

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 552.5.08:551.736.3(571.65)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ ПЕРМСКИХ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОМОЛОНСКОГО МАССИВА (Северо-Восток России): ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПАЛЕОГЕОГРАФИИ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ

Брынько И. В., Михалицына Т. И., Ведерников И. Л., Бяков А. С.

*ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан
E-mail: ibrynko@mail.ru*

Рассмотрены результаты изучения вещественного состава пермских терригенных отложений джигалинской, гижигинской и хивачской свит юго-восточной части Омолонского массива. Полученные данные интерпретировались на основе петрографического исследования и широко используемых петрохимических и дискриминантных палеогеодинамических диаграмм. Литохимическое изучение показало, что отложения накапливались в условиях умеренно теплого климата с некоторыми эпизодами похолодания в обстановке активной континентальной окраины. Обломочный материал поступал в седиментационный бассейн из нескольких источников сноса: пермской Охотско-Тайгоносской вулканической дуги, докембрийского фундамента Омолонского массива и полей вулканитов кедонской серии.

Ключевые слова: пермь, Омолонский массив, петрографическая и геохимическая характеристика, терригенные отложения, палеоклимат, источники сноса.

DOI: 10.34078/1814-0998-2022-3-3-15

ВВЕДЕНИЕ

Омолонский массив – главнейший тектонический элемент в структуре мезозойд Северо-Востока Азии. Пермские отложения массива входят в состав его чехла, характеризуются широким спектром фаций – от терригенных и глинистых до карбонатных, и содержат многочисленные и разнообразные остатки беспозвоночных. Поэтому именно на Омолонском массиве выделены и описаны стратотипы всех региональных стратон пермской системы. Пермские разрезы Омолонского массива достаточно хорошо изучены с точки зрения стратиграфии и литологии (Кашик и др., 1990), но остается ряд нерешенных или не до конца выясненных вопросов, к числу которых относятся проблемы, связанные с вещественным составом отложений, источниками сноса и палеоклиматическими и палеогеодинамическими условиями осадконакопления.

Цель настоящих исследований – выявление особенностей вещественного состава терриген-

ных пород пермского возраста юго-восточной части Омолонского седиментационного бассейна, проведение реконструкции палеогеодинамической и палеоклиматической обстановки их формирования, определение вероятных источников поступления в бассейн осадочного материала.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Омолонский массив является важнейшим структурным элементом Яно-Колымской складчатой системы, на севере он граничит с Олойско-Яракваамской, на юго-востоке – с Гижигинской, на юго-западе – с Сугойской складчатыми зонами и на западе – с Приколымским блоком (Чехов, 2000).

В геологическом строении массива выделяют дорифейский метаморфический фундамент, сложенный архейскими гранитизированными мигматит-гранулитами, и рифейско-мезозойский осадочный чехол, имеющий довольно пестрый литологический состав (Горячев и др., 2017).

Пермские отложения Омолонского массива входят в состав верхней части чехла, они пред-

ставлены разнообразными фациями – карбонатными, терригенными и вулканогенными, имеющими в пределах массива различную мощность: от первых десятков метров до 1500 м (Решения..., 2009). Ниже приводится вещественная характеристика трех свит из четырех изученных нами: джигдалинской, гижигинской и хивачской (рис. 1). Омолонская свита сложена колымиевыми известняками и поэтому в дальнейшем не рассматривается, так как изучение карбонатных пород требует иной методики исследования.

Джигдалинская свита (разрез по руч. Водопадный охарактеризован нами наиболее информативно). Взаимоотношений свиты с подстилающими отложениями в изученном разрезе не наблюдалось, но известно, что она несогласно перекрывает кедонскую серию позднедевонско-раннекаменноугольных вулканитов (Кашик и др., 1990). Свита представлена преимущественно туфоалевролитами, в меньшей степени туффитами и колымиевыми известняками. Возрастной диапазон свиты в стратотипе – верхняя часть коар-

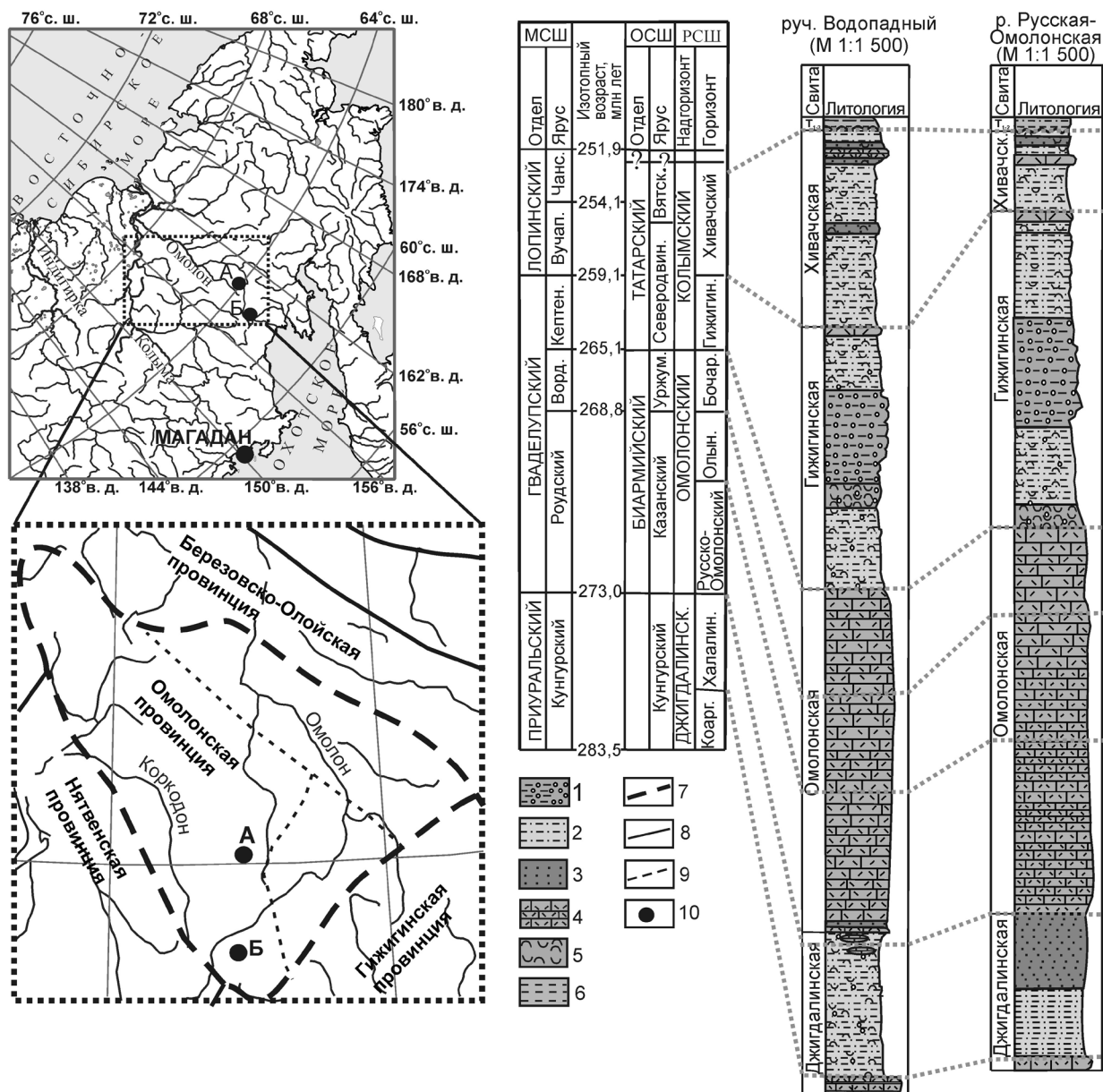


Рис. 1. Расположение изученных разрезов перми Омолонского массива на Северо-Востоке России (с использованием Решения..., 2009): 1 – диамиктиты, 2 – алевролиты, 3 – песчаники, 4 – колымиевые известняки, 5 – туффиты, 6 – аргиллиты, 7 – контуры Омолонской структурно-фациальной провинции, 8 – границы структурно-фациальных зон, 9 – границы подзон, 10 – расположение изученных разрезов на карте. А – р. Русская-Омолонская, Б – руч. Водопадный

Fig. 1. Location of the studied Omolon Massif's Permian sections in Russia's North-East (using Resolutions..., 2009): 1 – diamictites, 2 – siltstones, 3 – sandstones, 4 – kolyimic limestones, 5 – tuffites, 6 – mudstones, 7 – contours of the Omolon structure-facies province, 8 – structure-facies zone boundaries, 9 – subzone boundaries, 10 – location of the studied sections on the map. A – Russkaya-Omolonskaya River, Б – Vodopadny Creek

гычанского – низы русско-омолонского горизонта (верхи артинского – низы роудского ярусов по Международной стратиграфической шкале (МСШ)) (Бяков, 2012б). Видимая мощность свиты около 50 м.

Гижигинская свита (разрез изучен по р. Русская-Омолонская). Контакт с подстилающей омолонской свитой резкий (Кашик и др., 1990). Свита сложена диамиктитами, туфоалевролитами, туффитами и туфовыми известняками. Фаунистические остатки брахиопод и двустворчатых моллюсков определяют ее принадлежность к гижигинскому региональному горизонту (кепитенский ярус МСШ) (Бяков, 2012б). Мощность свиты в разрезе около 50 м.

