



УДК 550.4: 551/2(571.6)

А. В. Колосков

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail: kolosav@kscnet.ru*

Изотопно-геохимические характеристики позднекайнозойских вулканитов северо-востока Азиатской окраины и проблемы субдукционной геодинамики

Особенности изотопного состава проявлений позднекайнозойского вулканизма Курило-Камчатского и Беринговоморского регионов анализируются в рамках концепции плюмовой геодинамики.

Введение

В островодужных системах изотопная система вулканических пород прямо или косвенно связывается с субдукционной моделью, которая подразумевает взаимодействие двух основных компонентов: 1 — поддвигаемой океанической плиты (океаническая кора и расплавы, образующиеся при её плавлении, океанические осадки и флюиды, выделяющиеся при дегидратации океанической плиты) и 2 — мантийного клина, в той или иной степени модернизированного процессами рециклинга или мантийного метасоматоза [13, 16, 24]. В этих системах нередко наблюдается сочетание вулканитов с «островодужными» и «внутриплитными» геохимическими признаками. Наиболее распространённым сценарием, в таком случае, является образование островодужного типа вулканитов, как результат обычного субдукционного механизма, а внутриплитный тип базальтоидов связывается либо с некоторой геохимической аномалией, как отражение присутствия добавочного компонента ОИВ-типа [13, 16] в мантийном источнике, либо рассматривается, как результат совмещения двух механизмов — субдукции океанической плиты и подъёма мантийных диапиров по принципу «slab-window» [31]. Обширный материал по изотопному составу четвертичных вулканических пород Камчатки интерпретируется на корреляционной диаграмме $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в рамках трехкомпонентной модели [13]. Одним компонентом при этом является мантийный источник ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0,7031$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \sim 0,5131$), подобный слегка обедненной мантии Тихоокеанского срединно-океанического хребта (NMORB). Он осложняется добавкой компонента типа базальтов океанических островов (ОИВ) в тыловой части дуги. Второй компонент с возрастающими значениями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ при неизменных характеристиках $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, отражает состав флюида, отделяющегося от поддвигаемой плиты. Состав его, однако,

не может превышать значения соответствующих компонентов для Тихоокеанских MORB. Наконец, третий источник, который характеризуется понижением радиогенности неодима и повышением Sr-изотопных отношений, образовался, вероятно, при смешении с обогащенным мантийным компонентом. Неясным, однако, остаётся состав и источники этого обогащенного компонента. Ниже изотопно-геохимические характеристики (изотопные отношения Sr, Nd, Pb) позднекайнозойских вулканитов северо-востока Азиатской окраины будут рассмотрены на основе анализа локальных изотопно-геохимических аномалий.

Мантийные плюмы в процессах магмообразования на Восточно-Азиатской окраине

В современных петрологических моделях островодужного вулканизма так или иначе используются данные, касающиеся поперечной изотопно-геохимической зональности. Наличие такой зональности, которая коррелируется с глубиной до сейсмофокальной зоны, является важным аргументом в пользу постулируемого субдукционного механизма.

В работе [5] на основании анализа характера распространения плиоцен — четвертичных вулканитов Камчатки, имеющих различные Sr-изотопные характеристики, показано, что корреляционной зависимости Sr-изотопных составов вулканитов от глубины до сейсмофокальной зоны не существует. Вместо этого мы видим ряд локальных аномалий с повышенной радиогенностью Sr для Камчатки и пониженной для Беринговоморского региона. Эти аномальные области совпадают с контурами «вихревых» структур, выделенных [6] на основании закономерного пространственного расположения ксенолит-содержащих вулканитов. Более того, центры проявления вулканитов с так называемыми «адакитоподобными» характеристиками определенно тяготеют к краевым зонам этих анома-

лий [7]. Адакиты и ассоциирующие с ними магнетиальные андезиты обычно рассматриваются, как возможные петролого-геохимические индикаторы процессов плавления молодой (<25 млн. лет) или более древней, но подвергшейся деструкции и влиянию астеносферной мантии, субдуцируемой океанической плиты [15, 35]. Локальные структурные, тепловые и вещественные аномалии, сопровождающие проявления вулканизма в некоторых островных дугах рассматриваются на основе модели «hot finger» [29] — инъекции астеносферного потока в мантийный клин и подъема отдельных «капель» — диапиров. Однако, если мы имеем сопряженность трёх, казалось бы, независимых друг от друга факторов: пространственное распределение вулканических центров с находками ксенолитов ультрамафитов (трассеры структур вихревого типа), аномалии Sr-изотопных составов и развитие пород «адакитового типа», то для объяснения такой зависимости требуется более универсальная модель.

