

Петрография и геохимия пермских отложений центральной и восточной части Охотского массива

Александров В.Н. , Худолей А.К.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, dv-midav357@yandex.ru

Аннотация. Охотский массив является одним из немногих до сих пор слабоизученных районов нашей страны. Первые геологические карты массива были составлены в середине прошлого века, однако геологическая история этого региона изучалась слабо. Отложения пермского возраста широко представлены в центральной и восточной части Охотского массива и включают в себя породы пестрого состава, от кварцевых и аркозовых песчаников до граувакк и туффицитов. В исследованных породах в большом количестве встречаются обломки магматических пород основного и среднего состава. В результате геохимических исследований в туффицитах была выявлена положительная европиевая аномалия, а также общее сходство геохимических характеристик этих пород с вулканитами, образованными из магм рифтогенных областей. Таким образом, пестрый петрографический состав изучаемых пород обусловлен различием в составе источников поступления осадочного вещества. Главным источником являлась Охотско-Тайгоноская вулканическая дуга, находившаяся на южном краю Охотского массива. Отсюда шел снос материала, из которого образовывались мощные отложения граувакк. В тыловой части вулканической дуги зарождался рифтогенный бассейн с преобладанием вулканитов основного и среднего состава. В результате размыва этих пород шло накопление туффицитов. В центральной части Охотского массива располагались выходы кристаллического фундамента, сложенного архейскими гнейсами, гранитами и метаморфическими сланцами. Благодаря размыву этих пород образовывались аркозовые и кварц-мезомиктовые песчаники.

Ключевые слова: Охотский массив, верхний палеозой, терригенные породы, геохимия.

Petrography and Geochemistry of Permian Sedimentary rocks in the Central and Eastern Part of the Okhotsk Massif

Aleksandrov V.N. , Khudoley A.K.

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, dv-midav357@yandex.ru

Annotation. The Okhotsk massif is one of the few still poorly studied regions of our country. The first geological maps of the massif were compiled in the middle of the last century, but the geological history of this region has been poorly studied. The Permian deposits are widely represented in the central and eastern part of the Okhotsk massif and include rocks of variable composition, from quartz and arkose sandstones to greywackes and tuffites. In the studied rocks, fragments of igneous rocks of basic and intermediate composition have been found in large quantities. As a result of geochemical studies, a positive europium anomaly has been identified in tuffites, as well as a general similarity of the geochemical characteristics of these rocks with volcanic rocks formed in rift areas. Thus, the variable petrographic composition of the studied rocks is related to the difference in the composition of the sources of sedimentary material. The main source was the Okhotsk-Taigonos volcanic arc located in the southern edge of the Okhotsk massif. From here the detrital material was transported forming thick graywacke deposits. In the rear part of the volcanic arc, a rift basin was formed with a predominance of basic and intermediate volcanic rocks. As a result of the erosion of these rocks, tuffites accumulated. In the central part of the Okhotsk massif, outcrops of the crystalline basement were located, composed of Archean gneisses, granites, and metamorphic schists. Due to the erosion of these rocks, arkosic and quartz-mesomictic sandstones were formed.

Key words: Okhotsk massif, Upper Paleozoic, terrigenous rocks, geochemistry.

Введение

Охотский массив располагается на северном побережье Охотского моря на территории Хабаровского края. Это одно из немногих мест на планете, которое еще слабо изучено геологами. Первые систематические работы, включающие стратиграфические, тектонические и геолого-съёмочные исследования на территории Охотского массива проводились лишь в 1960–70-е гг. (Чиков, 1970; Песков, Умитбаев, 1977; Умитбаев, 1978; Натапов и др., 1995), после этого проводились только «то-

чечные» исследования, такие как изучение стратиграфии перми на обрамлении массива или датирование кристаллического фундамента (Кузьмин и др., 2009; Бяков, 2010; Казакова и др., 2013). В последние годы во ВСЕГЕИ были поставлены геолого-съёмочные работы масштаба 1:200000 для создания геологических карт 2-го поколения. В ходе двухлетних полевых работ, в которых участвовал первый автор, было собрано большое количество материалов по петрографии и геохимии пермских отложений в центральной и восточной частях Охотского массива (рис. 1).

