

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКИХ МЕТАТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД ЗАПАДНОЙ И ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ — ИНДИКАТОРЫ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ И УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТОЛИТА

В.К. Кузьмин

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского,
Санкт-Петербург, vkkuzmin@mail.ru*

Несмотря на длительную историю исследований метаморфических образований Срединно-Камчатского и Ганальского поднятий (СКП и ГНП), слагающих фундамент Западно-Камчатской и Восточно-Камчатской структурно-формационных зон, их тектоническая позиция и природа, время осадконакопления, магматизма и метаморфизма остаются в значительной мере дискуссионными, что нашло отражение в многочисленных гипотезах формирования и эволюции этих структур (Кузьмин, 1983; Ханчук, 1985; Соловьев, 2008). Однако стратиграфическая канва расчленения метаморфических образований в построениях большинства исследователей неизменна, и в стратиграфических схемах СКП выделяются одни и те же четыре крупные серии (снизу вверх): колпаковская серия гнейсов и мигматитов, камчатская — микрогнейсов и кристаллических сланцев, малкинская — метаморфических сланцев и кихчикская — слабо метаморфизованных песчаников и алевролитов, а для ГНП — ганальская, сложенная гнейсами, кристаллосланцами, и стеновая серии. В то же время взаимоотношения между этими сериями всегда оставались предметом острой дискуссии, а границы между сериями рассматривались как стратиграфически и структурно согласные или несогласные или как тектонические с амплитудой перемещения от первых метров до многих сотен и тысяч километров. Поэтому исследователи интерпретировали характер границ между сериями, а также их генезис, состав, строение и объем в соответствии с развиваемой ими концепцией и относили выделяемые серии в СКП к одному или нескольким структурным ярусам, которые сформировались во временном интервале от докембрия до позднего мела и испытали однократный или полиметаморфизм в РТ-условиях от гранулитовой до зеленосланцевой фации. Трактовка предложенных схем геологического строения СКП и ГНП привела исследователей к весьма различным тектоническим моделям. С традиционных позиций метаморфические образования колпаковской-малкинской серий рассматриваются как блоки древнего полициклического сиалического или мафического кристаллического фундамента, отчлененные субмеридиональными разломами от меловых отложений кихчикской серии и ирунейской свиты. В другой концепции СКП и ГНП трактуются как позднемеловые полифациальные метаморфические зоны в верхнемезозойских вулканогенно-терригенных образованиях с постепенными переходами от глубоко метаморфизованных толщ колпаковской серии к слабо- и неметаморфизованным породам малкинской и кихчикской серий. сторонники аккреционной модели считают, что СКП и ГНП имеют разный состав фундамента, существенно различное строение, состав, возраст и сложены деформированными пакетами тектонических чешуй, которые были аккретированы в виде террейнов в эоценовое время к окраине Азии. Таким образом, важнейший вопрос тектонического строения Камчатки — слагали ли СКП и ГНП первоначально единую структуру, объединяющую Западную и Восточную Камчатку и расчлененную лишь в плиоценовое время или они представляли собой автономные структуры, сформированные на сиалическом и симатическом фундаменте, — остается не решенным.

Метатерригенные толщи в СКП и ГНП играют роль преобладающей матрицы, начиненной разновозрастными и разнообразными по составу магматическими и метасоматическими образованиями и являются важнейшим источником информации о возрасте, составе, происхождении и эволюции не только этих крупных структур, но и континентальной коры северо-западной части Тихоокеанского подвижного пояса. Для реконструкции состава и генезиса протолита метатерригенных пород, условий и геодинамической природы бассейнов осадконакопления, а также определения состава, возраста, местонахождения питающих

провинций нами был проведен сравнительный анализ распределения петрогенных, редких и редкоземельных элементов и изотопных Sm-Nd данных в метатерригенных породах и сериях СКП и ГНП. При решении поставленных задач, помимо детальных структурно-геологических и петрографо-минералогических исследований, проводимых автором с 1976 года, был использован комплекс аналитических работ, выполненных в лабораториях ВСЕГЕИ. Петрогенные элементы (301 проба) определялись методом рентгеноспектрального силикатного анализа (ARL-9800, Б.А. Цимошенко), микроэлементы (58 проб) — методами АРФ-6, ICP-AES, ICP-MS (Л.А. Матвеева, Э.Г. Червякова, В.А. Шишлов). Изотопный состав Sm и Nd (36 проб) определен на масс-спектрометре TRITON (ИГГД РАН, Е.С. Богомолов). Пробы пород, испытавшие метасоматические преобразования, были исключены из рассмотрения. Результаты геохимических и изотопно-геохимических Nd исследований сведены по сериям и приведены в табл. 1.

