

УДК 551.2.03

DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-3-390-415

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРИСУТСТВИЯ ДРЕВНЕЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ В ФУНДАМЕНТЕ ПРИМОРЬЯ

© 2018 г. С. О. Максимов, П. Л. Неволин, В. И. Киселев

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 690000, г. Владивосток, просп. 100 лет Владивостоку, 159,
e-mail: hangar7@mail.ru

Поступила в редакцию 17.08.2017 г., принята к печати 14.11.2017 г.

Совокупность структурно-тектонических, литолого-минералогических, изотопно-геохимических данных по геологии Приморья и соседних территорий Северо-Восточного Китая и Приамурья позволяет обосновать критерии существования в его фундаменте древней сиалической коры. Главными из них являются следующие. 1. Мезозойские терригенные породы складчатых комплексов Приморья характеризуются протерозойским модельным возрастом с удешивением для аркозов до 2460 млн лет ($T_{Nd}DM_2$). Они слагаются преимущественно гранит-метаморфической минеральной ассоциацией и содержат детритовые цирконы с возрастом до 2500 млн лет. В составе терригенного флиша преобладают аркозы. 2. На территории Юго-Западного Приморья развиты покровы кайнозойских базальтов с протерозойскими модельными возрастными и аномально низкими изотопными отношениями свинца [Pb^{206}/Pb^{204}], аналогичными базальтам древних [AR-PR₁] литосферных блоков. 3. Структурный план деформационной тектоники отражает существование единого древнего жесткого каркаса территории, конформно реагирующего на смену режимов сжатия-растяжения в течение длительных временных циклов. 4. В Приморье и Приамурье распространены проявления калиевого, высокобариевого базит-ультрабазитового магматизма с геохимическими чертами кимберлитов-лампроитов. Подобный тип магматизма не характерен для областей с ювенильной корой и отражает существование под этой территорией зрелой континентальной литосферы. С позднего протерозоя сиалическая кора последовательно подвергается деструкции в ходе деляминации и базификации.

Ключевые слова: Приморье, сиалическая кора, модельный возраст, изотопы свинца, U-Pb возраст цирконов, структурный план деформаций, "Greater South China"

GEOLOGICAL AND ISOTOPE-GEOCHEMICAL CRITERIA OF EVIDENT PRESENCE OF ANCIENT CONTINENTAL CRUST IN PRIMORYE BASEMENT

Sergei O. Maksimov, Petr L. Nevolin, Vladimir I. Kiselev

Far East Geological Institute FEB RAS, 159, 100 years of Vladivostok av., Vladivostok, 690000, Russia,
e-mail: hangar7@mail.ru

Received 17.08.2017, accepted 14.11.2017

The totality of structural-tectonic, lithologic-mineralogical, isotope-geochemical data on the geology of Primorye and adjacent territories of Northeast China and the Amur Region allows us to justify the criteria for the existence of an ancient sialic crust in its foundation. The main of them are the following. 1. Mesozoic terrigenous rocks of the Sikhote-Alin folded formations are characterized by the Proterozoic model age, with more ancient for arkoses – to 2460 Ma ($T_{Nd}DM_2$). They are composed mainly of granite-metamorphic mineral association and have zircons reaching the age of up to 2500 Ma. The terrigenous flysch is arkose-dominant. 2. The territory of South-Western Primorye, is covered by Cenozoic basalts with Proterozoic model ages and anomalously low isotope ratios of lead [Pb^{206}/Pb^{204}], analogous to basalts developed on the ancient AR-PR₁ lithospheric blocks. 3. Structural deformation tectonic plan reflects presence of a single ancient rigid foundation of the territory with conformly react to a change of the compression-tension regimes in long time cycles. 4. The abundance of potassium- and barium-rich magmatism with geochemical characteristics of kimberlites-lamproites very spread within Primorye and Amur Region. A similar type of magmatism is not typical for areas with juvenile crust and reflects the presence of the mature continental lithosphere. Since the late Proterozoic, the sialic crust of Primorye has been consistently degraded as a result of delamination and basification processes.

Keywords: Primorye, sialic crust, model age, lead isotopes, U-Pb age of zircons, structural plan of deformations, "Greater South China"

Для цитирования: Максимов С.О., Неволин П.Л., Киселев В.И. (2018) Геологические и изотопно-геохимические критерии присутствия древней континентальной коры в фундаменте Приморья. *Литосфера*, **18**(3), 390-415. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-3-390-415

For citation: Maksimov S.O., Nevolin P.L., Kiselev V.I. (2018) Geological and isotope-geochemical criteria evidencing presence of ancient continental crust in Primorye basement. *Litosfera*, **18**(3), 390-415. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-3-390-415

ВВЕДЕНИЕ

Приморье располагается в переходной области от Евразийского континента к Тихому океану, представляя модельный объект для исследований процессов эволюции континентальной литосферы. Остро дискутируемой проблемой геологического развития территории является существование в ее фундаменте первично ювенильной либо древней сиалической коры. Эта проблема имеет ключевое значение для понимания генезиса всей области перехода и продолжает полемику двух тектонических направлений 60–80-х гг. прошлого столетия: первичной ювенильности древнего основания [Васильковский, 1984] либо его кратонности [Смирнов, 1985]. В дальнейшем полемика трансформировалась в дискуссию между сторонниками и противниками аккреционно-террейновой модели становления земной коры. Первые представляют преобладающую среди современных геологов точку зрения на формирование Сихотэ-Алинской окраины Азии, согласно которой она образовалась в результате аккреции террейнов, сформированных в различных геодинамических обстановках и перемещенных иногда на тысячи километров по отношению к их настоящему положению. Аккреционная (террейновая) модель постулирует ювенильный тип фундамента Приморья и отсутствие древней зрелой континентальной коры [Голозубов, 2006; Петрищевский, 2011; Ханчук и др., 2013; Диденко и др., 2014]. Однако такому выводу противоречит комплекс взаимодополняющих изотопно-геохимических, литологических, минералогических, структурно-динамических, магматических данных, указывающих на присутствие древней континентальной коры и ее региональное распространение не только на территории Приморья, но и всего континентального обрамления Восточной окраины Азии. В последнее время они дополнены (включая и авторские материалы) новыми изотопно-геохимическими данными: Sm-Nd модельными возрастами осадочных толщ и магматических образований, U-Pb датировками цирконов и монацитов из терригенных и магматических комплексов, геолого-геохимическими данными по продуктам глубинного магматизма и материалами детальных исследований динамо-тектонического структурирования различных осадочных и магматических образований. Обзор и обобщение этих, в значительной степени новых, результатов представляет основу настоящей работы, целью которой служит представление фактических материалов, несовместимых, по мнению авторов, с террейново-аккреционной моделью геологического развития Приморья. Они систематизированы в виде пяти разделов, являющихся самостоятельными критериями выше обозначенного тезиса. Ограниченностью объема статьи обусловлено отсутствие дис-

куссии по альтернативным вариантам террейновой концепции.

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ. Sm-Nd МОДЕЛЬНЫЕ ВОЗРАСТА

Важным критерием присутствия древней сиалической коры служат модельные датировки разновозрастных осадочных, метаморфических образований и гранитоидов Приморья, рассчитанные на основе Sm-Nd изотопных данных [Ханчук и др., 2013; Крук и др., 2014]. Значения модельного возраста (T_{NdDM_2}) мезозойских осадочных пород при закономерных вариациях отвечают раннему и среднему протерозою (1025–2460 млн лет) и, соответственно, гранитоидов (795–1481 млн лет). Это предполагает вероятное участие в их составе и более древнего вещества (архей-раннепротерозойского) возраста. Модельный Sm-Nd возраст, как известно, отражает время отделения вещества (и его Sm-Nd компоненты) из гомогенного источника: хондритового резервуара или DM и фактически подразумевает время пребывания в коре. После того как коровое вещество сформировалось, Sm/Nd отношение не изменяется и однородно, составляя около 0.13. Модельный возраст осадочных терригенных комплексов и образовавшихся в результате их магматического замещения и анатексиса гранитоидов интерпретируется [Harris, 1996; Виноградов, 2004] как отражение разновременного вклада различных источников. Если в формировании осадочных отложений и гранитоидов участвовало несколько источников, то модельный возраст будет представлять их усредненное значение. Добавка вещества молодых мантийных выплавов и его распределение в составе осадочных отложений приводят к омоложению значений модельного возраста. Особенно чувствительна добавка молодого ювенильного вещества к породам аркозового состава, сформированным в результате размыва гранит-метаморфических пород, что следует из низких концентраций в последних самария и, соответственно, низких значениях Sm/Nd отношений. Вся докембрийская и фанерозойская история Приморья связана с многократным поступлением мантийных магм. Это отражено в распространенности амфиболитов (метабазальтов) в составе нахимовского метаморфического комплекса протерозойского возраста [Мишкин и др., 2000], присутствии кембрийских офиолитов с геолого-геохимическими признаками континентального происхождения [Shcheka et al., 2001]. Масштабные процессы рифтогенеза и апвеллинга мантийных магм произошли в Приморье в пермское время, что согласуется с известным глобальным проявлением этих процессов на Земле в этот период. Наконец, в юрско-раннемеловое время сформировался меймечит-пикритовый комплекс [Щека, 1977], несущий геохимические чер-

ты кимберлитов [Есин и др., 1996]. Продуктами разрушения этих позднеюрских ультраосновных пород (хромитами, клинопироксенами, оливинами) обогащены нижнемеловые терригенные отложения. Это служило в свое время (по устному сообщению А.А. Вржосека) маркирующим признаком их отличия от более древних осадочных пород при геологическом картировании. Преобладающая часть мантийных выплавов обычно не достигает поверхности, размещаясь в области континентальной литосферы [Костицын, 2007]. При гранитообразовании мантийное вещество, локализованное в коровых субстратах, наследуется гранитной системой в процессе гранитизации и переплавления, обуславливая фактически омоложение модельного возраста (подобно его вхождению в состав осадочных толщ и омоложению их модельных датировок). Для большинства верхнепермских гранитных интрузий Южного Приморья характерна повышенная минералогическая и петрогеохимическая меланократовость. Среди них практически отсутствуют высокоглиноземистые аляскитовые разности. Особенно контрастно процессы гранитизации проявились при становлении гранитных массивов в Хасанском районе Южного Приморья и на о-ве Русский, где распространены пермские отложения владивостокской свиты (P₂) существенно метабазитового состава. Из-за высокой мафичности и резистентности субстратов к процессам гранитизации образуются массивы такситовых *мелагранитов*, обогащенных не полностью гранитизированным и гомогенизированным реститовым веществом протолита. Для всех подобных примеров гранитизации и переплавления метабазитовых субстратов характерно омоложение модельных датировок гранитов. Так, наиболее древними, раннепротерозойскими, значениями модельного возраста (T_{Nd}DM₂) [Ханчук и др., 2013] характеризуются аркозовые песчаники Журавлевского и Таухинского террейнов (2460 и 2284 млн лет) и лейкограниты Успенского массива (1233 млн лет), а наиболее омоложенные датировки (828–913 млн лет) имеют мелаграниты о-ва Русский с теньвыми структурами пермских метабазитов и тоналиты Гамовского массива. Близость среднепротерозойских значений модельных возрастов гранитов и вмещающих осадочных отложений отражает ведущие механизмы становления гранитов: гранитизацию и магматическое замещение коровых субстратов с наследованием их Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем, претерпевших лишь определенную модификацию, а не отсутствие, как считают [Ханчук и др., 2013], древнего корового фундамента, который служил бы их протолитом. В работе немецких исследователей [Liew, Hofman, 1988] **дается объяснение** возможного омоложения (до среднего протерозоя) модельного возраста осадочно-метаморфических пород герцинского складчатого пояса Европы как результат смешения вещества древней архейской коры с добавками молодого ювенильного вещества

(до 70–80%). Это обуславливает региональные значения модельных датировок – 1.4–1.7 млрд лет. Аналогия подобной интерпретации очевидна и для территории Приморья при анализе модельных возрастов осадочных и метаморфических пород. Сходный вывод об омолаживающем влиянии на модельный возраст терригенных образований вклада молодого ювенильного источника сделан и для позднекембрийских осадочных комплексов Западной Монголии [Летникова и др., 2016].

Расчет модельных датировок (T_{Nd}DM) базальтов Шуфанского плато (Южное Приморье) (рис. 1) показал варьирующие величины: от 700 млн лет до 1 млрд лет и более, достигающие для ортопироксеновых разностей, производных плавления нижнекорново-мантийного литосферного вещества, величины 2805 млн лет (табл. 1). Это служит критерием древности их источника, несмотря на многократное его омоложение при андерплейтинге мантийных магм. Очевидно, что значительный вклад в баланс вещества всех терригенных складчатых образований (пермско-триасовых, юрских, меловых) и, соответственно, гранитоидов, исходя из протерозойских значений модельного возраста и закономерностей их вариаций [Ханчук и др., 2013], вносили и древние коровые источники. Пересчет частных модельных датировок на массу силикатного вещества мезозойских терригенных образований Приморья (по грубой оценке, с учетом их складчатой деформации составляющую ≈10¹⁶ т) может служить свидетельством его формирования за счет рециклинга и вовлечения в магмогенез древнего материала *in situ*, а не в результате поступлений из кратонных областей и, тем более (как обосновывается в ряде террейновых моделей), с океанических территорий и даже приэкваториальных областей [Диденко, Ханчук, 2014; Кемкин и др., 2017].

Модельный возраст терригенных образований из юрских и меловых толщ Приморья отвечает протерозою с вариациями от среднего до раннего (2460 млн лет для аркозов (T_{Nd}DM₂)) с отчетливой тенденцией к омоложению при добавках молодого ювенильного вещества.

Pb²⁰⁶/Pb²⁰⁴ ИЗОТОПНАЯ СИСТЕМАТИКА БАЗАЛЬТОВ КАК КРИТЕРИЙ ДРЕВНОСТИ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ЛИТОСФЕРЫ

Сопоставление полученных авторами изотопных данных для базальтов Юго-Западного Приморья с подобными изотопными характеристиками базальтов из вулканических ареалов, расположенных на древних [AR-PR₁] блоках фундамента, показало устойчивую закономерность, позволяющую использовать подобную характеристику [Pb²⁰⁶/Pb²⁰⁴] вулканических пород как геохимический критерий разделения архей-раннепротерозойских и протерозой-фанерозойских литосферных блоков.

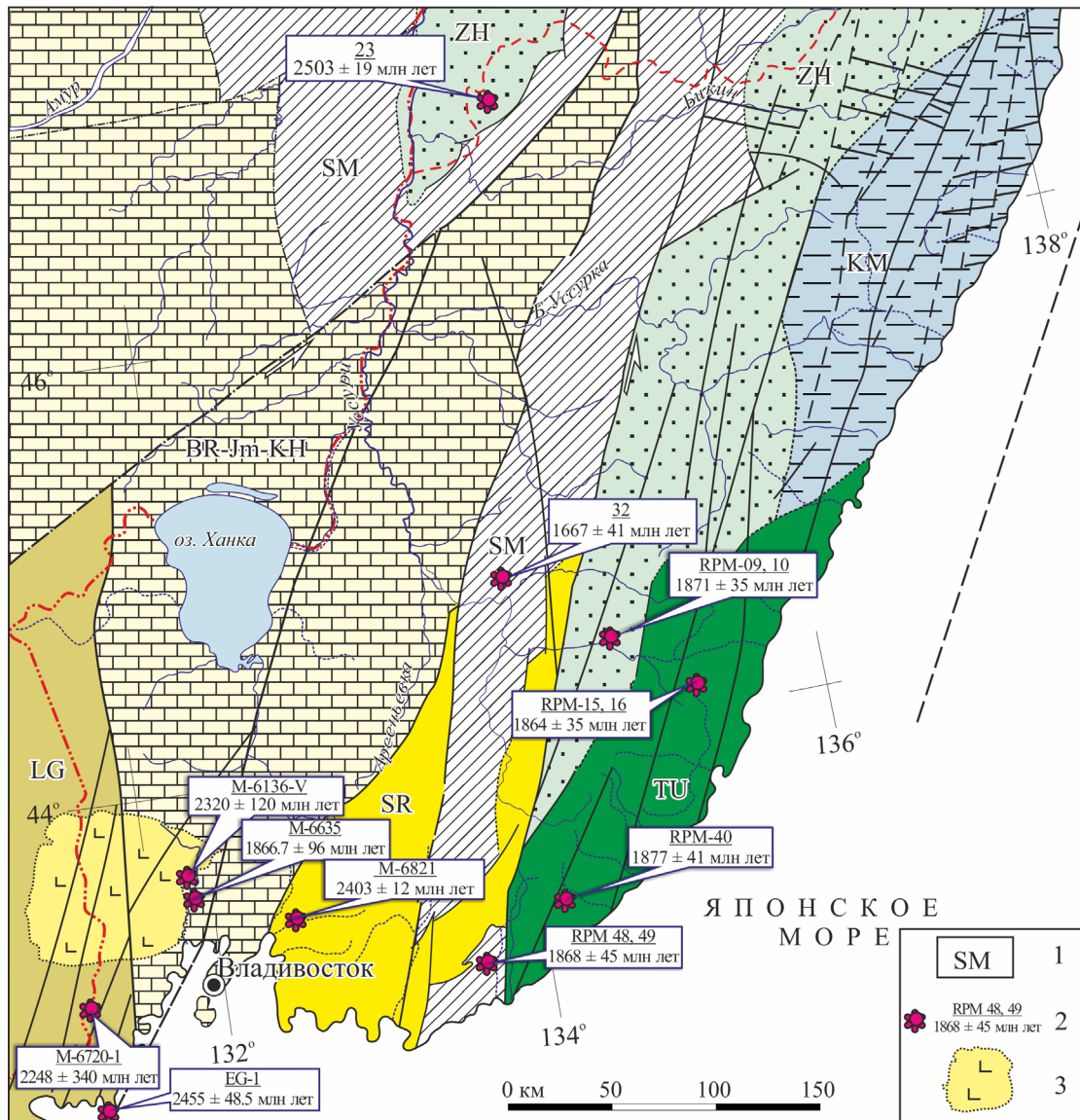


Рис. 1. Структурно-тектоническая схема Приморья и прилегающих территорий [Геодинамика..., 2006], с дополнениями.

1 – террейны: (BR-Jm-KH) – Буреинско-Джамусы-Ханкайский (супертеррейн), (LG) Лаозлин-Гродековский, (SM) Самаркинский, (SR) Сергеевский; (TU), Таухинский; (ZH), Журавлевский, (KM) Кемский; 2 – места отбора цирконов и монацитов; в числителе указаны номера точек опробования, в знаменателе – U-Pb возраст минералов; 3 – Шуфанское базальтовое плато.