Хивачская свита (разрез изучен по руч. Водопадный). Свита согласно, с постепенным переходом залегает на породах гижигинской свиты и со стратиграфическим несогласием перекрывается отложениями нижнего триаса. Отложения свиты представлены туфоалевролитами, в верхней части присутствуют прослои (30–50 см) колымиевых известняков. Остатки брахиопод, двустворчатых моллюсков, фораминифер и другой фауны позволяют относить свиту к хивачскому региональному горизонту (вучапинский и чансинский ярусы МСШ) (Бяков, 2012б). Мощность 45 м.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования – пермские терригенные породы джигдалинской, гижигинской и хивачской свит, из двух разрезов, являющихся стратотипическими для Колымо-Омолон-Чукотского региона – руч. Водопадный и р. Русская-Омолонская. В ходе полевых работ выполнялось послойное описание разрезов с отбором образцов для петрографического и химического изучения. Петрографическое исследование (было изучено 60 шлифов) проводилось с использованием поляризационного микроскопа Motiс ВА 3000 Pol. Определение пороодообразующих элементов пород осуществлялось рентгенофлуоресцентным методом в Северо-Восточном центре коллективного пользования СВКНИИ ДВО РАН на приборе СРМ-25. При выполнении анализа была использована методика № 138–Х (Методика..., 2005).

Для получения представительной геохимической характеристики отложений все образцы были подвергнуты визуальному изучению и отобраны шtuфы с минимальной степенью вторичных изменений. В целях упрощения геохимического исследования пермских отложений все пробы классифицированы как глинисто-алевролитовые. Петрографическое изучение пород показало значительные содержания глинистого материала, что позволило использовать методики изучения глинистых отложений.

Также отбраковывались образцы диамиктитов с высоким (более 40 %) содержанием песчано-гравийного материала. Материал отбирали из всех стратиграфических уровней с шагом опробования 1 м по мощности (кроме верхнегижигинских и нижнехивачских отложений, где шаг опробования был около 0.3 м). Всего проанализировано 113 образцов (см. таблицу).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

Петрографическая характеристика основных типов пород. При петрографическом исследовании пермских пород особое внимание уделялось изучению аллотигенных компонентов, так как именно они указывают на состав питающих провинций и удаленность областей питания от бассейна седиментации.

Туффиты джигдалинской свиты темно-зеленые, глинисто-алевритисто-песчанистые, хлоритизированные, комковатой текстуры. Структура породы кристалловитрокластическая (рис. 2, А), основная масса хлоритизированная глинисто-кремнистая, составляет до 50 %, в ней присутствуют остроугольные, клиновидные пепловые частицы кварца и полевого шпата размером 0.4–0.5 мм. Литокласты представлены плохо-окатанными хлоритизированными эффузивными породами среднего и кислого состава размером 0.3–0.4 мм, слагают около 20 %; кристаллокласты – остроугольным кварцем (единичные зерна) и полевыми шпатами, плагиоклазами (размер частиц – 0.05–0.2 мм), составляют до 15 % породы; аутигенные минералы – хлоритом (размер зерен 0.1–0.5 мм), который занимает около 15 %; вторичные минералы – магнетитом, кальцитом, хлоритом, пиритом.

Серые туфоалевролиты джигдалинской свиты песчанистые, щебенчатые. Структура породы алевритовая, текстура массивная. Основная масса сложена глинисто-кремнистым материалом с размером зерен от 0.003 до 0.1 мм, составляет 50–65 % породы. Единичные частицы пеплового материала остроугольной, клиновидной формы, размером 0.4–0.5 мм. Обломочные зерна имеют остроугольную, призматическую форму, среднюю сортировку. Аллотигенные компоненты представлены кристаллокластами кварца, полевого шпата, опала; размер зерен от 0.05 до 0.3 мм, слагают 20–30 % породы. Другая составляющая аллотигенных компонентов – хлоритизированные литокласты эффузивных пород основного, среднего состава, размер зерен от 0.3 до 0.7 мм, слагают менее 1 %. Аутигенные минералы – магнетит, хлорит. Туфоалевролиты подразделяются на два подтипа – более хлоритизированные (рис. 2, Б) и более карбонатизированные (рис. 2, В).

Таблица. Средний химический состав пермских пород Омолонского массива (мас. %)
Table. Average chemical composition of Permian rocks of the Omolon Massif (mass. %)