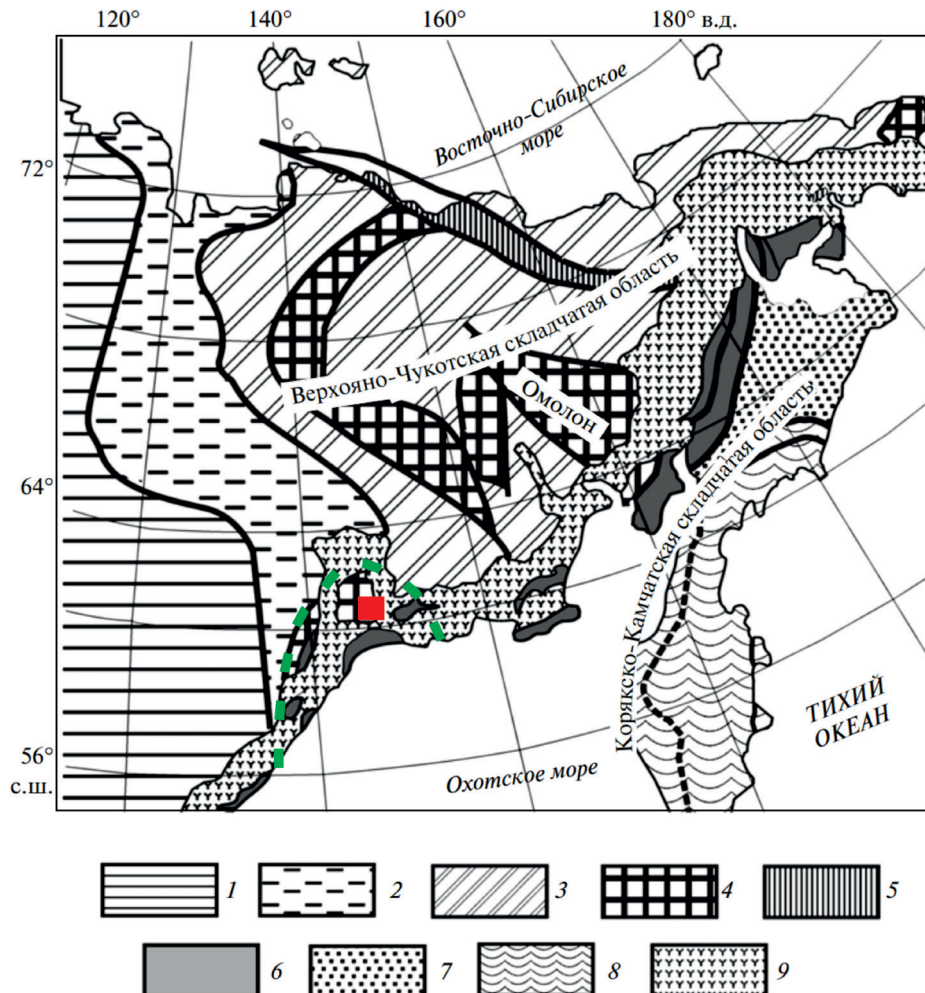


Рис. 1. Схема основных тектонических элементов Северо-Востока Азии, по (Соколов, 2010).

1 – Сибирская платформа; 2 – структуры пассивной окраины Сибирского кратона (Верхоянский комплекс); 3–5 – Верхояно-Чукотская складчатая область: 3 – палеозойско-мезозойские отложения, 4 – террейны с континентальной корой, 5 – Южно-Ануйская коллизионная sutura; 6–8 – Корякско-Камчатская складчатая область: 6 – Западно-Корякская складчатая система, 7 – Анадырско-Корякская складчатая система, 8 – Олюторско-Камчатская складчатая система; 9 – Охотско-Чукотский вулканогенный пояс.

Зеленой пунктирной линией обозначены примерные границы Охотского массива.

Красным прямоугольником отмечен район полевых работ исследований пермских отложений.

Fig. 1. Scheme of the main tectonic elements of Northeast Asia, after (Sokolov, 2010).

1 – Siberian platform; 2 – structures of the passive margin of the Siberian Craton (Verkhoyansk complex); 3–5 – Verkhoyansk-Chukotka folded area: 3 – Paleozoic-Mesozoic deposits, 4 – terranes with continental crust, 5 – South Anyui collisional suture; 6–8 – Koryak-Kamchatka folded area: 6 – West Koryak fold system, 7 – Anadyr-Koryak fold system, 8 – Olyutor-Kamchatka fold system; 9 – Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt.

The green dotted line indicates the approximate boundaries of the Okhotsk massif.