Fig. 1. Tectonic map of Primorye and surrounding areas [Geodynamics..., 2006], with addition.

1 – terranes: (BR-Jm-KH) – the Bureya-Jiamushi-Khanka, (LG) – the Laeolin-Grodekovo, (SM) – the Samarka, (SR) – the Sergeevka, (TU) – the Taukha, (ZH) – the Zhuravlevka, (KM) – the Kema; 2 – points showing sites of zircons and monazites collecting and their U-Pb ages; 3 – Shufansky basalt plateau.

Ниже приводится краткий сравнительный обзор свинцовой изотопной систематики базальтов в зависимости от древности фундамента.

Природа низких свинцовых изотопных отношений в кайнозойских базальтах Восточной Азии обсуждалась в работах [Mukasa et al., 1987; Zartman et al., 1991; Zhang et al., 1995; Weis, Frey, 1996; Zou et al., 2000; и др.] Эти исследования показали, что

модификация в позднем архее–раннем протерозое литосферной мантии Восточного Китая привела к резкому уменьшению значений U^{238}/Pb^{204} , повышению Th/U отношений, что проявилось в следствии в низких величинах ураногенных свинцов [Zartman et al., 1991; Tatsumoto et al., 1992]. Архей-раннепротерозойские континентальные блоки характеризуются автономной природой сво-

Таблица 1. Модельный (T_{NdDM}) возраст базальтов Шкотовского и Шуфанского плато**Table 1.** Values of model (T_{NdDM}) age of basalts of Shkotovskoe and Shufanskoe plateaus

№ п/п	№ обр.	Возраст, млн лет	Sm, г/т	Nd, г/т	Sm ¹⁴⁷ /Nd ¹⁴⁴	Nd ¹⁴³ /Nd ¹⁴⁴	εNd(t)	T_{NdDM} , млн лет
1	M-5175/1	13	4.3	17.3	0.1507	0.512735	2.70	1008
2	M-5196	13	10.8	52.4	0.1239	0.512593	0.76	948
3	M-5001	13	8.83	42.2	0.1257	0.512625	0.14	912
4	M-5468	13	3.86	12.4	0.18677	0.512653	0.50	2805
5	M-5451	10	5.35	21.5	0.1493	0.512663	0.62	1156
6	M-5381	10.0	2.79	9.7	0.1722	0.512710	1.51	1621
7	M-5308	9.6	5.26	20.1	0.15709	0.512639	0.15	1379
8	M-5521	9.6	5.60	25.3	0.13286	0.512681	1.0	887
9	M-5227	10.7	10.68	66.4	0.0965	0.512542	1.68	793
10	M-5007	10.6	11.24	65.2	0.10345	0.512646	0.35	699
11	M-5018	10	11.04	64	0.1036	0.512526	1.99	866
12	M-5301	10.8	7.9	42	0.1123	0.512648	0.37	757
13	M-5287	10.8	7.4	39	0.1132	0.512651	0.42	760
14	M-5221	10.1	7.5	36.4	0.1232	0.512667	0.73	817

Примечание. 1 – Мегаплагипорфировый базальт (Шкотовское плато); 2 – ортопироксеновый контаминированный базальт (трахиандезит) (Барановский вулкан); 3–14 – базальты Шуфанского плато: 3, 4 – ортопироксеновые базальты – основание базальтового покрова, 5 – ортопироксеновый базальт (экструзия), 6, 7 – оливинные толеиты – верхняя часть покрова, 8 – контаминированный базальт (трахиандезит) – верхняя часть покрова; 9–14 – щелочные базальты с лерцолитовыми и биотитовыми (глиммеритовыми) включениями. При расчетах использованы параметры обедненной мантии: (DM): Sm¹⁴⁷/Nd¹⁴⁴ = 0.2136, Nd¹⁴³/Nd¹⁴⁴ = 0.513151; Sm/Nd континентальной коры = 0.12. Аналитические исследования проведены в Институте геохимии СО РАН, г. Иркутск. Концентрации Nd и Sm определены методом ICP-MS на масс-спектрометре Element 2 фирмы Finnigan MAT. Измерения изотопов неодима выполнены на масс-спектрометре Finnigan MAT 262. Аналитик Г.П. Сандиминова.

Note. 1 – Megaplagioporphyratic basalt (Shkotovskoe plateau); 2 – orthopyroxene contaminated basalt (trachyandesite) Baranovsky volcano; 3–14 – basalts of the Shufang Plateau: 3, 4 – orthopyroxene basalts – basement of basaltic cover, 5 – orthopyroxene basalt (extrusion), 6, 7 – olivine tholeiites – upper part of the cover, 8 – contaminated basalt (trachyandesite) – upper part of the cover, 9–14 – alkaline basalts with lherzolite and biotite (glimmerite) inclusions. In the calculations we used the parameters of the depleted mantle (DM): Sm¹⁴⁷/Nd¹⁴⁴ = 0.2136; Nd¹⁴³/Nd¹⁴⁴ = 0.513151; Sm/Nd of the continental crust = 0.12. Analytical studies were carried out at the Institute of Geochemistry of the SB RAS, Irkutsk. Concentrations of Nd and Sm were determined by ICP-MS on an Element 2 mass spectrometer from Finnigan MAT. The measurements of the neodymium isotopes were performed on a Finnigan MAT 262 mass spectrometer. Analyst G.P. Sandimirova.

его образования и типом мантии, отличающим их от протерозой-фанерозойских коровых провинций. Если корово-мантийное влияние на выплавки коррелируется с положением территорий на древних кратонах, не считаясь с мощностью, проницаемостью литосферы, очевидно, что кратоны имеют корни, протягивающиеся в мантию, по крайней мере, на 250 км [Polet, Anderson, 1995]. Вулканические породы крупных доменов Восточного Китая имеют крайне нерадиогенный свинец, что является типовой особенностью докембрийских кристаллических комплексов с низкими значениями μ [Collerson et al., 1982]. Подобные изменения изотопного состава – очень длительный процесс, они не могут быть быстро модифицированы проявлением молодого мантийного магматизма и исключительно характерны для базальтовых ареалов, приуроченных к Сино-Корейскому архейскому кратону. Резкие различия в свинцовых изотопных возрастах базальтов характерны для отдельных доменов Юго-Восточного Китая, имеющих позднепротерозойский возраст по сравнению с доменами северной части Восточного Китая [Zhang et al., 1995], непосредственно примыкающими с юга и северо-запада к территории Приморья, которые подстилаются архей-раннепротерозойской континентальной литосферой. Это вулканический ареал Ван-

цин [Xu et al., 1998] и ареал (WEK) (Удалиньчи-Эрекшан-Келуо). Последний, согласно [Zhang et al., 1995], подстилается постархейской субконтинентальной литосферной мантией, деплетированной ураном и модифицированной в раннем протерозое в результате метасоматических событий. Она несет признаки EM-I (вулканический ареал Удалиньчи) с низкими отношениями Pb²⁰⁶/Pb²⁰⁴ (16.723) [Basu et al., 1991] (табл. 2). Наконец, это расположенный у южных границ Приморья вулканический ареал Чанбайшань, пемзовыми продуктами извержения которого обогащены пляжи Южного Приморья. В то же время протерозой-фанерозойская континентальная литосферная мантия обогащена Rb, LREE, U, что создает со временем обогащенный компонент EM II [Zartman et al., 1991; Menzies et al., 1993; Zou et al., 2000; Рассказов и др., 2003]. Этой свинцовой изотопной характеристикой, таким образом, подчеркиваются различия литосферной мантии архей-раннепротерозойских и протерозой-фанерозойских провинций. Последнее подтверждается низкими изотопными отношениями Pb²⁰⁶/Pb²⁰⁴ в кайнозойских базальтах и из других вулканических ареалов на территории Китая, расположенных непосредственно на раннепротерозой-архейских литосферных блоках (линейный базальтовый ареал Наданьхада), контролируемый сдви-

Таблица 2. Изотопные отношения свинца в базальтах Шуфанского плато, периферических базальтовых ареалов и вулканических породах, локализованных на AR-PR1 литосферных блоках

Table 2. Isotope ratios of lead in basalts of Shufanskoee plateau, peripheral basaltic areas and volcanic rocks localized on the AR-PR1 lithospheric blocks

№ п/п	№ обр.	Pb ²⁰⁶ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁸ /Pb ²⁰⁴
1	M-5196	17360 ± 2	15.402 ± 2	37.145 ± 5
2	M-5755	17.335 ± 2	15.389 ± 2	37.087 ± 4
3	M-5811	17.418 ± 6	15.467 ± 5	37.360 ± 12
4	M-5001	17.471 ± 2	15.461 ± 2	37.361 ± 5
5	M-5307	17.551 ± 3	15.396 ± 2	37.225 ± 7
6	M-5308	17.716 ± 7	17.716 ± 7	37.639 ± 15
7	M-5381	17.745 ± 5	15.422 ± 3	37.426 ± 1
8	M-5657/1	17.490 ± 3	15.354 ± 2	37.346 ± 6
9	M-5336	17.987 ± 3	15.517 ± 43	37.995 ± 5
10	M-5521	17.821 ± 3	15.421 ± 2	37.712 ± 6
11	M-5387	17.701 ± 3	15.422 ± 3	37.426 ± 1
12	M-6425	17.539 ± 1	15.453 ± 4	37.759 ± 9
13	M-5018	17.414 ± 9	15.371 ± 6	37.506 ± 19
14	M-5007	17.294 ± 1	15.356 ± 1	37.501 ± 2
15	x-40	17.534	15.46	37.704
16	x-42	17.486	15.521	37.759
17	H-2	16.723	15.382	36.542
18	BC-5/2	17.626	15.432	37.691
19	DF-1	17.471	15.407	37.512
20	UR-103	17.601	15.338	37.657
21	HM-5	17.327 ± 7	15.281 ± 9	37.204 ± 18
22	NS-30	17.802	15.435	37.661
23	ЮХ-14/5	17.64	15.49	37.6
24	ЦМ-4/5	17.14	15.45	37.23
25	HE-43	17.913	15.559	38.412

Примечание. 1–14 – данные авторов: 1–3 – ортопироксеновые андезиты-базальты периферических ареалов: 1, 2 – Барановская вулканическая постройка; 3 – Раздольненская вулканическая постройка; 4–14 – базальты Шуфанского плато (4 – ортопироксеновые базальты основания плато-покрова, 5 – ОI-Срх базальты средней части покрова, 6–8 – оливиновые толеиты-верхней части покрова; 9, 10 – контаминированные базальты (трахиандезиты) верхней части покрова; 11, 12 – лерцолит-содержащие и 13, 14 – глиммерит-содержащие щелочные базальты); 15–24 – данные по ссылкам: 15, 16 – оливиновый толеит и щелочной оливиновый базальт (базальтовый ареал Чанбайшань), 17 – лейцитовый базанит – (базальтовый ареал УЭК (Удалиньчи) [Basu et al., 1991]; 18 – оливиновый толеит (базальтовый ареал Хуандзянь); 19 – кварцевый толеит (базальтовый ареал Ханлу), Северо-Китайский кратон [Tatsumoto et al., 1992]; 20 – базальт, Охотский архейский массив [Акинин, Миллер, 2011]; 21 – тэфрит, базальтовый ареал Циньпоху, Северо-Китайский кратон [Zhang et al., 2002]; 22 – базанит, вулканический ареал Нушань, Северо-Китайский кратон [Zou et al., 2000]; 23, 24 – базаниты Южный Хангай (Центральная Монголия), [Саватенков и др., 2010]; 25 – трахиандезит (о-в Херд, плато Кергелен) [Barling et al., 1994]. Аналитические исследования (1–14) проведены в Институте геохимии СО РАН, г. Иркутск. Измерения изотопов свинца выполнены на масс-спектрометре Finnigan MAT 262. Аналитик Г.П. Сандиминова.

Note. 1–14 – authors' data: 1–3 – orthopyroxene andesite-basalts of peripheral areas: 1, 2 – Baranovskaya volcanic edifice; 3 – Razdolnenskaya volcanic edifice; 4–14 – basalts of the Shufang Plateau: (4 – orthopyroxene basalts of the plateau-cover basement; 5 – ol-

ivine-clinopyroxene basalts of the middle part cover, 6–8 – olivine tholeiites of the upper part cover; 9, 10 – contaminated basalts (trachyandesites) of the upper part cover; 11, 12 – lherzolite-bearing and 13, 14 – glimmerite-bearing alkaline basalts); 15–24 – data from references: 15, 16 – olivine-tholeiite and alkaline olivine basalt (Changbaishan basaltic areal); 17 – leucite basanite (Udalinchi volcano, UEK basaltic areal) [Basu et al., 1991]; 18 – olivine tholeiite (Huangdzyan basaltic areal), 19 – quartz tholeiite (Hanlu basaltic areal), North-Chinese Craton [Tatsumoto et al., 1992]; 20 – basalt, Okhotsky Archean massif [Акинин, Миллер, 2011]; 21 – tephrite Dzhinpokhu basaltic areal, North-Chinese Craton [Zhang et al., 2002]; 22 – basanite Hushan volcanic areal North-Chinese Craton [Zou et al., 2000]; 23, 24 – basanites of South Khangai (Central Mongolia) [Savatenkov et al., 2010]; 25 – trachyandesite (Heard island, Kergelen Plateau) [Barling et al., 1994]. Analytical studies (1-14) were carried out at the Institute of Geochemistry of the SB RAS, Irkutsk. The lead isotope measurements were performed on a Finnigan MAT 262 mass spectrometer. Analyst G.P. Sandimirova.

говой структурой Тан-Лунь [Basu et al., 1991; Zhang, et al., 1995]. Аналогичная изотопно-геохимическая специфика: (низкие значения Pb²⁰⁶/Pb²⁰⁴ и Nd¹⁴³/Nd¹⁴⁴ отношений), фиксирующая присутствие древней (архей-раннепротерозой литосферы, характерна для траппов южной части плато Кергелен (скв. 738 DSDP), тяготеющих к погруженным блокам архейской коры Антарктики и Западной Австралии) [Operto, Charvis, 1995; Фролова, Бурикова, 2002]. Это подтверждается драгированием в западной части плато обломков гранат-биотитовых гнейсов с возрастом детритовых цирконов 2547 ± 8 млн лет [Nicolaussen et al., 2001]. Низкие изотопные отношения свинца для базальтов о-ва Херд (плато Кергелен) свидетельствуют о присутствии источника со значениями μ значительно ниже, чем в типовой континентальной коре на протяжении более 1–2 млрд лет [Barling et al., 1994]. Низкие значения Pb²⁰⁶/Pb²⁰⁴ в базальтах южной части Срединно-Индийского хребта также рассматриваются как результат смешения мантийных выделок с веществом древней континентальной коры [Фролова, Бурикова, 2002]. В работе [Weis, Frey, 1996] подчеркивается, что молодые лавы Indian Ocean MORB и Кергелена имеют низкие значения Pb^{206/204}, типичные для древних блоков Мадагаскара и Западной Австралии, и делается вывод о том, что диспергированная континентальная литосфера служит источником низких Pb^{206/204} в Indian Ocean MORB. Аналогичные низкие изотопные отношения свинца (см. табл. 2) типичны для риолитов, андезитов, базальтов из вулканических ареалов Охотско-Чукотского пояса, наложенных на архейский Охотский массив [Акинин, Миллер, 2011], и рудных свинцов из месторождений архейского Омолонского кратона [Чернышов, Шпикерман, 2001]. При этом однотипные по петрографическому, геохимическому составу и близодновременные вулканисты, занимающие сходное положение в эволюционной последовательности формирования Охотско-Чукотского пояса, но локализо-

ванные на фанерозойских и позднепротерозойских блоках фундамента, характеризуются уже относительно повышенными значениями Pb^{206}/Pb^{204} , соответственно: 17.422–17.480 и 18.408–18.433 [Акиннин, Миллер, 2011]. Вариации изотопного состава свинца в щелочных базальтах Хангайского нагорья (Монголия) (см. табл. 2) [Саватенков и др., 2010] также отчетливо отражают связь низких значений Pb^{206}/Pb^{204} в базальтах: Тарянского (17.14–17.84) и Долиноозерского (17.20–17.48) раннедокембрийских блоков в сравнении со значениями Pb^{206}/Pb^{204} (17.98–18.33) в базальтах рифейского Водораздельного блока. Низкие изотопные отношения свинца Pb^{206}/Pb^{204} характерны для щелочных вулканитов, локализованных на архейском основании кратона Вайоминг (США) [O'Brien et al., 1995]. Отмечается, что подобные изотопные характеристики требуют древней компоненты, которая была деплетирована ураном более 1.5 млрд лет назад. Этой компонентой могла быть субконтинентальная литосферная мантия, подстилающая кратон.

Шуфанское базальтовое плато занимает приграничную область Юго-Западного Приморья и Китая, структурно располагаясь на территории Лаоэлин-Гродековского террейна и Ханкайского массива (Ханкайско-Цзямусы-Буреинского супертеррейна) [Геодинамика..., 2006] (см. рис. 1). Для всех петротипов базальтов этого крупного вулканического сооружения, а также базальтов из периферических ареалов, расположенных северо-восточнее и представляющих останцы покрова уже Шкотского базальтового плато, характерны выдержанные аномально низкие изотопные отношения Pb^{206}/Pb^{204} (см. табл. 2). Так как подобными низкими изотопными отношениями характеризуются ортопироксеновые базальты из основания покрова, низкокалиевые оливиновые толеиты и сильно контаминированные базальты завершающих фаз излияний, а также обогащенные LREE и Nb калиевые щелочные базальты с мегакристами анортитов, высокоглиноземистых клинопироксенов, лерцолитовыми и глиммеритовыми ксенолитами литосферной мантии, эта изотопная характеристика не может служить критерием только коровой контаминации древней докембрийской корой, а отражает особенности изотопного состава континентальной мантийной литосферы (SCLM) [Menzies et al., 1993; Stewart, Rogers, 1996] с деламинацией древних (AR-PR₁) блоков коры. Возраст источников рудного вещества для большинства месторождений Приморья, расположенных в различных блоках, по свинцовым изотопным данным, является среднепротерозойским при различном типе, генезисе и возрасте самого оруденения (палеозой-кайнозой) [Фефёлов, 1984; Ростовский, 2005].

Северная часть Восточного Китая, непосредственно примыкающая к Приморью с запада, подстилается архей-раннепротерозойской континен-

тальной литосферой [Xu et al., 1998], которая, судя по изотопным меткам свинца в кайнозойских базальтах, продолжается на территорию Приморья.