Свита	Джилдалинская				Гизигинская				Хивачская			
	Туффит	Туфоалевролит	Туффит	Туффит	Диамиктит	Туфоалевролит	Туфоалевролит	Туфоалевролит	Туфоалевролит	Туфоалевролит	Туфоалевролит	Туфоалевролит
Хемотип	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13
n	12	14	12	3	6	17	9	11	11	11	11	11
SiO ₂	<u>72.75-55.37</u> 65.21	<u>74.73-66.94</u> 71.42	<u>71.17-55.92</u> 64.47	<u>75.30-70.45</u> 72.44	<u>76.14-63.48</u> 67.81	<u>71.61-60.82</u> 64.37	<u>69.17-55.63</u> 64.68	<u>60.44-54.14</u> 55.96	<u>59.83-50.14</u> 55.65	<u>59.83-50.14</u> 55.65	<u>59.83-50.14</u> 55.65	<u>59.83-50.14</u> 55.65
TiO ₂	<u>0.89-0.42</u> 0.68	<u>0.72-0.47</u> 0.59	<u>0.73-0.43</u> 0.67	<u>0.47-0.33</u> 0.40	<u>0.78-0.41</u> 0.67	<u>0.82-0.57</u> 0.70	<u>0.94-0.50</u> 0.69	<u>1.26-0.94</u> 1.08	<u>1.41-0.98</u> 1.11	<u>1.41-0.98</u> 1.11	<u>1.41-0.98</u> 1.11	<u>1.41-0.98</u> 1.11
Al ₂ O ₃	<u>16.41-11.42</u> 13.68	<u>14.65-11.28</u> 12.91	<u>15.97-11.64</u> 14.04	<u>9.73-6.95</u> 8.68	<u>15.07-9.67</u> 13.08	<u>15.29-11.9</u> 14.18	<u>16.96-10.47</u> 13.98	<u>19.34-15.60</u> 16.87	<u>17.63-15.50</u> 16.42	<u>17.63-15.50</u> 16.42	<u>17.63-15.50</u> 16.42	<u>17.63-15.50</u> 16.42
Fe ₂ O ₃ общ.	<u>9.26-4.59</u> 6.52	<u>6.30-2.71</u> 4.78	<u>7.98-3.71</u> 5.57	<u>5.33-3.97</u> 4.70	<u>5.79-4.38</u> 5.04	<u>6.35-4.61</u> 5.51	<u>8.73-5.22</u> 6.75	<u>11.51-6.50</u> 9.10	<u>12.43-7.89</u> 9.92	<u>12.43-7.89</u> 9.92	<u>12.43-7.89</u> 9.92	<u>12.43-7.89</u> 9.92
MnO	<u>0.08-0.01</u> 0.03	<u>0.04-0.01</u> 0.02	<u>0.05-0.01</u> 0.03	<u>0.22-0.03</u> 0.11	<u>0.03-0.03</u> 0.03	<u>0.11-0.03</u> 0.04	<u>0.09-0.03</u> 0.03	<u>0.05-0.03</u> 0.04	<u>0.06-0.02</u> 0.04	<u>0.06-0.02</u> 0.04	<u>0.06-0.02</u> 0.04	<u>0.06-0.02</u> 0.04
MgO	<u>2.33-1.27</u> 1.91	<u>1.15-0.70</u> 0.96	<u>2.59-1.54</u> 2.17	<u>1.98-1.23</u> 1.66	<u>2.51-1.80</u> 2.12	<u>2.89-1.88</u> 2.48	<u>2.97-1.94</u> 2.39	<u>2.55-1.31</u> 1.99	<u>2.42-1.31</u> 1.89	<u>2.42-1.31</u> 1.89	<u>2.42-1.31</u> 1.89	<u>2.42-1.31</u> 1.89
CaO	<u>4.57-0.79</u> 2.03	<u>2.04-0.49</u> 1.44	<u>8.00-1.21</u> 2.70	<u>6.83-0.96</u> 3.69	<u>2.63-0.84</u> 1.76	<u>3.51-1.23</u> 2.15	<u>4.60-0.84</u> 1.73	<u>4.47-1.10</u> 3.02	<u>8.26-0.86</u> 2.76	<u>8.26-0.86</u> 2.76	<u>8.26-0.86</u> 2.76	<u>8.26-0.86</u> 2.76
Na ₂ O	<u>0.93-0.13</u> 0.45	<u>0.13-0.13</u> 0.13	<u>1.67-1.19</u> 1.35	<u>1.53-1.13</u> 1.40	<u>3.21-1.80</u> 2.60	<u>3.42-1.92</u> 2.38	<u>3.81-1.95</u> 2.70	<u>4.65-2.89</u> 3.75	<u>3.70-2.27</u> 3.30	<u>3.70-2.27</u> 3.30	<u>3.70-2.27</u> 3.30	<u>3.70-2.27</u> 3.30
K ₂ O	<u>3.55-2.05</u> 2.75	<u>3.43-2.57</u> 2.94	<u>3.74-2.79</u> 3.34	<u>1.42-0.99</u> 1.27	<u>2.51-1.51</u> 2.06	<u>2.94-1.77</u> 2.31	<u>3.21-0.98</u> 1.91	<u>2.19-1.56</u> 1.92	<u>2.61-1.54</u> 2.15	<u>2.61-1.54</u> 2.15	<u>2.61-1.54</u> 2.15	<u>2.61-1.54</u> 2.15
P ₂ O ₅	<u>0.22-0.05</u> 0.12	<u>0.14-0.07</u> 0.11	<u>0.23-0.08</u> 0.13	<u>0.23-0.03</u> 0.11	<u>0.11-0.06</u> 0.09	<u>0.12-0.07</u> 0.10	<u>0.17-0.08</u> 0.10	<u>0.30-0.18</u> 0.24	<u>0.33-0.18</u> 0.23	<u>0.33-0.18</u> 0.23	<u>0.33-0.18</u> 0.23	<u>0.33-0.18</u> 0.23
п. п. п.	<u>9.08-5.03</u> 6.63	<u>6.12-4.12</u> 4.79	<u>9.60-4.23</u> 5.53	<u>7.88-3.63</u> 5.54	<u>5.48-3.31</u> 4.75	<u>7.04-4.22</u> 5.79	<u>7.38-4.30</u> 5.02	<u>7.02-4.53</u> 6.03	<u>9.51-4.84</u> 6.53	<u>9.51-4.84</u> 6.53	<u>9.51-4.84</u> 6.53	<u>9.51-4.84</u> 6.53
Сумма	<u>100.01-99.99</u> 99.95	<u>100-99.89</u> 99.95	<u>100.02-99.99</u> 100	<u>100.6-99.98</u> 100.24	<u>100.01-99.95</u> 99.97	<u>100.02-99.95</u> 99.98	<u>100.01-99.95</u> 99.97	<u>100.01-99.99</u> 99.99	<u>100.01-99.98</u> 100	<u>100.01-99.98</u> 100	<u>100.01-99.98</u> 100	<u>100.01-99.98</u> 100
ГМ	<u>0.23-0.45</u> 0.33	<u>0.30-0.21</u> 0.26	<u>0.40-0.23</u> 0.32	<u>0.21-0.16</u> 0.19	<u>0.34-0.19</u> 0.28	<u>0.36-0.24</u> 0.32	<u>0.44-0.27</u> 0.33	<u>0.52-0.43</u> 0.49	<u>0.55-0.43</u> 0.50	<u>0.55-0.43</u> 0.50	<u>0.55-0.43</u> 0.50	<u>0.55-0.43</u> 0.50
ФМ	<u>0.20-0.08</u> 0.13	<u>0.11-0.05</u> 0.08	<u>0.17-0.08</u> 0.12	<u>0.10-0.08</u> 0.09	<u>0.13-0.08</u> 0.11	<u>0.15-0.09</u> 0.13	<u>0.18-0.11</u> 0.14	<u>0.26-0.14</u> 0.20	<u>0.27-0.16</u> 0.21	<u>0.27-0.16</u> 0.21	<u>0.27-0.16</u> 0.21	<u>0.27-0.16</u> 0.21
НКМ	<u>0.25-0.22</u> 0.23	<u>0.25-0.23</u> 0.24	<u>0.35-0.32</u> 0.33	<u>0.32-0.30</u> 0.31	<u>0.37-0.34</u> 0.36	<u>0.38-0.30</u> 0.33	<u>0.36-0.30</u> 0.33	<u>0.36-0.32</u> 0.34	<u>0.36-0.31</u> 0.33	<u>0.36-0.31</u> 0.33	<u>0.36-0.31</u> 0.33	<u>0.36-0.31</u> 0.33
ТМ	<u>0.06-0.04</u> 0.05	<u>0.05-0.04</u> 0.05	<u>0.05-0.04</u> 0.05	<u>0.05-0.04</u> 0.05	<u>0.05-0.04</u> 0.05	<u>0.05-0.04</u> 0.05	<u>0.06-0.04</u> 0.05	<u>0.07-0.06</u> 0.06	<u>0.09-0.06</u> 0.07	<u>0.09-0.06</u> 0.07	<u>0.09-0.06</u> 0.07	<u>0.09-0.06</u> 0.07
ЩМ	<u>0.22-0.04</u> 0.17	<u>0.05-0.04</u> 0.04	<u>0.47-0.33</u> 0.41	<u>1.14-1.08</u> 1.10	<u>1.55-1.05</u> 1.26	<u>1.46-0.74</u> 1.06	<u>2.13-0.82</u> 1.48	<u>2.63-1.31</u> 1.99	<u>2.40-0.87</u> 1.60	<u>2.40-0.87</u> 1.60	<u>2.40-0.87</u> 1.60	<u>2.40-0.87</u> 1.60
СГА	<u>72.22-56.57</u> 66.05	<u>75.61-55.70</u> 68.81	<u>64.91-40.86</u> 58.11	<u>62.18-31.56</u> 47.82	<u>61.23-53.75</u> 59.17	<u>62.47-48.79</u> 58.21	<u>64.62-50.01</u> 59.92	<u>61.02-52.26</u> 55.93	<u>63.90-41.52</u> 59.11	<u>63.90-41.52</u> 59.11	<u>63.90-41.52</u> 59.11	<u>63.90-41.52</u> 59.11

Примечание. n – количество проб. Над чертой – максимальное и минимальное содержание, под чертой – среднее содержание.

В составе хлоритизированных туфоалевролитов преобладает хлорит и пепловые частицы, в меньшей степени присутствует карбонатный и сидеритовый материал и зерна песчаной размерности.

Зеленые туффиты гижигинской свиты песчано-алевролитовые, хлоритизированные. Структура породы кристалловитрокластическая (пепловая), текстура массивная. В шлифах преобладает несортированный глинисто-серицитовый материал с тонкодисперсной примесью полевых шпатов и кварца и множеством пепловых рогул, слагающих до 70 % породы, с размерностью фракции 0.025–0.01 мм (рис. 2, Г). Частицы обломочной фракции имеют удлиненную и изометричную морфологию, среднюю сортировку, угловатую окатанность. Аллотигенная часть представлена кристаллокластами полевого шпата и кварца, с размерами зерен от 0.005 до 0.4 мм, слагающими 15 % породы, и литокластами эффузивных пород среднего состава размерностью 0.1–0.7 мм со стекловатой и гиалопилитовой текстурой, слагающими 10 % породы. Аутигенные минералы – барит, гетит (Кашик и др., 1990).

Диамиктиты гижигинской свиты темно-серого цвета, массивные. Структура матрикса породы витрокристаллокластическая, текстура массивная. В большом количестве присутствует беспорядочно рассеянный валунно-галечный материал. В шлифах основная масса диамиктитов сложена плохо сортированным серицит-кварц-полевошпат-глинистым материалом с размером зерен 0.005–0.025 мм, составляющим более 50 % породы (рис. 2, Д). В основной массе наблюдаются роговчатые пепловые частицы. Обломочные частицы имеют удлиненную, остроугольную и изометричную форму, плохую сортировку; они плохо окатаны, часто угловатые. Аллотигенные компоненты сложены кристаллокластами полевого шпата, кварца, редко плагиоклаза с размером обломков от 0.05 до 0.7 мм, слагающими до 20 % породы. Характерный пятнистый облик диамиктитам придают литокласты.

