

УДК 552.5/550.4

М.Ю. Гущина¹

ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПОЗДНЕЮРСКО-РАННЕМЕЛОВЫХ ТУФОТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД В РАЙОНЕ УСТЬ-БЕЛЬСКИХ ГОР (СЕВЕРО-ЗАПАД КОРЯКСКОГО НАГОРЬЯ)

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1
Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7

Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1
Geological Institute of the RAS, 119017, Moscow, Pyzhevsky lane, 7

Изложены результаты изучения литохимических особенностей позднеюрско-раннемеловых туфотерригенных пород Усть-Бельского и Алганского террейнов. Породы представлены средне- и мелко-тонкозернистыми кварц-полевошпатовыми и полевошпатовыми граувакками. Установлено, что их формирование происходило синхронно с вулканизмом основного и среднего состава, в морских условиях, недалеко от берега. Основной источник сноса был связан с островной дугой на западе региона. Породы Усть-Бельского террейна формировались в разных частях преддугового бассейна, а Алганского террейна — в островодужной части желоба.

Ключевые слова: Корякское нагорье, туфопесчаники, минеральный состав, геохимические индикаторы, источники сноса, область седиментации.

The paper presents the results of studying the lithochemical features of the Late Jurassic-Early Cretaceous tuff-terrigenous rocks of the Ust-Belsky and Algan terranes. Tuff-terrigenous rocks represented by medium-fine-pelitic-grained quartz-feldspar and feldspar greywackes. According to the results, they were formed due to the erosion of intermediate and basic composition volcanic formations, in the marine environment, near the coast. The main source was associated with the island arc in the northwest of the region. Tuff-terrigenous rocks of Ust-Belsky terrane formed in different parts of the forearc basin. Tuff-terrigenous rocks of Algan terrane formed in the trench-slope basin.

Keywords: Koryak highland, tuff-sandstones, mineralogical composition, geochemical indicators, sources of sediment drifting, sedimentation province.

Введение. Район исследования расположен на северо-западе Корякского нагорья на границе двух складчатых систем [Парфенов и др., 1993; Соколов, 2010] (рис. 1, Б). Западно-Корякская складчатая система представлена офиолитовым Усть-Бельским террейном, состоящим из нескольких тектонических пластин [Александров, 1978], шарьированных к юго-востоку на окраинноморские комплексы Алганского террейна, относящегося к Анадырско-Корякской складчатой системе. В строении обоих террейнов участвуют туфотерригенные образования позднеюрского-раннемелового возраста. Это время в истории геологического развития северо-востока Евразии связано с существованием позднеюрско-раннемеловой Удско-Мургальской островной дуги, развивавшейся на границе Азиатского континента и Северо-Западной Пацифики [Соколов, 1992; Парфенов и др., 1993].

Для района характерно покровно-чешуйчатое строение [Александров, 1978]. В пределах Усть-Бельского террейна пластины, содержащие поздне-

юрские-раннемеловые туфотерригенные образования, чередуются с пластинами вендско-мезозойских пород (рис. 1, В). Мавринская пластина залегает в основании террейна. Породы Мавринской пластины имеют валанжинский возраст на основании находок бухий и включены в состав майнской толщи [Захаров, 1974; Гульпа, 2014]. Общая мощность отложений майнской толщи 800 м [Гульпа, 2014]. Удачинская пластина расположена структурно выше [Александров, 1978] и сложена валанжинскими туфотерригенными образованиями, включенными в состав бачкинской толщи [Захаров, 1974], общая мощность которой оценивается в 2400 м [Гульпа, 2014]. По-моему, значение мощности завышено, что связано с многократным тектоническим наложением фрагментов разреза во время аккреционных процессов.

Структурно ниже пластин Усть-Бельского террейна залегают вулканогенно-кремнисто-терригенные комплексы Алганского террейна, включенные в состав алганской свиты (титон-валанжин) [Захаров,

¹ Геологический институт РАН, мл. науч. с.; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, аспирантка; e-mail: dybree@yandex.ru

