



<https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-2-0239>

## MINGLING PROCESSES IN THE EARTH'S CRUST: GEOLOGICAL OBSERVATIONS AND MATHEMATICAL SIMULATION

A. G. Vladimirov<sup>1, 2, 3</sup>, V. G. Vladimirov<sup>1, 2</sup>, O. P. Polyansky<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup> Tomsk State University, Tomsk, Russia

**Abstract:** This issue of *Geodynamics & Tectonophysics* presents the state-of-the-art studies of mingling processes and investigations of the interactions between the mafic and acidic melts of contrasting compositions at various depths of the Earth's crust. The diagnostic features and the genesis of magmatic and synmetamorphic mingling are discussed with respect to the reference objects of Altaides and Uralides. Several papers report on the results of mathematical simulation used to discover the mechanism for lifting the high-density basite inclusions in a chamber or a dyke filled with salic magma. This special issue is intended for researchers and specialists in geology, petrology and geodynamics of magmatic processes in the crust, as well as for lecturers, post-graduate students and university students.

**Key words:** magmatic and synmetamorphic mingling; dynamics of interactions between mantle and crust; Central Asia

## МИНГЛИНГ-ПРОЦЕССЫ В ЗЕМНОЙ КОРЕ: ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А. Г. Владимиров<sup>1, 2, 3</sup>, В. Г. Владимиров<sup>1, 2</sup>, О. П. Полянский<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Томский государственный университет, Томск, Россия

### INTRODUCTION TO SPECIAL ISSUE

Recommended by E.V. Sklyarov

Received: May 17, 2017

Revised: May 22, 2017

Accepted: May 30, 2017

**For citation:** Vladimirov A.G., Vladimirov V.G., Polyansky O.P., 2017. Mingling processes in the Earth's crust: geological observations and mathematical simulation. *Geodynamics & Tectonophysics* 8 (2), 217–222. doi:10.5800/GT-2017-8-2-0239.

**Для цитирования:** Владимиров А.Г., Владимиров В.Г., Полянский О.П. Минглинг-процессы в земной коре: геологические наблюдения и математическое моделирование // *Геодинамика и тектонофизика*. 2017. Т. 8. № 2. С. 217–222. doi:10.5800/GT-2017-8-2-0239.

**Аннотация:** Специальный выпуск журнала *Geodynamics & Tectonophysics* отражает современный уровень исследований минглинг-процессов, свидетельствующий о взаимодействии контрастных по составу базитовых и кислых расплавов на разноглубинных уровнях земной коры. На примере эталонных объектов алтаид и уралид рассмотрены диагностические признаки и генезис магматического и синметаморфического минглинга. На основе математического моделирования предложен механизм подъема высокоплотных базитовых включений в камеру или дайке, заполненной салической магмой. Спецвыпуск предназначен для специалистов в области геологии, петрологии и геодинамики магматических процессов в земной коре, а также для преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

**Ключевые слова:** магматический и синметаморфический минглинг; динамика взаимодействия мантии и коры; Центральная Азия

При взаимодействии базитовой и гранитоидной магм, как правило, одновременно протекают два процесса – химическое взаимодействие магм (миксинг) и механическое смешение (минглинг). Структуры механического взаимоотношения двух расплавов получили название минглинга, а сами тела – комбинированных или минглинг-даек и сетчатожильных (net-veined) интрузий. Проблема смешения контрастных по составу базитовых и кислых расплавов неоднократно привлекала внимание исследователей [Wiebe, 1973; Gamble, 1979; Marshall, Sparks, 1984; Furman, Spera, 1985; Frost, Mahood, 1987; Cook, 1988; Huppert, Sparks, 1988; Didier, Barbarin, 1991; Litvinovsky et al., 1995, 2017; Nardi, de Lima, 2000; Fedorovsky et al., 2003; Perugini, Poli, 2005; Dokukina, Vladimirov, 2005; Sklyarov, Fedorovskii, 2006]. Первые систематические описания минглинг-процессов, представленные в виде петрологических моделей, приведены в работах [Wager, Bailey, 1953; Eberz, Nicholls, 1990; Holden et al., 1991]. При этом решающим критерием сосуществования расплавов являлись магматические (офитовые и габбро-офитовые) структуры в мафических включениях, что характерно для гипабиссальной и близповерхностной фаций глубинности. Не случайно основной объем публикаций, посвященный минглинг-процессам и минглинг-структурам в магматических телах, акцентирован именно на дайковых образованиях, связанных с известково-щелочными и субщелочными вулканоплутоническими сериями современных активных континентальных окраин. На более глубинных уровнях земной коры магматические структуры в мафических включениях, как правило, стираются или находятся в реликтовой форме. Вместе с тем общий структурный план минглинг-даек и сетчатых интрузий остается неизменным, что впервые было продемонстрировано для саурской габбро-гранитной серии в Восточном Казахстане [Ermolov et al., 1977] и Ангаро-Витимского батолита в Забайкалье [Litvinovsky et al., 1995].

В пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса за прошедшие двадцать пять лет были выявлены многочисленные примеры и детально охарактеризованы синплутонические дайки, сетчатые интрузии, монцонитоидные и щелочные массивы, насыщенные мафическими включениями («гибридные» гранитоиды). В большинстве случаев они участвуют в строении гранитоидных батолитов мезоабиссальной фации глубинности. Признаки мантийно-корового взаимодействия, связанного с внедрением базит-ультрабазитовых расплавов и подплавлением метаморфических толщ в условиях гранулитовой фации, позволили охарактеризовать новое явление и выделить особый класс пород – «синметаморфический магма-минглинг» [Sklyarov et al., 2001; Sklyarov, Fedorovskii, 2006; Vladimirov A. et al., 2017]. Таким образом, можно считать доказанным, что процессы механического смешения расплавов повсеместно фиксируются на разноглубинных уровнях земной коры и могут рассматриваться как прямой индикатор мантийно-корового взаимодействия.

Обсуждение этих проблем в рамках «круглого стола» было проведено на третьей международной научной конференции «Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения» (Новосибирск, ИГМ – ИНГГ СО РАН, 29 марта – 1 апреля 2016 г.). Итогом этих обсуждений является специальный выпуск журнала *Geodynamics & Tectonophysics*. Представленные в нем статьи можно условно разделить на три взаимосвязанных раздела.

**Первый раздел** включает цикл статей, в которых приведены конкретные региональные примеры минглинг-процессов, протекавших на разноглубинных уровнях земной коры. Для абиссальной фации глубинности охарактеризованы особенно-сти внедрения базитовых расплавов в гранулитовые толщи, их подплавление и «метаморфический магма-минглинг» [Vladimirov A. et al., 2017]. Для

мезоабиссальной фации глубинности рассмотрены характеристики минглинг-процессов и минглинг-структур, связанных с формированием массивов щелочных пород Забайкалья [Rampilov et al., 2017] и гранитоидных батолитов Тувы, Алтая и Урала [Vladimirov V. et al., 2017; Khromykh et al., 2017; Kallistov, Osunova, 2017].

Анализ этих статей показывает, что текстурно-структурные отличия комбинированных даек и разнообразие моделей, предложенных исследователями для объяснения их формирования, подразумевают широкий спектр условий и обстановок взаимодействия контрастных по составу расплавов, начиная от активности тектонических процессов, глубинности и строения земной коры и заканчивая длительностью консолидации расплавов, их составом и флюидонасыщенностью.

Особое место в этом цикле статей занимают детальные исследования гранитоидных ксенолитов в контакте с щелочно-базитовой магмой на гипабиссальном уровне глубинности [Khubanov et al., 2017]. Эти исследования показывают активную роль щелочно-хлоридного и/или щелочно-углекислого флюида, выделявшегося из кристаллизующейся вмещающей щелочно-основной магмы и в конечном итоге приводящего к формированию аномальных по составу ультракалиевых кремнекислых расплавов. Эти исследования, по существу, представляют собой природный эксперимент многоуровневой системы взаимодействия расплавов (базитовая магма → подплавление ксенолитов → ультракалиевые кремнекислые расплавы).