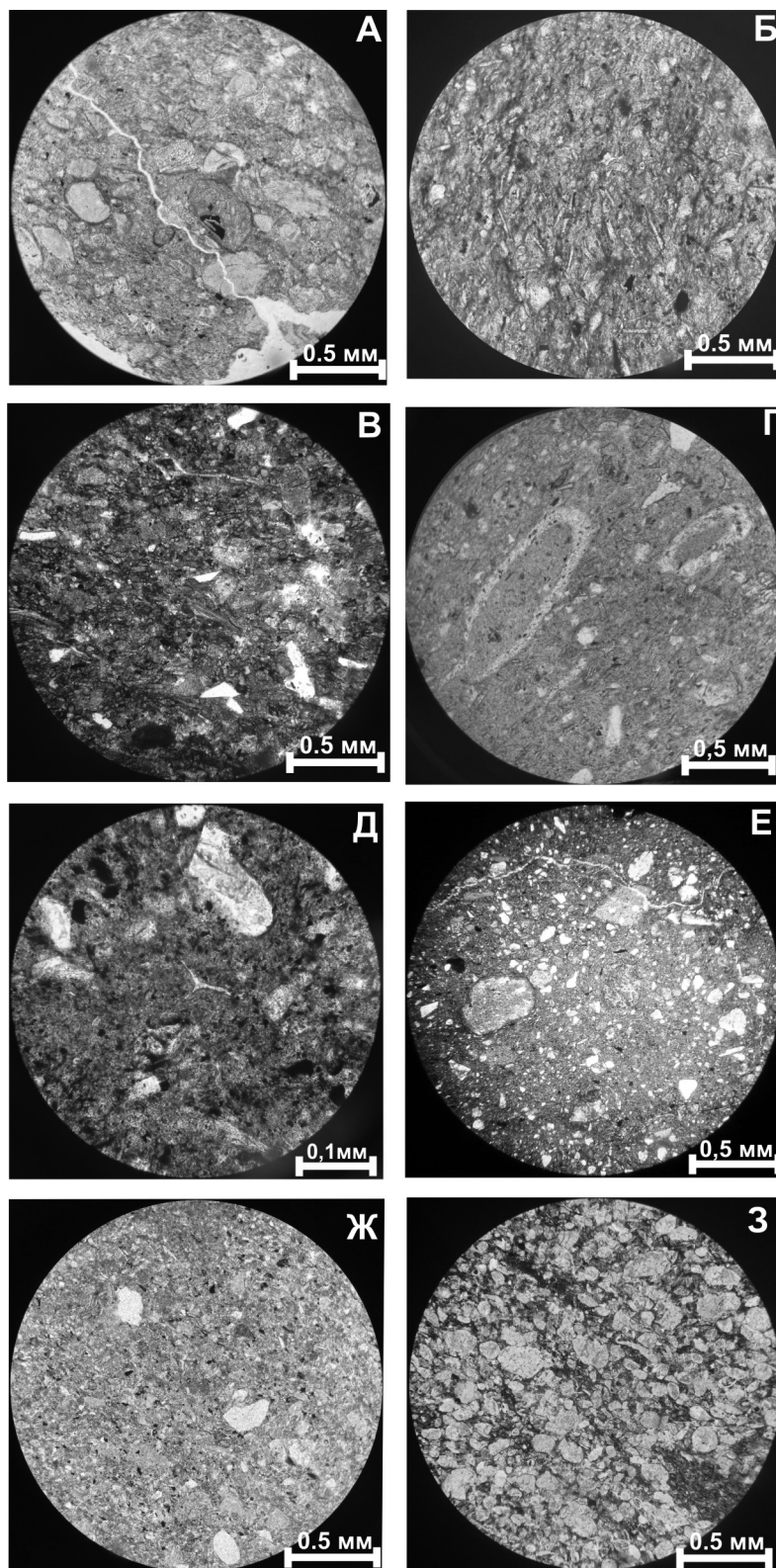


Рис. 2. Шлифы основных типов пермских терригенных пород Омолонского массива. А – туффиты, Б, В – туфоалевролиты – все джигдалинская свита, Г – туффиты, Д – диамиктиты, Е – туфоалевролиты – все гижигинская свита, Ж, 3 – туфоалевролиты хивачской свиты

Fig. 2. Photos of thin sections of the main types of Permian terrigenous rocks from the Omolon Massif. А – tuffites, Б, В – tuff siltstones (all from the Dzigidali Formation), Г – tuffites, Д – diamictites, Е – tuff siltstones (all from the Gizhiga Formation), Ж, 3 – tuff siltstones from the Khivach Formation

Литокласты представлены эффузивами среднего – основного состава со стекловатой, порфировой и гиалопиловой структурами, размер обломков 0.2–2 мм; они составляют около 20 % породы. Аутигенные минералы – магнетит, гетит, пирит. Вторичные минералы – хлорит, карбонат, серицит.

Туфоалевролиты верхнегигинской и хивачской свит серые, песчанистые, содержат редкий галечно-гравийный материал. Структура породы алевритовая, текстура массивная. Основная масса представлена глинисто-алевритовым материалом с примесью хлорита и серицита, размер зерен 0.005–0.025 мм, составляет 40–65 % породы (рис. 2, Е). Аллотигенные компоненты сложены неокатанными, остроугольными зернами кварца и полевых шпатов, размер обломков 0.4–0.03 мм, составляют 15–30 %; плохо окатанными литокластами эффузивных пород среднего – основного состава, кварцитов, размер обломков 0.1–0.5 мм; они составляют 20–50 % породы. Вторичные минералы: кальцит, хлорит. В целом этот литотип схож с диамиктитами, отличаясь гораздо меньшим количеством галечных включений.

Зеленые туфоалевролиты хивачской свиты алевритовой структуры, массивной текстуры. Основная масса сложена гидрослюдистыми минералами с примесью дисперсных частиц полевых шпатов; размер зерен 0.005–0.025 мм, которые составляют до 60 % породы. Обломочные частицы имеют угловатую, удлиненную, призматическую форму, хорошую сортировку, плохую окатанность. Аллотигенные компоненты представлены кристаллокластами полевых шпатов, кварца, плагиоклаза, размер зерен – от 0.05 до 0.5 мм, с содержанием в породе от 10 до 30 %; встречаются литокласты эффузивных пород основного состава с пилотакситовой структурой, размер зерен от 0.1 до 0.7 мм, составляют 1–5 %. В породе наблюдаются окатыши, аналогичные встреченным в зеленых туффитах гижигинской свиты. Кайма окатыша сложена хлоритизированной основной массой. Аутигенными минералами являются пирит, гетит, гематит, хлорит. Зерна хлорита чаще всего имеют округлую форму, размер 0.1–0.3 мм, процентное содержание зерен увеличивается вверх по разрезу от 1–2 до 30. Вторичные минералы – кальцит, хлорит. Эти туфоалевролиты разделены на два подтипа, которые отличаются только содержанием аутигенного хлорита в породе. В первом подтипе хлорит представлен единичными зернами (рис. 2, Ж), а во втором его около 20–30 % в породе (рис. 2, З).

Геохимическая характеристика. Для литохимической характеристики пермских отложений использованы наиболее информативные литохимические модули (Юдович, Кетрис, 2000): гидролизатный модуль (ГМ) – $(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 +$

$\text{FeO} + \text{MnO})/\text{SiO}_2$, фемический модуль (ФМ) – $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$; модуль нормированной щелочности (НKM) – $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$; титановый модуль (ТМ) – $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; щелочной модуль (ЩМ) – $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$.

Химический состав изученных пермских пород Омолонского массива приведен в таблице. По соотношению оксида натрия, кремния, а также фемического и щелочного модулей в породах выделено девять хемотипов (рис. 3). Вверх по разрезу возрастает общая щелочность ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$).

В *джигдалинской свите* выделены три хемотипа, которые характеризуются как нормально щелочные (НKM = 0.22–0.35, в среднем 0.27); среднее значение НKM в хемотипах 1 и 2 соответственно 0.23 и 0.24, в хемотипе 3 средний показатель НKM увеличивается до 0.33, что подтверждено увеличением содержания в породах полевых шпатов. По ГМ, значения которого в хемотипе 1 и 3 варьируют от 0.23 до 0.45 (средние значения 0.33 и 0.32), породы классифицируются как глинистые силициты и некоторые основные граувакки, а в хемотипе 2 ГМ изменяется от 0.21 до 0.30 (среднее значение 0.26) и породы определяются как мезо- и полимиктовые алевролиты (см. таблицу). Отложения джигдалинской свиты имеют калиевый тип щелочности (ЩМ < 1), значения щелочного модуля варьируют от 0.04 до 0.47, в среднем составляют 0.20. Наименьшее значение ЩМ (0.04) отмечается в хемотипе 2, где наблюдаются аномально низкие значения Na_2O . Все хемотипы джигдалинской свиты обладают невысокими значениями ФМ и примерно равными ТМ (см. таблицу). Отмечается прямая корреляционная связь между модулями ТМ и ФМ.

В *гижигинской свите* также установлены три хемотипа, они имеют натриевый тип щелочности ЩМ > 1 (см. таблицу). По величине показателя нормированной щелочности (НKM = 0.28–0.38, в среднем 0.33) породы относятся к нормально-щелочным. Отмечается широкий интервал значений ГМ: для хемотипа 5 значения варьируют от 0.16 до 0.21, среднее 0.19, породы классифицируются как слабоглинистые силициты, олигомиктовые кварцевые алевролиты. Для хемотипов 6 и 7 ГМ колеблется от 0.19 до 0.36 (среднее 0.32 и 0.33 соответственно), породы подразделяются на: а) слабоглинистые силициты, олигомиктовые кварцевые песчаники и алевролиты; б) глинистые породы, некоторые основные граувакки. Значения ФМ и ТМ находятся на уровне значений хемотипов джигдалинской свиты.

Отложения *хивачской свиты* характеризуются тремя хемотипами, которые преимущественно относятся к натриевому типу щелочности ЩМ > 1 (ЩМ варьирует от 0.87 до 2.63, в среднем составляя 1.48, 1.99 и 1.60 соответственно), обла-