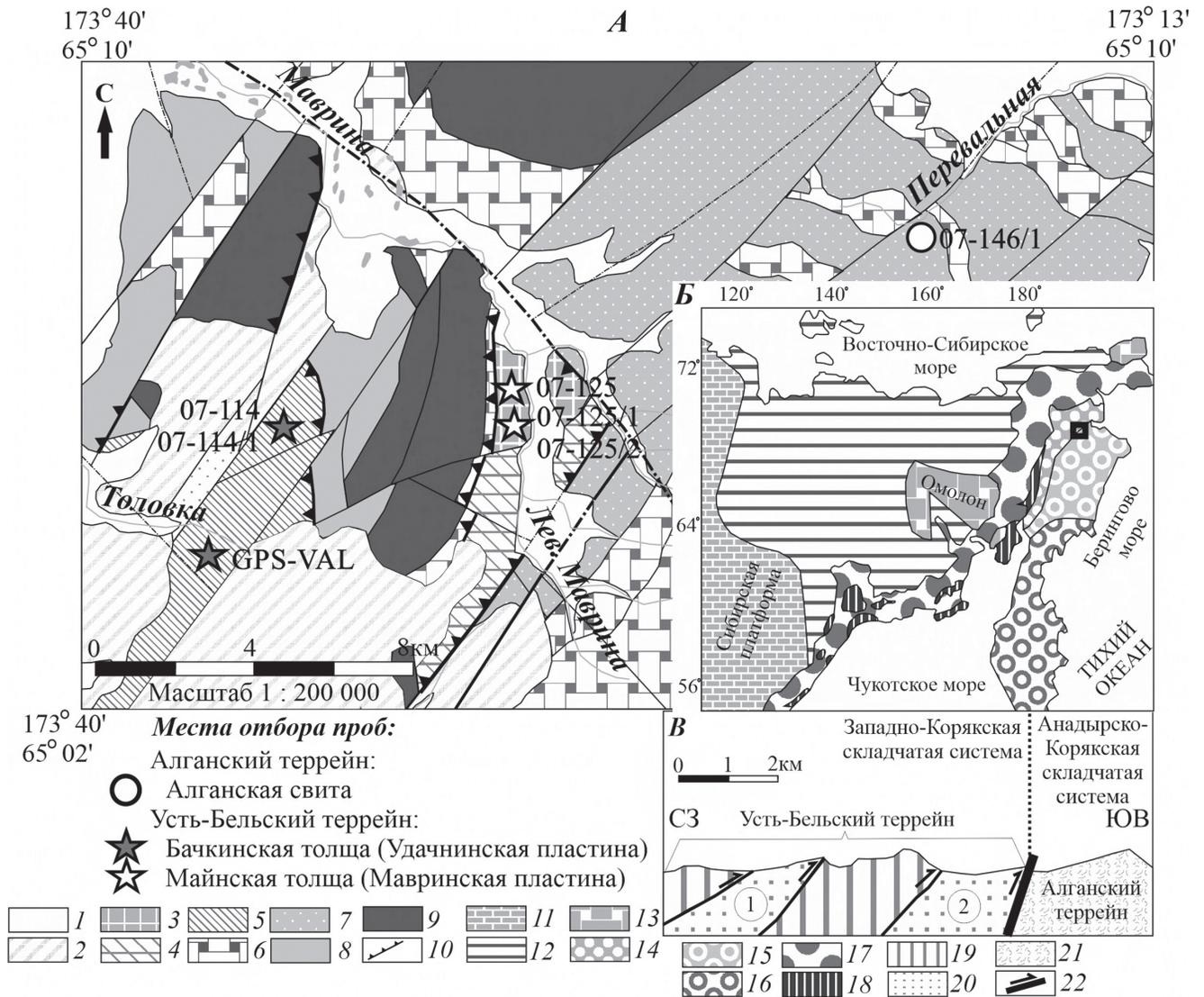


Рис. 1. Геологическая карта района работ [Гульпа, 2014] (A): 1 — отложения четвертичной системы; 2 — палеогеновые и неогеновые отложения P₃-N₂; 3 — майнская толща K_{1v}; 4 — терригенные образования аалена-келлова; 5 — бачкинская толща K_{1v}; 6 — меланж; 7 — алганская свита J₃-K_{1v}; 8 — палеозойские отложения D₂₋₃-C₁; 9 — Усть-Бельский комплекс дунит-гарцбургит-габбровый, плутонический RF; 10 — надвиги. Тектоническая схема Северо-Востока Азии по [Соколов, 2010] с изменениями (B), черным квадратом отмечен район работ: 11 — Сибирская платформа; 12-13 — Верхояно-Чукотская складчатая область; 14-16 — Корьякско-Камчатская складчатая область; 14 — Западно-Корьякская складчатая система, 15 — Анадырско-Корьякская складчатая система, 16 — Олюторско-Камчатская складчатая система; 17 — Охотско-Чукотский вулканогенный пояс; 18 — Удско-Мургалский вулканогенный пояс. Геологический профиль через северную часть Корьякского нагорья по [Александров, 1978] с изменениями (B): 19 — венд-мезозойские породы; 20-21 — позднюрские-раннемеловые комплексы; 20 — терригенные; 21 — вулканогенно-кремнисто-терригенные; 22 — тектонические границы. Цифры в кружках: 1 — Удачинская пластина; 2 — Мавринская пластина

1974]. Общая мощность алганской свиты оценивается в 1500 м [Гульпа, 2014].

Туфотерригенные отложения широко распространены в регионе, но основное внимание предшественников было сосредоточено на магматических и кремнистых породах [Вишневская, 1996; Тихомиров, 2010; Леднева, 2012; Моисеев и др., 2014; Палечек и др., 2016]. Поскольку туфотерригенные породы в регионе слабо изучены, в работе сделана одна из первых попыток применения литогеохимических методов для выяснения особенностей их вещественного состава и условий седиментации. Интерес к

изучению пород региона обусловлен тем, что на достаточно ограниченной территории обнажены различные в геодинамическом и фациальном отношении комплексы. Валанжинский возраст изучаемых пород позволяет провести их корреляцию на основании данных литогеохимического анализа. Изучение разных формационных комплексов Усть-Бельского и Алганского террейнов открывают перспективу для расшифровки аккреционного роста Азиатского континента.

Цель работы — выяснение состава, условий седиментации и источников сноса для позднюр-

ских–раннемеловых туфотерригенных пород, занимающих разное тектоническое положение в районе Усть-Бельских гор.

Материалы и методы исследований. Приведенный в статье материал собран в ходе полевых исследований, выполненных в 2007, 2012 гг. сотрудниками Геологического института РАН. На большей части рассматриваемой территории породы обнажены плохо.

Туфотерригенные породы Алганского террейна вскрыты в районе р. Перевальная (рис. 1, А; 2), входят в состав олистостромовой толщи. Матрикс представлен плохо стратифицированными туфотерригенными породами от пелитовой до мелкогравийной размерности, с прослоями зеленых туфосилицитов и согласно залегающих тел андезитов и андезибазальтов мощностью до 10 м. Редко встречаются слои гравелитов и конгломератов мощностью 5–10 м. В поле распространения туфотерригенных пород присутствуют олистолиты(?) кремнистых пород, датированных по радиоляриям кимеридж-титоном, кимеридж-валанжином и аален-кимериджем. Олистостромовая толща надвинута на полимиктовый серпентинитовый меланж, из-под которого обнажена пластина вулканогенно-кремнистого состава, датированная титоном-валанжином [Палечек и др., 2013, 2016; Моисеев, 2020].

Туфотерригенные породы Удачинской пластины обнажаются в междуречье рек Маврина и Толовка (рис. 1, А; 2). Породы представлены чередованием туффитов от пелитовой до мелкогравийной размерности, реже мергелями. Туффиты алевролитовой размерности содержат конкреции алевритового и известковисто-алевритового состава. В основании развиты слои гравийных конгломератов крупнозернистых туффитов и туфопесчаников мощностью до 10 м с включением валунов (до 1 м), кремнистых сланцев и известняков [Моисеев, 2020; Гульпа, 2014].

Отложения Мавринской пластины, обнажены в районе р. Левая Маврина (рис. 1, А; 2). На большей части Мавринской пластины наблюдаются многочисленные зоны трещиноватости. В таких зонах крайне сложно установить первичное взаимоотношение пород, контакты между отдельными литологическими разностями сорваны. На отдельных участках отмечается ненарушенное чередование туфотерригенных пород видимой мощностью от 20 до 80 м [Моисеев, 2020]. Породы представлены грубослоистыми туфопесчаниками с обилием шаровидных известковистых конкреций размером 2–20 см и трещиноватыми туфоалевролитами — туфоаргиллитами [Гульпа, 2014]. Все породы смяты в наклонные сжатые складки юго-восточной vergentности и разбиты густой сетью трещин и мощными зонами катаклаза.

Туфопесчаники представлены разнообразными разностями с серо-зеленым оттенком, характеризуются массивной текстурой, плохими сортировкой и окатанностью компонентов.

Методы исследования. Минеральный состав туфопесчаников изучен петрографическим методом с подсчетом зерен в шлифах. Считались следующие компоненты: монокристаллический и поликристаллический кварц, кварциты, монокристаллические и поликристаллические плагиоклазы и полевые шпаты, сростки кварца и полевых шпатов; обломки эффузивов, вулканического стекла, магматических пород, метаморфических и осадочных пород (например, обломочных пород, карбонатов и кремней).

Содержание главных элементов примесей и микроэлементов определено в лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН (г. Москва). Силикатный анализ проб осуществлялся под руководством М.С. Ляпунова рентгенофлуоресцентным методом (XRF) с использованием последовательного спектрометра S4 Pioneer (Bruker, Германия) и программного обеспечения Spectra-Plus. Элементный анализ проб выполнен под руководством О.И. Окиной методом ICP-MS с использованием масс-спектрометра «Элемент 2» (Thermo Fisher Scientific of GmbH, Германия). Для контроля правильности результатов проанализированы контрольные образцы сланца ShTX-1 и риолита ORPT-1 (IAG, Великобритания). Полученные концентрации отличались от аттестованных содержаний не более чем на 10–15 отн.%.

