

УДК 553.068.5:549.517.1:549.514.81:54.027

НОВЫЕ ИЗОТОПНЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКОГО ВОЗРАСТА И МАНТИЙНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ ЦИРКОНОВ И КОРУНДОВ ИЗ РОССЫПЕЙ ПРИМОРЬЯ

© 2009 г. В. П. Нечаев, Е. В. Нечаева, А. А. Чашин,
С. В. Высоцкий, И. Т. Грахам, Ф. Л. Сазерленд

Представлено академиком А.И. Ханчуком 10.02.2009 г.

Поступило 20.02.2009 г.

В работе делается попытка проверить и подтвердить “мантийно-базальтовую” природу сапфиров (корундов) и гиацинтов (цирконов) из приморских россыпей и тем самым подвести черту дискуссии об их магматическом источнике. Указанные минералы впервые были найдены в аллювиальных золотоносных россыпях северного Приморья (бассейн р. Кедровка) в 1970-х годах (рис. 1). С тех пор они интенсивно изучаются. В результате были найдены их новые проявления в речных отложениях на Шкотовском плато базальтов [1, 2]. Большинство исследователей придерживаются гипотезы о генетической связи обломочных сапфиров и гиацинтов с позднекайнозойскими внутриплитными базальтоидами мантийной природы [1–6]. Другие же связывают их с ранне-среднемеловыми гранитоидами, образованными в результате плавления континентальной земной коры [7, 8].

“Базальтовая” гипотеза аргументирована следующим.

1. Приморские сапфиры и гиацинты не уникальны. Сотни их россыпей располагаются в областях дренирования мезо-кайнозойских внутриплитных базальтоидов, поля которых широко распространены в восточной Австралии, а также в юго-восточной, восточной и центральной Азии.

2. В некоторых из этих полей пространственная связь корундов и цирконов с указанным магматическим комплексом подтверждается прямыми находками этих минералов в базальтах и их вулканокластике, а также корреляцией изотопного возраста обломочных цирконов (в том числе из

сингенетичных включений в сапфире) и ближайших базальтоидов [6].

3. В Приморье корунд и циркон совместно найдены в зернах размером до 2 мм в щелочно-базальтовых туфах вулканов Подгелбаночный (Шкотовское плато) и Конфетка (Маревский район) (рис. 1) [5]. Кроме того, мегакристы циркона размером до 5 мм были найдены в базальтах Маревского и Шкотовского районов.

4. Подавляющее большинство микрозондовых анализов корундов из приморских россыпей характеризуется повышенной примесью железа и пониженной титана, четко попадая в “базальтовое” поле на дискриминационных диаграммах, обобщающих многочисленные данные по благородным корундам со всего мира [5]. Следы магматического растворения на поверхности из зерен и окраска обломочных корундов в сине-желто-бурых тонах (BGY suite) также соответствуют базальтовому происхождению этой минеральной ассоциации.

5. В корунде из россыпей Маревского и Шкотовского районов обнаружены вкрапленники колумбитов–танталитов, ильменита, магнетита, оксидов железа и титана, анортклаза, альбита, циркона, апатита, флюорита и глиноземистой шпинели. Эти же минералы, за исключением колумбитов–танталитов, найдены в щелочных базальтоидах и их туфах [5]. Колумбиты и танталиты считаются типичными вкрапленниками в корундах “базальтового” происхождения [9].

6. В обломочных корундах изучены также первичные расплавные включения фонолитового состава, интерпретирующиеся как остаточные, образованные в эволюционирующем щелочно-базальтовом расплаве. Средой, генерирующей мегакристаллы корунда и циркона, предполагается углекислый, богатый натрием и хлором флюид, производный от щелочно-базальтовой магмы, или трансмагматический, взаимодействующий с базальтовой магмой [5].