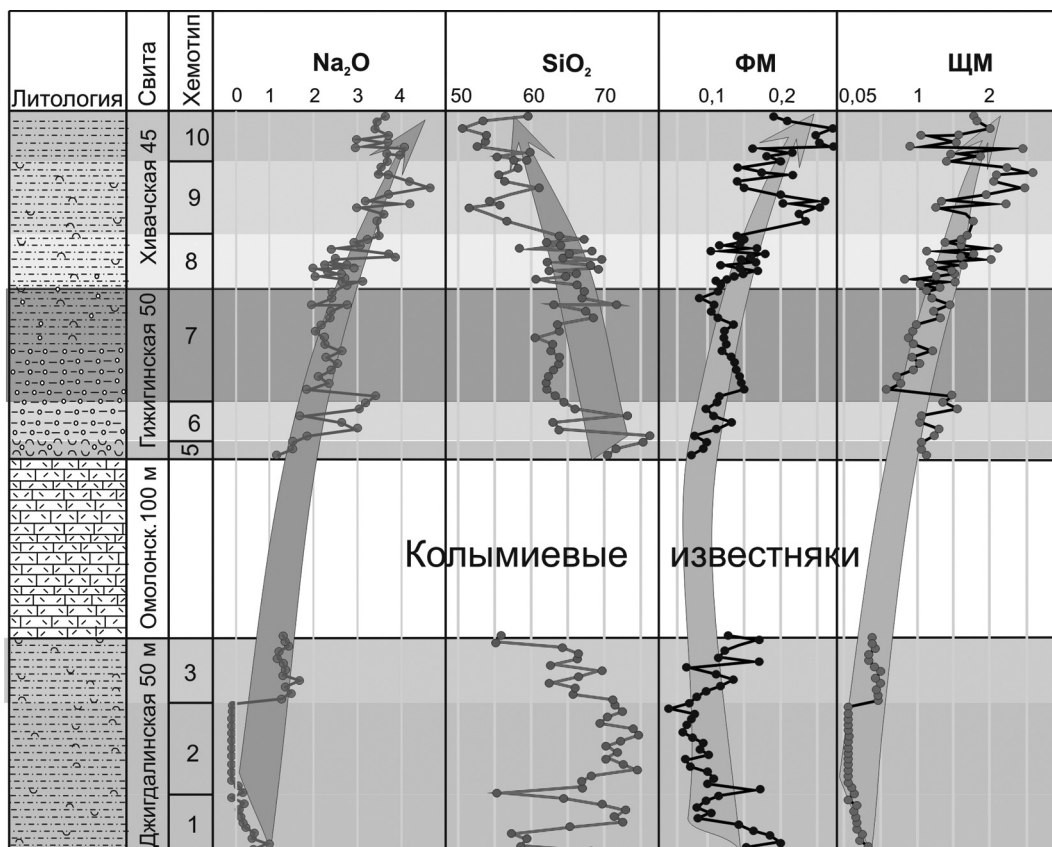


Рис. 3. Литохимическая эволюция пермского осадконакопления Омолонского массива. ФМ – фемический модуль $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$; ЩМ – щелочной модуль $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (Юдович, Кетрис, 2000)

Fig. 3. Lithochemical evolution of Permian sedimentation in the Omolon Massif. ФМ – femic module $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$, ЩМ – alkaline module $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (Yudovich, Ketris, 2000)

дают нормальной щелочностью – НКМ 0.31–0.36 (в среднем 0.33). Отмечается увеличение значений всех остальных модулей (см. таблицу). По ГМ, значения которого варьируют от 0.27 до 0.55 (в среднем 0.33, 0.49 и 0.50), породы классифицируются как глинистые и некоторые основные граувакки; отмечаются повышенные значения ТМ – от 0.05 до 0.07 и ФМ от 0.14 до 0.21. Относительно высокие значения ФМ и ТМ, как правило, отражают наличие в породе основной вулканокластике, что также подтверждается петрографическим изучением в шлифах.

Для классификации терригенных пород по порообразующим оксидам использованы диаграммы, основанные на соотношении в породе кварца, полевых шпатов и глинистых минералов, которые отражают состав пород в источнике сноса и их зрелость. М. Херроном (Herzon, 1988) на основе диаграммы Ф. Петтиджона была разработана новая диаграмма для классификации песчаников и глинистых пород, которая дает возможность более точно классифицировать аркозы, а также позволяет оценивать степень присутствия в породах Fe-Mg-минералов, менее устойчивых к процессам выветривания (Маслов, 2005). На рис. 4, А видно, что поля фигуративных точек всех выделенных

хемотипов близко расположены друг к другу и преимущественно сосредоточены в полях сланцев и граувакк. Хемотип 2 находится в поле граувакк, хемотип 5 – железистых песчаников, хемотипы 9 и 10 образуют единый кластер и относятся к полю железистых сланцев.

По соотношению индексов ФМ – НКМ (Юдович, Кетрис, 2000) отдельные кластеры образуют хемотипы 1, 2 и 5 (рис. 4, Б), они имеют смешанный трехкомпонентный состав (хлорит + смектит + гидрослюда) и группируются в поле V. Хемотипы 9 и 10 приурочены к полю гидрослюдистых глинистых пород, со значительной примесью дисперсных частиц полевых шпатов (VI). Остальные хемотипы образуют единый кластер, который располагается в поле V и VI.

На всех модульных диаграммах (рис. 5) фигуративные точки отложений хивачской свиты (хемотипы 9 и 10) отчетливо обособляются в самостоятельное поле за счет более высоких значений таких рассматриваемых индексов, как ГМ, ФМ ТМ, что, вероятно, обусловлено отличиями от других хемотипов условиями осадконакопления, а именно – существенным привносом вулканокластике, представленной вулканитами среднего или основного состава и полевыми шпатами. На

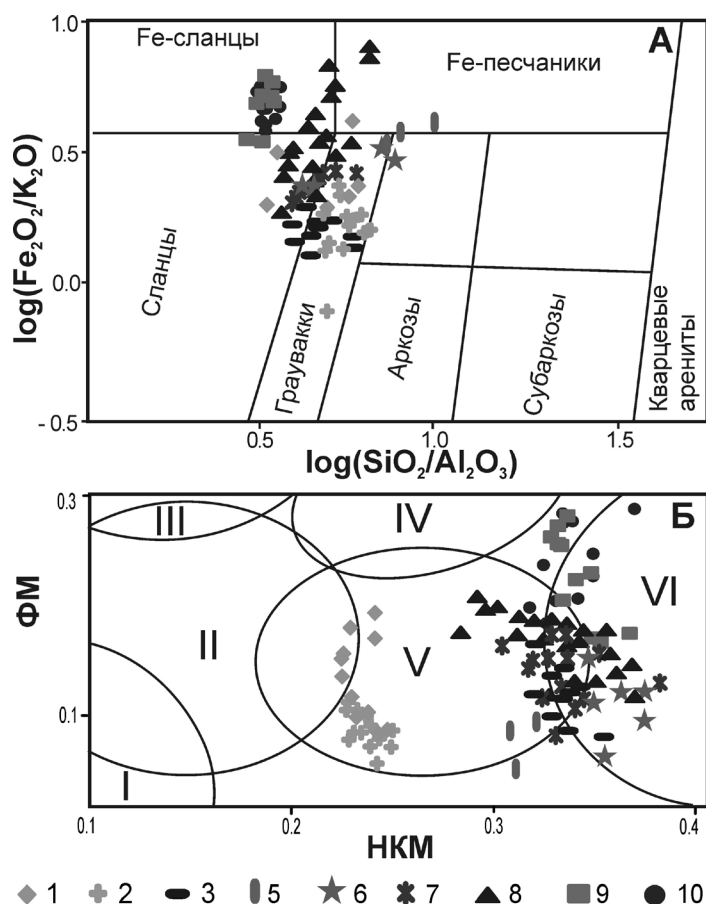


Рис. 4. Классификационные диаграммы для терригенных пород и положение на них фигуративных точек пермских хемотипов. А – (Herron, 1988); Б – (Юдович, Кетрис, 2000). Поля на диаграмме: I – преобладает каолинит; II – преобладает смектит, меньше каолинита, имеется примесь гидрослюда; III – преобладает хлорит, примесь железистых гидрослюдов; IV – двухкомпонентная смесь хлорит + гидрослюда; V – трехкомпонентная смесь хлорит + смектит + гидрослюда; VI – глинистые породы, чаще всего гидрослюдистые, со значительной примесью дисперсных частиц полевых шпатов. Номера точек в условных обозначениях (1–3, 5–10) соответствуют номерам хемотипов в таблице

Fig. 4. Classification diagrams for terrigenous rocks and the position of Permian chemotype figurative points on them. А – (Herron, 1988); Б – (Yudovich, Ketris, 2000). Fields on the diagrams: I – kaolinite predominance; II – smectite predominance, less kaolinite, admixture of hydromica available; III – chlorite predominance, admixture of ferruginous hydromicas available; IV – two-component mixture of chlorite + hydromica; V – three-component mixture of chlorite + smectite + hydromica; VI – clayey rocks, most often hydromicaceous, with a significant admixture of dispersed feldspar particles. Point numbers in the legend (1–3, 5–10) correspond to the chemotype numbers in Table

диаграммах ГМ – НКМ, ФМ – НКМ хемотипы 1 и 2 также образуют единое поле вследствие низких содержаний НКМ за счет аномально низких содержаний оксида натрия. Установленная на диаграммах положительная корреляция между парами ГМ – ТМ и ФМ – ТМ и отрицательная между ГМ – НКМ, ФМ – НКМ, вероятно, свидетельствует о петрогенной (вулканогенной) природе отложений (Юдович, Кетрис, 2000).

РЕКОНСТРУКЦИЯ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

Климат. Интенсивность процессов преобразования исходных пород источников сноса на водосборах (в том числе и за счет климата) также может быть оценена по валовому химическому составу пород (Подковыров и др., 2015). Для оценки палеоклимата применен индекс химического выветривания CIA, определяемый соотношением $[\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times 100$ (Nesbitt, Young, 1982). В качестве критерия для разграничения отложений, формирующихся в условиях теплого и холодного климата, принято считать значение CIA, равное 70. Относительно «свежие» породы характеризуются значениями около 50, тогда как для сильно выветрелых этот индекс стремится к 100.