**Второй раздел** представлен статьей [Buyantuev et al., 2017], в которой рассмотрены методические особенности U-Pb LA-ICP-MS датирования цирконов в контрастных по составу бимодальных сериях и подтверждает субсинхронность сосуществования базитовых и кремнекислых расплавов. Термохронологический подход, основанный на U-Pb и Ar-Ar

датировании, описан в статье [Vladimirov V. et al., 2017], в которой синплутонические комбинированные дайки рассматриваются как независимые геологические критерии для тестирования минералов-геохронометров.

**Третий раздел**, завершающий спецвыпуск, посвящен первой попытке математического моделирования динамики взаимодействия контрастных по составу расплавов на глубинных уровнях земной коры [Polyansky et al., 2017]. Разработана численная термомеханическая модель процессов магматического минглинга, учитывающая многофазное взаимодействие разных по составу и свойствам расплавов. На основе моделирования предложен механизм подъема высокоплотных базитовых включений в камере или дайке, заполненной салической магмой, путем гравитационного всплывания менее плотных водонасыщенных расплавов во вмещающей гранитной магме, охлажденной и потерявшей летучие компоненты.

В целом, спецвыпуск журнала *Geodynamics & Tectonophysics* отражает современное состояние исследований минглинг-процессов в земной коре, неоспоримо свидетельствующее о взаимодействии контрастных по составу расплавов на ее разноглубинных уровнях и представляющее собой необходимый задел для будущих исследований в петрологии, геохимии и геодинамике этих природных явлений.

Финансовая поддержка исследований, результаты которых изложены в статьях, осуществлялась Российским фондом фундаментальных исследований (проекты № 14-05-00747, 14-05-00712, 14-05-04156, 14-05-00498, 15-35-08843, 16-05-01011, 17-05-00275, 17-05-00848) и Российским научным фондом (проект № 15-17-10010), а подготовка статей к спецвыпуску стала возможной благодаря финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 5.1688.2017/ПЧ).

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Buyantuev M.D., Khubanov V.B., Vrublevskaya T.T., 2017. U-Pb LA-ICP-MS dating of zircons from subvolcanics of the bimodal dyke series of the Western Transbaikalia: Technique, and evidence of the Late Paleozoic extension of the crust. *Geodynamics & Tectonophysics* 8 (2), 369–384 (in Russian) [Буянтуев М.Д., Хубанов В.Б., Врублевская Т.Т. U-Pb LA-ICP-MS датирование цирконов из субвулканитов бимодальной дайковой серии Западного Забайкалья: методика, свидетельства позднепалеозойского растяжения земной коры // *Геодинамика и тектонофизика*. 2017. Т. 8. № 2. С. 369–384]. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-2-0246>.
- Cook N.D.J., 1988. Diorites and associated rocks in the Anglem Complex at The Neck, northeastern Stewart Island, New Zealand: an example of magma mingling. *Lithos* 21 (4), 247–262. [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(88\)90031-X](https://doi.org/10.1016/0024-4937(88)90031-X).
- Didier J., Barbarin B., 1991. Enclaves and granite petrology. In: *Developments in petrology*, vol. 13. Elsevier, Amsterdam – Oxford – New York – Tokio, p. 545–549.
- Dokukina K.A., Vladimirov V.G., 2005. Tectonic fragmentation of basaltic melt. *Doklady Earth Sciences* 401 (2), 182–186.
- Eberz G.W., Nicholls I.A., 1990. Chemical modification of enclave magma by post-emplacement crystal fractionation, diffusion and metasomatism. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 104 (1), 47–55. <https://doi.org/10.1007/BF00310645>.