Метатерригенные породы всех анализируемых серий ГНП и СКП характеризуются широким диапазоном концентраций породообразующих оксидов: SiO_2 (55,86–74,69), CaO (0,43–4,93), $\text{Fe}_2\text{O}_3^*+\text{MgO}$ (3,71–13,58), $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (3,44–7,48) и сопоставляются с широким рядом магматических пород от диоритов до плагиогранитов. Определение первичной природы метаморфических пород на классификационной диаграмме А.Н. Неелова (1980) показало, что их протолиты во всех сериях представлены преимущественно алевролитами и алевропелитами, реже пелитами. К тому же протолиты гнейсов и сланцев ганальской серии характеризуются слабой петрохимической дифференциацией по параметру «а» и располагаются преимущественно в полях алевролитов (78 %) и алевропелитов (16 %), в то время как в метатерригенных породах СКП наблюдается больший разброс по параметру «а» и постепенное уменьшение количества протолитов алевролитов (колпаковская — 57, камчатская — 33, малкинская — 31 %) при увеличении роли алевропелитов и пелитов (43, 61 и 63 %). Примечательно, что песчаники отмечаются в количестве, не превышающем 3–6 %, причем граувакковые песчаники встречаются только в ганальской серии, полимиктовые — в колпаковской и камчатской, а аркозовые — в малкинской.

В целом петрохимические особенности большинства метатерригенных пород СКП и ГНП — низкие значения индекса химического выветривания CIA (55–63), величины отношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (3,88–4,51), соответствующие магматическим породам, и высокие значения $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (0,19–0,22) — показатели невысокой степени зрелости слагающего их материала. О низкой зрелости пород источников сноса и недалекой транспортировке материала также свидетельствуют относительно высокие значения Na/K, положительная корреляция MgO, FeO, TiO_2 с K_2O и Al_2O_3 , низкое Sr/Ni отношение (2,7–4). Однако средние значения CIA в породах ганальской серии (55) меньше, а отношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (4,51) и $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (0,22) выше, чем в колпаковской, камчатской и малкинской серии (60, 3,95, 0,19), что указывает на большую степень дифференцированности протолитов СКП и увеличение зрелости осадков вверх по разрезу СКП от колпаковской серии к малкинской (табл. 1).

Спектры распределения малых, редких и редкоземельных элементов во всех изученных породах и сериях однотипны и характеризуются нормальными трендами распределения РЗЭ с высокой степенью фракционирования на легкие и тяжелые изотопы $(\text{La}/\text{Lu})_n=12,6$, с относительно небольшой суммой РЗЭ (111–140) и наличием в той или иной степени выраженной отрицательной европиевой аномалии (0,72–0,83), что указывает на формирование терригенного материала за счет кислосреднего источника сноса.

Установленные геохимические особенности метатерригенных пород СКП и ГНП фиксируют сходство их состава, условий седиментации и единый источник сноса, за счет которого происходило формирование терригенных толщ. Эти данные свидетельствуют о формировании метатерригенных толщ СКП и ГНП как единой серии осадков, сформированной в крупном субконтинентальном бассейне, охватывающем территорию как Западной, так и Восточной Камчатки, за счет размыва одной и той же области питания. Характер распределения состава протолитов метаморфических пород на площади ГНП и СКП и рост степени зрелости осадков с востока на запад (от гнейсов ганальской серии к метаморфическим породам СКП) позволяют предполагать местонахождение области питания к востоку от Камчатки.