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ СУЩЕСТВОВАНИЯ ДРЕВНЕГО ЖЕСТКОГО (СИАЛИЧЕСКОГО) ОСНОВАНИЯ В СИХОТЭ-АЛИНЕ

Согласно специальным структурным исследованиям, некогда целостная и перекрытая фанерозойским чехлом фрагментированная докембрийская континентальная кора погружается на уровне 2–10 км [Кулинич, 1969] в направлении края континента, воздымаясь лишь в Прибрежной зоне. Ключевой момент состоит в том, что фундамент и чехол “прошиты”, по сути, единой структурной канвой, состоящей из трех принципиально однообразных (в кинематическом аспекте) наборов тектонических элементов, представляющих собой три разноориентированных плана деформаций – результат динамики трех периодов тектогенеза: протерозойского, палеозойского, мезозойско-кайнозойского [Неволин и др., 2012, 2014]. Смена ориентации планов и векторов сжатия-растяжения наиболее непротиворечиво объясняется с позиции ротационного режима: периодического ускорения-замедления вращения Земли [Уткин, 1979, 2016].

Мезозойско-кайнозойский структурный план как самый молодой выражен особенно четко в области мезозойской складчатости Сихотэ-Алиня. Опорными его элементами служат: 8-порядковая голоморфная вергентная, конвергентная, конгруэнтная складчатость восток-северо-восточного направления; системы соскладчатых надвигов и взбросов, а также диагональных сдвигов. Соответственно, сжатие было нормальным к складкам и надвигам и косым к сдвигам, то есть северо-северо-западного направления. Это является главенствующей структурной основой, прошивающей все стратифицированные комплексы аккреционных террейнов, охарактеризованных в работах А.И. Ханчука, В.В. Голозубова и др. [Геодинамика..., 2006]. По этому признаку и определению выделяемые террейны собственно террейнами не являются. Повторим, что главный идентификационный момент состоит в том, что ориентировка, асимметрия и вергентность, а также механизмы всех порядков складчатости одинаковы для кремнистых триасовых, кремнисто-терригенных юрских а также терригенных, терригенно-вулканогенных меловых террейнов. Террейны пронизываются поздне-меловыми автохтонными гранитоидными телами и их интрузивными цепочками, принципиально неотделимыми от общей складчатой конструкции. Интрузивы преимущественно сосредоточены в осевых пространствах разуплотнения антиклиналей [Неволин и др., 2010, 2014]. Очевидное единство и

площадная распространенность этого деформационного плана вполне убедительно свидетельствуют о том, что вся весьма однообразная конструкция располагается на едином жестком основании, по сути проводнике тектонических напряжений [Спенсер, 1981; Ярошевский, 1981].

Палеозойский план деформаций. Наиболее близкое к поверхности положение этого жесткого основания в составе мезозойских отложений обозначено окнами палеозойских комплексов, которые развиты уже непосредственно на нем. Палеозойский чехол, представленный силур-пермскими стратификатами, также в целом единообразно деформирован, как и мезозойский, латеральным сжатием, но при субширотной ориентации его главного вектора и производном этого сжатия механизме сплюсывания [Неволин и др., 2012]. Фиксируются следующие ключевые элементы палеозойского структурного плана. Во-первых, это серии нормальных [Спенсер, 1981] к сжатию меридиональных складчатых форм пяти порядков. Крупные (1-2 порядок) из них – своды (Лишущеньский, Спасский, Качалинский) и прогибы (Лаоелин-Гродековский, Пограничный и Вознесенский), осложненные средними (2-3 порядок) и мелкими тесно сжатыми (3-4 порядок) складками, характеризующимися преимущественно западной вергентностью. Во-вторых, это комплексы складчатых встречных надвигов, взбросов, а также продольных и диагональных сдвигов и сбросов. В-третьих, долготные тела ордовикских, карбоновых, пермских, часто разгнейсованных гранитов. Наиболее крупные это Гродековский, Качалинский, Григорьевский, Шмаковский, Светлоярский и цепи других средних и мелких интрузивов. Гранитоиды сосредоточены в разуплотненных сводах крупных и средних антиформ. В них фиксируются тени пологих меридиональных палеозойских и широтных протерозойских складок [Питчер, 1972]. В-четвертых, в осевых зонах складок широко проявлены меридиональные сквозные кливаж и сланцеватость, которые почти повсеместно наложены на меридиональную гнейсоватость в гнейсо-гранитах, причем, подчеркнем, они тоже согласуются с осевыми поверхностями теневых складок. То есть на большой территории, как и в мезозойском деформационном плане, фиксируется стабильный по ориентировке и кинематическим особенностям набор тектонических элементов меридиональной канвы, возникшей как закономерный продукт широтного сжатия палеозойской части чехла, перекрывающей жесткое основание. Само это основание, выходящее в виде блоков и окон протерозойского возраста среди чехла, по-видимому, и есть отражение древнего корового субстрата. Структурные элементы протерозойского структурного плана, отчлененного от двух фанерозойских, показывают, что докем-

брийские блоки также связаны единой структурной конструкцией.

Протерозойско-раннепалеозойский план деформаций. Тектонические элементы в древних габбро-гранито-гнейсах, метапелитах, представлены слоистостью, сланцеватостью, гнейсовидной полосчатостью, ориентированы одинаково – широтно. Таков рисунок крупных блоков-террейнов: Матвеевского (≈ 4500 км²), Нахимовского (≈ 1900 км²), Спасского, (≈ 1600 км²) частично Вознесенского (≈ 3500 км²), включаемых в состав Ханкайского супертеррейна, средних, например, Силан-Шаньского блока (≈ 100 км²), а также в еще более мелких вроде участка горы Чучелинова (≈ 10 км²), мозаично расположенных окнах, зачастую неотображаемых в масштабе карт. Древние блоки фиксируются и на глубине (2–10 км) гравитационными минимумами [Кулинич, 1969]. Террейны, по сути, есть блоки-останцы растрескивания и дезинтеграции коры, но не перемещенные истинные террейны, коллажированные за счет амальгамации при субдукции океанической литосферной плиты или в режиме скольжения и аккреции литосферных плит [Геодинамика..., 2006]. Для разномасштабных блоков характерны крупные и мелкие, в целом средней крутизны складки, везде имеющие нормальную к сжатию субширотную ориентировку, что свидетельствует об отсутствии впоследствии их масштабного дислоцирования. Авторы считают, что подобная общность широтного стиля канвы есть наиболее важный признак существования единого регионального фрагмента сиалической коры. Кроме того, все складчатые формы и метаморфические гранито-гнейсовые купола, в ядрах которых расположены автохтонные тела гнейсо-гранитов, вергентны преимущественно в северном направлении [Неволин и др., 2010, 2012, 2014]. Рифейские купола, “окнами” выходящие на дневную поверхность среди мезозойского чехла, расположены вблизи северного берега зал. Петра Великого на значительном (до ≈ 300 км) удалении к югу от крупных Нахимовского и Спасского террейнов. Это подчеркивает большую площадную распространенность структурно единого древнего субстрата. Прибрежные купола хорошо обозначены на карте приуроченными к ним кембрийскими гранитными массивами – Тафуинским, Артемовским и Надеждинским с субширотными расслоенностью и теневыми складками. То есть для них характерна та же структурная ситуация, что и для кембрийских, вендских гранитных массивов среди рифея в составе северных террейнов. Значимая роль широтного сжатия в заложении структурных форм прослеживается до среднего палеозоя. Их дислокационный узор, несомненно, отвечает наиболее типичному структурному рисунку Ханкайского массива.

Структурное единообразие планов деформаций, составленных на основе массовых ориенти-

ровок рифейских и фанерозойских тектонических элементов во всем регионе [Неволин и др., 2012., 2014], отражает существование одинаково деформированного регионального жесткого основания, транслирующего тектонические напряжения и дезинтегрированного на разновеликие блоки-останцы. Блоки разобщены как “выдвинутые из пазов пазлы”, но не перемещены и не переориентированы. Уже только поэтому такие блоки не могут по определению называться террейнами, собранными на новообразованной коре океанического типа за счет субдукционных процессов аккрецирования, амальгамации и эксклюзивного структурирования, что следует из работ [Геодинамика..., 2006; Ханчук и др., 1995, 2013]. Кроме того, в строении террейнов надвиги везде являются, подчеркиваем, встречными, кинематически отвечающими механизму общего смятия и образованию линейной конвергентной складчатости [Ramberg, 1963; Спенсер, 1981; Ярошевский, 1981], производной латерального сжатия. В террейнах не наблюдаются и никем не охарактеризованы “антинадвиги” (пологие сбросы), которые должны были картироваться наравне с нормальными надвигами. Поэтому нельзя считать доказанными и ключевые для субдукционной модели структуры нагромождения и пакетирования, которые, скорее всего, есть производные распространенных надвиговых структур [Неволин, 2011]. В целом это свидетельствует о латеральном характере сжатия и переориентировках вектора сжатия со сменой ориентации деформационных планов, что подтверждает концепцию В.П. Уткина о периодической смене тангенциальных скольжений активной материковой литосферы относительно пассивной океанической плиты [Уткин, 1979, 2016].

Детальные структурные исследования деформационной динамики свидетельствуют о едином “жестком” каркасе территории, конформно реагирующем на смену динамических напряжений в течение длительных временных циклов.

ЛИТОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОСАДОЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Основной объем терригенных отложений Сихотэ-Алиня, Сахалина, Хоккайдо, Приамурья составляют аркозовые разности [Маркевич, 1970, 1985]. Присутствие аркозов не допускает, исходя из литологических канонов, дальнюю транспортировку осадочного вещества. В минеральном составе палеозойских и мезозойских флишеидных отложений, широко распространенных в Сихотэ-Алине и Приамурье, преобладают: кварц, биотит, циркон, гранат, турмалин, мусковит, что отражает зрелый сиалический состав главного питающего источника, причем поступление материала шло с востока, с территории еще не сформировавшейся Япономорской кот-

ловины, где предполагалось существование крупного гранит-метаморфического континентального блока [Маркевич, 1970]. Огромные массы терригенного аркозового материала не могли поступать с запада, с Ханкайского массива, так как были отделены от него областью мелководья, и наиболее вероятны их источники в результате размыва поднятий, расположенных восточнее [Голозубов, Мельников, 1986]. Там же отмечается, что аркозовый состав песчаников, слабая сортировка обломочного материала указывают на близкую расположенность от размываемого субстрата. Существование блоков континентальной коры, поставляющих гранитно-метаморфический материал, в более поздних работах [Голозубов, 2006] объясняется уже трансформным перемещением с юга на север в готериве и особенно интенсивным в альбе аккрецированных осадочных комплексов, сформировавшихся в результате субдукции под Азиатский континент в южных широтах. Однако не существует значительных различий в составе терригенного вещества верхнепалеозойских, меловых и юрских осадочных комплексов Приморья [Маркевич, 1985]. Более того, формирование аккреционных призм по этой модели должно было происходить за счет аккреционного сгуживания при субдукции океанических осадков со стороны океана, что противоречит их литологическому, минеральному составам, выдержанным протерозойским модельным датировкам слагающего их вещества и распространенности в нем (как показано ниже) раннепротерозойских цирконов. Сиалический состав терригенных образований Сихотэ-Алиня и Приамурья, преобладающий **во всех** мезозойских осадочно-вулканогенных формированиях, как и “сиалический” характер базальтоидов [Щека, Вржосек, 1983; Щека, 1984] кремнисто-вулканогенной формации, свидетельствуют о том, что эта область осадконакопления заложилась в результате рифтогенеза на зрелой континентальной коре, которая служила источником питания для седиментационных бассейнов [Маркевич, 1970, 1985]. Близкий состав источников сноса при формировании флишеидных терригенных отложений и преобладание аркозов в составе юрской самаркинской и меловых журавлевской и таухинской толщ – свидетельство стабильного источника питания этих отложений на протяжении длительного временного интервала на обрамлении Сино-Корейского щита и в результате многократного перемыва гранитной коры. По мнению П.В. Маркевича [1978], в региональном плане эти факты отражают какие-то общие для всех краевых флишевых формаций причины, приведшие к частичному или полному уничтожению коровых источников сноса, располагавшихся на ныне океанической стороне флишевых прогибов (процессы региональной базификации?). Существенно аркозовый состав раннепалеозойских осадочных пород (кордон-

кинская свита, силур) в Юго-Западном Приморье и геохимические особенности базитового магматизма [Изосов и др., 2000] также позволяют считать, что рифты и грабены заложены здесь на зрелой континентальной коре и интересны с точки зрения алмазности. Данные по литологии мезозойских осадочных отложений Приамурья и Приморья [Лихт, 1993] свидетельствуют о стабильном расположении древних бассейнов в области сочленения океан-континент на восточной окраине Азиатского континента и их фаунистическом “единстве”. Независимо от размеров древних бассейнов и длительности их существования все они, включая территории Сихотэ-Алиня, Сахалина и Хоккайдо, являются приконтинентальными, а основной объем их отложений – терригенные разности. Значительное сходство позднерюрских-раннемеловых отложений этих территорий очевидно. Юрская фауна этих областей принадлежит единой палеобиогеографической провинции и существовала в едином морском бассейне [Сей, 2004]. Противоречат терригеновым геодинамическим представлениям (и построениям) полученные в последние годы результаты детальных минералогических исследований мезозойских кремнистых образований Сихотэ-Алиня [Казаченко и др., 2006; Волохин, 2016]. В составе минеральной фракции триасово-юрских кремней, считавшихся продуктами океанического формирования, установлены мусковит, ортит, монацит, турмалин, биотит, циркон. Выделяются даже горизонты триасово-юрских кремней, обогащенных касситеритом. Эти факты являются однозначным свидетельством их формирования в приконтинентальных условиях и, вероятнее всего, в рифтогенных прогибах и рифто-грабенах [Лихт, 1993; Уткин, 1997], заложенных на зрелом континентальном основании. Относительно глубоководные условия осадкообразования, фиксируемые мощными толщами кремнистых и вулканических пород, отмечаются в узких, унаследовано развивающихся бассейнах-прогибах. По мнению Ф.Р. Лихта [1993], эволюция приконтинентальных бассейнов Востока Азии в фанерозое подтверждает относительно стабильное положение зоны сочленения Азиатского континента и Тихого Океана. Крупномасштабных перемещений литосферных плит в ней не происходило. Современным аналогом фанерозойских тектонических и магматических обстановок в Приморье (образование морских рифтогенных бассейнов раздвиговой природы, кремненакопление и проявление толеитового базальтового вулканизма) служит развитие Красноморского рифта [Альмухамедов и др., 1985]. Здесь, на испытавшем деструкцию и рифтогенез, зрелом докембрийском литосферном фундаменте с мощным гранитным слоем, формируется весь комплекс глубоководного океанического бассейна, включая пелагические кремни и деплетированные низкокальциевые толеиты – типичные MOR ба-

зальты океанических зон спрединга. Причем если мощность сиалической коры под Эфиопским плато составляет около 40 км, под Афарской депрессией уменьшается до 10–20 км, то кора полностью исчезает под осью Красного моря. Это не требует привлечения терригеновых построений для объяснения существования подобных глубоководных океанических характеристик осадочного и магматического вещества в рифтовых структурах, авлакогенах, заложенных на древнем континентальном фундаменте. Последнее аналогично обстановкам Сихотэ-Алиня в фанерозое: формирование трогов на мощном континентальном субстрате с новообразованием океанической коры [Маркевич, 1985]. О существовании зрелой континентальной литосферы Приморья свидетельствуют также массовые находки в россыпях Центрального, Западного и Северного Приморья хромшпинелей, пикроильменитов, сапфиров, пиропов [Ромашкин, 1997; Изосов и др., 2000; Иванов и др., 2011]. Особенно важен факт сапфириности территорий Центрального и Северного Приморья, пространственно сопряженной с ареалами кайнозойских щелочных базальтов [Есин и др., 1992; Высоцкий, Баркар, 2006]. Основные сапфириносные провинции мира располагаются либо на кратонах, либо в обрамляющих кратоны областях с мощной древней континентальной корой и включают территории Руанды, Кении, Юго-Восточной Азии, Австралии, кратона Вайоминг (США). Условия генезиса сапфира – это образование корово-мантийных очагов щелочных базальтов с сиенит-трахитовыми дифференциатами в условиях мощной континентальной коры [Oakes et al., 1996; Upton et al., 1999; Изох и др., 2010].

Выдержанный литологический состав мезозойских осадочных комплексов Приморья, преобладание аркозового флиша, присутствие индикаторной гранитной минеральной ассоциации при близости гранит-метаморфического питающего источника являются свидетельствами их формирования при относительно стабильном тектоническом режиме на погруженных и испытавших деструкцию (деламинирование и утонение) докембрийских блоках Сино-Корейского щита при многократном рециклинге гранитной коры. Для области восточнее сдвиговой структуры Тан-Лу [Menzies et al., 1993], включающей, по-видимому, и территорию Приморья, древняя (AR-PR) кратонная литосфера с палеогенового времени (<60 млн лет) утоняется, замещаясь молодой океанической литосферой. Эта тенденция подтверждается в целом полученными в последние годы данными цирконометрии из ксенолитов в базальтоидах [Акинин и др., 2011, 2013].

