта дата соответствует середине юрской эпохи (ааленский – батский века) и значительно древнее возраста осадочных толщ, определенного палеонтологическими методами (не древнее раннего берриаса [Коновалов, 1971]).

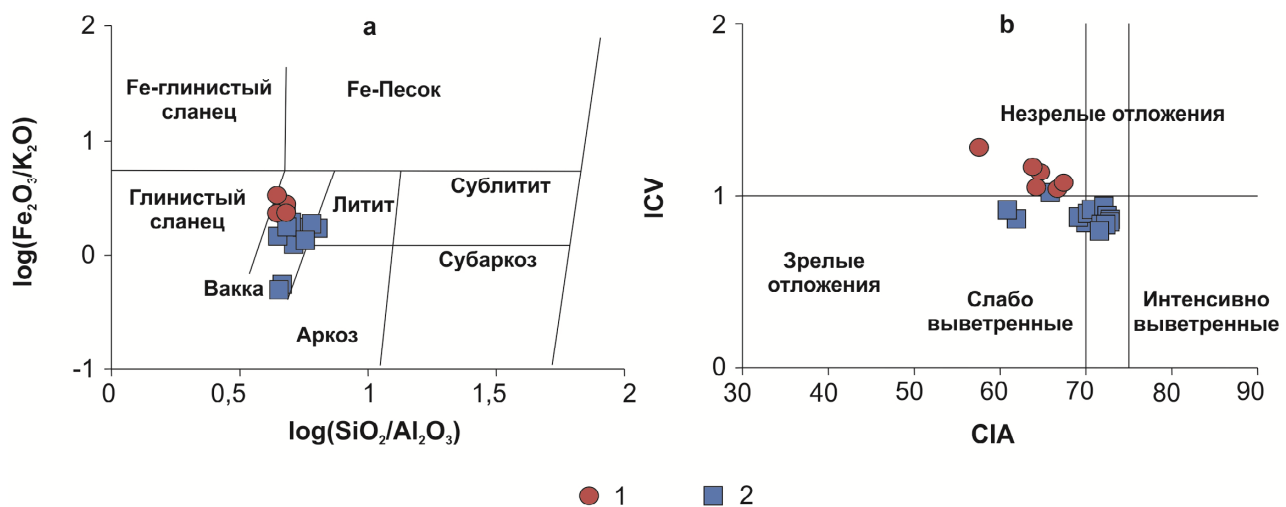


Рис. 3. Классификационные диаграммы для терригенных пород

a – по [Herron, 1988]; *b* – диаграмма ICV-CIA [Nesbitt, Young, 1982]. Песчаники: 1 – южный ареал; 2 – северный ареал

Fig. 3. Classification diagrams for terrigenous rocks

a – by [Herron, 1988]; *b* – ICV-CIA diagram by [Nesbitt, Young, 1982]. Sandstones: 1 – southern area; 2 – northern range