Основной задачей исследования являлось изучение геохимических и петрографических характеристик вулканогенно-осадочных и терригенных отложений пермского возраста и реконструк-

ция состава источников сноса обломочного материала. Предыдущие реконструкции источников сноса пермских отложений были связаны с U-Pb датированием обломочных цирконов, но проводились только за пределами массива (Бяков и др., 2010).

Материалы и методы

Отложения пермского возраста, залегающие в центральной и восточной частях Охотского массива, разделяются на шесть свит: нижнепермские – ингычанская, нонкичанская, кухтуйская, и верхнепермские – эвричанская, дусканьинская и нюлкалинская (в настоящей статье мы следуем принятому на геологических картах Охотского массива разделению перми на 2 отдела). Также свиты имеют территориальные границы: кухтуйская и нюлкалинская свиты распространены в основном в центральной части Охотского массива, где они представлены континентальными и прибрежно-морскими отложениями, а породы ингычанской, нонкичанской, эвричанской и дусканьинской свит расположены в восточной части массива и представлены прибрежно-морскими и морскими отложениями (Песков, Умитбаев, 1977; Умитбаев, 1978; Казакова, 2013).

Всего было изучено 23 наиболее представительные пробы песчаников и туффилов. При петрографической характеристике пород использовалась классификация В.Н. Шванова (1987). Для получения геохимического состава исследуемых осадочных пород, в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ были проведены рентгено-флуоресцентный и ICP-MS анализы этих же проб. Полученные результаты по содержанию окислов, рассеянных и редкоземельных элементов позволили построить классификационные, дискриминационные и спайдер-диаграммы, которые, следуя подходам, изложенным в работах (Тейлор, Мак-Леннан, 1988; McLennan et al., 1993; Скляр и др., 2001), позволили уточнить состав источников сноса обломочного материала.

Петрографические исследования

Ингычанская свита согласно залегает на верхнекаменноугольных образованиях и представлена алевролитами и песчано-глинистыми сланцами, часто переслаиваемыми с песчаниками и гравелитами. Иногда присутствуют прослои конгломератов, глинистых углисто-глинистых и кремнистых сланцев, ракушников, туфоаргиллитов и туфоалевролитов (рис. 2). Эта свита отличается от подстилающих и перекрывавших образований присутствием характерного комплекса органических остатков, по которому свита датируется сакмарским – артинским ярусами нижней перми (Песков, Умитбаев, 1977; Умитбаев, 1978; Казакова, 2013).

Песчаники ингычанской свиты изучались в элювиально-делювиальных выходах на правобережье р. Нилгысы. Петрографически, отобранные пробы имеют сходный состав и были определены как мелкозернистые аркозовые песчаники (рис. 3).

Нонкичанская свита, вероятнее всего согласно залегает на ингычанской (контакты не вскрыты) и сложена преимущественно мелкозернистыми песчаниками с прослоями и отдельными пачками алевролитов, песчано-глинистых сланцев, средне- и крупнозернистых песчаников, гравелитов, конгломератов и туфов кислого состава (рис. 2). По возрасту нонкичанская свита соответствует верхам артинского и кунгурского ярусов перми (Песков, Умитбаев, 1977; Умитбаев, 1978; Казакова, 2013).

По составу песчаники нонкичанской свиты разделяются на два петрографических класса: мелкозернистый аркозовый песчаник и мелко-крупнозернистая полевошпатовая граувакка (рис. 3).

Кухтуйская свита распространена в центральной части Охотского массива, предположительно одновозрастна отложениям ингычанской и нонкичанской свит (рис. 2), но, в отличие от них, представлена континентальными образованиями. Она согласно залегает на отложениях карбона, также, локально с угловым несогласием залегает на более древних архейских и рифейских породах. Кухтуйская свита сложена углистыми, углисто-глинистыми и песчано-глинистыми сланцами с редкими прослоями и линзами кремнисто-глинистых сланцев, песчаников, гравелитов и конгломератов. Ближе к восточному склону Охотского массива объем терригенного материала в составе свиты возрастает (рис. 2). На востоке массива она сложена песчаниками различной зернистости с прослоями и отдельными пластами углисто-глинистых и кремнистых сланцев, алевролитов, гравелитов и мелкогалечных конгломератов, галька в которых обычно состоит из липаритов, реже – андезитов