ГЕОХРОНОЛОГИЯ ЦИРКОНОВ

По результатам совместных российско-японских исследований в Приморье в последние годы полу-

чены массовые U-Pb датировки цирконов и монацитов из мезозойских терригенных и терригенно-вулканогенных складчатых комплексов Сихотэ-Алиня (методом LA-ICP-MS) [Tsutsumi et al., 2016] со статистическими максимумами распределения возрастов 1870 и 2450 млн лет и единичными да-

тировками 2700 млн лет и даже 3400 млн лет (см. рис. 1, 2). В целом наблюдается конформный характер распределения возрастных пиков древних цирконов и монацитов из разновозрастных отложений. Это важный факт, свидетельствующий о существовании *единого* раннепротерозойского ис-

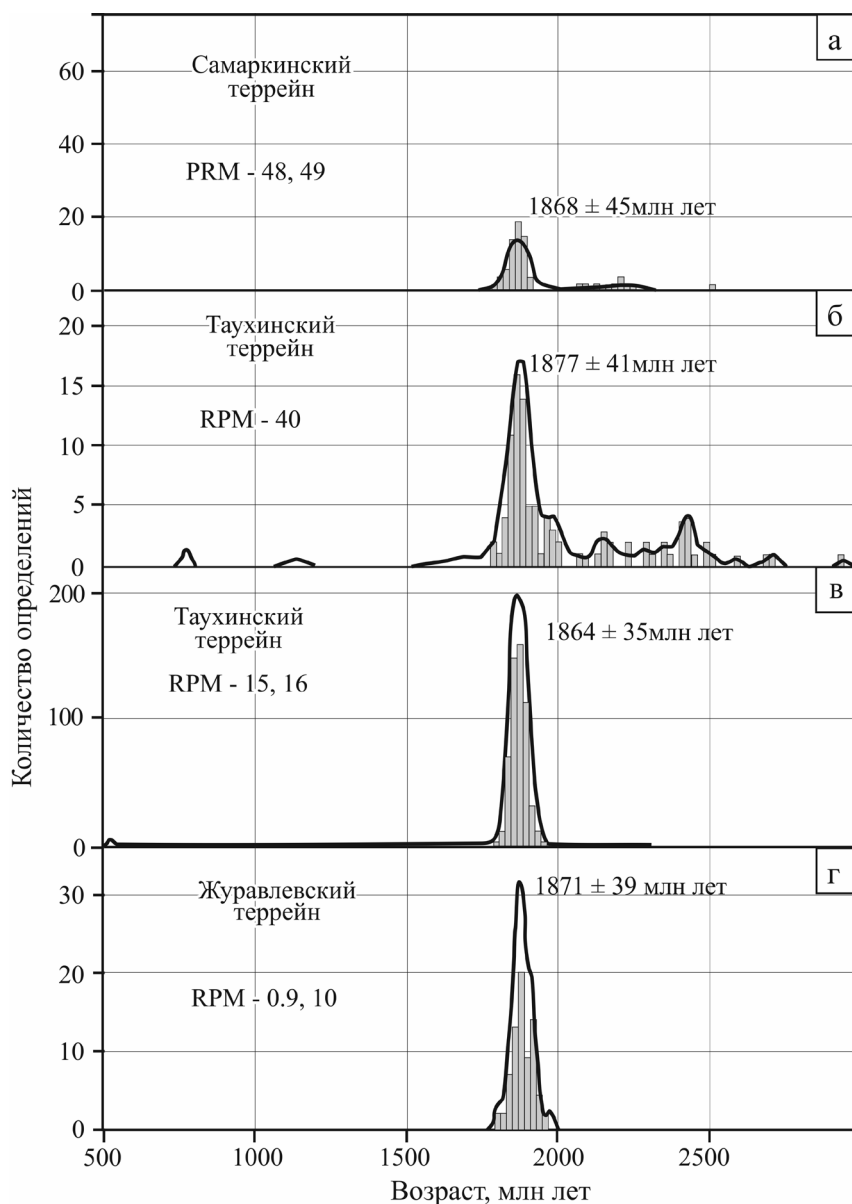


Рис. 2. Гистограммы распределения U-Pb возрастов детритовых цирконов (обр. RPM-48,49; обр. RPM-40) и монацитов (обр. RPM-09,10; обр. RPM-15,16) из терригенных пород Приморья (Tsutsumi et al., 2016).

Координаты точек опробования: обр. RPM-48: N42°59'44.5" E133°34'43.1"; обр. RPM-49: N42°59'16.8" E133°35'55.6"; обр. RPM-15: N44°07'05" E135°07'43.8"; обр. RPM-16: N44°07'11.6" E135°07'37.8"; обр. RPM-40: N43°23'17.1" E133°57'39.6"; обр. RPM-09: N44°21'17.1" E134°40'40.3"; обр. RPM-10: N44°20'45.5" E134°41'28.6".

Fig. 2. Histograms of U-Pb age distribution for zircons (RPM-48,49; RPM-40) and monazites: (RPM-09,10; RPM-15,16) from terrigenous rocks of Primorye (Tsutsumi et al., 2016).

Coordinate information: sample RPM-48: N42°59'44.5" E133°34'43.1"; sample RPM-49: N42°59'16.8" E133°35'55.6"; sample RPM-15: N44°07'05" E135°07'43.8"; sample RPM-16: N44°07'11.6" E135°07'37.8"; sample RPM-40: N43°23'17.1" E133°57'39.6"; sample RPM-09: N44°21'17.1" E134°40'40.3"; sample RPM-10: N44°20'45.5" E134°41'28.6".

точника вещества для всех осадочных отложений. В Юго-Западном Приморье широко распространены терригенно-тефроидные отложения с высокой долей риолитовой пирокластике, образовавшейся в результате фреатических извержений, синхронных максимальным опусканиям в соседнем Япономорском бассейне [Максимов, Сахно, 2011]. Ими выполнены крупные депрессии, включая угленосные впадины эоцен-раннеолигоценового возраста: Новокачалинская, Пушкинская, Смоляниновская, Синеутесовская. Тефроидные отложения, содержащие раннепротерозойские детритовые цирконы, сформированы в результате двух основных фаз извержений, датированных U-Pb методом по цирконам (SHRIMP-II и LA-ICP-MS методы): 23–24 и 34 млн лет [Максимов, Сахно, 2011], включая неопубликованные материалы авторов. В отдельных точках отмечается очень высокая концентрация древних цирконов (до 50 зерен на промывочный лоток). Кристаллы цирконов корродированы, субизометричны ($K_{уд} \approx 1-1.5$) и отличаются характерной лиловой, сиреневой окраской. В составе отложений с древними детритовыми цирконами, хотя и содержится примесь терригенного вещества, но отсутствует материал метаморфических пород и ничтожную роль играет гранитное вещество. Преобладают триасово-юрские кремни, согласно данным радиолариевого анализа [Мельников, Изосов, 1993], поступление которых могло происходить только с Сихотэ-Алинского орогена при размыве триасовых кремневых толщ. Аналогичный территориальный источник имел также риолитовый, метабазитовый и черносланцевый материал. Исходя из этих критериев, древние цирконы могли выноситься из фундамента при эксплозиях либо поступать с северо-востока, с Центрального и Восточного Сихотэ-Алиня, но не с территорий Сино-Корейского кратона или Ханкайского массива. Для цирконов из тефроидно-терригенных отложений Смоляниновской впадины получен средневзвешенный $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ возраст 1915 ± 12 млн лет. В этих же отложениях встречаются цирконы с конкордантным возрастом 2403 ± 12 млн лет. Для цирконов из тефроидных отложений Синеутесовской впадины получен конкордантный возраст 1845 ± 5.6 млн лет, однако встречаются цирконы с $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ возрастом 2146 ± 15 млн лет (рис. 3, табл. 3). Для цирконов из тефроидных отложений Пушкинской впадины на U-Pb диаграмме (см. рис. 3, 4) дискордии образуют верхнее пересечение с конкордией: 2320 ± 120 млн лет (СКВО = 0.43) при конкордантном возрасте 1785 ± 8.2 млн лет (СКВО = 0.037) (Раздольненский ареал) и конкордантном возрасте 1866.7 ± 9.6 млн лет (СКВО = 0.15) (см. рис. 4) (Кипарисовский ареал). Статистические максимумы распределения возрастов цирконов из отложений различных ареалов Пушкинской впадины: 1780, 1860, 1980, 2050, 2170, 2490 млн лет (см. рис. 3, 4). Цирконы

лиловой окраски отвечают преимущественно возрастному интервалу 1800–1900 млн лет, а светло-сиреневой – 2200–2400 млн лет. U-Pb датирование цирконов проводилось: в ЦИИ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) на ионном микрозонде SHRIMP-II (обр. М-6635) (изотопные измерения и процедура обсчета осуществлялись согласно принятой методике [Williams, 1998]) и методом LA-ICP-MS (обр. М-6136, М-6721, М-6821) в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН с использованием приборного комплекса, включающего систему лазерной абляции NWR-213 (Electro Scientific Industries, Inc, USA) и масс-спектрометр с индукционно-связанной плазмой Agilent 7500a (Agilent Technologies, USA) по методике [Вовна и др., 2014].

В близких по составу и одновозрастных (22.2–25.1 млн лет по данным U-Pb датирования цирконов) отложениях риолитовой тефры с восточного побережья Японии (п-ов Босо) также обнаружены древние монациты с аналогичным пиком распределения возрастов 1.8–1.9 млрд лет [Tatsumi et al., 2012]. Древние цирконы с дискордантной датировкой по верхнему пересечению конкордии ($T = 2503 \pm 19$ млн лет) установлены в раннемеловых глиноземистых гранитоидах Шивкинского штока (хунгарийский комплекс) на Северо-Западе Приморья [Сахно и др., 2012] (см. рис. 1). Близкая датировка ($T = 2455.2 \pm 48.5$ млн лет) (LA-ICP-MS метод) (см. рис. 1; табл. 4) по ксеногенным цирконам из Гамовского тоналитового массива (Южное Приморье) получена по нашим материалам и любезно предоставлена профессором Т. Гейзлером из лаборатории Вестфальского университета имени Вильгельма (г. Мюнстер, Германия). Тоналиты Гамовского массива и тефроиды Синеутесовской толщи, содержащие раннепротерозойские цирконы, расположены в пределах Лаоэлин-Гродековского террейна [Голозубов, 2006], но датировки содержащихся в них древних цирконов идентичны датировкам цирконов и монацитов из отложений Пушкинской впадины и мезозойских терригенных комплексов Сихотэ-Алиня (см. рис. 1, 2). Протерозойский U-Pb возраст (1667 ± 41 млн лет) (метод LA-ICP MS) установлен [Салтыкова и др., 2008] для циркона из ильменит-роговообманкового габбро Ариадненского массива (Центральное Приморье) (см. рис. 1). Выраженный пик распределения возрастов детритовых монацитов (1861.5 ± 37.5 млн лет) получен из мел-палеогеновых отложений Сахалина, близких по литологии раннемеловым породам Журавлевского террейна Приморья [Yokoyma, 2016]. Присутствие в тефроидных отложениях из кайнозойских впадин Южного и Юго-Западного Приморья детритовых цирконов с возрастом до 2500 млн лет в сочетании с низкими изотопными отношениями свинца ($\text{Pb}^{206}/\text{Pb}^{204}$) в кайнозойских базальтах этой территории является подтвержде-

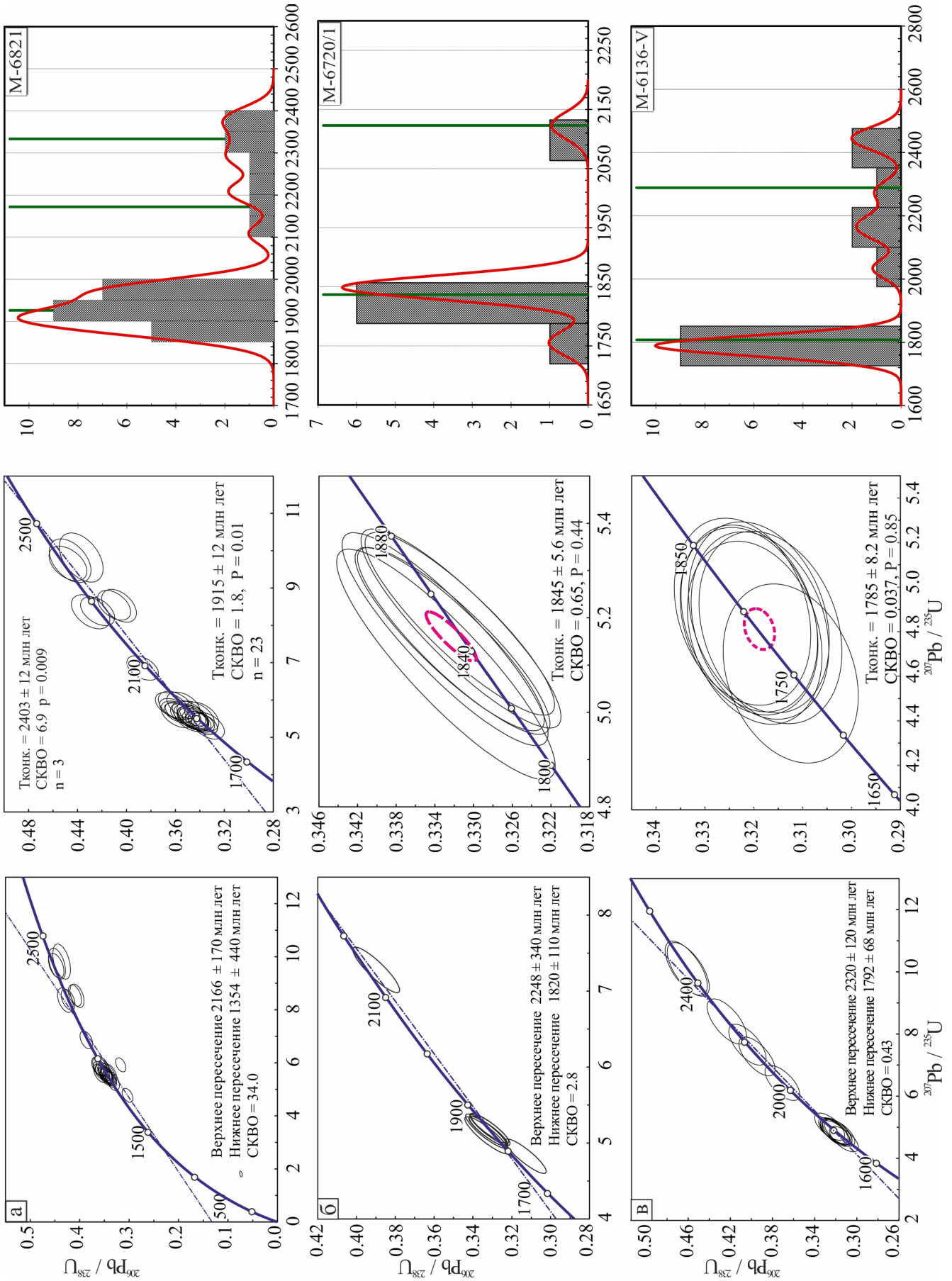


Рис. 3. Диаграммы с конкордией для детритовых цирконов из палеогеновых отложений кайнозойских впадин Приморья с гистограммами распределения U-Pb датировок и кривыми плотности вероятности.

а – цирконы из тephроидно-терригенных отложений (P₃) Смоляниновской впадины, обр. М-6821: (N43°18'34.5" E132°26'09"); б – цирконы из тephроидных отложений (P_{3-N1}) Синеутёсовской впадины, обр. М-6720/1 (N43°07'29" E131°13'55"); в – цирконы из тephроидных отложений (P_{3-N1}) Пушкинской впадины (Раздольненский ареал), обр. М-6136-V (N43°33'30.4" E131°51'51.7"). Датирование цирконов выполнено LA-ICP-MS методом в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН.

Fig. 3. Diagrams with concordia for detrital zircons from the Paleogene deposits of the Cenozoic depressions of Primorye and histograms of U-Pb ages distribution and probability density curves. (LA-ICP-MS-aided analysis).

а – zircons from tephroid-terrigenous deposits (P₃) of the Smolyaninovskaya depression, sample M-6821 (N43°18'34.5" E132°26'09"); б – zircons from tephroid-terrigenous deposits (P_{3-N1}) of the Sineutesovskaya depression, sample M-6720/1 (N43°07'29" E131°13'55"); в – zircons from tephroid-terrigenous deposits (P_{3-N1}) of the Pushkinskaya depression (Razdolninski area), sample M-6136-V (N43°33'30.4" E131°51'51.7").

Таблица 3. U-Pb возраст детритовых цирконов из тephроидных отложений кайнозойских впадин Юго-Западного Приморья (метод LA-ICP-MS)

Table 3. U-Pb age of detrital zircons from tephrogene deposits of the Cenozoic depressions of South-West Primorye (method LA-ICP-MS)

Проба	Точка анализа	Изотопные отношения				Возраст, млн лет				
		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	
М-6821	Смоляниновская впадина									
	1.7	9.6483	0.1902	0.4480	0.0063	2402	18	2386	28	
	1.8	8.3720	0.1588	0.4238	0.0057	2272	17	2278	26	
	1.9	8.5315	0.1627	0.4103	0.0055	2289	17	2216	25	
	1.10	5.6420	0.1078	0.3577	0.0048	1923	16	1971	23	
	1.11	5.6774	0.1085	0.3568	0.0048	1928	17	1967	23	
	1.12	5.4359	0.1102	0.3428	0.0048	1891	17	1900	23	
	1.13	6.8529	0.1349	0.3869	0.0053	2093	17	2108	25	
	1.16	5.7592	0.1142	0.3610	0.0050	1940	17	1987	23	
	1.18	5.5733	0.1113	0.3449	0.0047	1912	17	1910	23	
	1.19	5.5034	0.1122	0.3459	0.0048	1901	18	1915	23	
	1.23	5.4107	0.1139	0.3400	0.0048	1887	18	1887	23	
	1.24	8.5167	0.1794	0.4062	0.0058	2288	19	2197	27	
	1.30	5.3641	0.1154	0.3377	0.0049	1879	18	1875	23	
	1.32	5.3593	0.1163	0.3376	0.0049	1878	19	1875	23	
	1.33	8.3552	0.1875	0.4296	0.0064	2270	20	2304	29	
	1.34	5.5928	0.1240	0.3518	0.0051	1915	19	1943	24	
	1.38	5.5138	0.1258	0.3459	0.0051	1903	20	1915	25	
	1.58	5.5758	0.1569	0.3437	0.0062	1912	24	1904	30	
	1.59	5.5059	0.1309	0.3461	0.0053	1902	20	1916	25	
1.61	5.8561	0.1409	0.3631	0.0055	1955	21	1997	26		
1.62	9.7233	0.2399	0.4463	0.0070	2409	23	2379	31		
1.64	5.8509	0.1469	0.3536	0.0056	1954	22	1952	26		
1.65	5.8471	0.1568	0.3596	0.0060	1953	23	1980	28		
1.70	5.6085	0.1445	0.3582	0.0056	1917	22	1974	27		
1.75	5.6166	0.1471	0.3490	0.0056	1919	23	1930	27		
1.77	5.5215	0.1532	0.3470	0.0058	1904	24	1920	28		
1.92	9.8066	0.2700	0.4373	0.0073	2417	25	2338	33		
1.93	5.3081	0.1470	0.3336	0.0055	1870	24	1856	27		
М-6720/1	Синеутёсовская впадина									
	2.1	5.1867	0.0791	0.3315	0.0040	1850	13	1846	19	
	7.1	5.1767	0.0861	0.3313	0.0042	1849	14	1845	21	
	8.1	5.1508	0.0808	0.3321	0.0041	1845	13	1849	20	
	9.1	5.1543	0.0792	0.3325	0.0040	1845	13	1851	19	
	11.1	4.8255	0.0924	0.3130	0.0044	1789	16	1755	21	
	12.1	7.2779	0.1228	0.3900	0.0050	2146	15	2123	23	
	13.1	5.1543	0.0921	0.3330	0.0044	1845	15	1853	21	
14.1	5.1014	0.0995	0.3329	0.0046	1836	17	1852	22		
М-6136	Пушкинская впадина (Раздольненский ареал)									
	1.1	4.88891	0.1718	0.32237	0.0057	1800.3	29	1801.3	27	
	1.2	7.64738	0.2703	0.40409	0.0073	2190.4	31	2187.9	33	
	1.3	4.85785	0.1712	0.32099	0.0057	1795	29	1794.6	27	
	1.4	6.41525	0.2286	0.37094	0.0067	2034.4	31	2033.8	31	
	1.5	4.84651	0.1718	0.32102	0.0058	1793	29	1794.7	28	
	1.6	4.8186	0.1764	0.31664	0.006	1788.2	30	1773.3	29	
	1.7	7.27169	0.2552	0.39495	0.007	2145.3	31	2145.7	32	
	1.8	4.86353	0.1756	0.31902	0.0059	1796	30	1784.9	28	
	2.1	0.51091	0.0289	0.06837	0.0017	419.1	19	426.4	10	
	3.1	10.06709	0.3537	0.46024	0.0082	2441	32	2440.6	36	
	3.3	4.82679	0.1719	0.31879	0.0058	1789.6	29	1783.8	28	
	3.4	8.39309	0.2974	0.42354	0.0076	2274.4	32	2276.5	34	
	3.5	5.00851	0.177	0.32593	0.0058	1820.8	29	1818.6	28	
	3.6	4.61136	0.1643	0.31251	0.0057	1751.3	29	1753	27	
3.7	4.79424	0.1679	0.31989	0.0056	1783.9	29	1789.2	27		
3.8	10.10285	0.3544	0.46208	0.0082	2444.2	32	2448.7	36		
2.2	0.50373	0.0247	0.06705	0.0015	414.2	16	418.4	9		

Примечание. Табличные данные соответствуют рис. 3.