Структуры вихревого типа являются наиболее общим поверхностным отражением плюмовой геодинамики [1, 6]. Они, по сути дела, являются следствием глубинных процессов теплового, механического и вещественного взаимодействия мантийных плюмов (диапиров) и низов литосферной мантии. Происходит существенная ремобилизация мантийного материала — метасоматическая переработка, вторичная перекристаллизация и плавление, вынос радиогенного стронция. Поверхностное выражение этих процессов мы и наблюдаем на рассмотренных примерах.

Во многих петрологических моделях происхождения островодужного вулканизма присутствие изотопно-геохимического компонента Тихоокеанского MORB-типа является важным аргументом в пользу выводов о связи вулканизма этих регионов с механизмом субдукции тихоокеанской литосферы [13, 24, 32].

Материалы по изотопии свинца и неодима (рис. 1а) свидетельствует о том, что в составе камчатских вулканитов находит своё отражение мантия MORB Индийского (I-MORB), а не Тихоокеанского типа (T-MORB). Подобные выводы можно сделать в отношении Курило-Южно-Охотоморского региона при рассмотрении такой же диаграммы на рис. 1б. Действительно, точки изотопных составов для основных вулканитов среднемиоценового-голоценового возраста о-ва Кунашир, четвертичных вулканов Бараний и Богдана Хмельницкого (о-в Итуруп), образцов драгированных подводных вулканов Курильской котловины располагаются в поле I-MORB. С другой стороны, изотопные характеристики вулканитов Командорско-Алеутской островодужной системы (в возрастном интервале от палеогена до современного) соответствуют уже полю T-MORB. Составы вулканитов Берингоморского бассейна по изотопии свинца разделились — часть их относится к полю I-MORB, а часть — к T-MORB.

Что касается Камчатских базальтоидов, то по своим изотопным характеристикам проявления вулканизма верхнемелового-палеоценового и позднемиоцен-плиоценового возраста также характеризуются участием мантийного источника I-MORB типа (рис. 1б).

Общая картина проявления изотопных аномалий в пределах рассматриваемых регионов представлена на рис. 2. Блок-диаграмма (рис. 3) даёт картину интерпретации наиболее существенных глубинных неоднородностей в виде двух мантийных доменов Индоокеанского и Тихоокеанского типов. Необходимо говорить о существенно разных мантийных источниках, проявившихся в составе вулканитов Курило-Камчатского и Берингоморского регионов, с одной стороны, и Алеутско-Командорского, с другой.

Характеристики различных мантийных доменов начинают проявляться на Камчатке, начиная с верхнемелового, а на Курилах [8] с миоценового времени.

Повышенная радиогенность Sr, высокие отношения $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (при фиксированных значениях $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) большой группы вулканических пород на западной окраине Тихоокеана иногда рассматриваются в рамках известной DUPAL-аномалии Южной гемисферы [18]. Так, модель «DUPAL-подобной» астеносферы была предложена для объяснения особенностей изотопно-геохимического состава вулканитов Восточной Азии и Западной Тихоокеана [17]. Мантийные домены с характеристиками Индоокеанских MORB (I-MORB) были выделены под Ю-З Тихоокеана [14], С-В Японией, Японским и Южно-Китайским морями [19, 30], под островом Кунашир и южной Камчаткой [8]. На основании данных по изотопии Hf и Nd в островодужных вулканитах сделан вывод о наличии мантийного домена «Индийского типа» в Камчатском мантийном клине [26]. В статье [25] приводится схема существования двух разделяющихся по изотопным характеристикам мантийных доменов: Тихоокеанского (внутреннего) и Индоокеанского (внешнего). Граница между этими доменами для северной части Тихоокеана проходит вдоль Японского и Курило-Камчатского желобов, затем по северной части подводного хребта Ширшова, отделяет Командорскую котловину и уходит далее в сторону Северной Америки. При этом она хорошо совпадает с рисовкой подобной границы на рис. 2. Сходная картина для границ этой аномальной зоны была представлена в форме «Тихоокеанской и циркум-Тихоокеанской DUPAL-области» в работе [11].