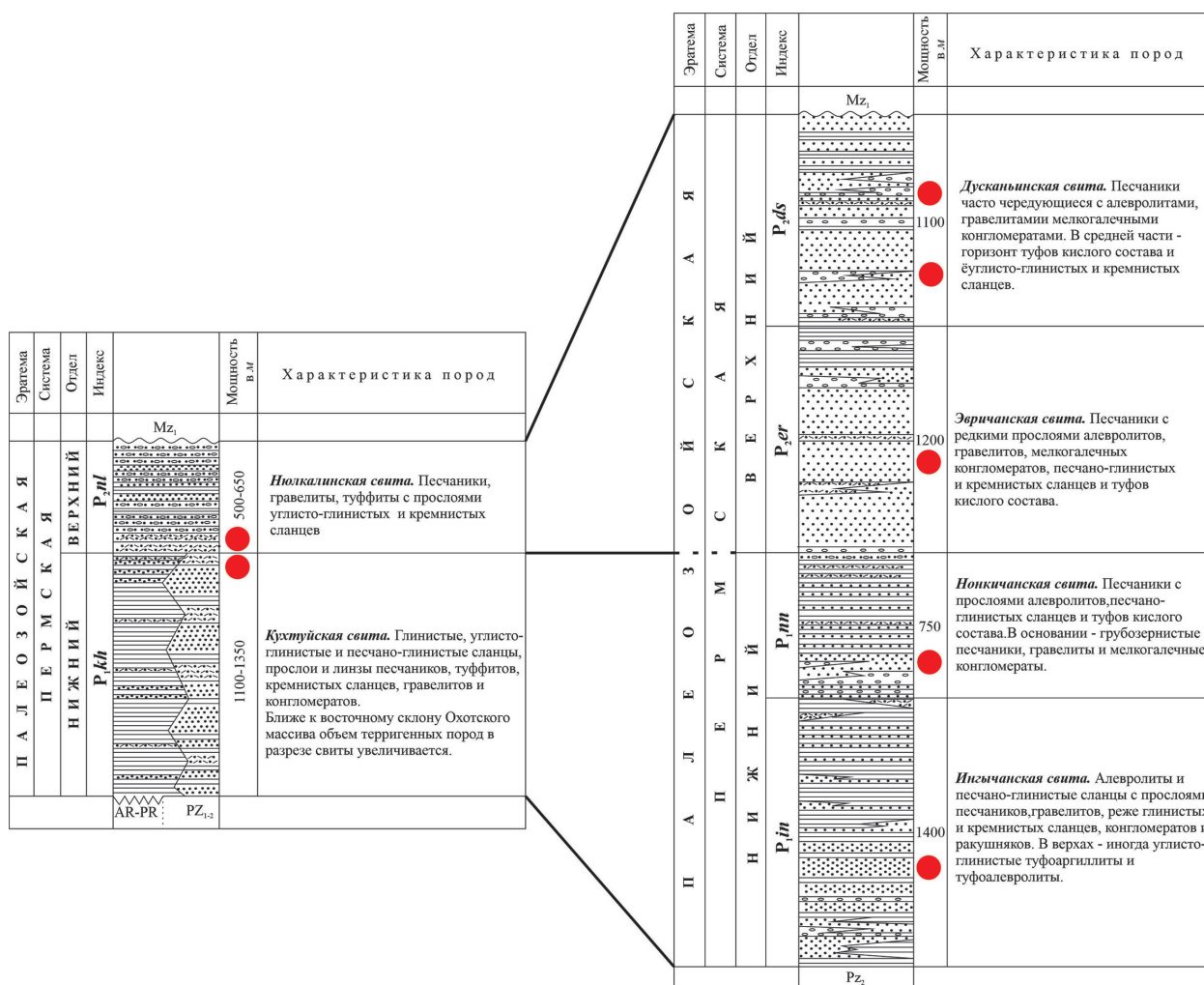


Рис. 2. Стратиграфические колонки пермских отложений центральной (слева) и восточной (справа) частей Охотского массива.

Красными точками обозначены зоны отбора проб, (с использованием материалов Пескова, Умитбаева (1977), Умитбаева (1978) и дополнениями автора).

Fig. 2. Stratigraphic columns of the Permian deposits of the central (left) and eastern (right) parts of the Okhotsk massif. Red dots indicate sampling areas, (using the materials of Peskov, Umitbaev (1977), Umitbaev (1978) and the author's additions).