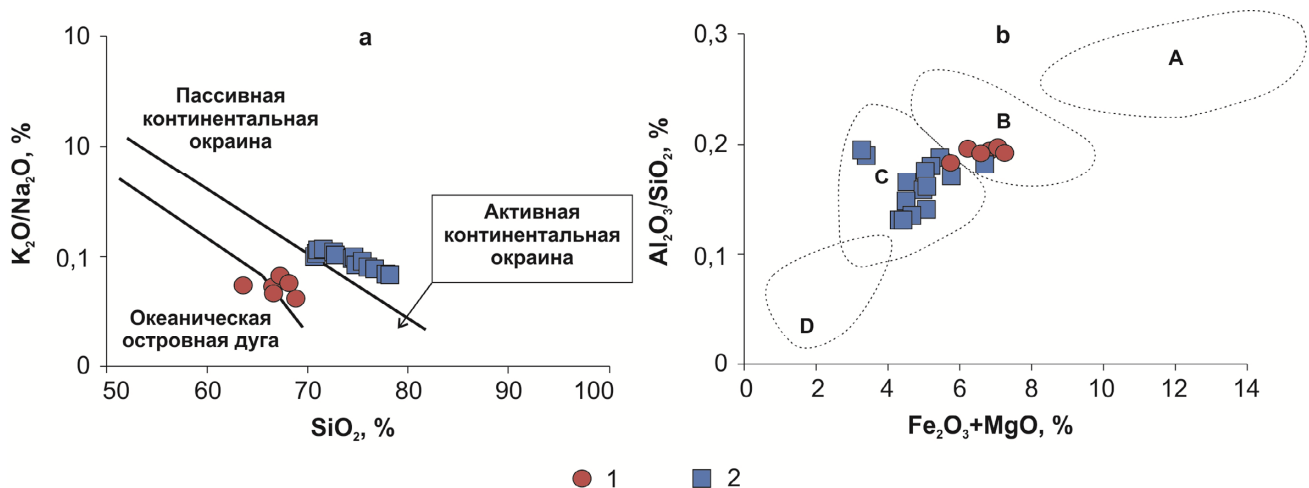


Рис. 4. Диаграммы для реконструкции геодинамических обстановок формирования

a – [Roser, Korsch, 1986]; *b* – [Bhatia, 1983]. Песчаники: 1 – южный ареал; 2 – северный ареал. А – пассивная континентальная окраина; В – активная континентальная окраина; С – континентальная островная дуга; D – океаническая островная дуга

Fig. 4. Diagrams for reconstruction of geodynamic formation conditions

a – [Roser, Korsch, 1986]; *b* – [Bhatia, 1983]. Sandstones: 1 – southern area; 2 – northern range. A – passive continental margin; B – active continental margin; C – continental island arc; D – oceanic island arc