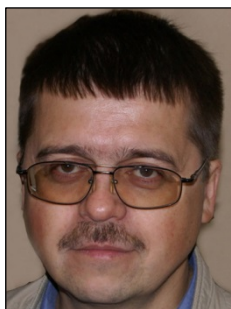
- Ermolov P.V., Izokh E.P., Ponomareva A.P., Tyan V.D., 1977. Gabbro-Granite Intrusive Series of Western Zaisan Fold System. Nauka Publishing House. Siberian Branch, Novosibirsk, 245 p. (in Russian) [Ермолов П.В., Изох Э.П., Пономарева А.П., Тянь В.Д. Габбро-гранитные серии западной части Зайсанской складчатой системы. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1977. 245 с.].
- Fedorovsky V.S., Khromykh S.V., Sukhorukov V.P., Kuibida M.L., Vladimirov A.G., Sklyarov E.V., Dokukina K.A., Chamov S.N., 2003. Metamorphic mingling (a new type of mingling structure). In: Tectonics and geodynamics of continental crust. Proceedings of the XXXVI Tectonic conference. GEOS, Moscow, vol. II, p. 255–259 (in Russian) [Федоровский В.С., Хромых С.В., Сухоруков В.П., Куйбида М.Л., Владимиров А.Г., Скляров Е.В., Докукина К.А., Чамов С.Н. Метаморфический минглинг (новый тип минглинг-структур) // Тектоника и геодинамика континентальной литосферы: Материалы XXXVI Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2003. Т. II. С. 255–259].
- Frost T.P., Mahood G.A., 1987. Field, chemical, and physical constraints on mafic-felsic magma interaction in the Lamarck Granodiorite, Sierra Nevada, California. *Geological Society of America Bulletin* 99 (2), 272–291. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1987\)99<272:FCAPCO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1987)99<272:FCAPCO>2.0.CO;2).
- Furman T., Spera F.J., 1985. Co-mingling of acid and basic magma with the implications for the origin of mafic I-type xenoliths: field and petrochemical relations of an unusual dike complex at Eagle Lake, Sequoia National Park, California, USA. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 24 (1–2), 151–178. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(85\)90031-9](https://doi.org/10.1016/0377-0273(85)90031-9).
- Gamble J.A., 1979. Some relationships between coexisting granitic and basaltic magmas and the genesis of hybrid rocks in the tertiary central complex of Slieve Gullion, Northeast Ireland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 5 (3–4), 297–316. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(79\)90021-0](https://doi.org/10.1016/0377-0273(79)90021-0).
- Holden P., Halliday A.N., Stephens W.E., Henney P.J., 1991. Chemical and isotopic evidence for major mass transfer between mafic enclaves and felsic magma. *Chemical Geology* 92 (1–3), 135–152. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(91\)90053-T](https://doi.org/10.1016/0009-2541(91)90053-T).
- Huppert H.E., Sparks S.J., 1988. The generation of granitic magmas by intrusion of basalt into continental crust. *Journal of Petrology* 29 (3), 599–624. <https://doi.org/10.1093/petrology/29.3.599>.
- Kallistov G.A., Osipova T.A., 2017. Geology and geochemistry of synplutonic dykes in the Chelyabinsk granitoid massif, South Urals. *Geodynamics & Tectonophysics* 8 (2), 331–345 (in Russian) [Каллистов Г.А., Осипова Т.А. Геология и геохимия синплутонических даек в Челябинском гранитоидном массиве (Южный Урал) // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 2. С. 331–345]. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-2-0244>.
- Khromykh S.V., Burmakina G.N., Tsygankov A.A., Kotler P.D., Vladimirov A.G., 2017. Interactions between gabbroid and granitoid magmas during formation of the Preobrazhensky intrusion, East Kazakhstan. *Geodynamics & Tectonophysics* 8 (2), 311–330 (in Russian) [Хромых С.В., Бурмакина Г.Н., Цыганков А.А., Котлер П.Д., Владимиров А.Г. Взаимодействие габброидной и гранитоидной магм при формировании Преображенского интрузива, Восточный Казахстан // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 2. С. 311–330]. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-2-0243>.
- Khubanov V.B., Vrublevskaya T.T., Tsygankov A.A., Vladimirov A.G., Buyantuev M.D., Sokolova E.N., Posokhov V.F., Khromova E.A., 2017. Melting conditions of granitoid xenoliths in contact with alkaline mafic magma (Gusinozerskaya dyke, Western Transbaikalia): to the problem of the origin of ultrapotassic acid melts. *Geodynamics & Tectonophysics* 8 (2), 347–368 (in Russian) [Хубанов В.Б., Врублевская Т.Т., Цыганков А.А., Владимиров А.Г., Буянтуев М.Д., Соколова Е.Н., Посохов В.Ф., Хромова Е.А. Условия плавления гранитоидных ксенолитов в контакте со щелочно-базитовой магмой (Гусиноозерская дайка, Западное Забайкалье): к проблеме происхождения ультракалиевых кислых расплавов // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 2. С. 347–368]. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-2-0245>.
- Litvinovsky B.A., Zanzvilevich A.N., Lyapunov S.M., Bindeman I.N., Davis A.M., Kalmanovich M.A., 1995. Model of composite basite-granitoid dike generation (Shaluta Pluton, Transbaikalia). *Geologiya i Geofizika (Russian Geology and Geophysics)* 36 (7), 3–22 (in Russian) [Литвиновский Б.А., Занвилевич А.Н., Ляпунов С.М., Биндеман И.Н., Дэвис А.М., Калманович М.А. Условия образования комбинированных базит-гранитных даек (Шалутинский массив, Забайкалье) // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 7. С. 3–22].
- Litvinovsky B.A., Zanzvilevich A.N., Wickham S.M., Jahn B.M., Vapnik Y., Kanakin S.V., Karmanov N.S., 2017. Composite dikes in four successive granitoid suites from Transbaikalia, Russia: The effect of silicic and mafic magma interaction on the chemical features of granitoids. *Journal of Asian Earth Sciences* 136, 16–39. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2016.12.037>.
- Marshall L.A., Sparks R.S.J., 1984. Origin of same mixed-magma and net-vented ring intrusions. *Journal of the Geological Society* 141 (1), 171–182. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.141.1.0171>.
- Nardi L.V.S., de Lima E.F., 2000. Hybridisation of mafic microgranular enclaves in the Lavras Granite Complex, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 13 (1–2), 67–78. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(00\)00006-7](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(00)00006-7).
- Perugini D., Poli G., 2005. Viscous fingering during replenishment of felsic magma chambers by continuous input of mafic magmas: Field evidence and fluid-mechanics experiment. *Geology* 33 (1), 5–8. <https://doi.org/10.1130/G21075.1>.
- Polyansky O.P., Semenov A.N., Vladimirov V.G., Karmysheva I.V., Vladimirov A.G., Yakovlev V.A., 2017. Numerical simulation of magma mingling (case of Bayankol gabbro-granite series, Sangilen, Tuva). *Geodynamics & Tectonophysics* 8 (2), 385–403 (in Russian) [Полянский О.П., Семенов А.Н., Владимиров В.Г., Кармышева И.В., Владимиров А.Г.,