В нашем случае индекс CIA варьирует в довольно узких пределах значений: для пород джигдалинской свиты колеблется от 40.8 до 75.6

(среднее по хемотипам 66.05, 68.81 и 58.11), для отложений гижигинской свиты – от 48.8 до 64.7 (среднее по хемотипам 47.82, 59.17 и 58.21); для пород хивачской свиты – от 41.5 до 63.9 (среднее по хемотипам 59.92, 55.93 и 59.11) (см. таблицу). Во всех хемотипах отмечаются относительно низкие значения, что свидетельствует о преобладании сравнительно «свежих», недавно выведенных на поверхность пород среди источников сноса. Следует отметить постепенное снижение CIA в течение перми, что может свидетельствовать о некотором похолодании климата.

Возможные источники сноса и палеогеодинамические обстановки. В целях уточнения петрографического состава пород источников сноса и выявления питающих провинций были использованы: TAS (Le Maitre, 1989) и DF1–DF2 (Roser, Korsch, 1988) диаграммы. На TAS диаграмме (рис. 6, А) выделяются 4 кластера: первый кластер (андезитов – базальтов и их умереннощелочных разновидностей) образуют фигуративные точки хемотипов 9 и 10; второй кластер (поле андезитов – дацитов – низкощелочных дацитов) имеет смешанный состав и представлен хемотипами 3, 6, 7, 8, в третий кластер (низкощелочных дацитов – низкощелочных риодацитов) также попадают точки хемотипов 1, 2, 5, отличающиеся от второго кластера более высоким содержанием кремнезема (65–76 %) и относительно низкими

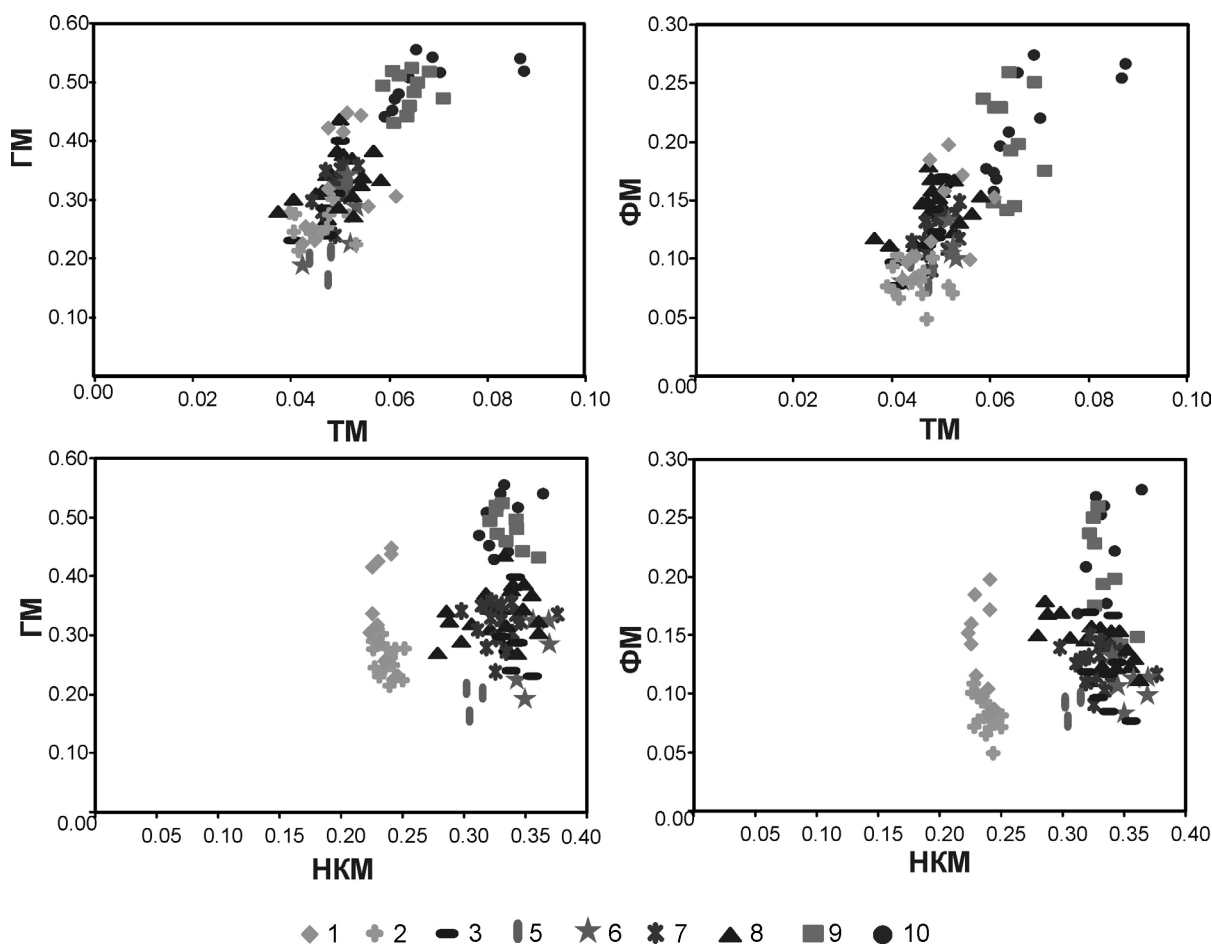


Рис. 5. Модульные диаграммы: ГМ – гидролизатный модуль $(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/\text{SiO}_2$, ТМ – титановый модуль $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, ФМ – фемический модуль $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$, НКМ – модуль нормированной щелочности $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/(\text{Al}_2\text{O}_3)$ (Юдович, Кетрис, 2000). Условные обозначения см. на рис. 4

Fig. 5. Modular diagrams: ГМ – hydrolyzate module $(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/\text{SiO}_2$, ТМ – titanium module $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, ФМ – femic module $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$, НКМ – normalized alkalinity module $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/(\text{Al}_2\text{O}_3)$ (Yudovich, Ketris, 2000). See Fig. 4 for the legend

значениями (2.6–3.5 %) суммы щелочных металлов. Четвертый кластер формируют фигуративные точки хемотипа 1, характеризующиеся пониженными значениями кремнезема (55.3–58.7 %) (см. таблицу; рис. 6, А).

На диаграмме DF1–DF2 (Roser, Korsch, 1988), отражающей состав источников сноса, фигуративные точки хемотипов 1, 5, 8, 9 и 10 попадают в поле вулканических провинций среднего и основного составов. Однако среди них есть отличия. Так, например, хемотипы 9 и 10 имеют единую питающую провинцию, отличную от других (рис. 6, Б). Фигуративные точки хемотипов 2 и 6 локализуются в поле вулканических провинций среднего состава; точки хемотипов 3 и 7 расположены в полях кварцевых провинций и вулканических провинций среднего состава.

В целом (снизу вверх по разрезу) в пермских отложениях Омолонского массива отмечается смена типа осадочных (вулканогенно-осадочных) пород с сиалического на фемический (см. рис. 3).

По данным ряда исследователей (Maynard et al., 1982; Roser, Korsch, 1986; и др.) отмечается тесная связь между вещественным составом пород и геодинамическими обстановками областей питания и бассейнов седиментации. Палеогеодинамическая реконструкция проведена с помощью дискриминантных диаграмм, основанных на соотношении порообразующих компонентов и индикаторных оксидов.

На рис. 6 В, Г показаны диаграммы генетической интерпретации вещественного состава пермских пород Омолонского массива. Фигуративные точки хемотипов джигдалинской свиты (1–3) попадают главным образом в поля бассейнов, связанных с пассивной континентальной окраиной; единичные точки хемотипов 1 и 3 смещены в сторону полей осадочных бассейнов активных континентальных окраин (рис. 6, В). Точки хемотипов (5–8) располагаются преимущественно в области активной континентальной окраины. Фигуративные точки хемотипов 9 и 10