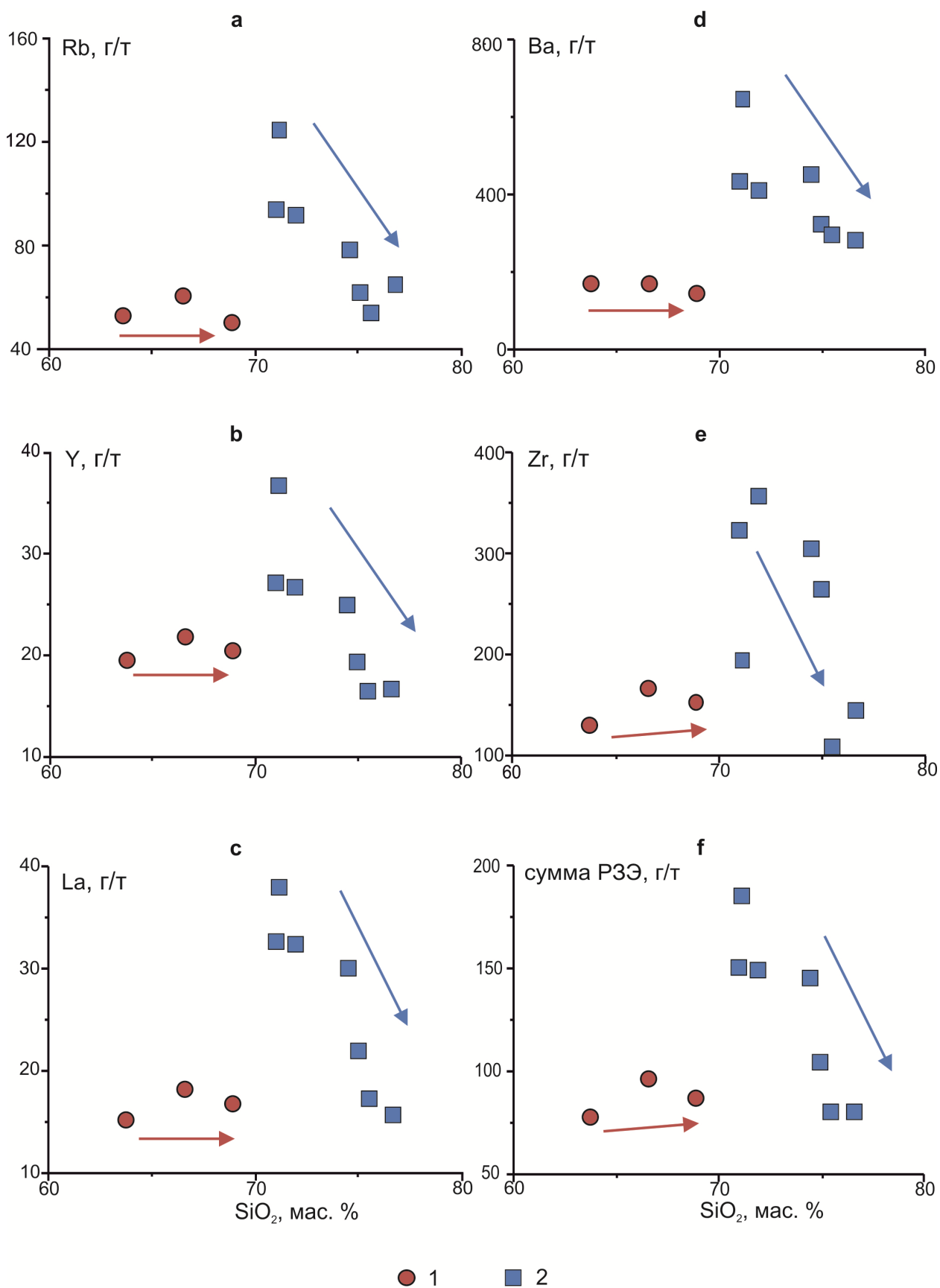


Рис. 5. Диаграммы эволюции редкоземельного состава пород Устиновского субтеррейна
Песчаники: 1 – южный ареал; 2 – северный ареал

Fig. 5. Rare-earth evolution diagrams of Ustinovsky subterrane rocks
Sandstones: 1 – southern area; 2 – northern range

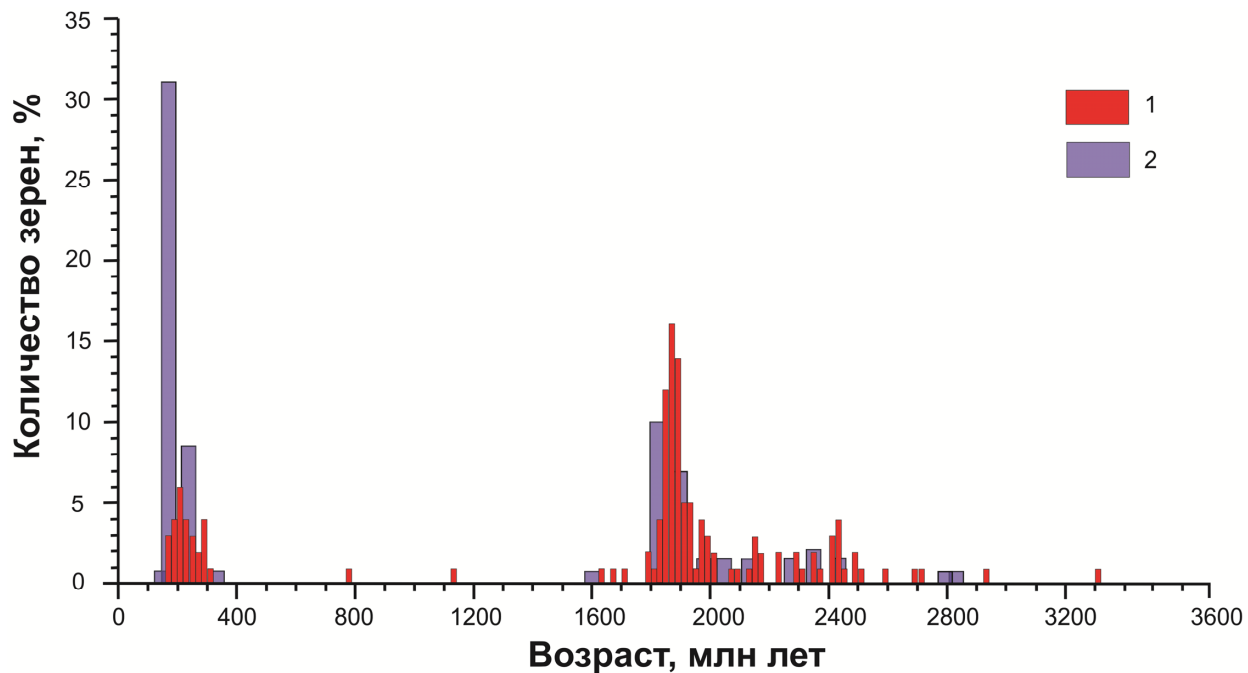


Рис. 6. Распределение U-Pb возрастов цирконов из песчаников Устиновского субтеррейна северного и южного ареалов