Таблица 1. Средние содержания и значения отношений содержаний оксидов, малых, редких, редкоземельных элементов в метатерригенных породах ганальской (gn), колпаковской (kl), камчатской (km), малкинской (ml) и кихчикской (kh) серий Ганальского и Срединно-Камчатского поднятий.

серия	gn (92)	СКП (209)	kl (46)	km(128)	ml (35)
SiO ₂	65,94	64,54	64,76	64,18	64,69
TiO ₂	0,76	0,84	0,79	0,83	0,9
Al ₂ O ₃	14,81	16,64	16,03	16,94	16,95
Fe ₂ O ₃	1,71	1,31	1,25	1,5	1,17
FeO	3,95	4,54	4,26	4,52	4,83
MnO	0,1	0,12	0,11	0,11	0,14
MgO	2,36	2,02	2,12	2	1,95
CaO	2,69	2,02	2,41	2,02	1,63
Na ₂ O	3,24	3,18	3,36	3,12	3,05
K ₂ O	1,71	2,34	2,42	2,45	2,14
P ₂ O ₅	0,12	0,16	0,15	0,17	0,15
PPP	1,87	2,22	1,68	2,28	2,69
a	0,27	0,31	0,32	0,31	0,31
b	0,19	0,17	0,18	0,17	0,17
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	4,51	3,95	4,09	3,88	3,88
Fe ₂ O ₃ *+MgO	8,68	8,57	8,31	8,71	8,69
K ₂ O/Na ₂ O	0,55	0,84	0,77	0,91	0,84
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0,11	0,14	0,15	0,14	0,13
Na ₂ O/Al ₂ O ₃	0,22	0,19	0,21	0,19	0,18
K ₂ O/TiO ₂	2,36	2,93	3,23	3,1	2,46
СIA	55	60	56	60	63
серия	gn(13)	СКП(45)	kl(8)	km(18)	ml(19)
La	22,64	24,73	21,69	26,58	25,91
Ce	48,51	51,95	43,95	56,04	55,87
Pr	5,63	6,15	5,32	6,6	6,54
Nd	21,58	23,98	20,64	25,84	25,45
Sm	4,41	4,99	4,31	5,32	5,35
Eu	1,15	1,26	1,22	1,28	1,29
Gd	4,02	4,76	4,15	5,21	4,91
Tb	0,6	0,74	0,65	0,8	0,78
Dy	3,44	4,4	3,74	4,87	4,6
Ho	0,69	0,9	0,75	1,01	0,94
Er	2,09	2,6	2,17	2,93	2,71
Tm	0,32	0,38	0,32	0,43	0,4
Yb	2	2,59	2,19	2,81	2,77
Lu	0,3	0,4	0,33	0,44	0,43
Сумма РЗЭ	117,4	129,87	111,4	140,2	138
Y	19,25	23,81	19,37	27,19	24,86
Rb	72	75	72	78	75
Sr	266	267,33	270	273	259
Ba	708	597	650	595	546
Ta	0,5	0,67	0,54	0,73	0,74
Hf	4,58	4,69	4,17	4,96	4,95
Zr	187	180	160	191	189
Nb	9,43	11,08	11,82	11,23	10,2
U	1,86	1,77	1,5	1,83	1,99
Th	5,91	6,45	5,27	6,87	7,2
V	127	136	110	157	142
Cr	71	67	55	74	72
Co	13	15,33	12	16	18
Ni	18	23	18	24	27
Pb	8	8,33	9	7	9
Cu	58	54	46	54	62
Zn	90	110	96	103	131
Mo	1,02	0,8	0,99	0,74	0,68
Eu/Eu*	0,83	0,86	1,06	0,76	0,77
(La/Yb) _n	7,81	6,7	7,17	6,51	6,41
Cr/Ni	4	2,9	3	3	2,7
Cr/V	0,56	0,49	0,5	0,47	0,51
Zr/Y	9,71	7,63	8,26	7,02	7,6
Th/U	3,18	3,63	3,51	3,75	3,62
Th/Co	0,47	0,42	0,43	0,43	0,41
Cr/Th	12,08	10,42	10,44	10,82	10,01
La/Co	1,74	1,64	1,81	1,66	1,44