Авторы по-разному объясняют причины сосуществования этих мантийных источников. По данным [19], обогащенный компонент с характеристиками «DUPAL-аномалии» внедрился в астеносферу под Филиппинской плитой из более глубинной мантии около 60 млн. л. н. Присутствие DUPAL-подобных изотопных составов объясняется также варьирующим притоком мантии Индийского океана

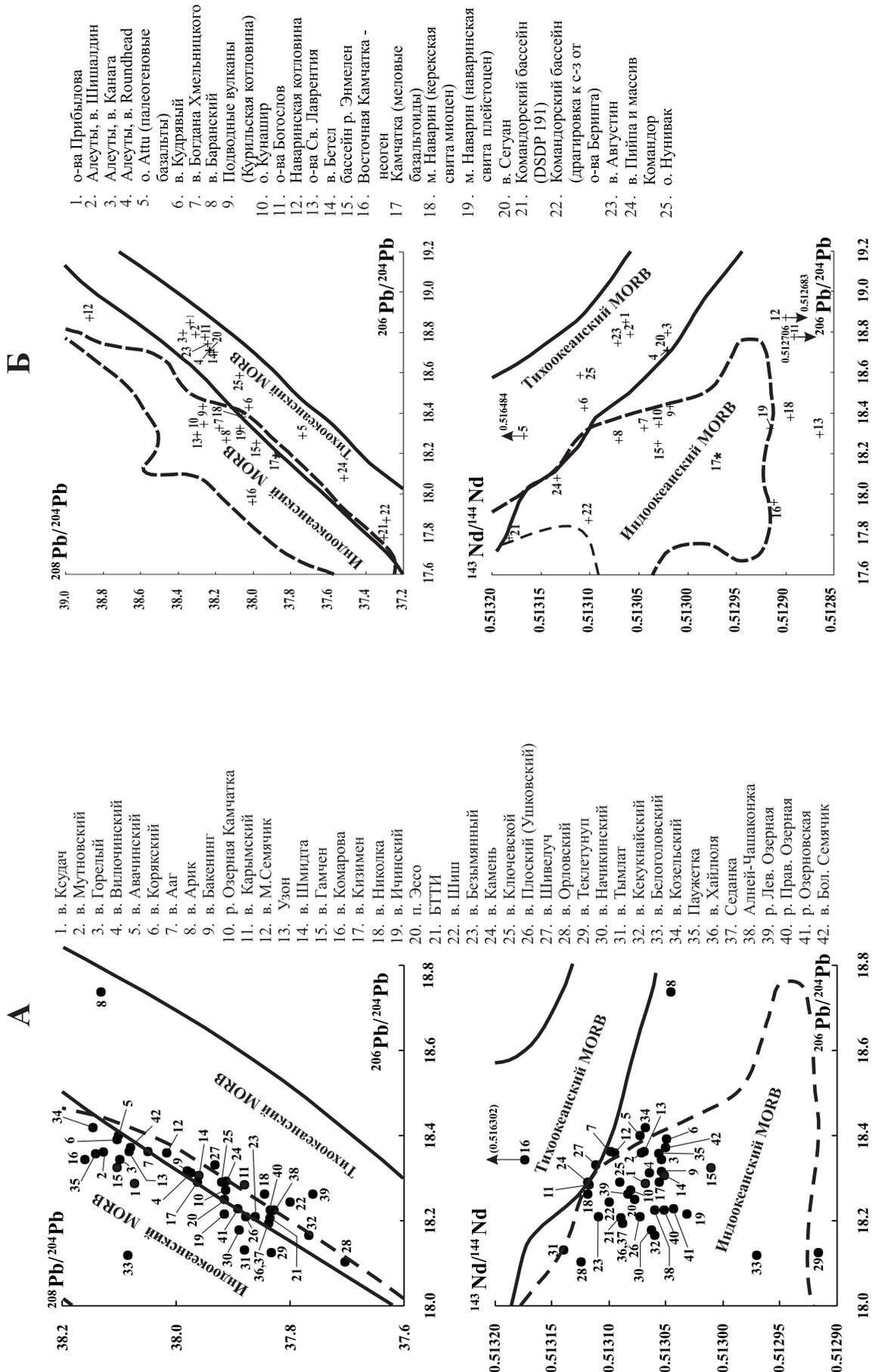


Рис. 1. Соотношение изотопов $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ в четвертичных базальтоидах Камчатского (а), Беринговоморского, Охотоморского регионов, а также верхнемеловых-палеогеновых и миоценовых вулканитов Камчатки (б). Использованы материалы из [3, 9, 10, 12, 21–23, 33–35] и банк данных из [27]. Поля по [20].

