

УДК 552.4

ИЗОТОПНАЯ Nd-СИСТЕМАТИКА МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

© 2014 г. Н. Н. Крук, В. П. Ковач, В. В. Голозубов,
С. А. Касаткин, Л. Б. Терентьева, С. Н. Лаврик

Представлено академиком А.И. Ханчуком 15.11.2012 г.

Поступило 28.11.2012 г.

DOI: 10.7868/S0869565214070160

Изотопно-геохимические Sm–Nd-исследования широко используются при изучении метаморфических толщ для оценки возраста формирования континентальной коры и нижней возрастной границы накопления протолитов метаморфических комплексов [1]. В случае первично-магматической природы протолита модельный Nd-возраст в первом приближении отражает время начала формирования континентальной коры из мантийного источника, или время трансформации океанической коры в континентальную. Изотопная Nd-систематика метаморфизованных терригенных пород позволяет оценить средний модельный возраст и возможные палеогеографические источники сноса этих пород, а также нижнюю возрастную границу осадконакопления.

В нашей работе приведены данные по изотопному составу Nd в породах трех наиболее крупных блоков высокометаморфизованных пород юга Дальнего Востока: Матвеевско-Нахимовского, Сергеевского и Анюйского. Необходимо отметить, что изученные комплексы традиционно рассматривали как выступы раннедокембрийского кристаллического фундамента и лишь в последнее время — в качестве образований неогей, возникших в результате аккреционных, коллизионных или постколлизионных процессов [2, 3]. Имеющиеся в настоящее время геохронологические данные не позволяют установить, насколько возраст метаморфических событий оторван во

времени от геологического возраста толщ. Выполненные изотопные Nd-исследования пород метаморфических комплексов юга Дальнего Востока позволяют подойти к оценке нижних возрастных границ их формирования и составить представление об изотопном составе коры региона в целом.

Ханкайский супертеррейн расположен на юго-западе Приморья (рис. 1) и состоит из нескольких террейнов различной природы. Южная его часть — фрагмент пассивной окраины кратона, а северная — фрагмент раннепалеозойского орогенного пояса. В последнем выделяются Матвеевский и Нахимовский метаморфические террейны, различающиеся по набору пород и условиям их метаморфизма [6]. Наиболее высокометаморфизованные образования Матвеевского террейна объединены в иманскую серию, в составе которой традиционно выделяются ружинская (диопсид-кальцитовые и форстерит-кальцитовые мраморы, биотитовые и биотит-кордиеритовые гнейсы с прослоями амфиболитов и двупироксеновых гнейсов), матвеевская (биотит-силлиманитовые, биотит-гранат-кордиеритовые гнейсы с прослоями кварцитов и мраморов) и тургеневская (биотит-амфиболовые сланцы, гранат-биотитовые и гранат-силлиманитовые гнейсы и кристаллические сланцы, амфиболиты) свиты. В Нахимовском террейне метаморфические породы объединены в уссурийскую серию, в составе которой выделяются нахимовская (биотитовые и биотит-амфиболовые гнейсы с линзами мраморов и амфиболитов) и татьяновская (биотитовые, диопсидовые и мусковит-графитовые кристаллические сланцы) свиты. Прямые геологические соотношения иманской и уссурийской серий неизвестны.

Метаморфические породы прорваны разновозрастными гранитоидами. Возраст метаморфических толщ ранее предполагался архейским [7]. В последние годы по цирконам из метаморфизованного силла долерита в матвеевской свите U—

*Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Новосибирск
Институт геологии и геохронологии докембрия
Российской Академии наук, Санкт-Петербург
Дальневосточный геологический институт
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Владивосток*