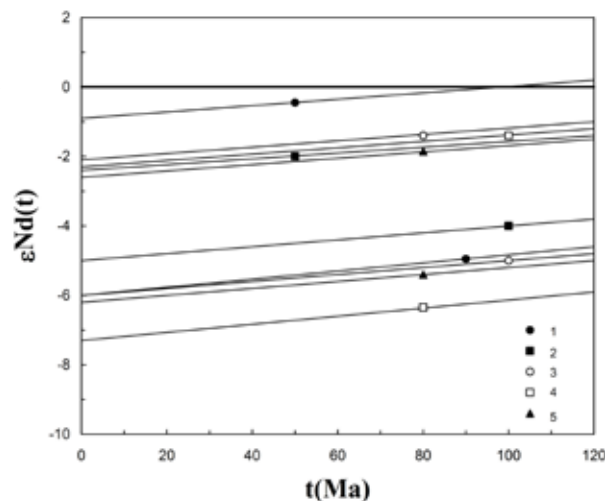
Примечание: в скобках указано число исследованных проб

Проведенные Sm-Nd изотопно-геохимические исследования 36 проб по пяти сериям СКП и ГНП также свидетельствуют о сходной истории становления и эволюции исследованной выборки пород (Кузьмин, Богомолов, 2013). Концентрации Sm и Nd варьируют незначительно (табл. 2) и характерны для пород такого состава: 3,28–6,58 и 19,5–35,6 г/т для Sm и Nd, соответственно. Для всех проб получены близкие средние значения $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,117\text{--}0,1225$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512382\text{--}0,512470$, $\epsilon_{\text{Nd}} = -2,8 \text{--} -4,5$, типичные для позднепротерозойской коры, что указывает на отсутствие существенного фракционирования Sm и Nd при формировании исследуемых пород. Сходство Nd истории формирования изученных пород наглядно демонстрирует рисунок, где каждая серия представлена линиями эволюции неодима двух образцов, характеризующих диапазон вариации параметра эpsilon во всей выборке пород данной серии за последние 120 млн лет. Практически одинаковый наклон линий эволюции неодима, довольно узкий диапазон вариации численных значений параметра ϵ_{Nd} в исследованных сериях и перекрытие зон вариации ϵ_{Nd} между сериями позволяют сделать вывод о происхождении всех исследованных пород из одного источника. Численные значения Nd модельных датировок для всех серий, полученные с использованием одностадийной или двухстадийной модели, для возраста 100 млн лет также близки, а средние значения по всем сериям практически совпадают (1170 и 1174 млн лет, соответственно) и отражают позднепротерозойский усредненный возраст источников сноса. Таким образом, установленные Sm-Nd изотопно-геохимические параметры плаггиогнейсов колпаковской, камчатской и ганальской серий практически сходны с таковыми не только для метапесчаников и слюдяных сланцев малкинской серии, но и для слабометаморфизованных (зона хлорита-серицита) песчаников кихчикской серии, что надежно свидетельствует как о сходстве и единстве всех метатерригенных пород ГНП и СКП, так и о геохимическом постоянстве области питания, за счет которой происходило формирование терригенных пород СКП и ГНП.

Таблица 2. Средние значения параметров Sm-Nd анализа метаморфических терригенных пород Ганальского и Срединно-Камчатского поднятий. Примечание: в скобках указано число исследованных проб. Модельные датировки t_{DM} рассчитывались с использованием одностадийной модели, а $t_{\text{DM}}(100)$ — по двухстадийной модели для возраста 100 млн лет

№	Серия	Sm(ppm)	Nd(ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(50)$	$\epsilon_{\text{Nd}}(100)$	$t_{\text{DM}}(\text{Ma})$	$t_{\text{DM}}(100)$
1	Колпаковская (9)	5,38	25,1	0,1191	0,512470	-2,8	-2,3	1094	1108
2	Камчатская (7)	5,38	27,2	0,1199	0,512441	-3,4	-2,9	1154	1156
3	Малкинская (7)	5,20	26,4	0,1225	0,512446	-3,3	-2,6	1178	1151
4	Кихчикская (5)	3,92	20,4	0,1170	0,512382	-4,5	-3,7	1208	1247
5	Ганальская (8)	4,38	21,9	0,1209	0,512410	-4,0	-3,4	1216	1206

Возраст осадконакопления метаморфических толщ СКП и ГНП устанавливается уверенно по геологическим данным (находки меловых раковин иноцерамов в кихчикской и ирунейской сериях) и по результатам геохронологических исследований (Государственная..., 2006). Наиболее надежными являются результаты U-Pb датирования цирконов (SHRIMP-II),



Изотопная эволюция Nd в метаморфических терригенных породах Срединно-Камчатского и Ганальского поднятий.