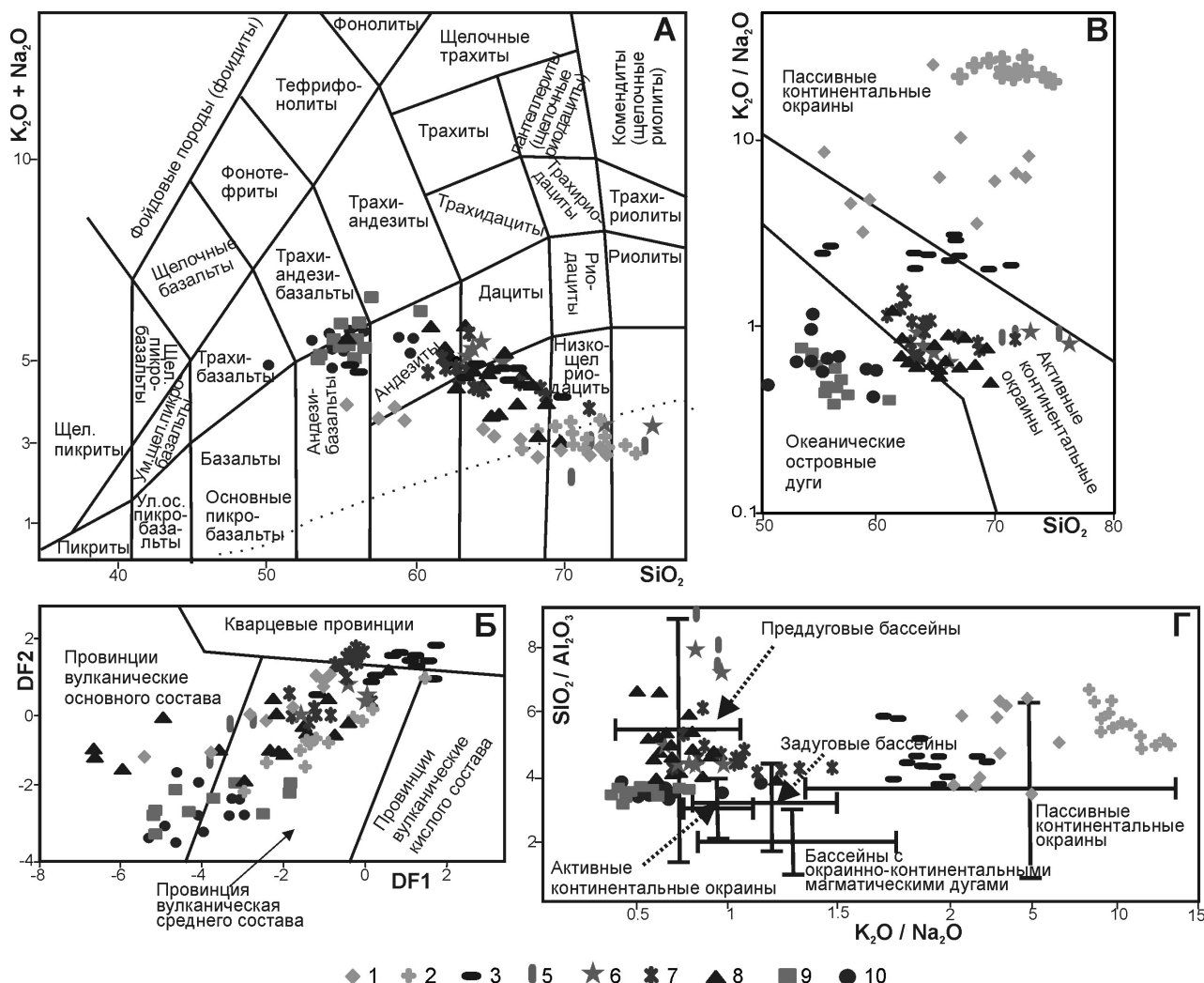


Рис. 6. Дискриминантные диаграммы для определения состава питающих провинций: А – (Le Maitre и др., 1989), Б – (Roser, Korsch, 1988); DF1–DF2, где $DF1 = 30.6038TiO_2/Al_2O_3 - 2.541FeO_{tot}/Al_2O_3 + 7.329MgO/Al_2O_3 + 12.031Na_2O/Al_2O_3 + 5.42K_2O/Al_2O_3 - 6.382$; $DF2 = 56.500TiO_2/Al_2O_3 - 10.879FeO_{tot}/Al_2O_3 + 30.875MgO/Al_2O_3 - 5.404Na_2O/Al_2O_3 + 11.112K_2O/Al_2O_3 - 3.89$. Дискриминантные диаграммы для определения палеогеодинамических обстановок в перми: В – (Roser, Korsch, 1986); Г – (Bhatia, Crook, 1986). Условные обозначения см. на рис. 4

Fig. 6. Discriminant diagrams for determining the compositions of provenance areas: А – (Le Maitre et al., 1989), Б – (Roser, Korsch, 1988); DF1–DF2, where $DF1 = 30.6038TiO_2/Al_2O_3 - 2.541FeO_{tot}/Al_2O_3 + 7.329MgO/Al_2O_3 + 12.031Na_2O/Al_2O_3 + 5.42K_2O/Al_2O_3 - 6.382$; $DF2 = 56.500TiO_2/Al_2O_3 - 10.879FeO_{tot}/Al_2O_3 + 30.875MgO/Al_2O_3 - 5.404Na_2O/Al_2O_3 + 11.112K_2O/Al_2O_3 - 3.89$. Discriminant diagrams for determining paleogeodynamic settings in the Permian: В – (Roser, Korsch, 1986); Г – (Bhatia, Crook, 1986). See Fig. 4 for the legend

хивачской свиты образуют отдельную группу и занимают поле бассейнов, сопряженных с океанической островной дугой (рис. 6, В).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ проведенных исследований позволяет сделать некоторые выводы об особенностях пермского осадконакопления в Омолонском седиментационном бассейне.

Результаты палеоклиматических реконструкций, полученных с использованием индекса CIA, представляются достаточно надежными (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). Судя по значению CIA, отложения джигдалинской свиты формировались в

условиях относительно теплого аридного климата, когда в область аккумуляции поступал слабо переработанный процессами выветривания материал. Предполагается, что главным источником исходных пород джигдалинской свиты являлись вулканы кислого – среднего состава (девонские вулканы кедонской серии), выходы которых широко распространены на Омолонском массиве (Гагиева, 2014). Другим возможным источником пирокластического материала, скорее всего, была гипотетическая Охотско-Тайгоноская вулканическая дуга (Бяков и др., 2005). О наличии этих источников, по крайней мере, на рубеже нижней и средней перми, свидетельствуют ве-

вещественный состав, анализ геохимических диаграмм (см. рис. 2, 6), а также U-Pb датирование цирконов, выделенных из прослоя туфа в верхах джигдалинской свиты (Брынько и др., 2019).

В период образования пород *гижигинской свиты* произошли крупные геологические события, зафиксированные как в резко изменившемся характере седиментации, так и в изменении биоты (Бяков, 2012а). Климат в это время был, вероятно, умеренно семиаридным – семигумидным, в позднегижигинское время устанавливается некоторый тренд в сторону похолодания (Кашик и др., 1990; Бяков, 2020). Отложения свиты предположительно формировались за счет трех источников сноса: 1) метаморфических пород докембрийского возраста, 2) вулканитов кедонской серии, 3) пермского пирокластического и вулканокластического материала Охотско-Тайгоносской вулканической дуги. Наличие нескольких источников сноса также подтверждается вещественным составом пород (см. рис. 2, 5, 6) и изотопно-геохронологическими данными (Брынько и др., 2021) – присутствием нескольких популяций цирконов, как синхронных пермских, так и более древних.

В *хивачское время* климат был гумидным, со средними температурами в позднехивачское время 20–25 °С (Кашик и др., 1990; Бяков, 2010). В позднехивачское время вероятными источниками питания являлись более древние породы Охотско-Тайгоносской вулканической дуги и вулканиты кедонской серии, что, по-видимому, свидетельствует о затухании вулканической активности рассматриваемой дуги. Полученные результаты подтверждаются петрохимическими модулями и геохимическими дискриминантными диаграммами (см. рис. 6). Кроме того, согласно палеобиогеографическим данным, свидетельствующим о появлении в позднехивачских сообществах двустворчатых моллюсков ряда тетических элементов (Biakov, Shi, 2010), в конце перми эта дуга практически перестала играть роль важного биогеографического барьера, что, очевидно, было связано с ее нивелировкой.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотруднику Северо-Восточного Центра коллективного пользования В. И. Мануиловой за проведение аналитических работ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 20-05-00604.

ЛИТЕРАТУРА

Брынько И. В., Ползуненков Г. О., Бяков А. С. Новые U-Pb (SHRIMP-II) данные по циркону из средне-

пермских отложений Омолонского массива (Северо-Восток России) // Осадочные планетарные системы позднего палеозоя: стратиграфия, геохронология, углеводородные ресурсы [Электрон. ресурс]: сборник тезисов Международной стратиграфической конференции Головкинского (24–28 сент. 2019 г., Казань, Россия). Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2019. С. 68–69.

Брынько И. В., Ползуненков Г. О., Бяков А. С., Ведерников И. Л. Первые результаты U-Pb SHRIMP датирования цирконов из кепитенских (средняя пермь) отложений Омолонского массива (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40, № 1. С. 77–86.

Бяков А. С. Зональная стратиграфия, событийная корреляция, палеобиогеография перми Северо-Востока Азии (по двустворчатым моллюскам). Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2010. 262 с.

Бяков А. С. Пермские биосферные события на Северо-Востоке Азии // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2012а. Т. 20, № 2. С. 88–100.

Бяков А. С. Новая зональная схема пермских отложений Северо-Востока Азии по двустворчатым моллюскам. Ст. 1. Зональное расчленение // Тихоокеанская геология. 2012б. Т. 31, № 5. С. 13–40.

Бяков А. С. Морские двустворчатые моллюски как индикаторы климатических изменений в перми Северо-Востока Азии // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2020. Т. 162, № 2. С. 205–217.

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. 81–85.

Гагиева А. М. Среднепалеозойский вулканизм Омолонского массива (Северо-Восток Азии): особенности химического состава и проблемы геодинамической интерпретации // Вестник Отделения наук о Земле РАН. 2014. № 1. С. 1–12.

Горячев Н. А., Егоров В. Н., Савва Н. Е., Кузнецов В. М., Фомина М. И., Рожков П. Ю. Геология и металлогения фанерозойских комплексов юга Омолонского массива. Владивосток : Дальнаука, 2017. 312 с.

Кашик Д. С., Ганелин В. Г., Караваева Н. И., Бяков А. С., Миклухо-Маклай О. А., Стукалина Г. А., Ложкина Н. В., Дорофеева Л. А., Бурков Ю. К., Гутенева Е. И., Смирнова Л. Н. Опорный разрез перми Омолонского массива. Ленинград : Наука, 1990. 190 с.

Маслов А. В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных : учебное пособие. Екатеринбург : Изд-во УГТУ, 2005. 289 с.