Дальневосточный геологический институт
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Владивосток
School of Biological, Earth and Environmental
Sciences, University of New South Wales, Sydney, Australia
Geoscience, Australian Museum, Sydney, Australia

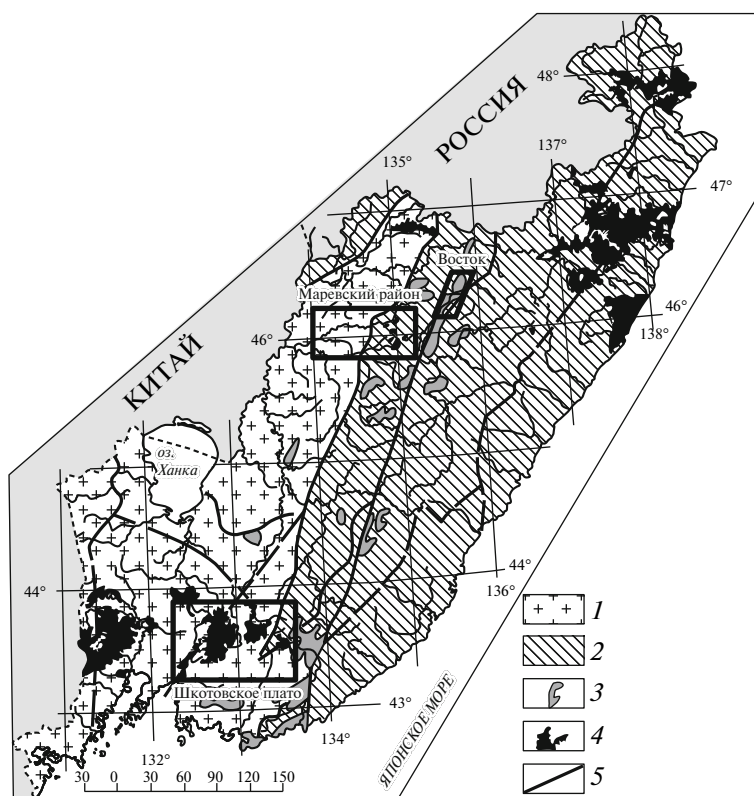


Рис. 1. Районы массовых находок обломочных сапфиров и гиацинтов и области распространения их вероятных магматических источников на геотектонической схеме Приморья. 1 — палеозойские террейны; 2 — мезозойские террейны; 3 — ранне-среднемеловые гранитоиды; 4 — позднекайнозойские базальтоиды; 5 — главные разломы.

Авторы “гранитной” гипотезы связывают минерализацию сапфиров и гиацинтов Приморья с гранитоидами S-типа, принадлежащими к ранне-среднемеловому Хунгари-Татибинскому плутоническому поясу [7, 8, 10], однако вопрос глобальной или региональной сапфи́ро-гиацинтоносности этой магматической формации не затрагивают. Основанием их предположения служит то, что микрозерна корунда и циркона найдены в граносиенит-порфирах, мусковитизированных гранитах и грейзенизированных гранит-порфирах в непосредственной близости от золото-сапфир-цирконовой россыпи Незаметное в Маревском районе [7, 8]. В корунде из россыпей этого района микронзондовым анализом обнаружены вкрапленники колумбита, альбита, циркона, цинксо­держащей шпинели, рутила, флюорита и монацита. Эти минералы обнаружены также среди аксессуариев упомянутых выше гранитов. В обломочных корундах, кроме того, определены и детально изучены первичные расплавные и флюидные включения. Состав прогретых стекол из флюидных включений расценен как граносиенитовый. Мегакристаллы корунда и циркона, как предполагается, кристаллизовались из флюидонасыщенного граносиенитового расплава, обогащенного углекис-

лотой, фосфором и хлором при дефиците воды во флюидной фазе, в интервале температур 780–820°C и давлений 1.7–3 кбар [7, 8].

Как видно, приведенные гипотезы имеют общие черты: обе придают большое значение углекислому с галогенами флюиду, источник которого не ясен. Существенным расхождением является лишь интерпретация связи корунд-цирконовой минерализации с магматическим комплексом: в одном случае предполагаются коровые гранитоиды ранне-среднемелового возраста (95–140 млн. лет [10]), а в другом — мантийные базальтоиды позднекайнозойского возраста (15 млн. лет и менее [11]). Для однозначного решения проблемы необходимы более прямые свидетельства происхождения корундов и цирконов. Данные об изотопах способны, с одной стороны, определить возраст источника вещества, а с другой — его природу и, таким образом, обеспечить необходимые свидетельства. К сожалению, прямо датировать корунд пока невозможно, но циркон для этого очень благоприятный объект. Он поддается U–Pb-датированию, включая SHRIMP (ионное микронзондирование) и трековый анализ (Fission Track Analysis — FTA). Мы использовали FTA как базовый анализ, указывающий на время послед-