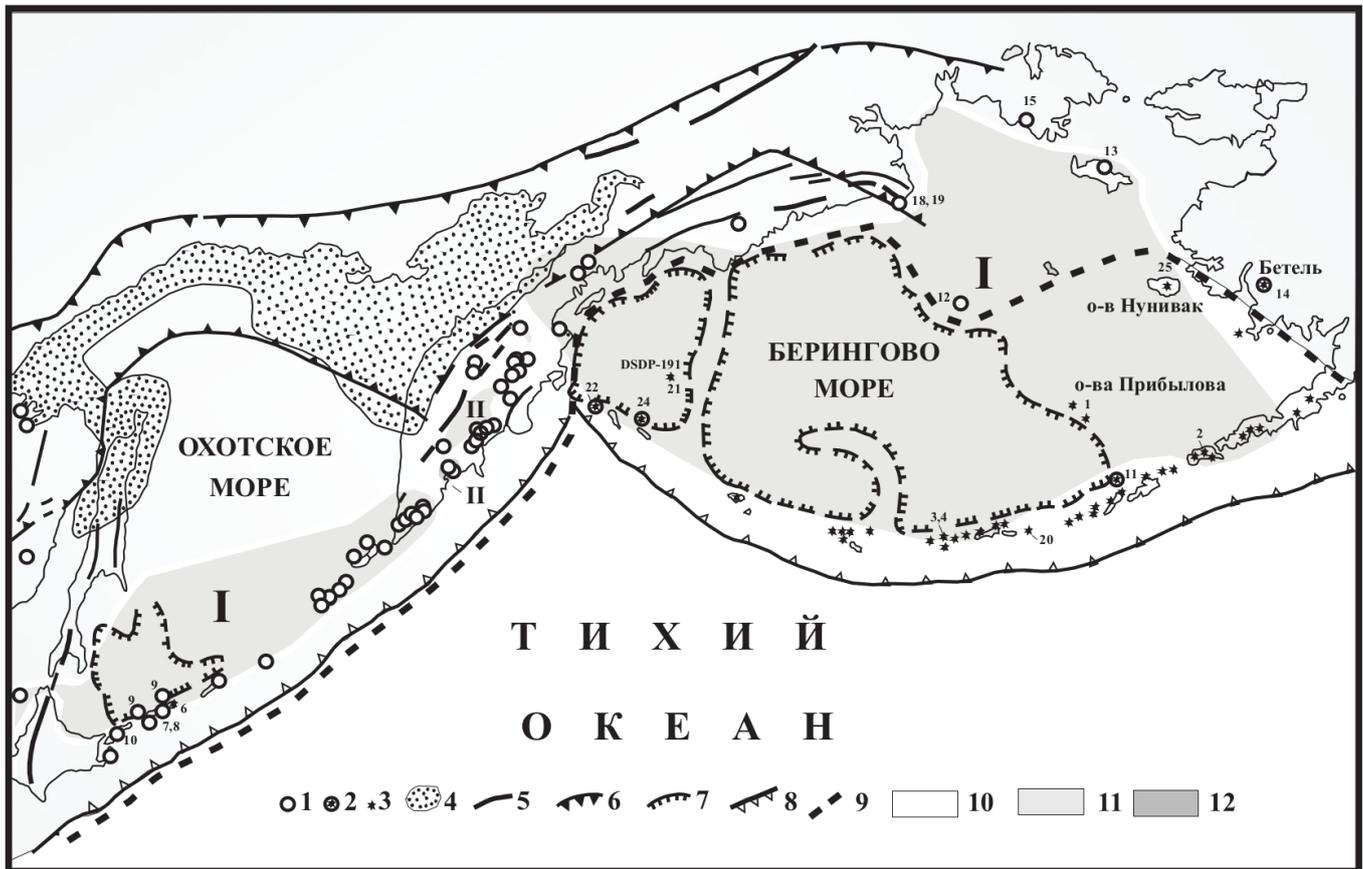


Рис. 2. Характер проявления вулканических пород с различными изотопными составами и локальные изотопные аномалии для Охотоморского, Камчатского и Берингоморского регионов. 1-3 — вулканические центры с мантийными изотопными характеристиками I-MORB (1), промежуточных (2) и T-MORB типов (3); 4 — позднекайнозойские впадины; 5 — тектонические нарушения; 6 — границы Восточно-Азиатского грабенового пояса по [2]; 7 — границы глубоководных впадин; 8 — глубоководные жёлоба; 9 — граница различных мантийных доменов: 10 — тихоокеанского, 11 — индоокеанского типов; 12 — локальные аномалии Sr-изотопного состава [6-7].



Рис. 3. Блок-диаграмма распространения различных мантийных доменов и соответствующих им конвективных ячеек под Курило-Камчатским регионом.

или влиянием эндогенных мантийных плюмов [11, 30]. Sr-изотопные аномалии типа II, по-видимому, являются унаследованными ещё с позднемелового времени, аномалии I-типа наиболее молодые, связанные с образованием глубоководных впадин Охотоморской и Командорской. Наиболее полное объяснение они находят в рамках плюмовой геодинамики [6].

Заключение

1. Проведено обобщение большого объёма материалов по изотопно-геохимическому составу позднекайнозойских вулканитов Курило-Камчатского и Берингоморского регионов.

2. Показано, что под Камчаткой, Курилами и значительной частью Берингоморского бассейна выделяются локальные изотопные аномалии, которые можно рассматривать, как отражение мантийного домена Индоокеанского типа. При этом Командорско-Алеутская островная дуга относится к Тихоокеанскому домену.

3. В пределах Камчатского региона изотопные аномалии отражают существование мантийного домена I-MORB типа, начиная с верхнемелового, а на Курилах — с миоценового времени.

4. Sr-изотопные аномалии в пределах Берингоморского и Южно-Охотоморского бассейнов являются наложенными — более молодыми и соответствуют времени образования этих бассейнов. Возникновение этих локальных аномалий является следствием участия мантийных плюмов в процессах магмогенерации.

5. Следует говорить о глобальной изотопно-геохимической мантийной неоднородности, которая ожерельем окружает континентальную окраину Пацифики, по крайней мере, с позднемелового времени.

6. Длительное пространственно-временное сочетание мантийных доменов Индоокеанского и Тихоокеанского типов может внести существенные коррективы в наши представления о террейновой и субдукционной геодинамике на границе этих доменов.