Методика количественного химического анализа. Ускоренные химические методы определения порообразующих элементов в горных породах и рудах. Москва : ВИМС, 2005. 57 с.

Подковыров В. Н., Котова Л. Н., Голубкова Е. Ю., Ивановская А. В. Литогеохимия тонкозернистых обломочных пород венда Непско-Жуинского региона Сибирской платформы // Литология и полезные ископаемые. 2015. № 4. С. 299–310.

Решения 3-го Межведомственного регионально-го стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и мезозою Северо-Востока России (Санкт-Петербург, 2002) / ред. Т. Н. Корень, Г. В. Котляр. Санкт-Петербург : Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 268 с.

Тейлор С. Р., Мак-Леннан С. М. Континентальная кора, ее состав и эволюция : перевод с английского. Москва : Мир, 1988. 384 с.

Чехов А. Д. Тектоническая эволюция Северо-Востока России (окраинноморская модель). Москва : Научный мир, 2000. 198 с.

Юдович Э. Я., Кетрис М. П. Основы литохимии. Санкт-Петербург : Наука, 2000. 479 с.

Bhatia M. R., Crook K. A. W. Trace element characteristics of grauwackes and tectonic settings discrimination of sedimentary basins // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1986. Vol. 92. P. 181–193.

Biakov A. S., Shi G. R. Palaeobiology and palaeogeographical implications of Permian marine bivalve faunas in Northeast Asia (Kolyma-Omolon and Verkhoyansk-Okhotsk regions, northeastern Russia) // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2010. 298. P. 42–53.

Поступила в редакцию 29.06.2022 г.

Поступила после доработки 26.07.2022 г.

Herron M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // *Journal of Sedimentary Research*. 1988. Vol. 58. P. 820–829.

Le Maitre R. W., Bateman P., Dudek A. E. A. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Oxford : Blackwell, 1989. P. 137–150.

Maynard J. B., Valloni R., Yu H. S. Composition of modern deep-sea sands, from arc-related basins // *Trench- Forearc Geology. Sedimentation and tectonics of modern and ancient plate margins*. Oxford, London, Edinburgh, Melbourne : Blackwell Scientific Publications, 1982. P. 551–561.

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

Roser B. P., Korsch R. J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // *Journal of Geology*. 1986. Vol. 94, No. 5. P. 635–650.

Roser B. P., Korsch R. J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major element data // *Chemical Geology*. 1988. Vol. 67. P. 119–139.

NEW DATA ON COMPOSITION OF PERMIAN TERRIGENOUS DEPOSITS OF THE OMOLON MASSIF (North-East Russia): SIGNIFICANCE FOR PALEO GEOGRAPHY AND GEODYNAMIC RECONSTRUCTIONS

I. V. Brynko, T. I. Mikhaliitsyna, I. L. Vedernikov, A. S. Biakov

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo, FEB RAS, Magadan

The article discusses the results of studying the material composition of Permian terrigenous deposits in the Dzhigdal, Gizhiga, and Khivach Formations in the southeastern part of the Omolon Massif. The obtained data interpretation is based on the petrographic research and widely used petrochemical and discriminant paleogeodynamic diagrams. The lithochemical study showed that the deposits had accumulated under conditions of a moderately warm climate with some cooling episodes in the active continental margin settings. Clastic material entered the sedimentary basin from several provenance areas: the Permian Okhotsk – Taigonos volcanic arc, the Precambrian basement of the Omolon Massif, and volcanic rock fields of the Kedon series.

Keywords: Permian, Omolon Massif, petrographical and geochemical characteristics, terrigenous deposits, paleoclimate, provenance.

REFERENCES

Bhatia, M. R., Crook, K. A. W., 1986. Trace Element Characteristics of Grauwackes and Tectonic Settings Discrimination of Sedimentary Basins, *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 92, 181–193.

Biakov, A. S., 2010. Zonal Stratigraphy, Event Correlation, Paleobiogeography of the Permian in Northeast Asia (Based on Bivalves). Magadan, NEISRI FEB RAS [In Russian, with English summary].

Biakov, A. S., 2012. A New Permian Bivalve Zonal Scale of Northeastern Asia. Article 1: Zonal Subdivision, *Russian Journal of Pacific Geology*. 5, 349–368.

Biakov, A. S., 2012. Permian Biospheric Events in Northeast Asia, *Stratigraphy and Geological Correlation*. 20, 2, 199–210.

Biakov, A. S., 2020. Marine Bivalves as Indicators of Climatic Changes in the Permian of Northeast Asia, *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*. 162 (2), 205–217 [In Russian].

Biakov, A. S., Shi, G. R., 2010. Palaeobiology and Palaeogeographical Implications of Permian Marine Bivalve Faunas in Northeast Asia (Kolyma-Omolon and Verkhoyansk-Okhotsk Regions, Northeastern Russia), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 298, 42–53.

Biakov, A. S., Prokopyev, A. V., Kutygin, R. V., Vedernikov, I. L., Budnikov I. V., 2005. Geodynamic Environments of Permian Sedimentary Basins Formation in the Verkhoyansk-Kolyma Folded Area, *Otechestvennaya Geologiya*. 5, 81–85 [In Russian].

- Brynko, I. V., Polzunenkov, G. O., Biakov, A. S., 2019. New U-Pb (SHRIMP-II) Data on Zircons from the Middle Permian of the Omolon Massif (Northeastern Russia), *Late Paleozoic Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Hydrocarbon Resources, Abstracts of Golovkinsky International Stratigraphic Conference, September 24–28, 2019*. 74–75. <http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/151929/golovkinsky2019.pdf> [In Russian].
- Brynko, I. V., Polzunenkov, G. O., Biakov, A. S., Vedernikov, I. L., 2021. The First U-Pb SHRIMP Dating of Zircons from Capitanian (Middle Permian) Deposits of the Omolon Massif (Northeast Russia), *Russian Journal of Pacific Geology*. 15, 1, 51–59.
- Chekhov, A. D., 2000. Tectonic Evolution of Russia's North-East: Sea Margin Model. Moscow, Scientific World [In Russian].
- Gagiyeva, A. M., 2014. Middle Palaeozoic Volcanism of the Omolon Massif (Northeast Asia): Chemical Composition Features and Geodynamic Interpretation Problems, *Vestnik Otdelenia Nauk o Zemle RAN*. 6, 1–12. DOI:10.2205/2014NZ000122 [In Russian].
- Goryachev, N. A., Yegorov, V. N., Savva, N. E., Kuznetsov, V. M., Fomina, M. I., Rozhkov P. Yu., 2017. Geology and Metallogeny of Phanerozoic Assemblages of the Omolon Massif South. Vladivostok, Dalnauka [In Russian].
- Herron, M. M., 1988. Geochemical Classification of Terrigenous Sands and Shales from Core or Log Data, *Journal of Sedimentary Research*. 58, 820–829.
- Kashik, D. S., Ganelin, V. G., Karavayeva, N. I., Biakov, A. S., Miklukho-Maklay, O. A., Stukalina, G. A., Loshkina, N. V., Burkov, Yu. K., Guteneva, Ye. I., Smirnova, L. N., 1990. Key Section of the Omolon Massif Permian. Leningrad, Nauka [In Russian].
- Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A. E. A., 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Oxford, Blackwell. 137–150.
- Maslov, A. V., 2005. Sedimentary Rocks: Methods of Studying and Interpreting the Data Obtained. Yekaterinburg, USGU [In Russian, with English summary].
- Maynard, J. B., Valloni, R., Yu, H. S., 1982. Composition of Modern Deep-Sea, from Arc-Related Basins, *Trench-Forearc Geology. Sedimentation and Tectonics of Modern and Ancient Plate Margins*. Oxford, London, Edinburgh, Melbourne, Blackwell Scientific Publications. 551–561.
- Method of Quantitative Chemical Analysis. Accelerated Chemical Methods for Determining Rock-forming Elements in Rocks and Ores, 2005. Moscow, VIMS [In Russian].
- Nesbitt, H. W., Young, G. M., 1982. Early Proterozoic Climates and Plate Motions Inferred from Major Element Chemistry of Lutites, *Nature*. 299, 715–717.
- Podkovyrov, V. N., Kotova, L. N., Golubkova, E. Y., Ivanovskaya, A. V., 2015. Lithogeochemistry of Vendian Finegrained Siberian Platform, *Lithology and Mineral Resources*. 50 (4), 299–310.
- Resolutions of the 3rd Interdepartmental Regional Stratigraphic Meeting on the Precambrian, Paleozoic and Mesozoic of the Northeast of Russia (St. Petersburg, 2002), 2009. Eds. T. N. Koren, G. V. Kotlyar. St. Petersburg, VSEGEI [In Russian].
- Roser, B. P., Korsch, R. J., 1986. Determination of Tectonic Setting of Sandstone-Mudstone Suites Using SiO₂ Content and K₂O/Na₂O Ratio, *Journal of Geology*. 94 (5), 635–650.
- Roser, B. P., Korsch, R. J., 1988. Provenance Signatures of Sandstone-Mudstone Suites Determined Using Discriminant Function Analysis of Major Element Data, *Chemical Geology*. 67, 119–139.
- Taylor, S. R., McLennan, C. M., 1988. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Melburn, Blackwell Scientific Publications [In Russian].
- Yudovich, E. Ya., Ketris, M. P., 2000. Principles of Lithochemistry. St. Petersburg, Nauka [In Russian].