- Яковлев В.А. Численная модель магматического минглинга (на примере Баянкольской габбро-гранитной серии, Сангилен, Тува) // *Геодинамика и тектонофизика*. 2017. Т. 8. № 2. С. 385–403]. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-2-0247>.
- Rampilov M.O., Ripp G.S., Lastochkin E.I., Izbrodin I.A., 2017. Mafic inclusions and mingling structures in aplites of the Oshurkov massif (Western Transbaikalia). *Geodynamics & Tectonophysics* 8 (2), 269–281 (in Russian) [Рампилов М.О., Рипп Г.С., Ласточкин Е.И., Избродин И.А. Мафические включения и минглинг-структуры в аплитах Ошурковского массива (Западное Забайкалье) // *Геодинамика и тектонофизика*. 2017. Т. 8. № 2. С. 269–281]. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-2-0241>.
- Sklyarov E.V., Fedorovskii V.S., 2006. Magma mingling: Tectonic and geodynamic implications. *Geotectonics* 40 (2), 120–134. <http://dx.doi.org/10.1134/S001685210602004X>.
- Sklyarov E.V., Fedorovskii V.S., Gladkochub D.P., Vladimirov A.G., 2001. Synmetamorphic basic dikes as indicators of collision structure collapse in the Western Baikal region. *Doklady Earth Sciences* 381 (9), 1028–1033.
- Vladimirov A.G., Mekhonoshin A.S., Khromykh S.V., Mikheev E.I., Travin A.V., Volkova N.I., Kolotilina T.B., Davydenko Yu.A., Borodina E.V., Khlestov V.V., 2017. Mechanisms of mantle-crust interaction at deep levels of collision orogens (case of the Olkhon region, West Pribaikalia). *Geodynamics & Tectonophysics* 8 (2), 223–268 (in Russian) [Владимиров А.Г., Мехоношин А.С., Хромых С.В., Михеев Е.И., Травин А.В., Волкова Н.И., Колотилина Т.Б., Давыденко Ю.А., Бородина Е.В., Хлестов В.В. Динамика мантийно-корового взаимодействия на глубинных уровнях коллизионных орогенов (на примере Ольхонского региона, Западное Прибайкалье) // *Геодинамика и тектонофизика*. 2017. Т. 8. № 2. С. 223–268]. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-2-0240>.
- Vladimirov V.G., Karmysheva I.V., Yakovlev V.A., Travin A.V., Tsygankov A.A., Burmakina G.N., 2017. Thermochronology of mingling dykes in West Sangilen (South-East Tuva, Russia): evidence of the collapse of the collisional system in the north-western edge of the Tuva-Mongolia massif. *Geodynamics & Tectonophysics* 8 (2), 283–310 (in Russian) [Владимиров В.Г., Кармышева И.В., Яковлев В.А., Травин А.В., Цыганков А.А., Бурмакина Г.Н. Термохронология минглинг-даек Западного Сангилена (Юго-Восточная Тува): свидетельства развала коллизионной системы на северо-западной окраине Тувино-Монгольского массива // *Геодинамика и тектонофизика*. 2017. Т. 8. № 2. С. 283–310]. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-2-0242>.
- Wager L.R., Bailey E.B., 1953. Basic magma chilled against acid magma. *Nature* 172 (4367), 68–69. <https://doi.org/10.1038/172068a0>.
- Wiebe R.A., 1973. Relations between coexisting basaltic and granitic magmas in a composite dike. *American Journal of Science* 273 (2), 130–151. <https://doi.org/10.2475/ajs.273.2.130>.