и осадочных пород. Изредка встречаются горизонты туффитов и туфов кислого состава (рис. 2). По остаткам флоры и фауны возраст кухтуйской свиты определяется как ассельский–сакмарский ярусы нижней перми (Песков, Умитбаев, 1977; Умитбаев, 1978; Казакова, 2013).

Песчаники кухтуйской свиты изучались на разрозненных выходах по берегам реки Ульбея и на детальном разрезе на реке Кухтуй, где отлично обнажены верхние горизонты кухтуйской свиты и нижние горизонты нюлкалинской свиты. В результате петрографических исследований было установлено, что все породы кухтуйской свиты имеют близкий состав и определены как туффиты (рис. 3).

Эвричанская свита сложена песчаниками различной зернистости с прослоями и горизонтами сферолитов, гравелитов, мелкогалечных конгломератов, кремнистых сланцев и туфов кислого состава (рис. 2). Граница между свитами нонкичанской и эвричанской свит согласная и определяется по смене фаунистических остатков (Песков, Умитбаев, 1977; Умитбаев, 1978; Казакова, 2013).

Песчаники эвричанской свиты изучались в нескольких точках. Петрографически отобранные пробы разделяются на три класса: аркозовые песчаники, мезомиктовые песчаники, кварцевая граувакка (рис. 3).

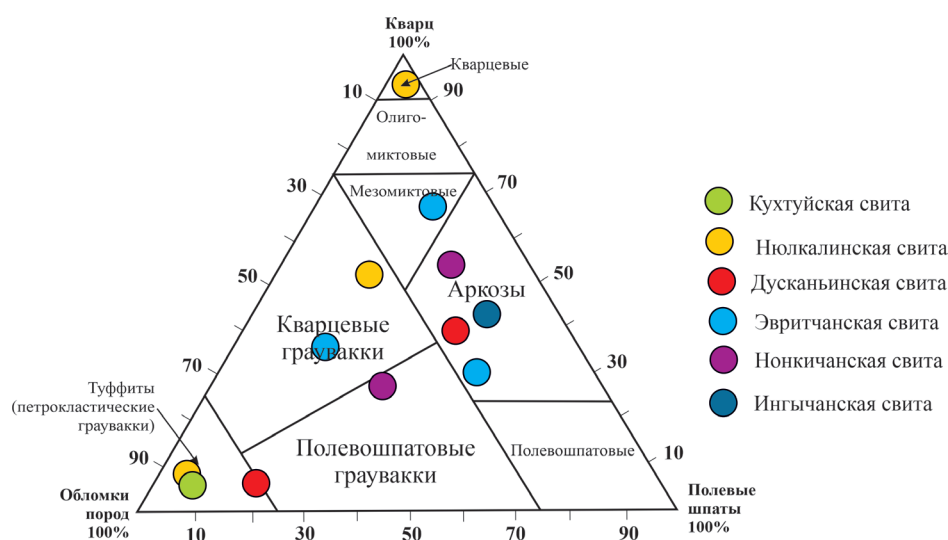


Рис. 3. Классификационная диаграмма песчаных пород по В.Н. Шванову (1987) с дополнениями автора.

Fig. 3. Classification diagram of sandy rocks according to V.N. Shvanov (1987) with additions by the author.

Дусканьинская свита сложена средне- и крупнозернистыми песчаниками и туфопесчаниками, часто чередующимися с гравелитами, мелкогалечными конгломератами и алевролитами. Изредка отмечаются кремнистые и углистые сланцы и туфы кислого состава (рис. 2) (Песков, Умитбаев, 1977; Умитбаев, 1978; Казакова, 2013).

По результатам петрографических исследований, среди песчаников и гравелитов дусканьинской свиты были выделены аркозовые песчаники и туффиты (рис. 3).

Нюлкалинская свита согласно залегает на кухтуйской свите, распространена в центральной части Охотского массива и предположительно одновозрастна отложениям эвритчанской и дусканьинской свит (рис. 2). Разрез свиты представляет собой переслаивание разнозернистых песчаников, гравелитов, алевролитов и углистых аргиллитов в различных количественных соотношениях. В восточных районах состав свиты более пестрый, появляются прослои гравелитов, мелкогалечных конгломератов, кремнистых и углисто-глинистых сланцев, а также туфов кислого состава (рис. 2). Комплекс флоры, обнаруженный в породах свиты, характеризует отложения кунгурско-казанского яруса нижней – средней перми (Песков, Умитбаев, 1977; Умитбаев, 1978; Казакова, 2013). Песчаники нюлкалинской свиты изучались на разрозненных выходах по берегам реки Ульбея и на детальном разрезе на реке Кухтуй, где отлично обнажены верхние горизонты кухтуйской свиты и нижние горизонты нюлкалинской свиты. Все пробы нюлкалинской свиты были разделены на три петрографических класса: туффиты, кварцевые песчаники, кварцевые граувакки (рис. 3).