Результаты исследований и их обсуждение.
Петрографические исследования. Туфотерригенные образования Удачинской пластины представлены туффитами и туфопесчаниками. По минеральному составу они относятся к кварц-полевошпатовым и полевошпатовым грауваккам ($Q_{8-19}F_{43-63}L_{29-43}$, где Q — кварц, F — полевые шпаты, L — обломки пород) по классификации В.Д. Шутова [Шутов, 1972], средне-мелкозернистым и тонко-мелкозернистым плохо окатанным и плохо сортированным, с большим количеством цемента (20%). Цемент чаще всего имеет пелитовую размерность, полностью замещен серицит-хлорит-кварцевым агрегатом, открытый поровый, сплошной, не всегда равномерный, не взаимодействует с веществом обломочных зерен. Наблюдается увеличенное содержание рудных минералов. Присутствуют обломки кораллов.

Туфотерригенные образования Мавринской пластины представлены туфопесчаниками тонко-мелкозернистыми и мелко-тонкозернистыми. По минеральному составу они относятся к кварц-полевошпатовым и полевошпатовым грауваккам ($Q_{7-12}F_{35-43}L_{46-51}$) по [Шутов, 1972] плохо окатанным, имеют среднюю сортировку. Наблюдается увеличенное содержание рудных минералов. Цемент чаще всего пелитовой размерности, полностью замещен серицит-хлорит-кварцевым агрегатом (5–7%), преобладающий закрытый поровый или контурный, несплошной, неравномерный, не взаимодействующий с веществом обломочных зерен. Исключение представляет образец № 07-125/1 с большим коли-

Таблица 1

Содержание петрогенных оксидов и элементов-примесей в позднеюрско-раннемеловых туффитах и туфопесчаниках Усть-Бельских гор

Компонент	Усть-Бельский террейн, Удачная пластина			Усть-Бельский террейн, Мавринская пластина			Алганский террейн
	GPS-VAL	07-114	07-114/1	07-125	07-125/1	07-125/2	
SiO ₂ , масс%	56,03	63,46	58,02	56,03	38,13	56,21	57,88
Al ₂ O ₃	16,30	15,06	13,51	15,7	9,08	15,01	16,75
TiO ₂	0,88	0,62	1,07	1,52	2,10	1,43	1,12
Fe ₂ O ₃	6,45	2,05	4,12	4,99	7,65	7,48	4,01
FeO	3,26	2,73	3,30	4,10	3,76	1,95	2,65
MnO	0,14	0,04	0,13	0,13	0,6	0,11	0,13
MgO	3,00	1,37	2,03	4,06	2,82	3,73	3,52
CaO	4,75	1,15	6,86	3,56	17,51	2,95	5,48
Na ₂ O	3,33	2,66	1,94	3,39	2,08	3,55	2,94
K ₂ O	1,44	1,87	0,43	1,37	0,91	1,29	1,28
P ₂ O	0,16	0,13	0,15	0,14	0,17	0,18	0,12
п.п.п.	3,75	8,39	7,85	4,94	14,52	5,73	3,64
Li, мг/кг	19,9	14,7	13,0	32,0	22,0	32,0	25,0
Be	1,25	1,01	0,93	0,87	0,73	0,85	0,74
Sc	22	18,8	18,9	25	23	24	22
V	231	187	191	246	365	239	198
Cr	78	61	43	102	172	99	71
Co	22,0	17,6	18,2	22	18,7	19,1	16,7
Ni	22	16,7	24	29	35	30	24
Cu	25	58	65	38	319	31	44
Ga	19,1	16,1	16,0	17,1	13,0	17,0	17,1
Rb	30,0	8,8	6,0	22,0	16,7	22,0	13,1
Sr	314	580	502	252	319	233	319
Y	19,8	26	24	21	19,8	21	19,6
Zr	78	253	249	162	187	142	113
Nb	2,6	5,8	4,9	4,0	4,1	3,9	2,5
Mo	0,29	0,56	0,61	0,64	0,79	0,56	0,50
Sn	0,75	1,25	1,85	1,77	16,7	1,20	0,72
Sb	0,34	0,51	0,37	0,36	0,98	0,42	0,16
Cs	0,99	0,24	0,20	0,70	0,51	0,71	0,40
Ba	328	585	574	303	299	289	200
Hf	1,9	6,0	5,5	3,7	4,2	3,4	2,8
W	0,17	0,23	0,44	0,37	0,11	0,23	0,23
Tl	0,046	0,04	0,04	0,12	0,11	0,10	0,045
Pb	7,0	10,0	9,4	4,4	21	4,2	2,3
Th	1,37	3,9	3,1	1,24	0,94	1,25	1,07
U	0,62	1,77	1,74	0,65	0,62	0,65	0,50

чеством (20%) карбонатного цемента, открытого порового, сплошного равномерного, коррозионного.

Туфготерригенные образования Алганского террейна представлены средне-мелкозернистыми туфопесчаниками. По минеральному составу они относятся к кварцево-полевошпатовым грауваккам (Q₉₋₁₁F₃₄₋₅₁L₃₈₋₅₆) по классификации В.Д. Шутова [Шутов, 1972], плохо сортированным, плохо окатанным. Встречаются зерна обломков пород средней и хорошей окатанности. Цемент пелитовой размерности полностью замещен серицит-хлорит-кварцевым

агрегатом (5–10%), закрытый поровый, сплошной равномерный, не взаимодействующий с веществом обломочных зерен.

Кварц во всех туфготерригенных породах представлен моно- и поликристаллическими разностями чаще всего неправильной формы, с рвано-волнистыми краями, иногда в виде угловатых и округлых обломков, иногда представлен вулканическими разностями с резорбированными контурами. Зерна полевых шпатов трещиноватые, как неправильной угловатой формы, так и идиоморфной таблитчатой

Таблица 2

Содержание РЗЭ в позднеюрско-раннемеловых туффилах и туфопесчаниках района Усть-Бельских гор