Песчаники: 1 – южный ареал; 2 – северный ареал

Fig. 6. Distribution of U-Pb zircon ages from sandstones of the Ustinovsky subterranean of the northern and southern ranges

Sandstones: 1 – southern area; 2 – northern range

В пробе Sal-58 песчаника устиновской толщи (северный ареал) обнаружено также три более молодых зерна цирконов (145, 156 и 163 млн лет), однако они не образуют единого кластера и, как следствие, не маркируют сколько-нибудь масштабного эндогенного события. Из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что начальные стадии формирования Таухинского аккреционного комплекса (образование Устиновского субтеррейна, берриас) не сопровождалось активным вулканизмом.

Второй момент, который необходимо принять во внимание, состоит в резком различии количественного соотношения молодых и древних цирконов в породах устиновской толщи и таухинской свиты. В северном ареале цирконы фанерозойского возраста составляют до 60 % изученной популяции, причем половина из них имеет позднетриасовый – юрский возраст. В породах южного ареала, напротив, преобладают докембрийские цирконы, в то время как доля зерен мезозойского возраста не превышает 15 % (см. рис. 6).

Изотопный состав гафния в триас-юрских цирконах северного ареала демонстрирует резкое преобладание низких отрицательных значений ϵ_{Hf} (–9...–23) и древние (>6 млрд лет) модельные Hf возрасты [Kai et al., 2017]. Как следствие, необходимо предполагать, что это цирконы кислых магматических

пород, образованных при плавлении древней (палеопротерозойской) континентальной коры.

Сравнение данных по двум изученным ареалам выявляет несоответствие геохимических и изотопных характеристик пород, с одной стороны, и возрастов содержащихся в них детритовых цирконов – с другой. Более низкая кремнекислотность и калиево-ность, преобладание петрогенных пород, пониженные содержания несовместимых элементов и относительно радиогенный состав неодима в песчаниках южного ареала указывают на значительную роль в их источнике деплетированного компонента с «ювенильными» изотопными характеристиками, представленного магматическими породами. В то же время доля фанерозойских (в первую очередь мезозойских) цирконов в этих породах существенно ниже, чем в песчаниках северного ареала.

С точки зрения авторов, такое противоречие может иметь только одно объяснение: «ювенильные» магматические породы, входившие в число источников кластического материала песчаников южного ареала, должны были содержать значительно меньшее количество циркона, нежели обычные гранитоиды и/или кислые вулканы, преобладавшие в источнике пород устиновской толщи (либо не содержать его вовсе). Общеизвестно, что минимальные

содержания цирконов характерны для основных и ультраосновных пород нормальной щелочности. Подобные породы широко распространены на активных окраинах континентов, и есть все основания рассматривать в качестве дополнительного источника кластического материала именно их. Имеющиеся данные позволяют оценить, в первом приближении, состав этих пород.

Песчаники таухинской свиты характеризуются невысокими концентрациями магния и глинозема, что позволяет уверенно исключить из списка вероятных источников кластики кумулусные ультрабазиты (дуниты, пироксениты или анартозиты). Широкое распространение в осадках древних цирконов указывает на континентальную природу блока, под который происходило погружение океанической литосферы. Следовательно, толеитовые и (или) бонинитовые вулканические серии, типичные для океанических дуг, также могут быть исключены из рассмотрения. Концентрации HFSE и PЗЭ в песчаниках с ростом кремнекислотности изменяются достаточно слабо, степень избирательного обеднения высокозарядными элементами (Nb, Ta, Ti) также практически не зависит от кремнекислотности пород и не отличается значимо от наблюдаемой в породах устиновской толщи. Следовательно, искомые породы должны иметь умеренные (близкие к кларковым для базальтов) концентрации несовместимых элементов и обладать «островодужными» геохимическими метками. Этим условиям в максимальной степени отвечают известково-щелочные базальты и андезибазальты (либо их интрузивные аналоги), которые и

являются наиболее вероятным источником «ювенильного» материала.