Таблица 1. Датировки и изотопный состав кислорода цирконов и корундов Приморья

Место отбора	Минерал	Метод	Возраст, млн. лет	$\delta^{18}\text{O}$ SMOW, ‰
Маревский сапфиросный район (бассейн р. Кедровка)				
Руч. Надуманный	Циркон	FTA	7.5 ± 1.9 (1 зерно)	4.6 ± 0.2
То же	То же	FTA	14.6 ± 0.5 (19 зерен)	
»	»			4.6 ± 0.2
Низовье р. Кедровка	Корунд			5.5 ± 0.2
Шкотовское плато (бассейны рек Арсеньевка и Стеглянуха)				
Руч. Подгелбаночный	Циркон	SHRIMP	11.2 ± 0.2 [13]	
То же	То же	SHRIMP	11.6–11.1	
»	»	FTA	12.1 ± 0.5	
»	»			4.2 ± 0.2
»	Корунд			5.5 ± 0.2 [12]
»	То же			6.4 ± 0.2 [12]
Руч. Левый Золотой	Циркон	FTA	11.1 ± 0.5	
То же	То же			6.0 ± 0.2
»	Корунд			6.3 ± 0.2
»	То же			6.5 ± 0.2
Руч. Левый Горбатов	Циркон			5.1 ± 0.2

него интенсивного прогрева минерала, т.е. извержения магмы, и SHRIMP, фиксирующий время кристаллизации циркона, для заверки трековых определений (табл. 1). В дополнение использованы данные об изотопном составе кислорода корундов и цирконов, указывающие на среду кристаллизации минералов [12]. Все трековые анализы выполнены в лаборатории Geotrack International (Австралия), а определения изотопного состава кислорода — в лаборатории изотопных исследований ДВГИ ДВО РАН. Ионное микрозондирование (SHRIMP) цирконов руч. Подгелбаночного выполнено в Стенфордском университете (США) [13] и Австралийском национальном университете. Проанализированные зерна циркона и корунда были отмыты лотками и мобильными промывочными установками из современного аллювия двух известных в настоящее время сапфиросных районов Приморья: Маревского (бассейны рек Маревка и Кедровка) и Шкотовского (верховья рек Арсеньевка и Стеглянуха) (рис. 1, табл. 1).

На рис. 2 полученные данные сопоставляются с изотопными характеристиками магматических пород Приморья — вероятных источников рассматриваемой минерализации, а также типовыми значениями этих характеристик для свежих базальтов, гранитов S-типа и мантийного циркона из обзора данных по миру [14].

Как можно видеть из табл. 1 и рис. 2, датировки всех цирконов колеблются в пределах 5–15 млн. лет, что согласуется с возрастом базальтов и далеко не соответствует датировкам гранитоидов.

Данные об изотопах кислорода ($\delta^{18}\text{O}$ SMOW 4–6.5‰) в обломочных корундах и цирконах также свидетельствуют об их близости базальтам. В то же время они группируются вблизи типовых характеристик мантийного циркона, находясь в

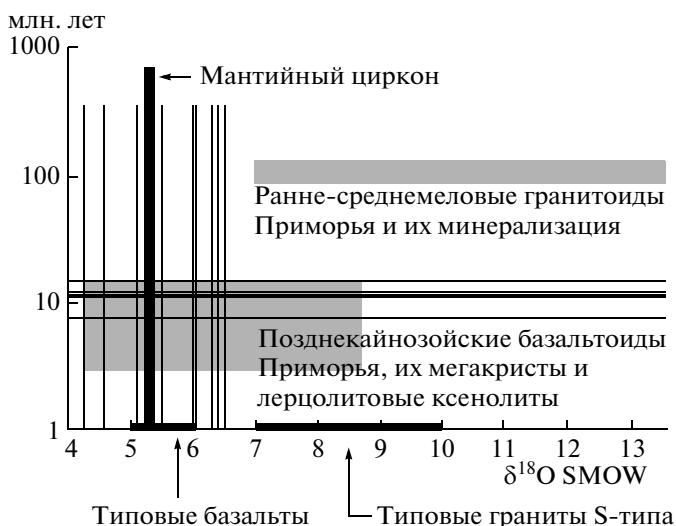


Рис. 2. Сравнительная диаграмма абсолютных возрастов и изотопного состава кислорода в обломочных цирконах и корундах Приморья (линии) и их вероятных магматических источников (прямоугольные поля) [10, 11, 15 и оригинальные данные]. Черными барами показаны типовые значения $\delta^{18}\text{O}$ SMOW в свежих базальтах, гранитах S-типа и мантийном цирконе [14].