Note. Data correspond to those in Fig. 3.

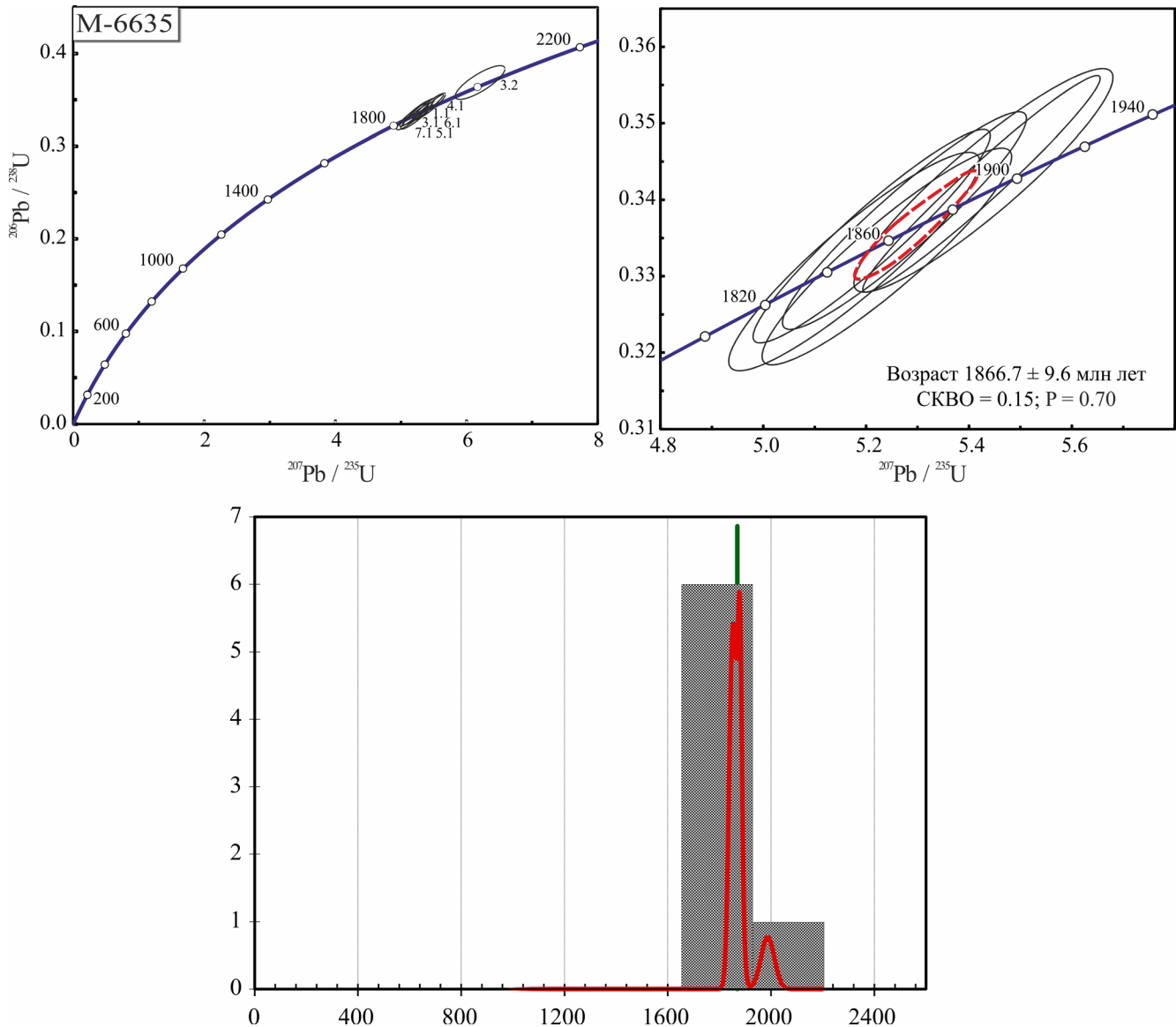


Рис. 4. Диаграмма с конкордией для детритовых цирконов из тейфроидных отложений (P₃-N₁) Пушкинской впадины (Кипарисовский ареал), обр. М-6635 (N43°29'16" E131°54'41.6").

U-Pb датирование цирконов выполнено в ЦИИ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) на SHRIMP-II.

Fig. 4. Diagram with concordia for detrital zircons from tephroid deposits (P₃-N₁) of the Pushkinskaya depression (Kiparisovski area), sample M-6635 (N43°29'16" E131°54'41.6") (by SHRIMP-II ion microprobe).

нием существования здесь древнего литосферного кила (или его реликтов). В свою очередь сопоставление значений модельных возрастов терригенных комплексов Приморья и датировок цирконов позволяет сделать вывод, аналогичный таковому в работе [Костицын и др., 2012], где на примере пород колпаковской и камчатской серий Срединного хребта Камчатки констатируется: “Sm-Nd система дает усредненные значения модельного возраста протолита, тогда как разброс значений возрастов детритовых цирконов позволяет оценить *реальный возрастной диапазон* вещества, присутствующего

в источнике”. При вариациях модельных возрастов 0.6–1.4 млрд лет для гранитоидов и метаморфических пород фундамента, но распространенности в них цирконов с кластерами возрастов 1.8 и 2.7–2.9 млрд лет следует однозначное заключение о присутствии в составе фундамента древнего (AR-PR₁) вещества. Вывод о значительном вкладе раннепротерозойского источника относится и к терригенным образованиям Приморья. Согласно [Isozaki et al., 2017] средне-позднепалеозойские терригенные комплексы Южного Китая, Приморья, Юго-Западной и Северо-Восточной Японии

Таблица 4. U-Pb возраст детритовых цирконов из тейфroidных отложений Пушкинской впадины (Кипарисовский ареал) (метод SHRIMP-II)

Table 4. U-Pb age of detrital zircons from tephroide deposits of Pushkinskaya depression (Kiparisovsky area) (method SHRIMP-II)

Проба	Точка анализа	²⁰⁶ Pb _e , %	U	Th	²⁰⁶ Pb*	²³² Th/ ²³⁸ U	Возраст, млн лет				% Discordant
							²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	
M-6635	1.1	0.09	364	172	105.4	0.49	1873.5	28.0	1855	11	-1
	3.1	0.03	216	66	61.6	0.31	1847.6	28.3	1850	14	0
	3.2	0.00	48	25	15.1	0.55	2023.4	35.1	1987	26	-2
	4.1	0.06	271	55	79.7	0.21	1898.8	28.7	1879	13	-1
	5.1	0.04	681	56	196.2	0.09	1863.6	27.6	1844	11	-1
	6.1	0.04	1151	82	338.2	0.07	1896.6	27.8	1880	7	-1
	7.1	0.12	279	85	79.9	0.32	1850.8	28.0	1869	13	1

Примечание. Табличные данные соответствуют рис. 4.

Note. Data correspond to those in Fig. 4.

подобны по литологическим особенностям, фаунистическим остаткам и возрастным спектрам детритовых цирконов, характеризующихся близкими пиками их распределения на гистограммах, включая протерозойские цирконы. На этом основании выделяется *единый* континентальный палеоблок “Большого Южного Китая” (Greater South China), включающий Южный Китай, Приморье, Бурья-Джамусы-Ханкайский блок, Северо-Восточную и Юго-Западную Японию. Подчеркивается значительность поверхностных выходов кратонного основания как питающего источника для всех палеозойских отложений.

В *терригенно-вулканогенных (Mz-Kz) отложениях и интрузиях Приморья* установлены цирконы и монациты с возрастом 1800-2500 млн лет, что отражает присутствие древнего, рециклированного при континентальном литогенезе корового вещества.

МАГМАТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

В верхнемезозойских складчатых комплексах Приморья и Приамурья распространены внутриплитные высокбариевые, высокниобиевые щелочные базиты юрско-раннемелового, поздне-мелового и палеогенового возрастов [Говоров, 1977; Максимов и др., 2001; Баскина и др., 2006]. Одним из авторов настоящей работы выделен близширотный ареал даек, экструзий, трубок взрыва безплагноклазовых калиевых щелочных базитов аптбаремского возраста (даянский комплекс) в пределах Баджальского свода (Центральное Приамурье) [Вулканические пояса...; 1984; Максимов и др., 2001], субстратом основания которого служат аналоги отложений самаркинского террейна Приморья [Голозубов, 2006]. Породы обогащены калием, барием, ниобием, LREE и имеют выраженную лампроитовую геохимическую специфику [Foley et al., 1987]. На западном фланге ареал наложен на струк-

туры Буреинского массива. Подобные калиевые щелочные пикриты и базальтоиды, но раннепалеогенового возраста, обнаружены восточнее, в пределах Комсомольского рудного района [Михневич, 1988]. Севернее этих территорий в составе палеозойских терригенно-кремнистых комплексов Джагинской структурной зоны также известны выходы ультратитанистых (до 7.5% TiO₂) (табл. 5), высококалиевых (K₂O/Na₂O ≈ 60) пикрито-базальтов [Архипов, Панских, 1975]. Протяженная полоса северо-западного простирания, насыщенная выходами эруптивных и дайковых тел раннепалеогенового возраста лампроитоподобных калиевых, безплагноклазовых щелочных пикро-базальтов (оливинфлогопит-псевдолейцитового состава), установлена нами на архейском Охотском массиве [Максимов, Сахно, 2004]. Близость минералогических и петрогеохимических характеристик, прежде всего высокая калиевость, бариевость, обогащенность LREE и ниобием (см. табл. 5) этих “кратонных”, “прикратонных” магматитов с щелочными базитами юрско-раннемелового, верхнемелового и палеогенового возрастов Приморья, включая Северный Сихотэ-Алинь и его восточную приморскую часть [Есин и др., 1996; Баскина и др. 2004, 2007] позволяет провести аналогию с существованием древнего континентального основания или его деструктурированных (в настоящее время) фрагментов и в фундаменте Приморья. Магматические образования подобной геохимической специфики не известны в областях с ювенильной корой. По изотопно-геохимическим признакам (Zr/Nb, Ba/Nb) эти щелочные базиты близки кимберлитам I типа [Есин и др., 1996]. Авторы разделяют выводы В.А. Баскиной с коллегами [2006, 2007]: “Длительность (юра-палеоген) и пространственная устойчивость проявления калиевого, высокбариевого базит-ультрабазитового магматизма (при практически неизменности изотопно-геохимических характеристик, типично внутриплитных), не характерного для океанических обла-

Таблица 5. Состав меловых и палеогеновых высокобариевых щелочных базитов

Table 5. Composition of the Cretaceous and Paleogene high-barium alkaline basites

Компонент	Сихотэ-Алинь						Баджалский свод (даянский комплекс)		Охотский массив		Хр. Джагды
	Мелалейцитит (K ₁)	Щелочной пикрит (K ₁)	Щелочной базальт (K ₁ ?)	Щелочной базальт (K ₂)	Щелочной базальт (K ₂)	Щелочной шонкинит (K ₂)	Флогопитовый пикрит (K ₁)	Флогопитовый пикрит (K ₁)	Щелочной пикрит (P ₁)	Щелочной пикрит (P ₁)	Щелочной пикрит (Mz?)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	35.17	42.0	38.6	46.1	46.6	49.7	40.32	38.50	41.17	44.88	47.67
TiO ₂	3.27	3.41	2.7	2.9	2.5	3.1	4.68	3.59	3.27	2.31	3.34
Al ₂ O ₃	11.79	13.20	17.2	12.6	14.80	12.8	12.40	9.90	11.37	13.29	10.74
Fe ₂ O ₃	Н.о.	Н.о.	Н.о.	2.2	4.9	Н.о.	3.58	6.70	6.18	4.26	6.04
FeO	14.78*	15.70*	16.2*	6.9	6.1	12.2*	9.61	6.83	7.69	6.37	5.65
MnO	0.37	0.47	Н.о.	0.3	0.2	н/а	0.24	0.20	0.12	0.14	0.16
MgO	7.80	7.17	15.3	7.4	5.7	7.1	10.64	11.24	7.18	8.57	5.22
CaO	11.52	7.26	4.5	10.8	7.4	7.7	6.48	12.01	7.80	7.33	6.86
Na ₂ O	1.37	1.22	1.2	0.5	1.2	0.5	0.30	0.43	0.47	2.81	0.08
K ₂ O	2.53	5.83	2.0	5.2	6.0	6.1	3.30	3.04	4.50	3.83	5.98
P ₂ O ₅	1.52	1.25	1.4	0.7	1.1	0.5	0.94	0.93	2.23	1.77	0.69
П.п.п.	10.2	2.48	Н.о.	3.2	3.1	Н.о.	6.95	6.23	7.64	3.93	12.18
Сумма	100.32	99.9	99.10	100.3	100.2	99.70	99.44	99.60	99.62	99.52	103.92
Ba	2560	4080	2010	3100	1800	2100	2956	910	1794	5100	Н.о.
Nb	133	159	208	Н.о.	Н.о.	95	146	75	18	23	Н.о.
Zr	517	479	439	Н.о.	Н.о.	260	343	270	291	310	Н.о.
La	142	104	139	Н.о.	Н.о.	131	70.1	67.0	91	73	Н.о.

Примечание. *Всё железо как FeO; н/о – не определялось. Данные из работ: 1, 2 – [Есин и др., 1996]; 3, 6 – [Баскина и др., 2004]; 4, 5 – [Баскина и др., 1996]; 7, 8 – [Максимов и др., 2001]; 9, 10 – [Максимов, Сахно, 2004]; 11 – [Архипов, Панских, 1975].

Note. *Total iron as FeO. н/о – not analyzed. Data from works: 1, 2 – [Esin et al., 1996]; 3, 6 – [Baskina et al., 2004]; 4, 5 – [Baskina et al., 1996]; 7, 8 – [Maksimov et al., 2001]; 9, 10 – [Maksimov, Sakhno, 2004]; 11 – [Arkhipov, Panskikh, 1975].

стей, но получившего развитие на обширных территориях Приморья и Центрального Приамурья, подтверждает вывод о стабильности их пространственного положения. Наличие обогащенных барием щелочных базальтов отчетливо не связано с миграцией блоков коры открытого океана и свидетельствует, что уже в поздней юре континентальная окраина Азии занимала современное положение, а щелочные базальты формировались в эпиконтинентальных бассейнах. Высокая бариевость пород согласуется с их положением на Сино-Корейском бариевом нуклеаре [Глуховский, Моралев, 1997] аналогично распространенности безплагиоклазовых бариевых щелочных пикритов, обнаруженных на Охотском массиве (бариевом нуклеаре). Резкие различия в содержании бария для древних metabазальтовых комплексов, по сравнению с современными островодужными и океаническими вулканидами, подчеркивались Дж. Тарни [1980]. В последнее время в этих образованиях установлены признаки алмазности [Иванов и др., 2005].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Таким образом, модельный возраст юрских и меловых терригенных толщ Приморья отвечает

протерозою с вариациями от среднего до раннего (2460 млн лет для аркозов). Изотопные метки свинца в базальтах Юго-Западного Приморья отражают присутствие архей-раннепротерозойской континентальной литосферы, простирающейся с территории Северо-Восточного Китая. Практически все терригенные комплексы содержат древние цирконы и монациты с возрастом 2500–1800 млн лет и слагаются очень близкой по составу предельно зрелой гранит-метаморфической минеральной ассоциацией. В составе мезозойских отложений Приамурья, Сихотэ-Алиня распространены высококальциевые щелочно-базит-ультрабазитовые вулканиды, обогащенные ниобием, барием, LREE (с геохимическими чертами лампроит-кимберлитовой группы), типичные для областей с мощной древней континентальной корой. Геохимический тип этого вулканизма отражает единую литосферную природу источника – бариевого Сино-Корейского нуклеара. Присутствие магматитов подобного геохимического типа и в Восточном Приморье, в пределах Таухинской зоны (террейна), важно с геодинамических позиций и противоречит террейновым построениям. Детальные структурные исследования деформационной динамики Приморья также свидетельствуют о едином “жестком” каркасе терри-

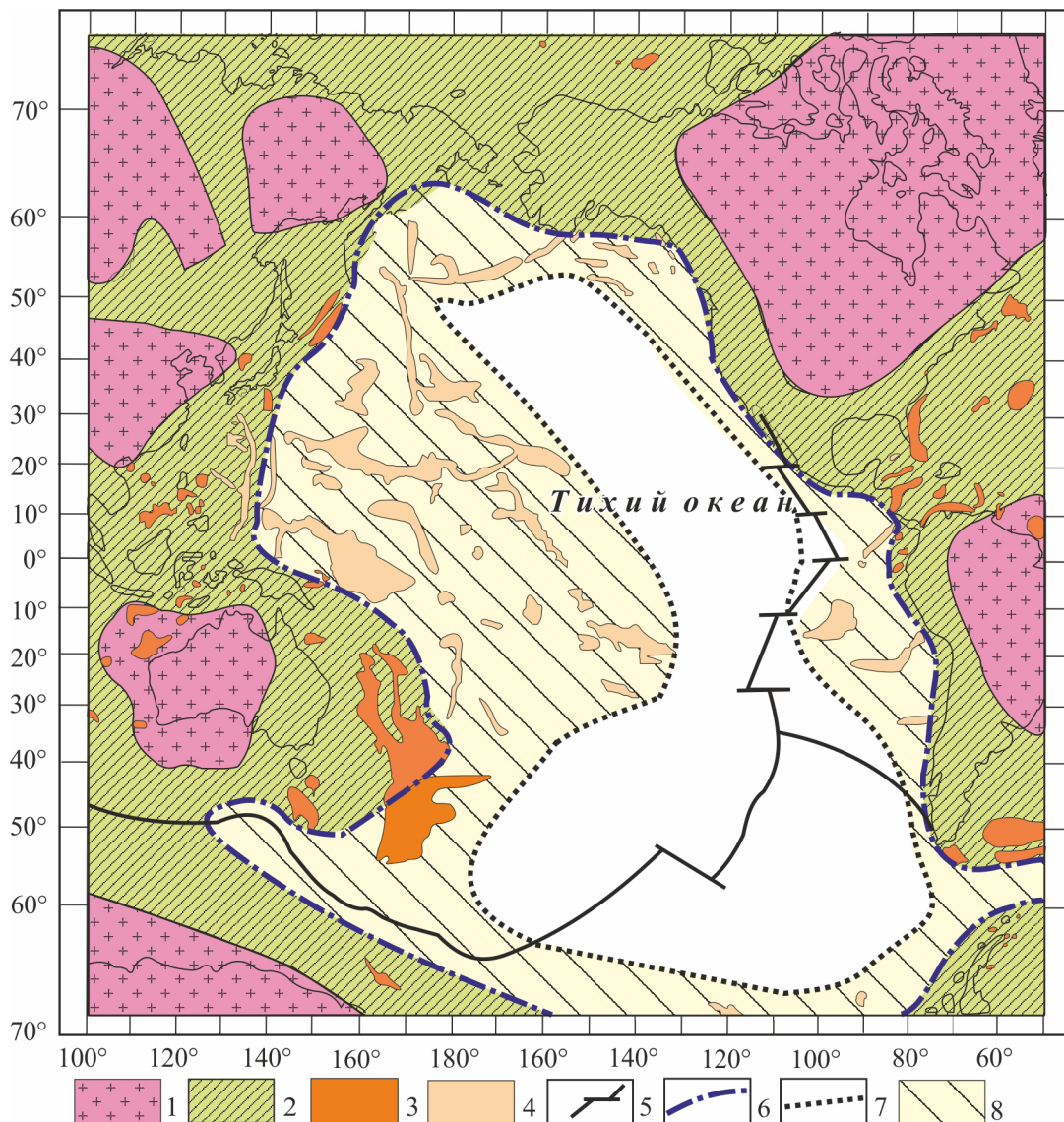


Рис. 5. Схема распространения докембрийской сиалической коры континентального обрамления Тихого океана и предполагаемые границы изотопных резервуаров [Мишкин, 2012].