Вопрос о возрасте этого «ювенильного» материала остается открытым. Как правило, известково-щелочные базальты и андезибазальты (и, тем более, габброиды) все же содержат небольшие количества циркона. Отсутствие в проанализированной выборке цирконов с возрастом моложе 170 млн лет позволяет предположить юрский возраст основных пород (на этом этапе субдукция океанической литосферы под край континента происходила вдоль всей Тихоокеанской окраины Азии). Однако окончательное решение этого вопроса требует дополнительных исследований.

Заключение

Проведенные исследования осадочных пород верхнего структурного уровня Таухинского аккреционного комплекса (Устиновский субтеррейн или тектонический пакет) показали значимые различия в источниках кластического материала для пород двух пространственно изолированных ареалов. В целом полученные данные указывают, что начальный этап формирования Таухинского аккреционного комплекса не сопровождался активным магматизмом, а источники кластического материала имели локальный характер и существенно различались для северного и южного ареалов.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 14.Y26.31.0018).

ЛИТЕРАТУРА

- Баянова Т.Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма // СПб. : Наука, 2004. 174 с.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / под ред. чл.-корр. РАН А.И. Ханчука. Владивосток : Дальнаука, 2006. 1033 с.
- Голозубов В.В., Ханчук А.И. Таухинский и Журавлевский террейны (Южный Сихотэ-Алинь) – фрагменты раннемеловой Азиатской окраины // Тихоокеанская геология. 1995. Т. 14, № 2. С. 13–25.
- Голозубов В.В., Ханчук А.И., Кемкин И.В. и др. Сихотэ-Алинь-Северо-Сахалинский орогенный пояс // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / под ред. А.И. Ханчука. Владивосток : Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 161–202.
- Коновалов В.П. Берриасские и валанжинские отложения Прибрежной зоны Сихотэ-Алиня // Информационный сборник ПГУ. 1971. № 7. С. 12–18.
- 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.
- Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М. : Мир, 1988. 383 с.
- Ханчук А.И., Крук Н.Н., Голозубов В.В., Ковач В.П., Серов П.А., Холоднов В.В., Гвоздев В.И., Касаткин С.А. Природа континентальной коры Сихотэ-Алиня (по данным изотопного состава Nd в породах Южного Приморья) // Доклады Академии наук. 2013. Т. 451, № 4. С. 441–445.
- Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // The Journal of Geology. 1983. V. 91. P. 611–627.
- Boynton W.V. Geochemistry of rare earth elements: meteorite studies // P. Henderson (ed.). Rare earth elements geochemistry. Elsevier Acad. Press., 1984. P. 63–114.
- Isozaki Y., Maruyama S., Fukuoka F. Accreted oceanic materials in Japan // Tectonophysics. 1990. V. 181. P. 179–205.
- Jacobsen S.B., Wasserburg G.J. Sm-Nd evolution of chondrites and achondrites // Earth and Planetary Science Letter. 1984. V. 67. P. 137–150.
- Goldstein S.J., Jacobsen S.B. Nd and Sr Isotopic Systematics of River Water Suspended Material. Implications for Crustal Evolution // Earth and Planetary Science Letters. 1988. V. 87 (3). P. 249–265.
- Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or logdata // J. Sed. Petrol. 1988. V. 58. P. 820–829.

Kai L., Jinjiang Z., Simon A.W., Shiran L., Ferg G., Sergey A.K., Vladimir V.G., Maohui G., Meng W., Jiamin W. U-Pb dating and Lu-Hf isotopes of detrital zircons From the Southen Sikhote-Alin Orogenic Belt, Russian far East. Tectonic implicatins for the Early Cretaceous evolutions of the Nortwest Pacific Margin. 2017. P. 1–44.

Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Kruk N.N. The Sikhote-Alin orogenic belt, Russian South East: Terranes and the formation of continental lithosphere based on geological and isotopic data // Journal of Asian Earth Sciences. 2016. V. 120. P. 117–138.

Maruyama H., Morino H., Ito H., Izumi Y., Kato H., Watanabe Y., Kinoshita Y., Kamada M., Nodera H., Suzuki H. et al. Mutations of optineurin in amyotrophic lateral sclerosis // Nature. 2010. V. 465. P. 223–226.