**Владимиров Александр Геннадьевич**, докт. геол.-мин. наук, г.н.с., профессор  
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН  
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия  
Новосибирский государственный университет  
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия  
Томский государственный университет  
634050, Томск, просп. Ленина, 50, Россия  
e-mail: [vladimir@igm.nsc.ru](mailto:vladimir@igm.nsc.ru)

**Vladimirov, Aleksander G.**, Doctor of Geology and Mineralogy, Chief Researcher, Professor  
V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS  
3 Academician Koptyug ave, Novosibirsk 630090, Russia  
Novosibirsk State University  
2 Pirogov street, Novosibirsk 630090, Russia  
Tomsk State University  
50 Lenin ave, Tomsk 634050, Russia  
e-mail: [vladimir@igm.nsc.ru](mailto:vladimir@igm.nsc.ru)



**Владимиров Владимир Геннадьевич**, канд. геол.-мин. наук, с.н.с.  
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН  
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия  
Новосибирский государственный университет  
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия  
e-mail: [vvg@igm.nsc.ru](mailto:vvg@igm.nsc.ru)

**Vladimirov, Vladimir G.**, Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Researcher  
V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS  
3 Academician Koptyug ave, Novosibirsk 630090, Russia  
Novosibirsk State University  
2 Pirogov street, Novosibirsk 630090, Russia  
e-mail: [vvg@igm.nsc.ru](mailto:vvg@igm.nsc.ru)



**Полянский Олег Петрович**, докт. геол.-мин. наук, зав. лабораторией  
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН  
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия  
Новосибирский государственный университет  
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия  
e-mail: [pol@igm.nsc.ru](mailto:pol@igm.nsc.ru)

**Polyansky, Oleg P.**, Doctor of Geology and Mineralogy, Head of Laboratory  
V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS  
3 Academician Koptyug ave, Novosibirsk 630090, Russia  
Novosibirsk State University  
2 Pirogov street, Novosibirsk 630090, Russia  
e-mail: [pol@igm.nsc.ru](mailto:pol@igm.nsc.ru)