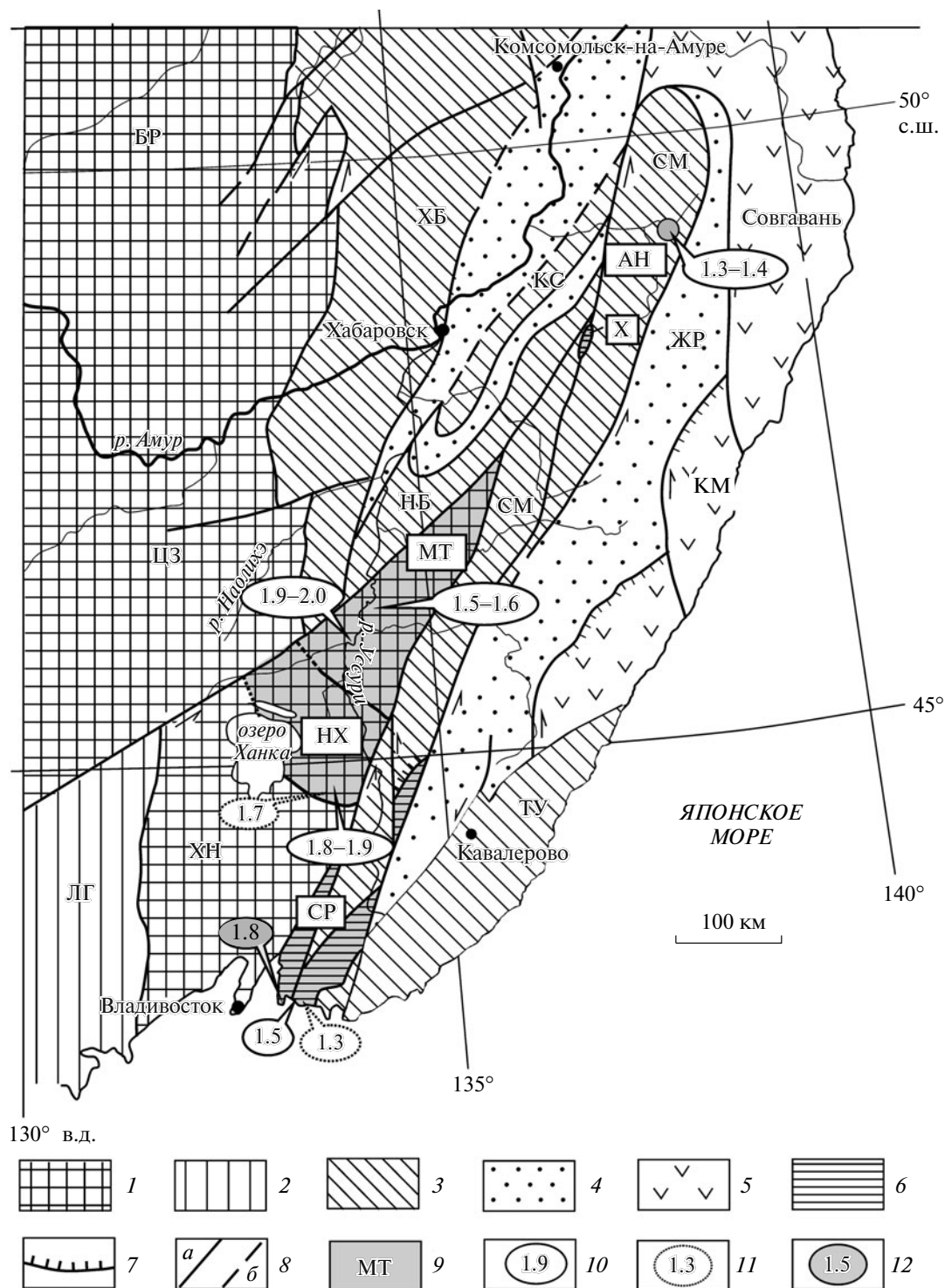


Рис. 1. Положение блоков высокотемпературных пород в структуре Южного Приморья. 1 – докембрийские–раннепалеозойские террейны и супертеррейны (БР – Буреинский, ЦЗ – Цзямусинский, ХН – Ханкайский); 2 – палеозойский терреин (ЛГ – Лаоэлин-Гродековский); 3–5 – юрские–раннемеловые террейны: 3 – фрагменты аккреционных призм (СМ – Самаркинский, НБ – Наданьхада-Бикинский, ХБ – Хабаровский, КС – Киселевско-Маноминский, ТУ – Таухинский); 4 – приконтинентального синклинального турбидитового бассейна (ЖР – Журавлевский); 5 – островодужной системы и/или задугового бассейна (КМ – Кемский); 6 – фрагменты докембрийских–раннепалеозойских блоков, включенные в структуры юрской аккреционной призмы и испытавшие вместе с ними цикл син- и постаккреционных преобразований (СР – Сергеевский); 7, 8 – главные разломы: 7 – надвиги, 8 – сдвиги, сбросы, взбросы (а – прослеженные, б – предполагаемые; стрелки указывают направления перемещений по сдвигам); 9 – наиболее крупные блоки высокотемпературных пород (МТ – Матвеевский, НХ – Нахимовский, СР – Сергеевский, АН – Ано́йский, Х – Хорский); 10–12 – значения модельных Nd-возрастов, млрд лет: 10 – метapelитов, 11 – метабазитов, 12 – прорывающих гранитоидов.