Элемент	Усть-Бельский террейн, Удачинская пластина	GPS-VAL	07-114	07-114/1	Усть-Бельский террейн, Мавринская пластина	07-125	07-125/1	07-125/2	Алганский террейн	07-146/1
La, мг/кг		12,9	15,9	16,0		10,7	9,9	10,8		7,3
Ce		30	34	35		24	21	25		15,1
Pr		3,6	4,5	4,6		3,5	3,0	3,5		2,4
Nd		15,5	18,9	19,1		15,7	13,7	16,1		10,8
Sm		3,6	4,3	4,2		3,9	3,4	3,9		2,9
Eu		1,13	1,02	0,97		1,29	1,07	1,29		1,01
Gd		3,7	4,6	4,6		4,3	4,0	4,3		3,4
Tb		0,58	0,70	0,67		0,63	0,57	0,65		0,55
Dy		3,5	4,4	4,1		3,9	3,5	3,9		3,5
Ho		0,69	0,93	0,87		0,80	0,73	0,80		0,74
Er		1,93	2,7	2,6		2,3	2,1	2,3		2,2
Tm		0,28	0,41	0,39		0,34	0,31	0,34		0,32
Yb		1,77	2,7	2,6		2,3	2,1	2,3		2,1
Lu		0,26	0,43	0,42		0,35	0,33	0,35		0,32
Сумма		79,7	96,0	95,8		74,5	65,8	75,5		52,6
ЛРЗЭ/ТРЗЭ		5,3	4,7	4,9		4,0	3,8	4,1		3,0

с полисинтетическими двойниками. Большинство полевых шпатов представлено андезином, иногда с характерной зональностью, редко встречаются зерна лабрадора. Среди обломков пород преобладают (от 77 до 93%) обломки основных и средних эффузивов. Среди основных пород определены зерна спилитов, как неокатанные, так и окатанные. Неокатанные зерна спилитов наравне с окатанными встречаются в туфопесчаниках Алганского террейна. В туфо-

песчаниках и туффилах Усть-Бельского террейна спилиты чаще всего окатанные. В туфотерригенных породах Алганского террейна, в отличие от таковых Усть-Бельского террейна, встречаются обломки кремнистых пород. Полевые шпаты и обломки вулканических пород замещены до полных псевдоморфоз вторичными слюдястыми минералами и хлоритовым агрегатом. Большая часть зерен плагиоклазов подвержена альбитизации. Пирокластический материал

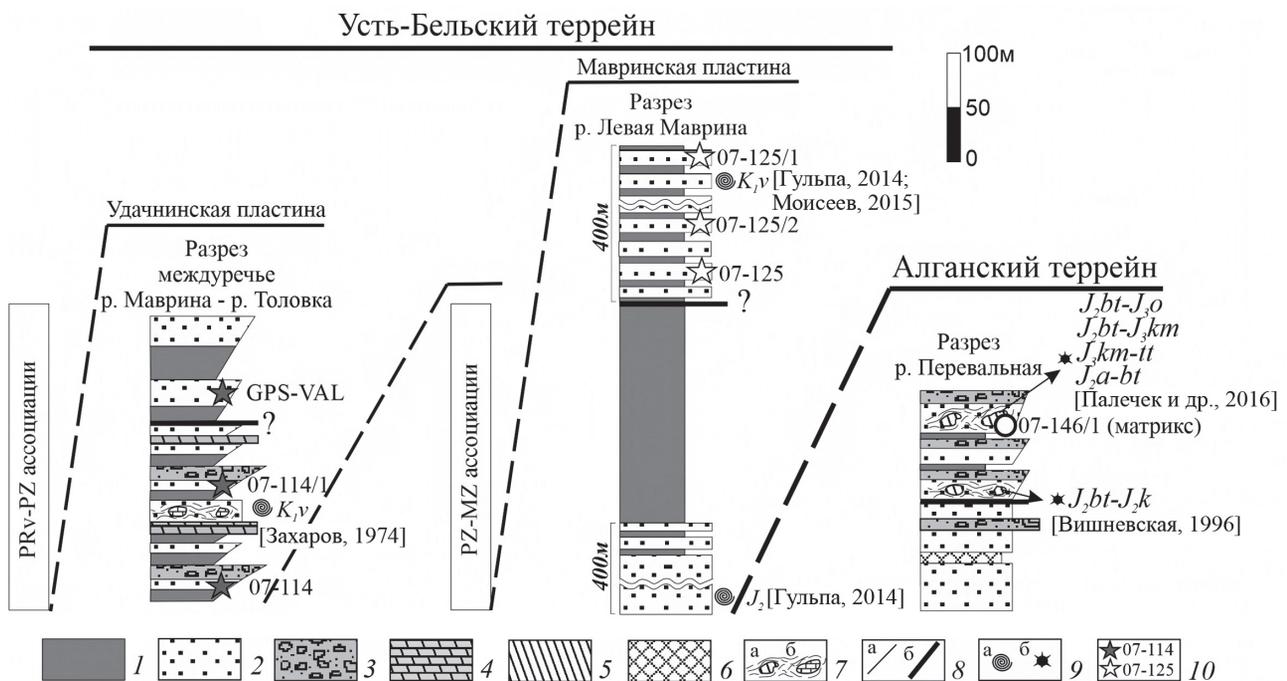


Рис. 2. Тектоно-стратиграфические колонки региона: 1 — туфоалевролиты; 2 — туфопесчаники; 3 — конгломераты; 4 — мергели; 5 — кремнистые породы; 6 — горизонты базальтов и андезитов; 7 — олистолиты; 8 — контакты: а — стратиграфические, б — тектонические (надвиги); 9 — фауна: а — бухии, б — радиоларии; 10 — места отбора проб

Таблица 3

Значения ряда индикаторных отношений в туффитах и туфопесчаниках Усть-Бельских гор

Модуль	Усть-Бельский террейн, Удачинская пластина	GPS-VAL	07-114	07-114/1	Усть-Бельский террейн, Мавринская пластина	07-125	07-125/1	07-125/2	Алганский террейн	07-146/1
Fe/Mn		67	111	54		64	18	79		47
Ti/Mn		5,0	11,6	6,4		8,7	2,7	10,0		6,5
Sr/Ba		0,96	0,99	0,87		0,83	1,07	0,80		1,59
U/Th		0,46	0,45	0,56		0,53	0,65	0,52		0,47
Ni/Co		1,0	0,9	1,3		1,3	1,9	1,6		1,4
TM		0,05	0,04	0,08		0,10	0,23	0,10		0,07
ЩМ		2,3	1,4	4,5		2,5	2,3	2,8		2,3
ГМ		0,45	0,32	0,38		0,46	0,59	0,46		0,42

представлен кристаллокластами полевых шпатов, темноцветных и рудных минералов, с характерными идиоморфными формами и литокластическими обломками эффузивов среднего и основного состава, с рваными краями, нередко с выступающими шипами фенокристаллов. Содержание пирокластического материала для пород Удачинской пластины колеблется от 30 до 70%, для пород Мавринской пластины и Алганского террейна — от 15 до 35%.

Геохимические исследования. Содержание всех петрогенных оксидов для всей проанализированной нами выборки приведено в табл. 1. Диапазон содержания SiO₂ варьирует от 38,13 до 63,46%. Такие значения свидетельствуют об умеренной степени зрелости, с небольшим количеством кварца и других содержащих кремний минералов. В целом отмечу близость состава пород, однако наблюдается относительное обогащение одной пробы Мавринской пластины (№ 07-125/1) CaO, MnO и обеднение SiO₂, Al₂O₃ и K₂O, что объясняется пониженным содержанием в ней глинистой составляющей по сравнению с остальными пробами и наличием карбонатного цемента.