Список литературы

- Аносов Г.И., Колосков А.В., Флёров Г.Б. Особенности проявления ультрамафитов Камчатского региона с позиций вихревой геодинамики. В сб. «Вихри в геологических процессах». 2004. Петропавловск-Камчатский. С. 129–200
- Варнаровский В.Г., Мальшев Ю.Ф. Восточно-Азиатский грабеновый пояс // Тихоокеанская геология. 1986. №3. С. 3–13
- Вольнец О.Н., Колосков А.В., Ягодзински Дж. М. и др. Бонинитовая тенденция в лавах подводного вулкана Пийпа и его обрамления. (Западная часть Алеутской дуги). 1. Геология, петрохимия, минералогия. // Вулканол. и сейсмол. 1992. № 1. С. 3–23
- Вольнец О.Н., Карпенко С.Ф., Кэй Р.У. и др. Изотопный состав позднеэоценовых К-На щелочных базальтоидов Восточной Камчатки: отражение гетерогенности мантийного источника магм. // Геохимия. 1997. N 10. С. 1005–1018.
- Колосков А.В. Изотопно-геохимическая неоднородность плиоцен-четвертичных вулканитов Камчатки, геометрия субдукционной зоны, модель флюидно-магматической системы // Вулканология и сейсмология. 2001. №6. С. 16–42.
- Колосков А.В. Особенности проявления позднекайнозойского магматизма на Восточно-Азиатской окраине в рамках концепции «вихревой геодинамики». В сб. «100-летие Камчатской экспедиции Русского географического общества 1908–1910 гг.» Петропавловск-Камчатский. 2009. С. 150–158
- Колосков А.В. Ещё раз о мантийных ксенолитах. В сб. «Вулканизм и связанные с ним процессы». Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский. 2011. С. 50–52
- Мартынов Ю.А., Кимура Дж. И., Мартынов А.Ю. и др. Присутствие мантии индийского MORB – типа под Курильской островной дугой: результаты изотопных исследований мафических лав о-ва Кунашир. // Петрология. 2012. Т. 20. № 1. С. 102–110
- Пережёлов А.Б., Татарников С.А., Павлова Л.А. и др. Неб-адакитовый вулканизм Камчатки: новые изотопные геохронологические и минералого-геохимические данные, условия развития. В сб. «Новые горизонты в изучении процессов магматизма и рудообразования». М., 2010. С. 136–137
- Федоров П.И., Колосков А.В., Ляпунов С.М. Геохимия и петрология позднекайнозойских вулканитов мыса Наварин (восток Корякского нагорья). // Геохимия. 1993. №9. С. 1284–1296
- Филатова Н.И. Щелочной вулканизм восточной окраины Евразии, как отражение Тихоокеанского суперплюма. // ДАН. 2002. Т. 383. № 3. С. 378–384
- Akinin V.V., Sobolev A.V., Ntaflou T. et al. Clinopyroxene megacrysts in melanephelinitic volcanoes (Chukchi Peninsula, Russia): application to composition and evolution of mantle melts. // Contrib. Mineral. Petrol. 2005. Vol. 150. P. 85–101
- Churikova T., Dorendorf F., and Woerner G. Sources and fluids in mantle wedge below Kamchatka, evidence from across-arc geochemical variation. // J. Petrology. 2001. 42. P. 1567–1593.
- Crawford A.J., Briquet L., Laporte C. et al. Coexistence of Indian and Pacific upper mantle reservoirs beneath the Central New Hebrides island arc // Geophys. Monogr. 1995. 88.
- Defant M.J., Drummond M.S. Mount St. Helens: potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc // Geology, 1993, Vol. 21. P. 547–550.
- Dorendorf F., Churikova T., Koloskov A. et al. Late Pleistocene to Holocene activity at Bakening volcano and surrounding monogenetic centers (Kamchatka): volcanic geology and geochemical evolution // J. Volcan. Geotherm. Res. 2000, Vol. 104. P. 131–151
- Flower M.F.J., Tamaki K., Hoang N. Mantle extrusion: a model for dispersed volcanism and Dupal-like asthenosphere in East Asia and the West Pacific. In: Flower M.F.J., Chung S.L., Lo C.H., Lee T.Y. (Eds.), Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia. American Geophysical Union, Geodynamics. Series 1998. N. 27. P. 67–88.
- Hart S.R. Heterogeneous mantle domains: signatures, genesis and mixing chronologies // Earth Planet. Sci. Lett. 1988. Vol. 90. P. 273–297.
- Hickey Vargas R. Isotope characteristic of submarine lavas from the Philippine Sea; implication for the origin of arc and basin magmas of the Philippine Sea plate // Earth and Planet. Sci. Lett. 1991. Vol. 107. P. 290–304
- Hofmann A.W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism // Nature. 1997. Vol. 385 (16). P. 219–229
- Kay R.W., Sun S.S., Lee-Hu C.N. Pb and Sr isotopes in volcanic rocks from the Aleutian Islands and Pribilof Islands, Alaska // Geochim. Cosmochim. Acta, 1978. 42. P. 263–273
- Kepezhinskas P.K., Defant M.J., Drummond M.S. Na Metasomatism in the Island-Arc Mantle by Slab Melt-Peridotite Interaction: Evidence from Mantle Xenoliths in the North Kamchatka Arc // J. Petrology. 1995. Vol. 36 (6). P. 1505–1527
- Kepezhinskas P., Mc Dermott F., Defant J. et al. Trace element and Sr-Nd-Pb isotopic constraints on a three-component model of Kamchatka Arc petrogenesis. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1997. Vol. 61. No 3. P. 577–600
- Kersting A.B., Arculus R.J. Pb isotope composition of Klyuchevskoy volcano, Kamchatka and North Pacific sediments: Implications for magma genesis and crystal recycling in the Kamchatkan arc. // Earth Planet. Sci. Lett. 1995. Vol. 135. P. 133–148
- Machida S., Hirano N., Kimura J. Evidence for recycled plate material in Pacific upper mantle unrelated to plumes. // Geochim. Cosmochim. Acta. 2009. Vol. 73. P. 3028–3037.