Таблица 1. Изотопные Sm–Nd-данные для метаморфических и терригенно-осадочных пород Южного Приморья

№ пп	№ обр.	Sm, мкг/г	Nd, мкг/г	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ($\pm 2\sigma_{\text{изм}}$)	$\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$	t , млн лет	$\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$	$t_{\text{Nd}}(\text{DM})$	$t_{\text{Nd}}(\text{DM}2)$
Матвеевский террейн										
1	8-10-17/1	9.77	47.1	0.1254	0.512279 ± 3	–7.0	507	–2.4	1502	
2	8-10-16/2	6.53	37.2	0.1060	0.512060 ± 3	–11.3	507	–5.5	1541	
3	8-10-19/1	4.00	20.0	0.1208	0.511989 ± 2	–12.7	507	–7.8	1900	
4	8-10-20/1	11.09	54.2	0.1236	0.511950 ± 2	–13.4	507	–8.7	2026	
Нахимовский террейн										
5	8-10-23/1	8.26	46.9	0.1064	0.511896 ± 2	–14.5	733	–6.0	1778	
6	8-10-24/5	12.10	57.6	0.1269	0.512046 ± 2	–11.5	733	–7.1	1934	
7	P-134-1	6.60	27.2	0.1467	0.512402 ± 7	–4.6	1318	3.8	1701	
Сергеевский террейн										
8	8-11-72	8.65	46.7	0.1119	0.512167 ± 4	–9.2	486	–4.0	1472	
9	8-02-31/3	6.44	32.7	0.1189	0.512327 ± 3	–6.1	486	–1.3	1324	
10	8-02-31/1	1.71	9.9	0.1044	0.512214 ± 4	–8.3	486	–2.6	1306	1443
11	8-886/6	3.60	17.3	0.1255	0.512080 ± 4	–10.9	500	–6.4	1854	1769
Аньюский купол										
12	8-09-24/2	4.62	24.4	0.1145	0.512282 ± 4	–6.9	150	–5.4	1333	
13	8-09-15/2	5.64	29.5	0.1156	0.512244 ± 4	–7.7	150	–6.1	1408	
14	8-09-18/1	6.70	35.5	0.1139	0.512342 ± 5	–5.8	150	–4.2	1235	

Примечание. 1 – биотит-кордиеритовый гнейс ружинской свиты, 2 – двуслюдяной гранатсодержащий гранит, прорывающий гнейсы ружинской свиты, 3 – биотит-гранатовый гнейс матвеевской свиты, 4 – биотит-гранатовый сланец тургеневской свиты, 5 – биотит-плагиоклазовый гнейс нахимовской свиты, 6 – биотитовый гнейс татьяновской свиты, 7 – амфиболит (толеитовый метабаза), прослой среди метапелитов нахимовской свиты [5], 8 – двуслюдяной сланец авдокимовского комплекса, 9 – амфиболовый гнейсовидный меланодиорит сергеевского комплекса, 10 – автохтонный трондьемит (лейкосом мигматита), 11 – гранит тафуинского комплекса, 12 – гранат-биотитовый гнейс, 13 – биотитовый сланец, 14 – позднеюрский песчаник из обрамления Аньюского купола. Величины $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ рассчитаны на возраст t , млн лет, отвечающий возрасту метаморфизма (для проб № 1–6, 8, 9) либо предполагаемому возрасту формирования (пробы № 7, 10–14). Изотопные Sm–Nd-исследования выполнены в ИГД РАН; навески около 100 мг растерты в пудру образцов, к которым был добавлен смешанный трассер ^{149}Sm – ^{150}Nd , разлагали в тefлоновых бьюксах в смеси $\text{HCl} + \text{HF} + \text{HNO}_3$ при 110°C ; полноту разложения проверяли под биноклем; РЗЭ выделены посредством стандартной катионо-обменной хроматографии на колонках смолы BioRad AG1-X8 200–400 меш, а Sm, Nd – с помощью экстракционной хроматографии на колонках LN-Spec (100–150 меш) фирмы “Eichrom”; изотопные составы Sm, Nd измерены на многоколлекторном масс-спектрометре TRITON TI в статическом режиме; измеренные отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ нормализованы к отношению $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ и приведены к отношению $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511860$ в Nd-стандарте La Jolla; уровень холостого опыта за время исследований составил 0.03 – 0.2 нг для Sm, 0.1 – 0.5 нг для Nd; точность определения концентраций Sm, Nd $\pm 0.5\%$, изотопных отношений $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} \pm 0.5\%$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 0.005\%$ (2σ); при расчете величин $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ и модельных возрастов $t_{\text{Nd}}(\text{DM})$ использованы современные значения CHUR [8] ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512638$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1967$) и DM [9] ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.513151$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.2136$); для учета возможного фракционирования Sm, Nd во внутрикоровых процессах для гранитоидов с известным возрастом кристаллизации рассчитаны двустадийные модельные Nd-возраста $t_{\text{Nd}}(\text{DM}-2)$ [10] с использованием среднекорового отношения $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.12$ [11].