Геохимические исследования

В результате геохимического исследования проб были подтверждены петрографические наблюдения, породы каждого класса имеют характерные геохимические черты. На диаграммах зависимости $Th/Sc - Zr/Sc$, $La/Sc - Co/Th$, $Th - Th/U$ отношений, построенных по работам Тейлор, Мак-Леннан (1988), McLennan et al. (1993) (табл. 1), было определено, что все породы относятся к осадкам первого цикла седиментации.

По значениям Eu/Eu^* , La/Yb и La/Sm отношений заметно характерное разделение пород по составу на осадочные породы (песчаники и граувакки) и вулканогенно-осадочные (туффиты). Туффиты содержат в своем составе обломки базальтов и андезитов, в которых имеется большое количество лейст плагиоклаза, из-за чего эти породы имеют отчетливую положительную европиевую аномалию (Eu/Eu^*) и низкую величину La/Yb и La/Sm отношений (табл. 2), тогда как в породах грауваккового, аркозового и кварц-мезомиктового составов отмечается отрицательная европиевая аномалия и повышенные отношения La/Yb и La/Sm (табл. 2).

Таблица 1. Th/Sc – Zr/Sc, La/Sc – Co/Th, Th – Th/U отношения исследуемых пород
Table 1. Th/Sc – Zr/Sc, La/Sc – Co/Th, Th – Th/U ratios of the studied rocks

Свиты	Породы	La/Sc – Co/Th		Th/Sc – Zr/Sc		Th – Th/U	
		Co/Th	La/Sc	Th/Sc	Zr/Sc	Th	Th/U
Кухтуйская	Туффиты	0.02–0.1	1.7–5.6	0.1–0.6	4.9–12	1–3	2–2.5
Нюлкалинская	Туффиты	1.3–5	0.4–1.5	0.06–0.2	4–13.1	1.9–2.4	2.2–2.6
	Кварцевые граувакки	0.5–0.7	3.4–3.6	0.9	24.8–28	6.6–9.3	3.8–4.6
	Кварцевые песчаники	1.7	2.7	0.7	16.8	7.1	4.8
Дусканьинская	Туффиты	0.6–0.9	2.4–3.3	0.7–0.8	12.8–24.9	6.3–8.4	3.6–4
	Аркозы	2.9	0.7–0.8	0.07–0.09	5.8–6.1	1.1–1.2	1.9–2
Эвричанская	Кварцевые граувакки	0.41	5.10	1.31	29.03	8.95	3.40
	Аркозы	0.3–1.1	1.6–4.1	0.4–1.1	35.5–10.3	11.6–5.5	5.2–3.8
	Мезомиктовые песчаники	0.2	2.3	1	28.1	11.8	3.5
Нонкичанская	Полевашпатовые граувакки	0.4	2.8	0.7	14.2	8.3	4.6
	Аркозы	0.6	4.6	1.2	26.6	8.4	3.7
Ингычанская	Аркозы	0.6	5.1	1.2	43.1	11.4	4

При сравнении данных по Eu/Eu^* и La/Yb отношениям исследуемых терригенных пород со средними значениями для различных магматических и осадочных пород, приведенных в статье К.С. Конди (Condie, 1993), было выявлено наибольшее сходство с обломочными и магматическими породами палеозойского возраста. Кроме того, исследуемые туффиты показали наибольшее сходство с породами базальтового состава. Подобное сходство подтверждает петрографическое определение пород как «туффиты» и подтверждает незрелость и малую измененность данных пород. Средние значения палеозойских пород различного состава по К.С. Конди (Condie, 1993) следующие: базальты – Eu/Eu^* 1.09, La/Yb 2.7; андезиты – Eu/Eu^* 0.66, La/Yb 5.5; риолиты – Eu/Eu^* 0.66, La/Yb 6.1; граувакки – Eu/Eu^* 0.62, La/Yb 7.7; кратонные песчаники – Eu/Eu^* 0.68, La/Yb 10.2.