1 – Архейской (4.0–2.5 млрд лет), 2 – протерозойской (2.5–0.54 млрд лет), 3 – блоки предполагаемой докембрийской коры на дне океанов, 4 – участки суши и океанические поднятия с эмбриональной фанерозойской сиалической корой, 5 – срединно-океанические рифты, 6 – границы распространения мантии индо-атлантического типа, 7 – границы распространения мантии тихоокеанского типа, 8 – область распространения мантии переходного типа.

Fig. 5. Diagram showing distribution of the Precambrian sialic crust of the continental frame of the Pacific Ocean and supposed boundaries of isotopic reservoirs [Mishkin, 2012].

1 – Archean (4.0–2.5 billion years), 2 – Proterozoic (2.5–0.54 billion years), 3 – blocks of probably Precambrian crust on the oceanic bottoms, 4 – land regions and raised oceanic ground with the embryonic Phanerozoic sialic crust, 5 – mid-oceanic ridges, 6 – boundaries of the Indo-Atlantic mantle, 7 – boundaries of the Pacific Ocean mantle, 8 – range of transitional mantle.

тории, конформно реагирующем на смену динамических напряжений в течение длительных временных циклов.

Приведенные материалы не согласуются с доминирующими представлениями террейново-аккреционной модели строения и эволюции Приморья, согласно которой в результате аккреции,

осадков, образовавшихся в различных геодинамических обстановках, включая океанические (с соответствующей литологией), за относительно короткий срок (50–60 млн лет) на ювенильном фундаменте сформировался мощный слой зрелой континентальной коры (до 40 км). Обоснованы разноплановые критерии существования в основании При-

морья древней сиалической коры, но модифицированной фанерозойскими процессами деструкции и базификации при апвеллинге мантийных магм. Последнее согласуется с данными М.А. Menzies с соавторами [1993], Y.G. Xu с соавторами [1998] о последовательной эрозии древнего архейского кила начиная с 400 млн лет, связанной с апвеллингом астеносферы под областью Восточного Китая, прогрессирующим в восточном направлении к Приморью, где старая литосфера была эродирована и утонена. Это дополняется и плавным утонением мощности континентальной коры, прослеживаемым в сейсморазрезах от Ханкайского массива к Японскому морю (согласно С.В. Потапьеву) [Глубинное строение..., 1984, с. 92]. По мнению В.И. Шульдинера [1991]: "...главное заключается в неверной формулировке самого утверждения об отсутствии первичной коры. Тот факт, что изотопные метки стерлись, еще не говорит, что исчез сам объект, в который они были вписаны". Это положение, на наш взгляд, может быть распространено и на все континентальное обрамление Западной Пацифики, согласно схеме распределения докембрийской сиалической коры в области континентального обрамления Тихого океана [Мишкин, 2012] (рис. 5). Подтверждением этому служат и результаты геохронологических исследований по цирконам из нижнекорковых ксенолитов [Акинин и др., 2013], которые свидетельствуют о масштабном меловом андерплейтинге мантийных магм и деструкции древней континентальной коры.

На настоящем этапе развития Земли в Западно-Тихоокеанской активной окраине масштабы наращивания коры уступают масштабам деструкции, захватывающей постепенно все более внутренние части азиатского континента [Фролова, 1989]. Образование главного объема континентальной коры завершилось на ранних стадиях развития Земли и было обременено особым, отличным от фанерозойских условиям тектогенеза [Шульдинер и др., 1981]. Общий процесс глобальной океанизации имеет явную тенденцию к разрастанию, тогда как противоположный процесс роста континентальной коры, обусловленный потоками дегазации, идет на спад [Лутц, 1991].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акинин В.В., Андроников А.В., Мукаса С.Б., Миллер Э.Л. (2013) Меловая кора континентальных окраин Севера Пацифики: петролого-геохронологические данные по нижне-среднекорковым ксенолитам. *Петрология*, **21**(1), 34-73.
- Акинин В.В., Миллер Э.Л. (2011) Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. *Петрология*, **19**(3), 249-290.
- Альмухамедов А.И., Кашинцев Г.Л., Матвеев В.В. (1985) Эволюция базальтового вулканизма Красноморского региона. Новосибирск: Наука, 176 с.
- Архипов Г.И., Панских Е.А. Базальтоидный магматизм и железнакопление в Джагдинской эвгеосинклинали. (1975) *Вопросы магматизма и тектоники Дальнего Востока*: ДВНЦ АН СССР, 56-67.
- Баскина В.А. (2006) Бариевая метка щелочных базальтов в мезозойских кремнисто-терригенных толщах Дальнего Востока России. "Вулканизм и геодинамика": мат-лы III Всерос. симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Т. 1. Улан-Удэ, БНЦ СО РАН, 104-107.
- Баскина В.А., Гольцман Ю.В., Баирова Э.Д. (2007) Изотопный состав Sr и Nd и источники основных вулканических Южного Приморья. *Докл. АН*, **413**(4), 525-529.
- Баскина В.А., Николаева Т.П. (1996) Позднемеловые калиевые базиты Дальнегорского Рудного района Приморья. *Докл. АН*, **349**(2), 221-224.
- Баскина В.А., Томсон И.Н., Аракелянц М.М., Полякова О.П. (2004) Раннемеловые щелочные базиты и углеродистые метасоматиты Приморья. *Докл. АН*, **398**(5), 652-655.
- Васильковский Н.П. (2004) Палеогеология Северо-Востока Азии. М.: Наука, 1984, 173 с.
- Виноградов В.И. (2004) Значение модельного Sm-Nd возраста в расшифровке геологической истории планеты. *Геотектоника*, (1), 87-94.
- Вовна Г.М., Киселев В.И., Сахно В.Г., Мишкин М.А., Ленников А.М., Зарубина Н.В., Вельдемар А.А. (2014) Первые данные по локальному изотопному U-Pb датированию цирконов (метод LA-ICP-MS) гиперстенных плагиогнейсов Джугджурского блока (Юго-Восток Алданского Щита). *Докл. АН*. **459**(2), 189-193.
- Волохин Ю.Г., Карабцов А. А. (2016) Минералы в углеродистых силицитах триаса Сихотэ-Алиня. *Литология и полезные ископаемые*. (5), 465-484.
- Вулканические пояса Востока Азии. (1984) М.: Наука, 504 с.
- Высоцкий С.В., Баркар А.В. (2006) Сапфиры Приморья. Владивосток: Дальнаука, 109 с.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 1. (Ред. А.И. Ханчук). (2006) Владивосток: Дальнаука, 572 с.
- Глубинное строение и особенности металлогении юга Дальнего Востока (1984). М.: Наука, 166 с.
- Глуховский М.З., Моралев В.М. (1997) Тектоническое значение бариевой геохимической метки древней континентальной коры. *Геотектоника*, (5), 3-17.
- Говоров И.Н. (1977) Геохимия рудных районов Приморья. М.: Наука, 233 с.
- Голозубов В.В. (2006) Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов Северо-Западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 235 с.
- Голозубов В.В., Мельников Н.Г. (1986) Тектоника геосинклинальных комплексов Южного Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 128 с.
- Диденко А.Н., Ханчук А.И., Тихомирова А.И., Войнова И.П. (2014) Восточный сегмент Киселевско-Маноминского террейна (Северный Сихотэ-Алинь): палеомагнетизм и геотермические следствия. *Тихоокеанская геология*, **33**(1), 20-40.
- Есин С.В., Перепятко Ю.В. (1992) Идентификация коренных источников цирконов и корундов из кайнозойских рыхлых отложений Центрального Сихотэ-Алиня. *Геология и геофизика*, (12), 93-102.
- Есин С.В., Приходько В.С., Пономарчук В.А., Травин А.В., Палесский С.В., Пархоменко В.С. (1996),

- Петрогенезис мезозойской щелочно-пикрит-мелалейцититовой ассоциации Центрального Сихотэ-Алиня. *Геология и геофизика*, **37**(10), 17-27.
- Иванов В.В., Колесова Л.Г., Максимов С.О., Леснов С.В., Лотина А.А., Будницкий С.Ю., Зарубина Н.В. (2011) Барофильные минералы из золотой россыпи Болотистой (западные отроги Сихотэ-Алиня) как индикаторы геодинамической обстановки. "Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит": мат-лы Всерос. конф. с международным участием. Владивосток, Дальнаука, С. 353-356.
- Иванов В.В., Колесова Л.Г., Ханчук А.И., Акаткин В.Н., Молчанова Г.Б., Нечаев В.П. (2005) Находка алмазов в юрских породах меймечит-пикритового комплекса Сихотэ-Алинского пояса. *Докл. АН*, **404**(1), 72-75.
- Изосов Л.А., Коновалов Ю.И., Емельянова Т.А. (2000) Проблемы геологии и алмазоносности зоны перехода континент-океан. Владивосток: Дальнаука, 322 с.
- Изох А.Э., Смирнов С.З., Егорова В.В., Чанг Туан Ань, Ковязин С.В., Нго Тхи Фыонг, Калинина В.В. (2010) Условия образования сапфира и циркона в областях щелочно-базальтоидного вулканизма Центрального Вьетнама. *Геология и геофизика*, **51**(7), 925-943.
- Казаченко В.Т., Перевозникова Е.В., Мирошниченко Н.В., Карабцов А.А., Соляник В.А. (2006) Металлоносные отложения триасовой кремниевой формации в Ольгинском рудном районе Приморья – оловянно-благороднометалльные руды нового генетического типа. *Докл. АН*, **409**(3), 369-374.
- Кемкин И.В., Ханчук А.И., Кемкина Р.А. (2017) Геохимические свидетельства последовательной аккреции фрагментов океанической коры (на примере Самаркинского террейна, Сихотэ-Алинь). *Докл. АН*, **474**(1), 60-65.
- Костицын Ю.А. (2007) Взаимосвязь между химической и изотопной (Sr, Nd, Hf, Pb) гетерогенностью мантии. *Геохимия*, (12), 1267-1291.
- Костицын Ю.А., Аносова М.О., Ревяко Н.М., Степанов В.А. (2012) U-Pb и Sm-Nd данные о возрасте фундамента Срединного хребта Камчатки. "Геохронометрические изотопные системы, методы их изучения, хронология геологических процессов". V Рос. конф. по изотопной геохронологии. М.: ИГЕМ РАН, 175-177.
- Крук Н.Н., Ковач В.П., Голозубов В.В., Касаткин С.А., Терентьева Л.Б., Лаврик С.Н. (2014) Изотопная Nd систематика метаморфических пород юга Дальнего Востока России. *Докл. АН*, **455**(5), 62-66.
- Кулинич Р.Г. (1969) Особенности геологического строения Приморского края по геолого-геофизическим данным. Автореф. канд. дисс. Владивосток. 27 с.
- Летникова Е.Ф., Вишневецкая И.А., Летников Ф.А., Ветрова Н.И., Школьник С.И., Костицын Ю.А., Карковский Е.А., Резницкий Л.З., Каньгина Н.А. (2016) Осадочные комплексы чехла Дзабханского микроконтинента: различные бассейны седиментации и источники сноса. *Докл. АН*, **470**(5), 570-574.
- Лихт Ф.Р. (1993) Современное приконтинентальное осадкообразование и реконструкции однотипных обстановок в геологическом прошлом Азии. Владивосток: Дальнаука, 236 с.
- Лутц Б.Г. (1991) Дегазация земли и магматические процессы, формирующие континентальную и океаническую кору. "Дегазация Земли и геотектоника". Тез. докл. Всесоюз. совещ. М.: Наука, 10-11.
- Максимов С.О., Моисеенко В.Г., Сахно В.Г. (2001) Калиевые основные породы эруптивных трубок Восточной окраины Буреинского массива (Дальний Восток). *Докл. АН*, **379**(6), 797-801.
- Максимов С.О., Сахно В.Г. (2004) Калиевые щелочные пикриты и базальтоиды Охотского массива (Дальний Восток). *Докл. АН*, **394**(4), 510-517.
- Максимов С.О., Сахно В.Г. (2011) Первые данные U-Pb SHRIMP-II изотопного датирования по цирконам пепловых отложений из кайнозойских впадин Юго-Западного Приморья. *Докл. АН*, **439**(2), 226-232.
- Маркевич П.В. (1970) Нижнемеловая флишевая формация Восточного Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДГИ СО АН СССР, 109 с.
- Маркевич П.В. (1978) Флишевые формации северо-западной части Тихоокеанского складчатого пояса. М.: Наука, 143 с.
- Маркевич П.В. (1985) Геосинклинальное терригенное осадконакопление на Востоке Азии в фанерозое на примере Сихотэ-Алиня и Камчатки. М.: Наука, 117 с.
- Мельников Н.Г., Изосов Л.А. (1993) Новые материалы по палеогеографии и палеотектонике Приморья. *Тихоокеанская геология*, (6) 132-134.
- Мишкин М.А. (2012) Сиалическое корообразование гетерогенность мантии и асимметрия Земли. *Докл. АН*, **447**(2), 195-198.
- Мишкин М.А., Ханчук А.И., Журавлев Д.З., Лаврик С.Н. (2000) Первые данные по Sm-Nd систематике метаморфических пород Ханкайского массива Приморья. *Докл. АН*, **374**(6), 813-815.
- Неволин П.Л. (2011) Структурирование Приусурийского, Нижнее-Бикинского и Амбинского фрагментов юрской аккреционной призмы (север Приморья). "Тектоника, геодинамика Востока Азии". Мат-лы Всерос. конф. VII Косыгинские чтения. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН. 97-100.
- Неволин П.Л., Уткин В.П., Митрохин А.Н. (2014) Granite formation in the continental crust: Dynamics of tectonic positioning and structuring of intrusions (on the example of Primorye) *Vestn. KRAUNTs Earth Sci.* **23**(1), 531-548.
- Неволин П.Л., Уткин В.П., Митрохин А.Н., Кутубзаде Т.К. (2012) Геологическое строение Западного Приморья: динамика структурирования. *Тихоокеанская геология*, **31**(4), 17-37.
- Петрищевский А.М. (2011) Гравитационная модель сочленения континентальной и океанической коры в Сихотэ-Алине. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, **17**(1), 11-22.
- Питчер У. (1972) Теневая стратифицированность в интрузивных гранитах (обзор). *Механизмы интрузий магмы*. М.: Мир, 103-120.
- Расказов С.В., Саранина Е.В., Ясныгина Т.А. (2003) Проблема выделения мантийных и коровых компонентов в вулканических породах континентов по изотопам стронция, неодима и свинца. "Тектоника, глубинное строение и геодинамика Восточной Азии". Мат-лы Всерос. конф. IV Косыгинские чтения. 2003, 121-129.
- Ромашкин А.И. (1997) Минералы-индикаторы кимберлитового и лампроитового магматизма на Дальнем Востоке России. *Геология и геофизика*, **38**(2), 504-513.