Pb-методом определен кембрийский (507 ± 3 млн лет) возраст гранулитового метаморфизма и неопротерозойский (757 ± 4 млн лет) возраст кристаллизации базитовых силлов [3]. Для толеитовых метабазаитов из прослоев в метапелитах нахимовской свиты возраст метаморфизма, определенный Sm–Nd-методом по породам в целом и минералам, составляет 733 ± 25 млн лет [4].

Модельные Nd-возраста, полученные для метапелитов северной части Ханкайского супертеррейна, укладываются в два возрастных интервала

(табл. 1). Для биотит-кордиеритовых гнейсов ружинской свиты Матвеевского террейна и прорывающих их двуслюдяных гранитов установлены модельные возрасты в интервале 1.5 – 1.6 млрд лет. Модельный Nd-возраст $t_{\text{Nd}}(\text{DM})$ биотит-гранатовых гнейсов матвеевской свиты и биотит-гранатовых сланцев тургеневской свиты оказался более древним (1.9 – 2.0 млрд лет). Для биотит-гранатовых гнейсов нахимовской и метатерригенных пород татьяновской свиты Нахимовского террейна модельный Nd-возраст составил 1.8 – 1.9 млрд лет,

а для метаморфизованных толеитовых базальтов, слагающих прослой среди пород нахимовской свиты, — 1.7 млрд лет.

Сергеевский террейн расположен в южном Сихотэ-Алине (рис. 1) и представляет собой пакет тектонических пластин, залегающих на юрской аккреционной призме. В его составе выделяются метаморфизованные вулканогенно-осадочные толщи авдокимовского комплекса и метагабброиды и метадiorиты собственно сергеевского комплекса. Метаморфические породы прорваны интрузиями позднекембрийских—раннеордовикских гранитоидов тафуинского и таудеминского комплексов.

Возраст метаморфических пород ранее оценивали как раннепротерозойский на основании Rb—Sr-данных [12]. Позже по метагабброидам сергеевского комплекса были получены ордовикские оценки возраста метаморфизма [5, 13]. Модельный Nd-возраст метагабброидов составляет 1.3 млрд лет (табл. 1). Аналогичный модельный возраст получен для анатектических автохтонных трондьемитов, образующих послойные и секущие тела среди мигматизированных амфиболитов. В то же время для парасланцев авдокимовского комплекса был установлен модельный возраст около 1.5 млрд лет, сопоставимый с модельными возрастами метаморфических пород ружинской свиты Матвеевского террейна. Граниты тафуинского комплекса, прорывающие метаморфические толщи, характеризуются $\varepsilon_{Nd}(t) = -6.4$, $t_{Nd(DM)} = 1.8$ млрд лет.

Аньюйский метаморфический террейн (купол) находится в северном Сихотэ-Алине (рис. 1) и представляет собой вытянутую в северо-восточном направлении куполовидную структуру, имеющую тектонические соотношения с окружающими терригенными толщами мезозоя. В составе Аньюйского купола присутствуют слюдяные кристаллические сланцы, гнейсы и мигматиты, перекрытые сверху аллохтонной пластиной, сложенной метаморфизованными в зеленосланцевой фации и рассланцованными габброидами, базальтоидами и кремнистыми мезозойскими отложениями.