Таблица 2. Eu/Eu^* , La/Yb и La/Sm отношения исследуемых осадочных пород.
Содержания элементов нормированы на хондрит (по Sun S.-s., McDonough, 1989)

Table 2. Eu/Eu^* , La/Yb and La/Sm ratios of the studied sedimentary rocks.
The contents of elements are normalized to chondrite (according to Sun S.-s., McDonough, 1989)

Свиты	Породы	Eu/Eu^*	La/Yb	La/Sm
Кухтуйская	Туффиты	1.2–1.6	1.5–3.6	1.2–2.3
Нюлкалинская	Туффиты	1–1.4	2.6–4.1	1.8–2.1
	Кварцевые граувакки	0.852	9.2–9.3	4–5.7
	Кварцевые песчаники	0.8	11.1	3.6
Дусканьинская	Туффиты	1.3–1.4	2.9–3	1.6–1.9
	Аркозы	0.8–0.9	8.7–9.2	4–4.1
Эвричанская	Кварцевые граувакки	0.8	12.8	4.4
	Аркозы	0.7–0.9	6.9–13.7	3.7–5.1
	Мезомиктовые песчаники	0.8	8	4.7
Нонкичанская	Полевашпатовые граувакки	1	12.2	4.8
	Аркозы	0.8	9.8	4.2
Ингычанская	Аркозы	0.6	11.8	4.6

Как видно из таблицы 3, по Eu/Eu^* отношению исследуемые туффиты ближе всего к деплетированной мантии и зонам COX, а по La/Yb отношению – к зонам COX. С учетом расположения объектов исследования на континентальной коре Охотского массива, можно предположить, что туффиты образовывались в зоне зарождения континентального рифтогенеза в тыловой зоне континентальной дуги.

Таблица 3. Средние Eu/Eu* и La/Yb отношений (нормированные на хондрит) для магматических пород различных геодинамических обстановок мезозой-кайнозой. (с использованием данных по О.А. Богатикову, 2010)
 Table 3. Average Eu/Eu* and La/Yb ratios (normalized to chondrite) for igneous rocks of various Mesozoic-Cenozoic geodynamic settings. (using data from O.A. Bogatikov, 2010)

		Eu/Eu*	La/Yb
Деплетированная мантия		1.1	0.4
Примитивная мантия		0.1	1.1
Мантия океанических плюмов		0.8	1.5
Мантия континентальных плюмов	Вариация 1	0.4	1.95
	Вариация 2	0.75	6
N-MORB	Хребет Колбенсей	1	0.4
	Восточно-Тихоокеанское поднятие	1	0.9
Индийский океан, MORB		1	1.4
Срединно-Атлантический-хребет	N- MORB	1	0.6
	T- MORB	1.1	1.2
	E- MORB	1	3.1
Островные дуги	Энсиалические	0.8	8.8
	Зрелые (Алеутские)	0.9	8.7
	Бониниты	1	1.7

Обсуждение результатов

Пестрый литологический состав терригенных пород пермского возраста в центральной части Охотского массива можно объяснить наличием различных источников обломочного материала.

Одним из источников являлась Охотско-Тайгоноская вулканическая дуга на юге Охотского массива, по данным (Парфенов и др., 2003; Бяков и др., 2005; Бяков, 2010) и по полученным геохимическим данным можно предположить, что она находилась на континентальном основании южного края массива. Из этой дуги обильно поступали обломки вулканических пород, в результате чего образовались туффы и граувакки. По отчетливой положительной европиевой аномалии, а также Th/Sc – Zr/Sc, La/Sc – Co/Th, Th – Th/U отношениям и концентрациям реперных элементов (Ti, P, K, Nb, Ta и др.), характерным для зон рифтогенеза, можно предположить, что в тылу окраинной вулканической дуги начались процессы тылового рифтообразования. В результате этого образовывалось большое количество туффов с обломками магматических пород основного состава.

Для образования аркозовых и кварц-мезомиктовых песчаников требуется большое количество кварц-полевошпатовых пород, таких как граниты, гнейсы и др. Из вулканической дуги в основном поступал крупнозернистый плохо сортированный материал, который не мог сформировать данные породы. Источником для кварц-полевошпатового материала, вероятнее всего, был метаморфический фундамент Охотского массива, выходящий на поверхность в его центральной части, известной как Кухтуйский выступ.

В целом, состав терригенных пород характерен для отложений активной континентальной окраины с локально проявленным рифтогенезом.