- Ростовский Ф.И. (2005) Об изотопных отношениях Pb в галенитах рудных месторождений Востока Азии. *Тихоокеанская геология*, **24**(2), 33-45.
- Саватенков В.М., Ярмолюк В.В., Кудряшова Е.А., Козловский А.М. (2010) Источники и геодинамика позднекайнозойского вулканизма Центральной Монголии по данным изотопно-геохимических исследований. *Петрология*, **18**(3), 297-327.
- Салтыкова Т.Е. и др. (2008) Геологический отчет о результатах работ по объекту "Изотопно-геохимическое и геохронологическое обеспечение государственного геологического картирования масштаба 1 : 1 000 000". СПб: ФГУП ВСЕГЕИ, http://test-wms.vsegei.ru/geochron_atlas/.
- Сахно В.Г., Гвоздев В.И., Аленичева А.А., Прасолов Э.М., Зарубина Н.В. (2012). *Докл. РАН*, **443**(1), С. 84-91.
- Сей И.И., Окунева Т.М., Зонова Т.Д., Калачёва Е.Д., Языкова Е.А. и др. (2004) Атлас мезозойской морской фауны Дальнего Востока России. СПб: ВСЕГЕИ, 234 с.
- Смирнов А.М. (1985) К вопросу о природе Тихоокеанского сегмента Земли. *Тихоокеанская геология*, (1), 10-18.
- Спенсер Э.У. (1981) Введение в структурную геологию. Л.: Недра, 367 с.
- Тарни Дж. (1980) Геохимия архейских высокометаморфизованных гнейсов. Вывод о происхождении и эволюции докембрийской земной коры. *Ранняя история Земли*. М.: Мир, 407-420
- Уткин В.П. (1979) Обратимая трансформация шарьяжно-надвиговых и сдвиговых дислокаций. *Докл. АН СССР*, **249**(2), 425-429.
- Уткин В.П. (1997) Горст-аккреционные системы, рифтограбены и вулcano-плутонические пояса юга Дальнего Востока России. Статья 2 Вулcano-плутонические пояса: структурно-вещественные характеристики и закономерности формирования. *Тихоокеанская геология*, **16**(6), 58-79.
- Уткин В.П. (2016) Что определяет развитие Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода: геодинамика движений океанических плит или Азиатского континента? *Докл. АН*, **467**(3). 314-319.
- Фефелов Н.Н. (1984) Применение изотопии свинца в проблеме генезиса рудных месторождений. Автореф. канд. дис. Иркутск, 22 с.
- Фролова Т.И. (1989) Роль магматизма в преобразовании земной коры. *Кристаллическая кора в пространстве и времени. Магматизм*. М: Наука, 184-191.
- Фролова Т.И., Бурикова И.А. (2002) Платобазальтовый магматизм и океанообразование. *Спорные вопросы тектоники плит и возможные альтернативы*. М.: РАН. ИФЗ, 30-48.
- Ханчук А.И., Крук Н.Н., Голозубов В.В., Ковач В.П., Серов П.А., Холоднов В.В., Гвоздев В.И., Касаткин С.А. (2013) Природа континентальной коры Сихотэ-Алиня (по данным изотопного состава Nd в породах Южного Приморья). *Докл. АН*, **451**(4). 441-445.
- Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д., Голозубов В.В., Гонохова Н.Г. и др. (1995) Геология и полезные ископаемые Приморского края: Очерк. Владивосток: Дальнаука, 68 с.
- Чернышев И.В., Шпикерман В.И. (2001) Изотопный состав рудного свинца как отражение блокового строения Центральной части Северо-Востока Азии. *Докл. АН*, **377**(4), 530-533.
- Шульдинер В.И. (1991) Первичная Земная кора и ее эволюция. Ранняя кора ее состав и возраст. М.: Наука, С. 87-93.
- Шульдинер В.И., Высоцкий С.В., Ханчук А.И. (1981) Типы земной коры и ее эволюция в островодужных системах Дальнего востока. *Геология Дальневосточной окраины Азии*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 38-52.
- Щека С.А. (1977) Меймечит-пикритовый комплекс Сихотэ-Алиня. *Докл. АН СССР*, **234**(2), 444-447.
- Щека С.А. (1984) Типы поясов. Вулканические пояса востока Азии. Геология и металлогения. М.: Наука, 45 с.
- Щека С.А., Вржосек А.А. (1983) Ультраосновной вулканизм Тихоокеанского пояса и вопросы систематики меймечитов и коматиитов. *Вулканология и сейсмология*, (2), 3-15.
- Ярошевский В. (1981) Тектоника разрывов и складок. М.: Недра, 245 с.
- Barling J., Goldstein S.L., Nicholls I.A. (1994) Geochemistry of an Enriched Indian Ocean: Characterization of an Enriched Mantle Component and Implications for Enrichment of the Sub Indian Ocean Mantle. *J. Petrol.*, **35**, 1017-10534.
- Basu A.R., Junwen W., Wangang H., Guanghong X., Tatsu-moto M. (1991) Major element, REE, and Pb, Nd and Sr isotopic geochemistry of Cenozoic volcanic rock of eastern China: implications for their origin from suboceanic-type mantle reservoirs. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **105**, 149-169.
- Collerson K.D., Kerr A., Vocke R.D., Hanson G.N. (1982) Reworking of sialic crust as represented in Late Archean-age gneisses, Northern Labrador. *Geology*, (10), 202-208.
- Foley S.F., Venturelli G., Green D.H., Toscani L. (1987) The ultrapotassic rocks: characteristics, classification and constrains for petrogenetic models. *Earth Sci. Rev.*, (24), 81-134.
- Harris N. (1996) Radiogenic isotopes and the interpretation of granitic rocks. *Episodes*, **19**(4), 107-113.
- Liew T.C., Hofmann A.W. (1988) Precambrian crustal components, plutonic associations, plat environment of the Hercynian Fold Belt of central Europe: indication from a Nd and Sm isotopic study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **98**, 129-138.
- Isozaki Y., Nakahata H., Zakharov Y.D., Popov A.M., Sakata S., Hirata T. (2017) Greater South China extended to the Khanka block: Detrital zircon geochronology of Middle-Upper Paleozoic sandstones in Primorye, Far East Russia. *J. Asian Earth Sci.*, **145**, 565-575.
- Menzies M.A., Fan W., Zhang M. (1993) Paleozoic and Cenozoic lithoprobes and the loss of > 120 km of Archaean lithosphere, Sino-Korean craton, China. *Geol. Soc. London. Spec. Publ.*, **76**, 71-81.
- Mukasa S.B., McCabe R., Gill J.B. (1987) Pb-isotopic compositions of volcanic rocks in the West and East Philippine island arcs: presence of the Dupal isotopic anomaly. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **84**, 153-164.
- Nicolaysen K., Bowring S., Frey F., Weis D., Ingle S., Pringle M.S., Coffin M.F. (2001) Provenance of Proterozoic garnet-biotite gneiss recovered from Elan Bank Kerguelen Plateu, southern Indian Ocean. *Geology*, **29**(3), 235-238.

- Oakes G.M., Barron L.M., Lishmund S.R. (1996) Alkali basalts and associated volcanoclastic rocks as a source of sapphire in eastern Australia. *Austral. J. Earth Sci.*, **43**, 289-298.
- O'Brien H.E., Irving A.J., McCallum S., Thirlwall M.F. (1995) Strontium, neodymium, and lead isotopic evidence for the interaction of postsubduction asthenospheric potassic mafic magmas of the Highwood Mountains, Montana, USA, with ancient Wyoming craton lithospheric mantle. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 4539-4556.
- Operto S., Charvis P. (1995) Kerguelen Plateau: a volcanic passive margin fragment? *Geology*, **23**(2), 137-140.
- Polet J., Anderson D.L. (1995) Depth extent of cratons as inferred from tomographic studies. *Geology*, **23**(3), 205-208.
- Ramberg H. (1963) Evolution of drag fold. *Geol. Mag.*, **100**(2), 97-106.
- Shcheka S.A., Ishiwatari A., Vrzhosek A.A., (2001) Geology and petrology of Cambrian Khanka ophiolite in Primorye (Far East Russia) with notes on its manganese-rich chromian spinel. *Earth Science (Chikyū Kagaku)*, **55**, 265-274.
- Stewart K., Rogers N. (1996) Mantle plume Nd lithosphere contributions to basalts from southern Ethiopia. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **139**, 195-211.
- Tatsumoto M., Basu A.R., Wankang H., Junwen W., Guanghong X. (1992) Sr, Nd, and Pb isotopes of ultramafic xenoliths in volcanic rocks of Eastern China: enriched components EMI and EMII in subcontinental lithosphere. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **113**, 107-128.
- Tsutsumi Y., Horie K., Sano T., Miyawaki R., Momma K., Matsubara S., Shigeoka M., Yokoyama K. (2012) LA-ICP-MS and SHRIMP ages of zircons in chevkinite and monazite tuffs from the Boso Peninsula, Central Japan. *Bull. Nat. Sci. Mus. Tokyo. Ser. C.*, **38**, 15-32.
- Tsutsumi Y., Yokoyama K., Kasatin S.A., Golozubov V.V. (2016) Provenance Study of Accretory Complexes in Primorye, Far East Russia, using Ages and Compositions of Detrital Minerals. *Mem. Natl. Mus. Nat. Sci.*, Tokyo, **51**, 79-87.
- Upton B.G.J., Hinton R.W., Aspen P., Finch A., Valley J.W. (1999) Megacrysts and Associated Xenoliths: Evidence for Migration of Geochemically Enriched melts in the upper Mantle beneath Scotland. *J. Petrol.*, **40**(6), 935-956.
- Weis D., Frey F.A. (1996). Role of the Kerguelen plume in generating the eastern Indian Ocean seafloor. *J. Geophys. Res.*, **101**, 13831-13849
- Williams J.S. (1998) Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. *Rev. Econom. Geol.*, **7**, 1-35.
- Xu Y.G., Menzies M.A., Vroon P., Mercier J., Lin C. (1998) Texture-Temperature-Geochemistry Relationships in the Upper Mantle as Revealed from Spinel peridotite Xenoliths from Wangqing, NE China. *J. Petrol.*, **39**(3), 469-493.
- Yokoyama K. (2016) Provenance Study of Pre-Neogene Sandstones in the Japanese Islands. *Mem. Natl. Mus. Nat. Sci.*, Tokyo, **51**, 79-87.
- Zartman R.E., Futa K., Peng Z.C. (1991) A comparison of Sr-Nd-Pb isotopes in young and old continental lithospheric mantle: Patagonia and eastern China. *Austral. J. Earth Sci.*, **38**, 545-557.
- Zhang Z., Feng C., Li Z., Li S., Xin Y., Li Z., Wang X. (2002) Petrochemical study of the Jingpohu Holocene alkali basaltic rocks, northeastern China. *Geochim. J.*, **36**, 133-153.
- Zhang M., Suddaby P., Thompson R.N., Thirlwall M.F., Menzies M.A. (1995) Potassic volcanic Rocks in NE China: Geochemical Constraints on Mantle Source and Magma Genesis. *J. Petrol.*, **36**(5), 1275-1303.
- Zou H., Zindler A., Xu X., Qi Q. (2000) Major, trace element, and Nd, Sr and Pb isotope studies of Cenozoic basalts in SE China: mantle sources, regional variations, and tectonic significance. *Chem. Geol.*, **171**, 33-47.

REFERENCES

- Akinin V.V., Andronikov A.V., Mukasa S.B., Miller E.L. (2013) Cretaceous crust of the continental margins of the North Pacific: petrological and geochronological data on lower- middle-crust xenoliths. *Petrologiya*, **21**(1), 34-73. (In Russian)
- Akinin V.V., Miller E.L. (2011) Evolution of calcareous-alkaline magmas of the Okhotsk-Chukotsk volcanic belt. *Petrologiya*, **19**(3), 249-290. (In Russian)
- Al'mukhamedov A.I., Kashintsev G.L., Matvienko V.V. (1985) *Evolyuetsiya bazal'tovogo vulkanizma Krasnomorskogo regiona* [The Evolution of basaltic volcanism in the Red Sea region]. Novosibirsk, Nauka Publ., 176 p. (In Russian)
- Arkhypov G.I., Panskikh E.A. Basaltoid magmatism and iron accumulation in Dzhagdinsky eugeosynclinal. (1975) *Voprosy magmatizma i tektoniki Dal'nego Vostoka* [Problems of magmatism and tectonics of the Far East]. DVNTs AN SSSR, 56-67. (In Russian)
- Barling J., Goldstein S.L., Nicholls I.A. (1994) Geochemistry of an Enriched Indian Ocean: Characterization of an Enriched Mantle Component and Implications for Enrichment of the Sub Indian Ocean Mantle. *J. Petrol.*, **35**, 1017-10534.
- Baskina V.A. (2006) Barium label of alkaline basalts in the Mesozoic siliceous-terrigenous strata of the Russian Far East. "Vulkanizm i geodinamika": *mat-ly III Vserossiiskogo simpoziuma po vulkanologii i paleovulkanologii. T. I* ["Volcanism and geodynamics". Proc. III all-Russian Symposium on Volcanology and Paleovolcanology. Vol. 1] Ulan-Ude, BNTs SO RAN, 104-107. (In Russian)
- Baskina, V.A., Gol'tsman Yu., Bairova E.D. (2007) The Isotopic composition of Sr and Nd and the sources of the basic volcanic rocks of South Primorye. *Dokl. Akad. Nauk*, **413**(4), 525-529. (In Russian)
- Baskina V.A., Nikolaeva T.P. (1996) Late Cretaceous potassic rocks in the Dalnegorsk Ore district, Primorskii Krai. *Dokl. Akad. Nauk*, **349**(2), 221-224. (In Russian)
- Baskina V.A., Tomson I.N., Arakelyants M.M., Polyakov O.P. (2004) Early Cretaceous alkaline basic rocks and carbonaceous metasomatites of the Primor'e region. *Dokl. Akad. Nauk*, **398**(5), 652-655. (In Russian)
- Basu A.R., Junwen W., Wangang H., Guanghong X., Tatsumoto M. (1991) Major element, REE, and Pb, Nd and Sr isotopic geochemistry of Cenozoic volcanic rock of eastern China: implications for their origin from suboceanic-type mantle reservoirs. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **105**, 149-169.
- Chernyshev I.V., Shpikerman V.I. (2001) Isotopic composition of ore lead as a reflection of the block structure of the Central part of Northeast Asia. *Dokl. Akad. Nauk*, **377**(4),

- 530-533. (In Russian)
- Collerson K.D., Kerr A., Vocke R.D., Hanson G.N. (1982) Reworking of sialic crust as represented in Late Archean-age gneisses, Northern Labrador. *Geology*, (10), 202-208.
- Didenko A.N., Hanchuk A.I., Tihomirova A.I., Voinova I.P. (2014) Eastern segment of the Kiselevsky-Manominsky terrane (Northern Sikhote-Alin): paleomagnetism and geothermal consequences. *Tihookean. Geol.*, **33**(1), 20-40. (In Russian)
- Esin S.V., Prikhod'ko V.S., Ponomarchuk V.A., Travin A.V., Palesky S.V., Parkhomenko V.S. (1996) Petrogenesis of the Mesozoic alkaline-picrite-melaleucitite association of the Central Sikhote-Alin. *Geol. Geofiz.*, **37**(10), 17-27. (In Russian)
- Esin S.V., Perepyat'ko Yu.V. (1992) Identification of the indigenous sources of zircons and corundums from the Cenozoic loose sediments of the Central Sikhote-Alin. *Geol. Geofiz.*, (12), 93-102. (In Russian)
- Fefelov N.N. (1984) *Primenenie izotopii svintsya v probleme genezisa rudnykh mestorozhdenii*. Dis. kand. geol.-min. nauk [Use of lead isotope in the problem of the genesis of ore deposits. Kand. geol. and min. sci. diss.] Irkutsk. 22 p. (In Russian)
- Foley S.F., Venturelli G., Green D.H., Toscani L. (1987) The ultrapotassic rocks: characteristics, classification and constrains for petrogenetic models. *Earth Sci. Rev.*, (24), 81-134.
- Frolova T.I. (1989) The role of magmatism in the transformation of the earth's crust. *Kristallicheskaya kora v prostranstve i vremeni. Magmatizm* [Crystalline crust in space and time. Magmatism]. Moscow: Nauka Publ., 184-191. (In Russian)
- Frolova T.I., Burikova I.A. (2002) Plateau-basalt magmatism and ocean formation. *Spornye voprosy tektoniki plit i vozmozhnye al'ternativy* [Controversial issues of plate tectonics and possible alternatives]. Moscow, RAN. IFZ Publ., 30-48. (In Russian)
- Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii. Kn. 1.* (2006) [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia. B. 1.] (Ed. A.I. Khanchuk). Vladivostok, Dal'nauka Publ. 572 p. (In Russian)
- Glubinnoe stroenie i osobennosti metallogenii yuga Dal'nego Vostoka* (1984) [Deep structure and peculiarity of metalligeny of south Fare East]. Moscow, Nauka Publ., 166 p. (In Russian)
- Gluhovskii M.Z., Moralev V.M. (1997) Tectonic significance of the barium geochemical mark of the ancient continental crust. *Geotektonika*, (5), 3-17. (In Russian)
- Golozubov V.V. (2006) *Tektonika yurskikh i nizhnemelovykh kompleksov Severo-Zapadnogo obramleniya Tihogo okeana* [Tectonics of the Jurassic and Lower Cretaceous complexes of the northwestern framing of Pacific Ocean]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 235 p. (In Russian)
- Golozubov V.V., Mel'nikov N.G. (1986) *Tektonika geosinclinal'nykh kompleksov Yuzhnogo Sihote-Alinya*. [Tectonics of the geosynclinal complexes of the Southern Sikhote-Alin']. Vladivostok, FEC AN SSSR, 128 p. (In Russian)
- Govorov I.N. (1977) *Geohimiya rudnykh raionov Primor'ya* [Geochemistry of ore regions of Primorye]. Moscow, Nauka Publ., 233 p. (In Russian)
- Hanchuk A.I., Kruk N.N., Golozubov V.V., Kovach V.P., Serov P.A., Holodnov V.V., Gvozdev V.I., Kasatkin S.A. (2013) Nature of the continental crust of the Sikhote-Alin (according to the isotope composition Nd in the rocks of the Southern Primorye). *Dokl. Akad. Nauk*, **451**(4), 441-445. (In Russian)
- Hanchuk A.I., Ratkin V.V., Ryazantseva M.D., Golozubov V.V., Gonokhova N.G. (1995) *Geologiya i poleznye iskopaemye Primorskogo kraja: Ocherk* [Geology and minerals of the Primorye Territory: Essay]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 68 p. (In Russian)
- Harris N. (1996) Radiogenic isotopes and the interpretation of granitic rocks. *Episodes*, **19**(4), 107-113.
- Isozaki Y., Nakahata H., Zakharov Y.D., Popov A.M., Sakata S., Hirata T. (2017) Greater South China extended to the Khanka block: Detrital zircon geochronology of middle-upper Paleozoic sandstones in Primorye, Far East Russia. *J. Asian Earth Sci.*, **145**, 565-575.
- Ivanov V.V., Kolesova L.G., Hanchuk A.I., Akatkin V.N., Molchanova G.B., Nechaev V.P. (2005) Finding diamonds in the Jurassic rocks of the Meimechit-picritic complex of the Sikhote-Alin belt. *Dokl. Akad. Nauk*, **404**(1), 72-75. (In Russian)
- Ivanov V.V., Kolesova L.G., Maksimov S.O., Lesnov S.V., Lotina A.A., Budnitskii S.Yu., Zarubina N.V. (2011) Barophilic minerals from gold placers Bolotistaya (western spurs of Sikhote-Alin) as indicators of geodynamic conditions. "Geologicheskies protsessy v obstanovkakh subduksii, kollizii i skol'zheniya litosfernykh plit". *Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* ["Geological processes in the conditions of subduction, collision and slip of lithospheric plates." Proc. All-Russian Conf. with international participation]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 353-356. (In Russian)
- Izokh A.E., Smirnov S.Z., Egorova V.V., Chang Tuan An', Kovyazin S.V., Ngo Thi Fyong, Kalinina V.V. (2010) Conditions for the formation of sapphirine and zircon in the regions of alkaline-basaltoid volcanism in Central Vietnam *Geol. Geofiz.*, **51**(7), 925-943. (In Russian)
- Izotov L.A., Kononov Yu.I., Emel'yanova T.A. (2000) *Problemy geologii i almazonosnosti zony perehoda kontinent-okean* [Problems of geology and diamond bearing of the continent-ocean transition zone]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 322 p. (In Russian)
- Kazachenko V.T., Perevoznikova E.V., Miroshnichenko N.V., Karabtsov A.A., Solyanik V.A. (2006) Metal-bearing deposits of the Triassic flint formation in the Olginsky ore district of Primorye – tin-noble metal ores of a new genetic type. *Dokl. Akad. Nauk*, **409**(3), 369-374. (In Russian)
- Kemkin I.V., Hanchuk A.I., Kemkina R.A. (2017) Geochemical evidence of successive accretion of fragments of the oceanic crust (on the example of the Samarka terrane, Sikhote-Alin) *Dokl. Akad. Nauk*, **474**(1), 60-65. (In Russian)
- Kostitsyn Yu.A. (2007) The relationship between the chemical and isotope (Sr, Nd, Hf, Pb) heterogeneity of the mantle *Geokhimiya*, (2), 1267-1291. (In Russian)
- Kostitsyn Yu.A., Anosova M.O., Revyako N.M., Stepanov V.A. (2012) U-Pb and Sm-Nd data on the age of the basement of the Median ridge of Kamchatka "Geokhronometricheskie izotopnye sistemy, metody ikh izucheniya, khronologiya geologicheskikh protsessov". *Trudy V Rossiiskoi konferentsii po izotopnoi geokhronologii* ["Geochronometric isotope systems, meth-