Высокометаморфизованные породы Аньюйского купола ранее рассматривали в качестве фрагментов фундамента докембрийско-палеозойского Аньюйского микроконтинента [14]. Впоследствии было показано, что наиболее высокотемпературный метаморфизм и мигматизация были связаны с внедрением крупных массивов раннемеловых гранитоидов, что позволило трактовать весь Аньюйский блок как комплекс метаморфического ядра кордильерского типа [15]. Модельный Nd-возраст кристаллических сланцев и гнейсов составляет 1.3—1.4 млрд лет и близок к таковому неметаморфизованных позднеюрских песчаников из обрамления Аньюйского купола (табл. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные изотопные Sm—Nd-данные свидетельствуют о том, что среди протолитов метаморфических толщ Южного Приморья отсутствуют архей—раннепротерозойские геологические комплексы. Модельные возрасты наиболее древних образований (метапелиты ружинской свиты Матвеевского террейна, парасланцы авдокимовского комплекса Сергеевского террейна) отвечают среднему протерозою. С учетом имеющихся геохронологических данных о возрасте внедрения и метаморфизма базитовых силлов в матвеевской свите можно предполагать, что накопление осадочных толщ, послуживших субстратом метаморфических пород, происходило не позднее примерно 800 млн лет назад. Таким образом, формирование метаморфических толщ Матвеевского и Нахимовского террейнов явилось следствием тектонотермального преобразования осадочно-вулканогенно-карбонатных толщ среднего и верхнего неопротерозоя. Для Сергеевского террейна геологический возраст протолитов также следует считать мезонеопротерозойским либо, в крайнем случае, ранне-среднекембрийским. Нижняя возрастная граница определяется модельным возрастом метатерригенных пород (1.6 млрд лет), верхняя — возрастом метаморфизма и секущих гранитоидов (поздний кембрий—ордовик). Результаты изотопных исследований метапелитов Аньюйского купола подтвердили высказанное в [15] предположение о том, что эта структура представляет собой комплекс метаморфического ядра, образовавшегося за счет метаморфизма юрских осадочных пород Самаркинской аккреционной призмы в раннем мелу. Модельные возрасты метаморфитов (1.3—1.4 млрд лет) не имеют значимых отличий от модельных возрастов неметаморфизованных отложений Самаркинской аккреционной призмы (1.2—1.3 млрд лет).

ВЫВОДЫ

1. Для метапелитов из метаморфических террейнов юга Дальнего Востока установлены два интервала модельных Nd-возрастов источников метапелитов: 1.5—2.0 млрд лет, характерный для пород Матвеевского, Нахимовского и Сергеевского террейнов, и 1.3—1.4 млрд лет, типичный для метапелитов Аньюйского купола.

2. Совокупность имеющихся геологических, геохимических, геохронологических и изотопных данных свидетельствует, что метаморфические комплексы первой группы были сформированы за счет тектонотермального преобразования стратифицированных отложений мезо—неопротерозоя, в то время как вторые — результат метаморфизма мезозойских толщ. Архей—раннепротерозойские протолиты в регионе отсутствуют.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума СО РАН (ИП № 79), Президиума ДВО РАН (проект № 12-I-0-ОНЗ-07) и РФФИ (проект № 10-05-00486).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковач В.П., Котов А.Б., Березкин В.И. и др. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1999. Т. 7. № 1. С. 3–17.
2. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 979 с.
3. Ханчук А.И., Вовна Г.М., Киселев В.И. и др. // ДАН. 2010. Т. 434. № 2. С. 212–215.
4. Мишкин М.А., Ханчук А.И., Журавев Д.З., Лаврик С.Н. // ДАН. 2000. Т. 374. № 6. С. 813–815.
5. Аленичева А.А., Лохов К.И., Капитонов И.Н. и др. В кн.: Изотопные системы и время геологических процессов. СПб.: ИП Каталкина, 2009. Т. 1. С. 26–28.
6. Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д. и др. Геология и полезные ископаемые Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 1995. 66 с.
7. Решения четвертого межведомственного регионального совещания по докембрию и фанерозою юга Дальнего Востока и Восточного Забайкалья. Хабаровск: ХГГП, 1994. 123 с.
8. Jacobsen S.B., Wasserburg G.J. // Earth and Planet. Sci. Lett. 1984. V. 67. P. 137–150.
9. Goldstein S.J., Jacobsen S.B. // Earth and Planet. Sci. Lett. 1988. V. 87. P. 249–265.
10. Keto L.S., Jacobsen S.B. // Earth and Planet. Sci. Lett. 1987. V. 84. P. 27–41.
11. Taylor S.R., McLennan S.M. The Continental Crust. Its Evolution and Composition. L.: Blackwell, 1985. 312 p.
12. Коваленко С.В., Давыдов И.Д. // ДАН. 1990. Т. 315. № 4. С. 929–933.
13. Крук Н.Н., Симаненко В.П., Голозубов В.В. и др. В кн.: Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии. Материалы всероссийской конференции “VII Косыгинские чтения”. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2011. С. 66–68.
14. Натальин Б.А., Фор М., Монье П. и др. // Тихоокеан. геология. 1994. № 6. С. 3–25.
15. Крук Н.Н., Симаненко В.П., Голозубов В.П. и др. В кн.: Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. Владивосток: ДВГИ ДВО РАН, 2011. С. 232–233.