стороне от показателей гранитов S-типа и других обычных пород континентальной коры [14].

Приведенные выше данные однозначно свидетельствуют в пользу “базальтового”, а не “гранитного” источника россыпных сапфиров и гиацинтов Приморья. Сделанное заключение имеет кардинальное значение в смысле понимания глубинной сущности процесса, продуцирующего рассматриваемую минерализацию. В “гранитной” гипотезе все сводилось к внутрикоровым взаимодействиям. “Базальтовая” концепция выводит нас на обмен веществом между корой и мантией или даже глубже. При этом главная интрига в вопросе происхождения благородных корундов переносится из области определения его родоначальной магмы в сферу поиска глубинного источника алюминия, циркония и сопутствующих элементов. Остается непонятным, каким образом в мантии выплавляется магма, способная рождать мегакристаллы сапфира и гиацинта. Для объяснения этого была предложена идея метасоматизированной водосодержащей мантии [9]. Однако дефицит воды во флюиде указывает на необходимость какой-то другой или дополнительной интерпретации. Новые более детальные и разнообразные изотопные анализы могут помочь в решении данной проблемы.

Авторы выражают глубокую признательность А.В. Игнатьеву, Т.А. Веливецкой и В.В. Яковенко из лаборатории изотопных исследований ДВГИ ДВО РАН за определения изотопного состава кислорода, а П.Ф. Грину из Geotrack International (Австралия) — за трековые анализы.

Исследование выполнено при поддержке ДВО РАН (гранты 07–3–Б–08–081, 07–3–Б–08–076 и 06–3–Б–08–359).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Высоцкий С.В., Щека С.А., Нечаев В.П. и др.* // ДАН. 2002. Т. 387. № 6. С. 806–810.
2. *Кихней Е.В., Нечаев В.П., Чащин А.А.* В кн.: Теория, история, философия и практика минералогии. Материалы IV Международного минералогического семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 123–124.
3. *Есин С.В., Перетягко Ю.В.* // Геология и геофизика. 1992. № 12. С. 93–102.
4. *Ананьев С.А., Ананьева Т.А., Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П.* // Зап. ВМО. 1998. № 4. С. 120–124.
5. *Высоцкий С.В., Баркар А.В.* Сапфиры Приморья: геология, минеральные ассоциации и генезис. Владивосток: Дальнаука, 2006. 112 с.
6. *Graham I., Sutherland L., Zaw K. et al.* // Ore Geol. Rev. 2008. V. 4. P. 200–215.
7. *Ханчук А.И., Залищак Б.Л., Пахомова В.А. и др.* // Тихоокеан. геология. 2002. Т. 21. № 2. С. 89–95.
8. *Pakhomova V., Zalischak B., Tishkina V. et al.* // Austral. Gemmol. 2006. V. 22. № 11. P. 508–511.
9. *Sutherland F.L., Hoskin P.W.O., Fanning C.M., Coenraads R.R.* // Contribs Mineral. and Petrol. 1998. V. 133. P. 357–372.
10. *Симаненко В.П., Сахно В.В., Голозубов В.В., Стрижкова А.А.* В кн.: Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 327–331.
11. *Чащин А.А., Мартынов Ю.А., Рассказов С.В. и др.* // Петрология. 2007. Т. 15. № 6. С. 656–681.
12. *Высоцкий С.В., Яковенко В.В., Игнатьев А.В., Карабцов А.А.* // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28. № 1. С. 66–71.
13. *Akinin V.V., Vysotskiy S.V., Mazdab F.K. et al.* / In: Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, Magmatism and Metallogeny of Active Continental Margins. Proceedings of the INTERIM IAGOD Conference. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 323–326.
14. *Valley J.W., Lackey J.S., Cavosie A.J. et al.* // Contribs Mineral. and Petrol. 2005. V. 150. P. 561–580.
15. *Гвоздев В.И.* Рудно-магматические системы скарново-шеелит-сульфидных месторождений Востока России. Автореф. дис. д-ра геол.-минер. наук. Владивосток, 2007. 54 с.