Содержание элементов-примесей приведено в табл. 1. Характерна высокая концентрация V, Cr, Ba. При появлении в туфопесчаниках карбонатного цемента (проба № 07-125) отмечено повышенное содержание Cr, Cu, Pb и Sn. Количество Be и некоторых крупных литофильных (Ba, Th, U, Sr) и высокозарядных (Zr, Nb, Hf, Y) элементов в породах уменьшается от Удачинской пластины к Алганскому террейну, т. е. с запада на восток.

Спектры распределения РЗЭ во всех туффитах и туфопесчаниках в целом схожи (рис. 3). Однако сопоставление значений суммарного содержания РЗЭ также демонстрирует их незначительное уменьшение от Удачинской пластины к Алганскому террейну. Суммарно содержание РЗЭ в туфопесчаниках Алганского террейна составляет 52,6 г/т, Мавринской пластины — 68,8–75,5 г/т, Удачинской пластины 79,7–95,8 г/т (табл. 2). Содержание легких лантаноидов (ЛРЗЭ), за исключением Eu, в туфотерригенных породах меньше, чем в PAAS. Концентрация тяжелых лантаноидов (ТРЗЭ), за ис-

ключением Er, достаточно близка к таковой в PAAS, но все же несколько ниже.

Для анализа условий осадконакопления нами были выбраны отношения Fe/Mn, Ti/Mn, Sr/Ba, U/Th и Ni/Co, а также титановый (TiO₂/Al₂O₃) (TM), гидролизатный (Al₂O₃+TiO₂+Fe₂O₃+FeO+MnO)/SiO₂) (ГМ) и щелочной модули (Na₂O/K₂O) (ЩМ). Их медианные значения для всей проанализированной выборки приведены в табл. 3.

Удаленность области осадконакопления от суши. Значения Fe/Mn уменьшаются с углублением бассейна при переходе от шельфовых зон к пелагическим [Резников, 1961]. При Fe/Mn <40 породы относятся к глубоководным, при 40–80 — к мелководным, при 80–160 — к мелководно-прибрежным. Для туфотерригенных пород Удачинской пластины значение Fe/Mn равно 54÷111, что соответствует осадконакоплению в мелководной–мелководно-прибрежной обстановке, для туфопесчаников Мавринской пластины Fe/Mn=18÷79 (мелководные и глубоководные обстановки), для туфопесчаников Алганского террейна Fe/Mn=47 (мелководные и глубоководные обстановки).

Значения Ti/Mn уменьшаются по мере удаления от источников сноса и увеличивается при приближении к суше, на континенте величина отношения

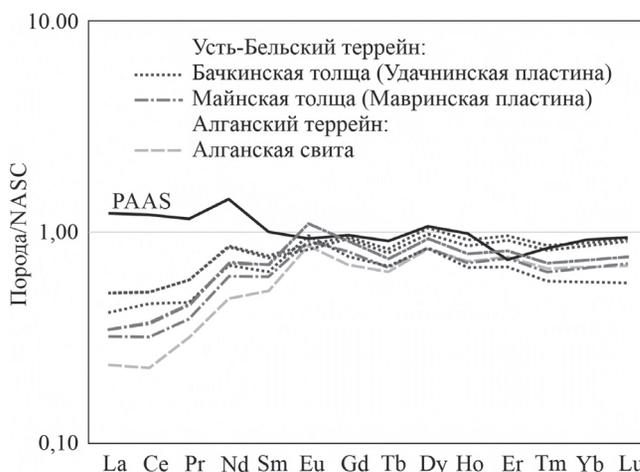


Рис. 3. Спектры распределения РЗЭ элементов, нормированные на NASC

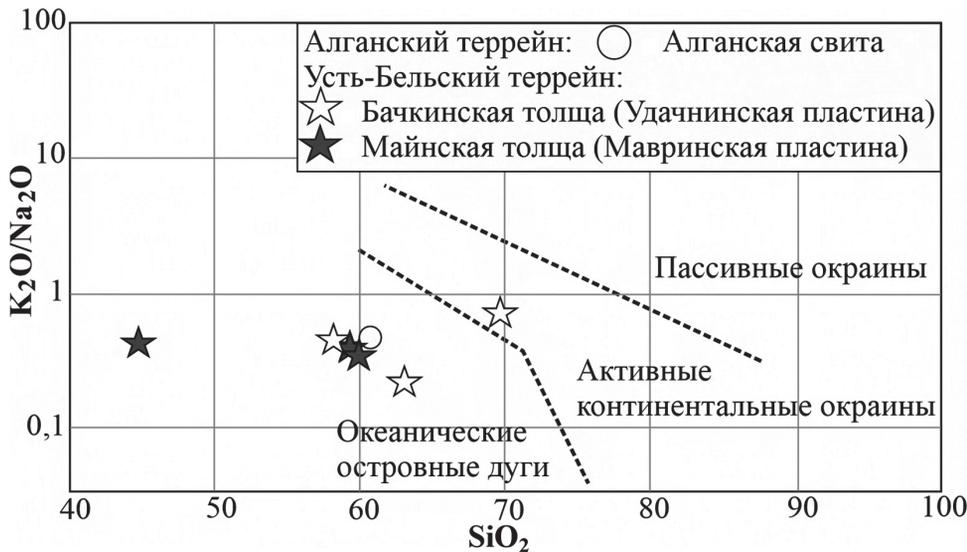


Рис. 4. Положение фигуративных точек составов позднеюрских-раннемеловых туффов и туфопесчаников Усть-Бельских гор на диаграмме по [Roser; Korsch, 1986]

составляет 110–150, в морском бассейне содержание Ti обычно понижено [Енгальцев, Панова, 2011]. Для Удачинской пластины значения Ti/Mn варьируют от 5 до 11,6, для Мавринской пластины — от 2,7 до 10,0, для Алганского террейна составляют 6,5.

Отмечено уменьшение значений Ti/Mn и Fe/Mn в туфотерригенных породах от Удачинской пластины к Алганскому террейну, что указывает на увеличение глубины бассейна в этом направлении и на приуроченность суши к зоне осадконакопления пород Удачинской пластины.

Палеосоленость. Пресноводные отложения имеют значения Sr/Ba < 1, а морские — > 1 [Геохимические..., 1978]. Высокие значения отношения Sr/Ba характерны для пород Алганского террейна (1,59). Понижены значения Sr/Ba в породах Мавринской (0,80–1,07) и Удачинской (0,87–0,99) пластин. Рост отношения показывает относительное увеличение солености вод от пород Удачинской пластины к таковым Алганского террейна.