Условные обозначения серий: 1 — колпаковская, 2 — камчатская, 3 — малкинская, 4 — кихчикская, 5 — ганальская

которые показывают для наиболее молодых кластогенных цирконов из метатерригенных пород всех серий возраст в 100 млн лет, что позволяет не только установить нижнюю границу осадконакопления — не древнее, чем апт, но и подтверждает синхронность осадконакопления метатерригенных толщ ГНП и СКП. Верхняя граница датируется временем формирования ирунейской свиты (сенон) и внедрения гранитоидов крутогорского и кольского массивов в 80 млн лет. Возраст регионального метаморфизма уверенно фиксируется ранним эоценом (Соловьев, 2008; Кузьмин, Родионов, 2011; Кузьмин, 2013).

Проведенные исследования позволили получить новую информацию о ранних этапах формирования континентальной коры Западной (СКП) и Восточной (ГНП) Камчатки. Результаты геохимических, Sm-Nd изотопно-геохимических и геохронологических исследований метатерригенных пород ганальской, колпаковской, камчатской, малкинской и кихчикской серий Ганальского и Срединно-Камчатского поднятий показали, что в метатерригенных породах всех изученных серий значимые различия большинства геохимических параметров и изотопного состава Nd отсутствуют, что свидетельствует о сходстве их состава, условий седиментации, синхронности осадконакопления и единстве источников сноса. В то же время от Ганальского к Срединно-Камчатскому поднятию фиксируется смена составов протолитов метатерригенных пород (явное преобладание алевролитов в ГНП и доминирование алевропелитов и пелитов в СКП, варьирование состава песчаников от граувакковых в ганальской серии через полимиктовые до аркозовых в малкинской серии) и выраженный рост индексов химического выветривания, что позволяет предполагать местонахождение области питания для метатерригенных толщ ГНП и СКП не к северо-западу или западу от Камчатки, а к востоку. Таким образом, впервые на современном уровне установлено, что метаморфические терригенные породы СКП и ГНП представляют собой единый комплекс терригенных отложений, сформированный в морском субконтинентальном бассейне в позднемезозойский цикл седиментации за счет размыва одной и той же питающей провинции, которая, вероятно, находилась к востоку от современной береговой линии Камчатки.

Литература

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист N-57 Петропавловск-Камчатский. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ. 2006. 376 с.

Кузьмин В.К. Петрология метаморфических комплексов Камчатского массива: автореферат дисс... канд. геол.-минер. наук. Л.: ВСЕГЕИ. 1983. 23 с.

Кузьмин В.К. Возраст осадконакопления и метаморфизма терригенных пород Срединно-Камчатского и Ганальского поднятий по результатам U-Pb-SHRIMP датирования циркона // ДАН. 2013. В печати.

Кузьмин В.К., Богомолов Е.С. Источники вещества метатерригенных толщ Срединно-Камчатского и Ганальского поднятий в свете Sm-Nd изотопно-геохимических данных // Геотектоника. 2013. № 3. С. 87–96.

Кузьмин В.К., Родионов Н.В. О возрасте осадконакопления и метаморфизма плагиогнейсов ганальского и гранулитового комплексов Ганальского выступа (Восточная Камчатка) // ДАН. 2011. Т. 436. № 4. С. 494–498.

Соловьев А.В. Изучение тектонических процессов в областях конвергенции литосферных плит: методы трекового и структурного анализа. М.: Наука. 2008. 319 с.

Ханчук А.И. Эволюция древней сиалической коры в островодужных системах Восточной Азии. Владивосток. 1985. 137 с.