- ods for their study, chronology of geological processes". Proc. V Russian Conference on Isotope Geochronology]. Moscow, IGEM RAS Publ., 175-177. (In Russian)
- Kruk N.N., Kovach V.P., Golozubov V.V., Kasatkin S.A., Terent'eva L.B., Lavrik S.N. (2014) Isotope Nd systematics of metamorphic rocks of the south of the Russian Far East. *Dokl. Akad. Nauk*, **455**(5), 62-66. (In Russian)
- Letneykova E.F., Vishnevskaya I.A., Letneykov F.A., Vetrova N.I., Shkol'nik S.I., Kostitsyn Yu.A., Karakovskii E.A., Reznitskii L.Z., Kanygina N.A. (2016) Sedimentary complexes of the Dzabkhan microcontinent cover: various sedimentation basins and sources of demolition. *Dokl. Akad. Nauk*, **470**(5), 570-574. (In Russian)
- Liew T.C., Hofmann A.W. (1988) Precambrian crustal components, plutonic associations, plate environment of the Hercynian Fold Belt of central Europe: indication from a Nd and Sm isotopic study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **98**, 129-138.
- Likht F.R. (1993) *Sovremennoe prikontinental'noe osadkoobrazovanie i rekonstruktsii odnotipnykh obstanovok v geodogicheskoy proshlom Azii* [Contemporary near-continental sedimentation and reconstruction of similar structures in the geological past of Asia]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 236 p. (In Russian)
- Lutts B.G. (1991) Degassing of the Earth and magmatic process forming continental and oceanic crust. "Degazatsiya Zemli i geotektonika". *Tezisy dokladov Vsesoyuznogo soveshchaniya* ["Degassing of the Earth and Geotectonics". Thesis of reports to All-Union Conf]. Moscow, Nauka Publ., 10-11. (In Russian)
- Maksimov S.O., Moiseenko V.G., Sakhno V.G. (2001) Potassium basic rocks of eruptive tubes of the Eastern margin of the Bureinsky Massif (Far East). *Dokl. Akad. Nauk*, **379**(6), 797-801. (In Russian)
- Maksimov S.O., Sakhno V.G. (2011) The first data of U-Pb SHRIMP-II of isotope dating on zircons of ash deposits from the Cenozoic basins of the South-Western Primorye. *Dokl. Akad. Nauk*, **439**(2), 226-232. (In Russian)
- Maksimov S.O., Sakhno V.G. Kalievye (2004) Potassium alkaline picrites and basaltoids of the Okhotsk Massif (Far East). *Dokl. Akad. Nauk*, **394**(4), 510-517. (In Russian)
- Markevich P.V. (1970) *Nizhnemelovaya flishevaya formatsiya Vostochnogo Sikhote-Alinya* [Lower Cretaceous flysch formation of the Eastern Sikhote-Alin]. Vladivostok, Dal'nevostochnyi geologicheskii institut, Sibirskoe otделение AN SSSR, 109 p. (In Russian)
- Markevich P.V. (1978) *Flishevyye formatsii severo-zapadnoi chasti Tihookeanskogo sladchatogo poyasa* [Flysch formations of the northwestern part of the Pacific fold belt]. Moscow, Nauka Publ., 143 p. (In Russian)
- Markevich P.V. (1985) *Geosynclinal'noe terrigennoe osadkonakoplenie na Vostoke Azii v fanerozoey na primere Sikhote-Alinya i Kamchatki* [Geosynclinal terrigenous sedimentation in the East of Asia in the Phanerozoic on the example of the Sikhote-Alin and Kamchatka]. Moscow, Nauka Publ., 117 p. (In Russian)
- Mel'nikov N.G., Izosov L.A. (1993) New materials on paleogeography and paleotectonics of Primorye. *Tikhookean. Geol.*, (6), 132-134. (In Russian)
- Menzies M.A., Fan W., Zhang M. (1993) Paleozoic and Cenozoic lithoprobes and the loss of > 120 km of Archaean lithosphere, Sino-Korean craton, China. *Geol. Soc. London. Spec. Publ.*, **76**, 71-81.
- Mishkin M.A. (2012) Sialic crust formation, mantle heterogeneity and asymmetry of the Earth. *Dokl. Akad. Nauk*, **447**(2), 195-198. (In Russian)
- Mishkin M.A., Hanchuk A.I., Zhuravlev D.Z., Lavrik S.N. (2000) First data on the Sm-Nd systematics of metamorphic rocks of the Khankaisky massif of Primorye. *Dokl. Akad. Nauk*, **374**(6), 813-815. (In Russian)
- Mukasa S.B., McCabe R., Gill J.B. (1987) Pb-isotopic compositions of volcanic rocks in the West and East Philippine island arcs: presence of the Dupal isotopic anomaly. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **84**, 153-164.
- Nevolin P.L. (2011) Structuring of the Priusuri, Lower-Bikinsky and Ambinsky fragments of the Jurassic accretionary prism (north of Primorye). "Tektonika, geodinamika Vostoka Azii". VII Kosygin'skie chteniya. Materialy Vseross. konf. ["Tectonics, geodynamics of the East of Asia". Proc. of the All-Russian Conference. VII Kosygin Readings]. Khabarovsk, ITiG DVO RAN, 97-100. (In Russian)
- Nevolin P.L., Utkin V.P., Mitrohin A.N. (2014) Granit formation in continental crust: Dynamic of tectonic positioning and structuring of intrusions in continental crust (on the example of Primir'e). *Vestn. KRAUNTS. Nauki o Zemle*, **23**(1), 531-548. (In Russian)
- Nevolin P.L., Utkin V.P., Mitrohin A.N., Kutub-Zade T.K. (2012) Geological structure of Western Primir'e: Dynamic of structuring. *Tikhookean. Geol.*, **31**(4), 17-37. (In Russian)
- Nicolaysen K., Bowring S., Frey F., Weis D., Ingle S., Pringle M.S., Coffin M.F. (2001) Provenance of Proterozoic garnet-biotite gneiss recovered from Elan Bank Kerguelen Plateau, southern Indian Ocean. *Geology*, **29**(3), 235-238.
- O'Brien H.E., Irving A.J., McCallum S., Thirlwall M.F. (1995) Strontium, neodymium, and lead isotopic evidence for the interaction of postsubduction asthenospheric potassic mafic magmas of the Highwood Mountains, Montana, USA, with ancient Wyoming craton lithospheric mantle. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 4539-4556.
- Oakes G.M., Barron L.M., Lishmund S.R. (1996) Alkali basalts and associated volcanoclastic rocks as a source of sapphire in eastern Australia. *Austral. J. Earth Sci.*, **43**, 289-298.
- Operto S., Charvis P. (1995) Kerguelen Plateau: a volcanic passive margin fragment? *Geology*, **23**(2), 137-140.
- Petrishchevskii A.M. (2011) Gravitational model of couple of continental and oceanic crust in Sikhote-Alin. *Vestn. KRAUNTS. Nauki o Zemle*, **17**(1), 11-22. (In Russian)
- Pitcher U. (1972) Shadow stratification in intrusive granites (review). *Mehanizmy intruzii magmy* [Mechanisms of intrusion of magma]. Moscow, Mir Publ., 103-120. (In Russian)
- Polet J., Anderson D.L. (1995) Depth extent of cratons as inferred from tomographic studies. *Geology*, **23**(3), 205-208.
- Ramberg H. (1963) Evolution of drag fold. *Geol. Mag.*, **100**(2), 97-106.
- Rasskazov S.V., Sarahnina E.V., Yasnygina T.A. (2003) The problem of isolating mantle and crustal components in volcanic rocks of the continents according to isotopes of strontium, neodymium and lead. "Tektonika, glubinnoe stroenie i geodinamika Vostochnoi Azii". IV Kosygin'skie chteniya ["Tectonics, deep structure and geodynamics of East Asia". IV Kosygin Readings]. Khabarovsk, ITiG

- DVO RAN, 121-129. (In Russian)
- Romashkin A.I. (1997) Minerals-indicators of kimberlite and lamproite magmatism in the Far East of Russia. *Geol. Geofiz.*, **38**(2), 504-513. (In Russian)
- Rostovskii F.I. (2005) On isotope ratios of Pb in the galena of ore deposits in East Asia *Tihookean. Geol.*, **24**(2). 33-45. (In Russian)
- Sakhno V.G., Gvozdev V.I., Alenicheva A.A., Prasolov E.M., Zarubina N.V. (2012) Granitoidnyi magmatizm vol' framovykh rudno-magmaticheskikh sistem Lermontovskaya i Vostok-2: U-Pb-(SHRIMP)-data, isotope (^3He - ^4He) description of the ores. *Dokl. Akad. Nauk*, **443**(1), 84-91. (In Russian)
- Saltykova T.E. et al. (2008) Geological report on the results of works on the object. "Isotope-geochemical and geochronological support of state geological mapping scale 1 : 1 000 000 St.Petersburg, FGUP VSEGEI, http://test-wms.vsegei.ru/geochron_atlas/. (In Russian)
- Savatenkov V.M., Yarmolyuk V.V., Kudryashova E.A., Kozlovskii A.M. (2010) Sources and geodynamics of Late Cenozoic volcanism in Central Mongolia from isotope-geochemical data. *Petrologiya*, **18**(3), 297-327. (In Russian)
- Sei I.I., Okuneva T.M., Zonova T.D. et al. (2004) *Atlas mezozoiskoi morskoi fauny Dal'nego Vostoka Rossii* [Atlas Mesozoic marine fauna of Far East of Russia] St.Petersburg, VSEGEI Publ., 234 p. (In Russian)
- Shcheka S.A. (1977). Meimechit-picritic complex of Sikhote-Alin. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **234**(2), 444-447. (In Russian)
- Shcheka S.A. (1984) *Tipy poyasov. Vulkanicheskie poyasa vostoka Azii. Geologiya i metallogeniya* [Types of belts. Volcanic belts of the east of Asia. Geology and metallogeny] Moscow: Nauka Publ., 45 p. (In Russian)
- Shcheka S.A., Ishiwatari A., Vrzhosek A.A., (2001) Geology and petrology of Cambrian Khanka ophiolite in Primorye (Far East Russia) with notes on its manganese-rich chromian spinel. *Earth Science (Chikyū Kagaku)*, **55**, 265-274.
- Shcheka S.A., Vrzhosek A.A. (1983) Ultrabasic volcanism of the Pacific belt and the systematics of meimechites and komatiites. *Volcanol. Seismol.*, (2), 3-15. (In Russian)
- Shul'diner V.I. (1991) Primary Earth's crust and its evolution. *Rannyya kora, ee sostav i vozrast* [Early crust, its composition and age]. Moscow, Nauka Publ., 87-93. (In Russian)
- Shul'diner V.I., Vysotskii S.V., Hanchuk A.I. (1981) The types of the Earth's crust and its evolution in island-arc systems of Far East. *Geologiya Dal'nevostochnoi okrainy Azii*. [Geology of the Far Eastern margin of Asia]. Vladivostok, DVNTs AN SSSR. 38-52. (In Russian)
- Smirnov A.M. (1985) On the nature of the Pacific Ocean segment of the Earth. *Tihookean. Geol.*, (1), 10-18. (In Russian)
- Spenser E.U. (1981) *Vvedenie v strukturnuyu geologiyu* [Introduction to structural geology]. Leningrad, Nedra Publ., 367 p. (In Russian)
- Stewart K., Rogers N. (1996) Mantle plume Nd lithosphere contributions to basalts from southern Ethiopia. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **139**, 195-211.
- Tarni Dzh. (1980) Geochemistry of Archaean high-metamorphosed gneisses. Conclusion on the origin and evolution of the Precambrian crust. *Rannyya istoriya Zemli* [Early history of the Earth]. Moscow, Mir Publ., 407-420. (In Russian)
- Tatsumoto M., Basu A.R., Wankang H., Junwen W., Guanghong X. (1992) Sr, Nd, and Pb isotopes of ultramafic xenoliths in volcanic rocks of Eastern China: enriched components EMI and EMII in subcontinental lithosphere. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **113**, 107-128.
- Tsutsumi Y., Horie K., Sano T., Miyawaki R., Momma K., Matsubara S., Shigeoka M., Yokoyama K. (2012) LA-ICP-MS and SHRIMP ages of zircons in chevkinite and monazite tuffs from the Boso Peninsula, Central Japan. *Bull. Nat. Sci. Mus. Tokyo. Ser. C.*, **38**, 15-32.
- Tsutsumi Y., Yokoyama K., Kasatin S.A., Golozubov V.V. (2016) Provenance Study of Accretionary Complexes in Primorye, Far East Russia, using Ages and Compositions of Detrital Minerals. *Mem. Natl Mus. Nat. Sci.*, Tokyo, **51**, 79-87.
- Upton B.G.J., Hinton R.W., Aspen P., Finch A., Valley J.W. (1999) Megacrysts and Associated Xenoliths: Evidence for Migration of Geochemically Enriched melts in the upper Mantle beneath Scotland. *J. Petrol.*, **40**(6). 935-956.
- Utkin V.P. (2016) What determines development of Asia-Pacific transition zone: Geodynamic of moving oceanic plates or Asia continent one? *Dokl. Akad. Nauk*, **467**(3), 314-319. (In Russian)
- Utkin V.P. (1979) The reversible transformation of the shearing-thrust and shear dislocations. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **249**(2), 425-429. (In Russian)
- Utkin V.P. (1997) Horst accretion systems, rift-grabens and volcano-plutonic belts of the south of the Far East of Russia. Article 2 Volcano-plutonic belts: structural-material characteristics and patterns of formation. *Tihookean. Geol.*, **16**(6), 58-79. (In Russian)
- Vasil'kovskii N. P. (1984) *Paleogeologiya Severo-Vostoka Azii* [Paleogeology of North-East Asia]. Moscow, Nauka Publ., 173 p. (In Russian)
- Vinogradov V.I. (2004) The significance of the model Sm-Nd age in deciphering the geological history of the planet. *Geotektonika*, (1), 87-94. (In Russian)
- Volohin Yu.G., Karabtsov A. A. (2016) Minerals in carbonaceous silicates of the Triassic Sikhote-Alin. *Litol. Polezn. Iskop.*, (5), 465-484. (In Russian)
- Vovna G.M., Kiselev V.I., Sakhno V.G., Mishkin M.A., Lennikov A.M., Zarubina N.V., Veldemar A.A. (2014) The first data on local isotope U-Pb zircon dating (method LA-ICP-MS) of hypersthene plagiogneisses of the Dzhugdzhur block (South East of the Aldan Shield). *Dokl. Akad. Nauk*, **459**(2), 189-193. (In Russian)
- Vulkanicheskie poyasa Vostoka Azii* [Volcanic belts of the East of Asia]. (1984) Moscow, Nauka Publ., 504 p. (In Russian)
- Vysotskii S.V., Barkar A.V. (2006) *Sapfiry Primor'ya* [Sapphires of Primorye]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 109 p. (In Russian)
- Weis D., Frey F.A. (1996). Role of the Kerguelen plume in generating the eastern Indian Ocean seafloor. *J. Geophys. Res.*, **101**, 13831-13849
- Williams J.S. (1998) Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. *Rev. Econom. Geol.*, **7**, 1-35.
- Xu Y.G., Menziens M.A., Vroon P., Mercier J., Lin C. (1998) Texture-Temperature-Geochemistry Relationships in the Upper Mantle as Revealed from Spinel peridotite Xenoliths from Wangqing, NE China. *J. Petrol.*, **39**(3), 469-493.

- Yaroshevskii V. (1981) *Tektonika razryvov i skladok* [Tectonics of ruptures and folds]. Moscow, Nedra Publ., 245 p (In Russian)
- Yokoyama K. (2016) Provenance Study of Pre-Neogene Sandstones in the Japanese Islands. *Mem. Natl Mus. Nat Sci.*, Tokyo, **51**, 79-87.
- Zartman R.E., Futa K., Peng Z.C. (1991) A comparison of Sr-Nd-Pb isotopes in young and old continental lithospheric mantle: Patagonia and eastern China. *Austral. J. Earth Sci.* **38**, 545-557.
- Zhang M., Suddaby P., Thompson R.N., Thirlwall M.F., Menzies M.A. (1995.) Potassic volcanic Rocks in NE China: Geochemical Constraints on Mantle Source and Magma Genesis. *J. Petrol.*, **36**(5), 1275-1303.
- Zhang Z., Feng C., Li Z., Li S., Xin Y., Li Z., Wang X. (2002) Petrochemical study of the Jingpohu Holocene alkali basaltic rocks, northeastern China. *Geochemical J.*, **36**, 133-153.
- Zou H., Zindler A., Xu X., Qi Q. (2000) Major, trace element, and Nd, Sr and Pb isotope studies of Cenozoic basalts in SE China: mantle sources, regional variations, and tectonic significance. *Chem. Geol.*, **171**, 33-47.