Окислительно-восстановительные обстановки в придонном слое воды. По мнению авторов работы [Jones, Manning, 1994], значения индексов U/Th и Ni/Co более 1,25 и 7,0 соответственно отвечают формированию пород в бескислородной обстановке, а при величинах индексов меньше 0,75 и 5,0 соответственно — в окислительной придонной обстановке. Для туфотерригенных пород региона характерны значения U/Th, и Ni/Co 0,46–0,65 и 0,9–1,9 соответственно, это указывает на их образование в хорошо аэрируемом бассейне.

Петрофонд и тектоническая обстановка осадконакопления. ТМ и ЩМ — индикаторы основного и кислого петрофонда [Юдович, Кетрис, 2000]. Исследуемые песчаники характеризуется умеренно высокими значениями ТМ (0,05–0,23) и высокими — ЩМ (1,4–4,5), низкими отношениями ЛРЗЭ к ТРЗЭ (от 3,0 до 5,3) и отсутствием выраженной отрицательной Eu-аномалии, по [Taylor, McLennan, 1985; McLennan, Taylor, 1991], это указывает на то, что на их образование влияли породы основного состава.

На диаграмме (K₂O/Na₂O)–SiO₂ (рис. 4), построенной по главным оксидам, большинство фигуративных точек туффов и туфопесчаников района Усть-Бельских гор формируют кластер около поля океанической островной дуги, одна проба (GPS-VAL) попадает в поле активной континентальной окраины.

На диаграммах Th–Sc–Zr/10 и La–Th–Sc (рис. 5, А, В) для определения палеотектонической обстановки накопления осадков фигуративные точки группируются в поле, свойственном отложениям, которые формируются в обстановке океанической островной дуги (А). Диаграмма Ni–V–10Th (рис. 5, Б) также указывает на то, что в составе песчаников присутствуют продукты размыва основных пород.

Степень выветривания. ГМ позволяет оценить процессы выщелачивания и гидролиза: чем выше его величина, тем более сильное выветривание претерпели исходные комплексы в областях размыва и тем выше зрелость пород [Маслов, 2005]. Для пород Усть-Бельского террейна характерно увеличение ГМ от пород Удачинской пластины (0,32–0,45) к Мавринской (0,46–0,59), что объясняется близостью зоны осадконакопления пород Удачинской пластины к палеосуше и поступлением свежих продуктов выветривания с нее. Для пород Алганского террейна характерны невысокие значения ГМ (0,42), хотя его породы накапливались в более удаленных от суши частях, чем породы Удачинской и Мавринской пластин.

Результаты исследований и их обсуждение. В ходе исследований туфотерригенных пород Усть-Бельского и Алганского террейнов установлено, что туфотерригенные породы Алганского террейна представлены кварц-полевошпатовыми граувакками, а Усть-Бельского террейна — кварц-полевошпатовыми и полевошпатовыми граувакками. В результате анализа состава пород сделано предположение, что их накопление происходило синхронно с вулканизмом. О пирокластическом происхождении свидетельствует наличие кристаллокластов, литокластов, основных и средних плагиоклазов (андезин, лабра-

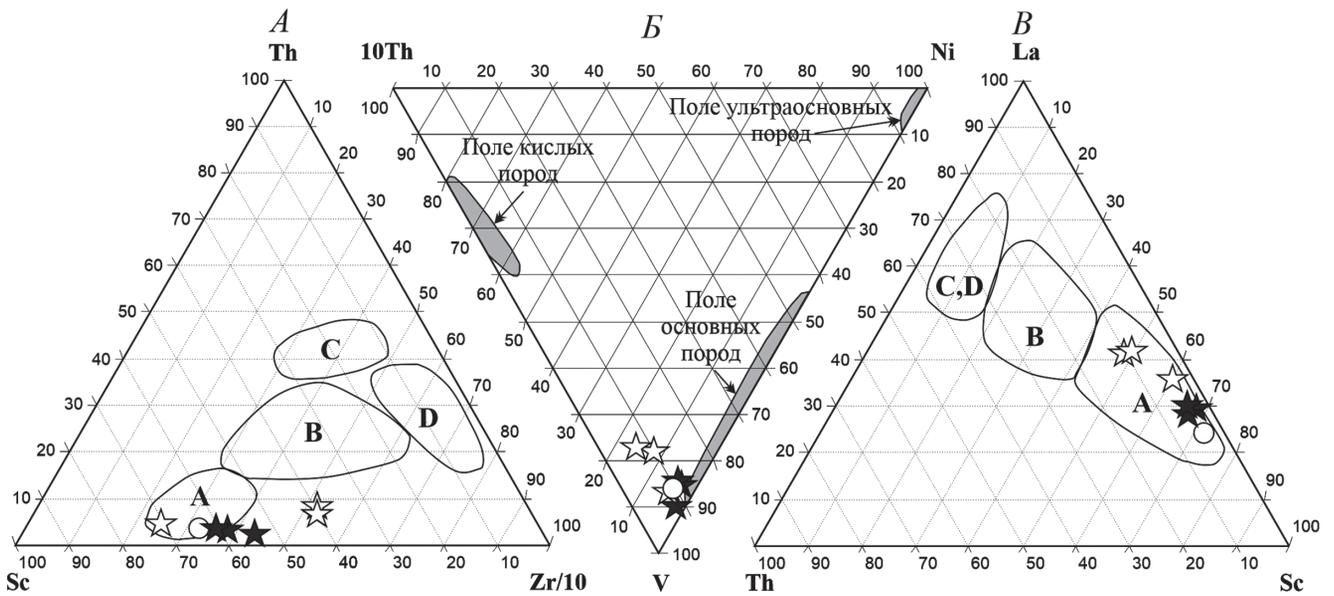


Рис. 5. Положение фигуративных точек состава позднеюрско-раннемеловых туффитов и туффпесчаников на диаграммах Th–Sc–Zr/10 (А) и La–Th–Sc (В) для определения палеотектонических обстановок [Bhatia; Crook, 1986]; В — диаграмма Ni–V–10Th по [Bracciali et al., 2007]. А — океаническая островная дуга, В — континентальная островная дуга, С — активная континентальная окраина, D — пассивная континентальная окраина. Остальные условные обозначения см. рис. 4

дор), обладающих наименьшей химической устойчивостью [Ван, Казанский, 1985]. Их присутствие считается индикатором одноциклического образования [Шутов и др., 1972; Ван, Казанский, 1985]. Плохие сортировка и степень окатанности обломков пород, а также наличие в составе песчаников нестабильных компонентов (полевые шпаты, спиллиты) свидетельствуют о близости источника сноса.

По содержанию K_2O , Na_2O , SiO_2 , Th, Sc, Zr, La можно предположить, что вулканизм был связан с островной дугой (диаграммы Б. Розера, Р. Корша и М. Бхатиа, К. Крука см. рис. 4; 5, А, В). Низкие отношения ЛРЗЭ к ТРЗЭ, отсутствие выраженной Еu-аномалии, значения ТМ и ЩМ, распределение фигуративных точек на диаграмме Ni–V–10Th (рис. 5, В), присутствие большого количества обломков вулканических пород основного и среднего состава, все это указывает на поступление в юрско-меловой бассейн большого количества вулканического материала основного и среднего состава. Полученные данные об индикаторных отношениях и диаграммы хорошо согласуются с минералогическими особенностями изученных туффитов и туффпесчаников (т. е. с высоким содержанием обломков основных и средних пород).