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

Roser B.D., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // J. Geol. 1986. V. 94. P. 635–650.

Taylor S.R., McLennan S.M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell; Oxford, 1985. P. 1–312.

Tsutsumi Y., Yokoyama K., Kasatkin S.A., Golozubov V.V. Provenance study oof accreconaly complex in Primorye, Far East Russia, using ages and compositions of detrital minerals // Mem. Natl. Mus. Nat. Sci. Tokyo, 2016. P. 79–87.

Авторы:

Медников Семен Леонидович, аспирант, инженер, лаборатория петрологии и рудоносности магматических формаций, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.

E-mail: mednikov@igm.nsc.ru

Крук Николай Николаевич, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.

E-mail: kruk@igm.nsc.ru

Голозубов Владимир Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией региональной геологии и тектоники, Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия.

E-mail: golozubov@fegi.ru

Geosphere Research, 2020, 3, 6–16. DOI: 10.17223/25421379/16/1

S.L. Mednikov¹, N.N. Kruk¹, V.V. Golozubov²

¹*V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy. Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

²*Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia*

HETEROGENEITY OF THE SOURCES OF CLASTIC MATERIAL OF TERRIGENIC ROCKS OF THE TAUHIN ACCRETION COMPLEX (Sikhote-Alin) AT EARLY STAGES OF ITS FORMATION

The paper presents data from geochemical and isotopic studies of the sandstones of the upper structural level of the Taukhinsky accretionary complex (Ustinovsky subterrane) of South Sikhote-Alin, exposed in two discrete areas of its distribution: southern and northern area.

The studies showed a sharp difference in geochemical characteristics and, as a consequence, the sources of the turbidite clastic material of two areas. Sandstones of the northern range are characterized by high silicic acid, low levels of femic components and moderate alkalis. They are poorly depleted in comparison with PAAS incompatible elements and have Paleoproterozoic (≈2 billion years) model Nd ages. According to the compositional features, the turbidites of the southern area correspond to lithogenic rocks – erosion products of recycled orogens with a noticeable admixture of acidic petrogenic material.

Sandstones of the southern area have lower silica contents, are relatively enriched with femic components and calcium, have lower concentrations of incompatible elements, and young (0.94 billion years) model Nd ages. In terms of material characteristics, they correspond to petrogenic rocks – products of volcanic arcs erosion of medium acid composition.

The difference in the sources of clastic material for the two areas is also indicated by distinct discrete trends in the evolution of the rare-element composition of rocks with a change in their siliceous content. From which it can be concluded that the differences in the material composition are due to the different compositions of the feeding provinces, and not to different fractions of the same spectrum of rocks in the source of clastic material.

The synthesis of new data and the results of previous studies prove that the early stage of the formation of the Taukhinsky accretion complex was not accompanied by synchronous volcanic activity. Terrigenous rocks had local sources of clastic material, different for the rocks of the northern and southern areas.

Keywords: accretion complexes, terrigenous rocks, sources of clastic material, geochemistry, isotopic geochemistry, Sikhote-Alin.

Reference

Bayanova T.B. *Vozrast reперных геологических комплексов Кол'sкого региона и длител'ност' протессов магматизма* [Age of reference geological complexes of the Kola region and duration of magmatism processes]// St-Petersburg: Nauka, 2004, 174 p. In Russian

Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia] / Pod red. chlena-korrespondenta RAN A.I. Khanchuka. Vladivostok: Dal'nauka, 2006, 1033 p. In Russian

Golozubov V.V., Khanchuk A.I., Kemkin I.V. i dr. *Sikhote-Alin'-Severo-Sakhalinskiy orogennyy poyas* [Sikhote-Alin-North Sakhalin orogenic belt]// *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii*. Kn. 1 / Pod red. A.I. Khanchuka Vladivostok: Dal'nauka, 2006. pp 161–202. In Russian

Golozubov V.V., Khanchuk A.I. *Taukhinskiy i Zhuravlevskiy terreyiny (Yuzhnyy Sikhote-Alin') – fragmenty rannemelovoy Aziatskoy okrainy* [Tauha and Zhuravlevka terranes (South Sikhote-Alin) - fragments of the Early Cretaceous Asian margin] // *Tikhookeanskaya geologiya*. 1995. T. 14. № 2. pp. 13–25.