Заключение

Подводя итог проведенному исследованию, можно произвести приблизительную интерпретацию геодинамических обстановок и обстановок осадконакопления на Охотском массиве в пермское время. В этот период на территории массива и его северо-восточного обрамления располагался Охотский задуговой бассейн (Бяков и др., 2010). В южной части к массиву примыкала Охотско-Тайгоноская вулканическая дуга, начало формирования которой приходится на средний – поздний карбон, а максимум развития – на середину перми. Вероятнее всего, эта дуга была заложена на структурах самого Охотского массива и представляла собой энсиалическую вулканическую дугу

или активную окраину андийского типа с соответствующими продуктами среднего и кислого вулканизма. В результате размыва продуктов вулканической деятельности на этой дуге в осадочный бассейн поступало большое количество крупных зерен кварца, полевых шпатов, слюд, цирконов и обломков пород андезитового и риолитового состава. Однако, в тылу этой дуги происходил задуговый рифтогенез, за счет которого появлялись зоны базальтового вулканизма. Из этих зон, более приближенных к мелководным морям на севере массива, поступали в осадочный бассейн обломки пород базальтового состава с геохимическими метками рифтогенных обстановок. Также можно предположить, что еще одним источником для образования аркозовых и кварц-мезомиктовых песчаников был Кухтуйский выступ кристаллического фундамента Охотского массива, сложенный гранитами, гнейсами и другими метаморфическими породами, за счет чего в осадочный бассейн обильно поступал кварц-полевошпатовый материал с цирконами и слюдами.

Благодарности

Авторы выражают благодарность начальнику отдела Региональной геологии и полезных ископаемых полярных и приполярных территорий ФГБУ «ВСЕГЕИ» Зархидзе Д.В. и начальнику геологических партий Нахшкаржану А.М. за возможность участия в полевых работах по оценке изученности листов геологической карты Р-54-XXXVI и Р-55-XXXI. Также авторы выражают признательность Кашину С.В. за консультации по петрографии пород.

Литература

1. Богатиков О.А., Коваленко В.И., Шарков Е.В. Магматизм, тектоника, геодинамика Земли. М.: Наука, 2010. 606 с.
2. Бяков А.С., Прокопьев А.В., Кутыгин Р.В., Ведерников И.Л., Будников И.В. Геодинамические обстановки формирования пермских седиментационных бассейнов Верхояно-Колымской складчатой области // Отечественная геология. 2005. № 5. С. 81–84.
3. Бяков А.С., Ведерников И.Л., Акинин В.В. Пермские диамиктиты северо-востока Азии и их вероятное происхождение // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 1. С. 14–24.
4. Бяков А.С. К структурно-фациальному районированию территории Северо-восточной Азии в перми // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 2. С. 2–7.
5. Казакова Г.Г., Васькин А.Ф., Кропачев А.П., Щербаков О.И. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-54 – Оймякон. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 400 с. + 6 вкл.
6. Кузьмин В.К., Глебовицкий В.А., Родионов Н.В., Антонов А.В., Богомолов Е.С., Сергеев С.А. Главные этапы формирования палеоархейской коры Кухтуйского выступа Охотского массива // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2009. Т. 17. № 4. С. 3–22.
7. Натапов Л.М., Сурмилова Е.П. Позиция и природа Охотского массива // Отечественная геология. 1995. № 2. С. 49–53.
8. Парфенов Л.М. и др. Модель формирования орогенных поясов центральной и северо-восточной Азии. Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7–41.
9. Песков Е.Г., Умитбаев Р.Б. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Приохотская. Лист Р-54-XXXVI. Объяснительная записка. Магадан, 1977. 80 с.
10. Интерпретация геохимических данных / ред. Е.В. Складчиков. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
11. Соколов С.Д. Очерк тектоники Северо-Востока Азии. Геотектоника. 2010. № 6. С. 60–78.
12. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
13. Умитбаев Р.Б. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Приохотская. Лист Р-55-XXXI. Объяснительная записка. Магадан, 1978. 94 с.
14. Чиков Б.М. Тектоника Охотского срединного массива. М.: Наука, 1970. 152 с.
15. Шванов В.Н. Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Л. 1987. 269 с.
16. Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. Chemical Geology. 1993. V. 104. P. 1–37.
17. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics / McLennan S. M. et al. // Geological Society of America, Special Paper 284 1993. P. 21–40.
18. Sun S.-s., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes Geological Society // London: Special Publications .1989. No. 42; P. 313–345.