Значения отношений U/Th, Ni/Co указывают на то, что песчаники образовались в окислительных придонных условиях. Величины отношения Fe/Mn указывают на присутствие как прибрежно-мелководных (Удачинская пластина), так и мелководных фаций (Мавринская пластина, Алганский террейн). Вероятно, формирование отложений различных тектонических единиц происходило в разных частях крутого континентального склона за счет мутьевых потоков. Значения отношения Sr/Ba показывают наличие как морских, так и пресноводных отложений.

Пониженные значения палеосолености в породах Усть-Бельского террейна хорошо согласуются с их близостью к палеосуше и нахождением вблизи нее наиболее опресненных зон палеобассейна. Формирование опресненных зон бассейнов связано с близостью зоны осадконакопления к речным системам и может свидетельствовать о близости к суше. Вдольбереговые течения, действующие в прибрежно-морской обстановке, хорошо сортируют материал, но все изученные туффпесчаники плохо сортированные. Поэтому осадконакопление, вероятнее всего, было связано с дельтами или проделльтами рек, что коррелирует с деятельностью прибрежно-морских процессов. Таким образом, отложения формировались в морских условиях мутьевыми потоками в умеренно глубоководной обстановке, в сравнительно небольшой удаленности от берега, куда реки (их дельты) поставляли обломочный материал. Условия осадконакопления можно соотнести с обстановкой, характерной для конусов выноса подводных дельт.

Наблюдается уменьшение значений Ti/Mn, Fe/Mn, суммы РЗЭ и увеличение значений Sr/Ba и Fe/Mn от пород Удачинской пластины на западе к породам Алганского террейна на востоке. Значения Ti/Mn, Fe/Mn, Sr/Ba для пород Мавринской пластины занимают промежуточное положение. Таким образом, породы Алганского террейна накапливались дальше от источника, чем породы Усть-Бельского террейна, а источник сноса был расположен на западе региона. Кроме того, туфотерригенные породы Удачинской пластины характеризуются более высоким содержанием цемента (20%) относительно других тектонических единиц. Относительно Мавринской пластины туфотерригенные породы Удачинской пластины более крупнозернистые, хуже сортированы и менее зрелые (характерны более

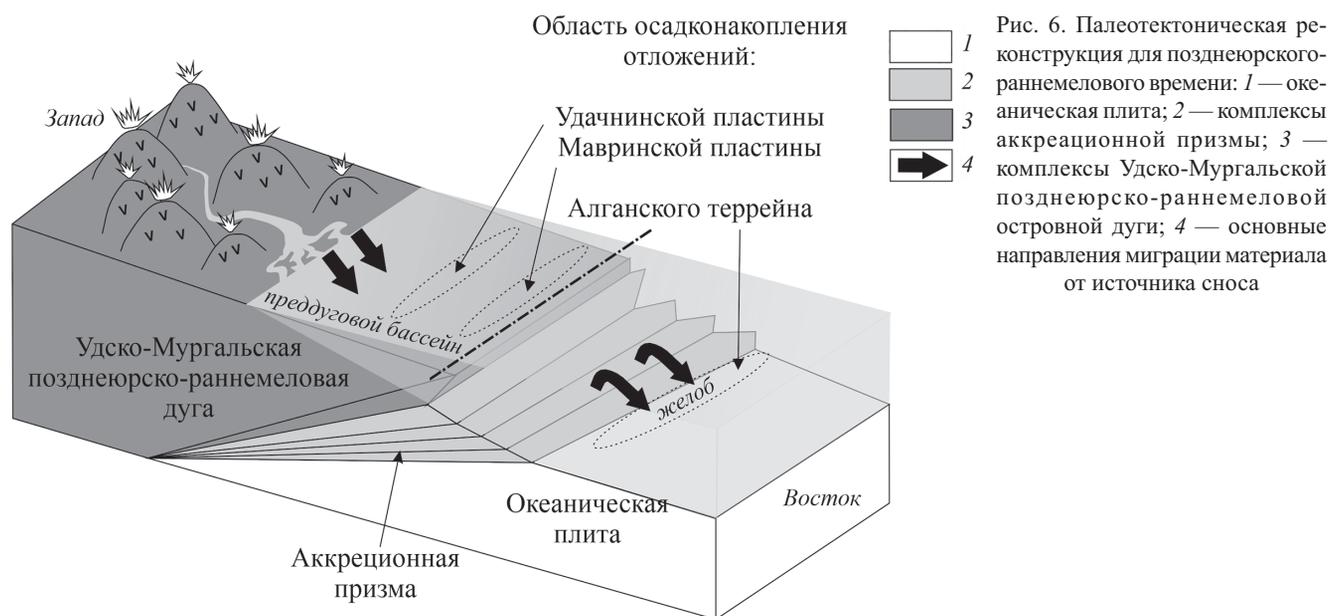


Рис. 6. Палеотектоническая реконструкция для позднеюрско-раннемелового времени: 1 — океаническая плита; 2 — комплексы аккреционной призм; 3 — комплексы Удско-Мургальской позднеюрско-раннемеловой островной дуги; 4 — основные направления миграции материала от источника сноса

низкие значения ГМ), значит они прошли меньший путь от источника сноса. В породах Алганского террейна наблюдается ухудшение сортировки, укрупнение среднего размера зерен и меньшая зрелость пород, чем в породах Мавринской пластины, что противоречит направлению миграции материала с северо-запада на юго-восток. Подобные противоречия связаны, скорее всего, с формированием пород Алганского террейна при поступлении материала из дополнительного источника.

В туфопесчаниках Алганского террейна петрографически обнаружено большее количество неокатанных спилитов и кремнистых пород, чем в породах Усть-Бельского террейна. Невысокие значения ГМ в породах алганской свиты указывают на поступление в область осадконакопления свежего материала. Но область осадконакопления пород Алганского террейна была более удалена от основного источника сноса, чем область осадконакопления пород Усть-Бельского террейна. Терригенные породы Алганского террейна, в отличие от пород Усть-Бельского террейна, встречаются совместно с отдельными тектоническими пластинами и олистолитами кремнисто-базальтовых ассоциаций. При изучении строения, состава и возраста кремнистых и вулканических пород предшественники [Моисеев, 2020] предположили, что олистолиты кремней Алганского террейна сформировались за счет разрушения аккретированных к висящему крылу фрагментов океанической коры. Такие фрагменты сохранились в виде отдельных чешуй вулканогенно-кремнистого комплекса. Сама аккреционная структура образовалась в пределах Удско-Мургальской окраины. Предполагаю, что неокатанные спилиты и обломки кремнистых пород, скорее всего, также представляют собой продукты разрушения пород предостроводужной части желоба, сложенной чешуями аккретированных фрагментов океанической коры, которые и служили

дополнительным источником для туфопесчаников Алганского террейна.