- Kononov V.P. *Berriasskie i valanzhinskie otlozheniya Pribrezhnoy zony Sikhote-Alinya* [Berriasian and Valanginian deposits of the Sikhote-Alin coastal zone] // Inform. sb. PGU, 1971, № 7. pp. 12–18. In Russian
- Nikolaeva I.V., Palevskii S.V., Koz'menko O.A., Anoshin G.N. Analysis of geologic reference materials for ree and hfse by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) // *Geochemistry International*. 2008. T. 46. №10. pp. 1016–1022.
- Taylor S.R., McLennan S.M. *The continental crust: Its evolution and composition*. London: Blackwell, 1985, 312 p.
- Khanchuk A.I., Kruk N.N., Golozubov V.V., Kovach V.P., Serov P.A., Kholodnov V.V., Gvozdev V.I., Kasatkin S.A. The nature of the continental crust of Sikhote-Alin as evidenced from the Nd isotopy of Rocks of Southern Primorie // *Doklady Earth Sciences*. 2013. V. 451. Iss. 2. pp. 809–813.
- Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // *The Journal of Geology*. 1983. V. 91. pp. 611–627.
- Boynton W.V. *Geochemistry of rare earth elements: meteorite studies*. P. Henderson (ed.). *Rare earth elements geochemistry* // Elsevier: Acad. Press. 1984. pp. 63–114.
- Isozaki Y., Maruyama S., Fukuoka F. Accreted oceanic materials in Japan // *Tectonophysics*, 1990. V. 181. pp. 179–205.
- Jacobsen S.B., Wasserburg G.J. Sm-Nd evolution of chondrites and achondrites // *Earth and Planetary Science Letter*. 1984. V. 67. pp. 137–150.
- Goldstein, S.J., Jacobsen, S.B. . Nd and Sr Isotopic Systematics of River Water Suspended Material. Implications for Crustal Evolution // *Earth and Planetary Science Letters*. 1988. V. 87(3). pp. 249–265.
- Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or logdata // *J. Sed. Petrol*. 1988. V. 58. pp. 820–829.
- Kai L., Jinjiang Z., Simon A.W., Shiran L., Ferg G., Sergey A.K., Vladimir V.G., Maohui G., Meng W., Jiamin W. U-Pb dating and Lu-Hf isotopes of detrital zircons From the Southern Sikhote-Alin Orogenic Belt, Russian far East. Tectonic implications for the Early Cretaceous evolutions of the Northwest Pacific Margin. 2017. pp. 1–44
- Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Kruk N.N. The Sikhote-Alin orogenic belt, Russian South East: Terranes and the formation of continental lithosphere based on geological and isotopic data // *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, V.120, pp. 117–138.
- Maruyama, H., Morino, H., Ito, H., Izumi, Y., Kato, H., Watanabe, Y., Kinoshita, Y., Kamada, M., Nodera, H., Suzuki, H. et al. Mutations of optineurin in amyotrophic lateral sclerosis // *Nature*. 2010. V. 465. pp. 223–226.
- Nesbitt H.W., Young, G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. 1982. V. 299. pp. 715–717.
- Roser B.D., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // *J. Geol*. 1986. V. 94. pp. 635–650.
- Taylor S.R., McLennan S.M. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 1985. pp. 1–312.
- Tsutsumi Y., Yokoyama K., Kasatkin S.A., Golozubov V.V. Provenance Study oof Accreitionally Complex in Primorye, Far East Russia, using Ages and Compositions of Detrital Minerals // *Mem. Natl. Mus. Nat. Sci.*, Tokyo. 2016. pp. 79–87.

Author's:

Mednikov Semen L., Graduate Student, Engineer, Laboratory of petrology and ore bearing of magmatic formations, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia.

E-mail: mednikov@igm.nsc.ru

Kruk Nikolay N., Corresponding member of RAS, Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Director of the V.V. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia.

E-mail: kruk@igm.nsc.ru

Golozubov Vladimir V., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Head of Laboratory of the Regional Geology & Tectonics, Far East Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia.

E-mail: golozubov@fegi.ru