26. *Munker C., Worner G., Yogodzinski G. et al.* Behaviour of high field strength elements in subduction zones: constraints from Kamchatka-Aleutian arc lavas. // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2004. Vol. 224. P. 275–293
27. *Portnyagin M., Bindeman I., Hoernle K. et al.* Geochemistry of primitive lavas of the Central Kamchatka Depression: Magma generation at edge of the Pacific Plate. In: Eichelberger J., (eds) *Volcanism and tectonics of the Kamchatka peninsula and adjacent arcs.* Geophys Monograph Series. 2007. 172. P. 199–239
28. *Portnyagin M., Savelyev D., Hoernle K. et al.* Mid-Cretaceous Hawaiian Tholeiites preserved in Kamchatka // *Geology.* 2008. Vol. 36. No 11. P. 903–906
29. *Tamura Y., Tani K., Chang Q. et al.* Wet and Dry Basalt MAGMA Evolution at Torishima Volcano, Izu-Bonin Arc, Japan: the Possible Role of Phengite in the Downgoing Slab // *J. Petrology.* 2007. Vol. 48 (10). P. 1999–2031
30. *Tatsumoto M., Nakamura Y.* DUPAL anomaly in the Sea of Japan: Pb, Nd, and Sr-isotopic variations at the eastern Eurasian continental margin // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1991, Vol. 55. P. 3697–3708.
31. *Volynets O.N.* Geochemical Types, petrology and genesis of Late Cenozoic volcanic rocks from the Kurile-Kamchatka island-arc system // *Intern. Geol. Rev.* 1994. Vol. 36. N. 4. P. 373–405
32. *Volynets A., Churikova T., Wörner G. et al.* Mafic Late Miocene – Quaternary volcanic rocks in the Kamchatka back arc region: implications for subduction geometry and slab history at the Pacific-Aleutian junction // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2010. Vol. 159. №5. P. 659–687.
33. *Yogodzinski G. M., Volynets O. N., Koloskov A. V. et al.* Magnesian Andesites and the Subduction Component in a Strongly Calc-Alkaline Series at Piip Volcano, Far Western Aleutians / *J. Petrology.* 1994. 35 (1). P. 163–204.
34. *Yogodzinski G. M., Kay R. W., Volynets O. N. et al.* Magnesian andesite in the western Aleutian Komandorsky region: Implications for slab melting and processes in the mantle wedge. *GSA Bulletin*; 1995. Vol. 107. NO 5. P. 505–519
35. *Yogodzinski G. M., Lee J. M., Churikova T. G. et al.* Geochemical evidence for the melting of subducting oceanic lithosphere at plate edges. // *Nature.* 2001. Vol. 409. P. 500–504