В результате обобщения полученных данных построена палеотектоническая модель для района Усть-Бельских гор в позднеюрское-раннемеловое время (рис. 6). На ней показано, что миграция материала происходила с запада на восток (в современных координатах). Материал поступал в основном за счет разрушения активно действующей островной дуги, существовавшей в то время. Скорее всего, это была часть Удско-Мургальской островодужной системы, функционирующей в позднеюрско-раннемеловое время. Отложения образовывались в морских условиях недалеко от берега и связаны с конусами выноса подводных дельт. Формирование пород Алганского террейна происходило при дополнительном поступлении продуктов разрушения аккреционной призм, в пределах подножия склона или желоба. Породы Усть-Бельского террейна формировались в преддуговом бассейне на склоне Удско-Мургальской островной дуги.

Полученные данные подтверждают предположения о формировании туфотерригенных пород на востоке от островодужной вулканической постройки и, таким образом, не противоречат предположениям о существовании вулканически активной континентальной окраины в позднеюрское-раннемеловое время на территории региона.

Заключение. Результаты изучения особенностей состава юрско-меловых туфотерригенных пород района Усть-Бельских гор позволяют сделать следующие выводы. Накопление туфотерригенных пород происходило синхронно с островодужным вулканизмом, который обеспечивал поступление большого количества вулканического материала основного и среднего состава. Источник сноса находился в западной части региона. Наиболее вероятно, что источником сноса служила Удско-Мургальская дуга, которая

была активна в то время. Отложения накапливались в морских условиях, в результате действия мутьевых потоков в умеренноглубоководной обстановке и на сравнительно небольшой удаленности от берега, где реки (их дельты) обеспечивали поставку обломочного материала для дальнейшего переноса. Условия осадконакопления можно соотнести с обстановкой, характерной для конусов выноса подводных дельт. Туфотерригенные породы Усть-Бельского террей-

на сформировались в разных частях преддугового бассейна Удско-Мургальской дуги. Туфотерригенные породы Алганского террейна формировались в пределах подножия склона или желоба.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (научный проект № 19-35-90126). Базовое финансирование сотрудников — за счет субсидий по государственному заданию ГИН РАН (тема № 0135-2019-0078).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александров А.А. Покровные и чешуйчатые структуры в Корякском нагорье. М.: Наука, 1978. 121 с.

Ван А.В., Казанский Ю.П. Вулканокластический материал в осадках и осадочных породах. Новосибирск: Наука, 1985. 127 с.

Вишневецкая В.С., Филатова Н.И. Радиоляриевая биостратиграфия мезозоя Северо-Востока России // Тихоокеанская геология. 1996. Т. 15, № 1. С. 16–43.

Геохимические исследования осадочных пород для решения геологических задач // Тр. ВСЕГЕИ. 1978. Т. 295. 133 с.

Гульня И.В. Объяснительная записка к Геологической карте Российской Федерации масштаба 1:200 000. Корякская серия, листы Q-59-XXIX, XXX (Отроженская площадь). СПб.: ВСЕГЕИ, 2014.

Ингалычев С.Ю., Панова Е.Г. Геохимия и генезис песчаников восточной части главного девонского поля на северо-западе Русской плиты // Литосфера, 2011, №5. С. 16–29.

Захаров В.А. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Анадырская. Лист Q-59-XXIX // Ред. Г.Г. Кайгородцев. М.: Аэрогеология, 1974.

Леднева Г.В., Базылев Б.А., Лебедев В.В. и др. U-Pb возраст цирконов из габброидов Усть-Бельского мафит-ультрамафитового массива (Чукотка) и его интерпретация // Геохимия. 2012. № 1. С. 48–59.

Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. Екатеринбург: УГГУ, 2005. 289 с.

Моисеев А.В. Тектоника Усть-Бельского сегмента Западно-Корякской складчатой системы. М.: ГЕОС, 2020. 162 с.

Моисеев А.В., Соколов С.Д., Хаясака Я. Вулканогенно-осадочный комплекс Отроженской пластины Усть-Бельского террейна, Западная Корякия // Геотектоника. 2014. № 3. С. 30–49.

Палечек Т.Н., Моисеев А.В., Гульня И.В. Тектоностратиграфия мезозойских комплексов северо-западной части Корякского нагорья, район Усть-Бельских гор // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2016. Т. 24, № 4. С. 55–81.

Палечек Т.Н., Моисеев А.В., Соколов С.Д. Новые данные о строении и возрасте юрско-нижнемеловых отложений Алганского террейна (район р. Перевальная, Корякское нагорье, Чукотка) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2013. Т. 21, № 2. С. 43–60.

Парфенов Л.М., Нататов Л.М., Соколов С.Д., Цуканов Н.В. Террейны и аккреционная тектоника Северо-Востока Азии // Геотектоника. 1993. № 1. С. 68–78.

Резников А.Н. Железо-марганцевый коэффициент как показатель обстановки осадконакопления // Изв. вузов. Нефть и газ. 1961. № 1. С. 19–22.

Соколов С.Д. Аккреционная тектоника Корякско-Чукотского сегмента Тихоокеанского пояса. М.: Наука, 1992. 182 с.

Соколов С.Д. Очерк тектоники северо-востока Азии // Геотектоника. 2010. № 6. С. 60–78.

Соколов С.Д., Бялобжеский С.Г. Террейны Корякского нагорья // Геотектоника. 1996. № 6. С. 68–80.

Теоретические и региональные проблемы геодинамики. М.: Наука, 1999. 279 с. (Тр. ГИН РАН; вып. 515)

Тихомиров П.Л. Возраст плагиогранитов Усть-Бельского офиолитового массива (Западно-Корякская складчатая система) по данным SHRIMP U-Pb датирования цирконов // Докл. РАН. Сер. Геол. 2010. Т. 434. № 3. С. 222–226.

Шутов В.Д., Коссовская А.Г., Муравьев В.И. и др. Граувакки. М.: Наука, 1972. 345 с.

Юдович Я.Э., Кетпис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

Bhatia M.R., Crook A.W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contrib. Mineral. Petrol. 1986. Vol. 92. P. 181–193.

Braccialli L., Marroni M., Pandolfi L., Rocchi S. Geochemistry of the 2.51 Ga old Rampur group pelites, western Himalayas: implications for their provenance and weathering // Prec. Res. 2007. Vol. 108. P. 1–16.

Jones P., Manning D.A.C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones // Chem. Geol. 1994. Vol. 111. P. 111–129.

McLennan S.M., Taylor S.R. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends // J. Geol. 1991. Vol. 99. P. 1–21.

Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // J. Geol. 1986. Vol. 94, N 5. P. 635–650.

Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: its composition and evolution. An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks // Beijing: Sci. Press, 1985.

Поступила в редакцию 04.03.2021

Поступила после доработки 30.06.2021

Принята к публикации 13.12.2021