

УДК 550.42

О ПРИРОДЕ РУДОНОСНЫХ ФЛЮИДОВ НА ДАЛЬНЕГОРСКОМ БОРОСИЛИКАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ПРИМОРЬЕ)

© 2011 г. В. А. Баскина, Е. О. Дубинина, А. С. Авдеенко

Представлено академиком Д.В. Рундквистом 05.07.2010 г.

Поступило 19.07.2010 г.

Впервые проведено изучение изотопного состава кислорода высококалийевых пород дорудных магматических тел из зон промышленного даптолитового оруденения в скарнах Дальнегорского боросиликатного месторождения, позволяющее уточнить природу рудообразующих флюидов. В специальной литературе преобладали представления о связи даптолитового оруденения с магмами щелочно-базальтового очага и породившими его ювенильными флюидами [1–4]. При этом высоко- и ультракалийевые магматические тела, обычно называемые трахитами или латитами, рассматривались как поздние рудоносные фазы щелочно-базальтового очага. Однако минералогические и геохимические исследования этих пород [5] показали, что это были дорудные дайки палеогеновых базальтов, внедрившиеся в зону флюидного канала и служившие проводниками рудообразующих растворов, и в результате переработанные до состояния высококалийевых пород. Переработка осуществлялась нагретыми водными флюидами, обогащенными Ва, К, В и Rb и обедненными малорастворимыми элементами – Zr, Nb, Ta, La, Ce. Полученные в данной работе оценки изотопно-кислородных сдвигов и их корреляций в до- и послерудных изверженных породах месторождения подтверждают эти предположения.

Дальнегорское месторождение (44°34' N и 135°37' E) расположено в горсте складчатого фундамента, на пересечении северо-восточных, северо-западных и меридиональных систем нарушений (рис. 1). Скарновая залежь длиной 2400 м и прослеженная по падению на 1600 м приурочена к вертикальным пластинам известняков, имеет трубообразную форму, простирание 40°–60° СВ, падение к СЗ под углами 70°–85°. Промышленные даптолитовые руды в скарнах вскрыты в интервале глубин от +500 до –560 м. В осадочных породах рамы месторождения, представленных

смятыми и раздробленными мезозойскими алевролитами, яшмами, кремнистыми сланцами и песчаниками, залегают мелкие покровы и трещинные тела калиевых щелочных базальтов и габброидов с обособлениями лампрофиров. Скарнирование, отложение боросиликатных минералов, внедрение базальтовых даек происходило многократно. Скарны, руды, скопления малых интрузивных тел и даек сосредоточены на площади диаметром менее 2 км, в зоне предполагаемого вертикального “флюидного канала”. Непосредственно перед массовым отложением даптолита формировались высококалийевые разности апобазальтов (“латиты”) – как мы полагаем, продукт поздней и постмагматической переработки даек на путях просачивания минерализованных гидротерм. Скопления латитов в виде даек и мелких лакколлитов в зонах отслаивания сосредоточены на площади 1.8 × 0.9 км и прослежены по вертикали примерно на 900 м. Эти тела пространственно совмещены с залежами промышленных руд. За пределами рудных залежей, равно как за пределами месторождения латиты не встречены. Полагая, что дайки являются путями прохождения рудоносных флюидов, для суждения о возможной природе флюидов исследовали в этих породах изотопные составы кислорода и изотопно-геохимические корреляции. Изотопный состав кислорода изучен также в изверженных породах нескольких других групп и в кварц-даптолитовых сростаниях из рудных зон.

Изотопный анализ проведен методом фторирования с применением BrF₅ [6]. Масс-спектрометрические измерения проведены на изотопном масс-спектрометре DELTA^{plus} “Finnigan”. Величины δ¹⁸O выражены относительно международного стандарта SMOW, погрешность полученных значений ±0.3‰.

Объектом изотопных исследований являлись: 1) предрудные высококалийевые породы (латиты), расположенные непосредственно в зоне скарнирования и даптолитовой минерализации; 2) щелочные базальты, габброиды и их брекчии из осадочной рамы месторождения и 3) пострудные

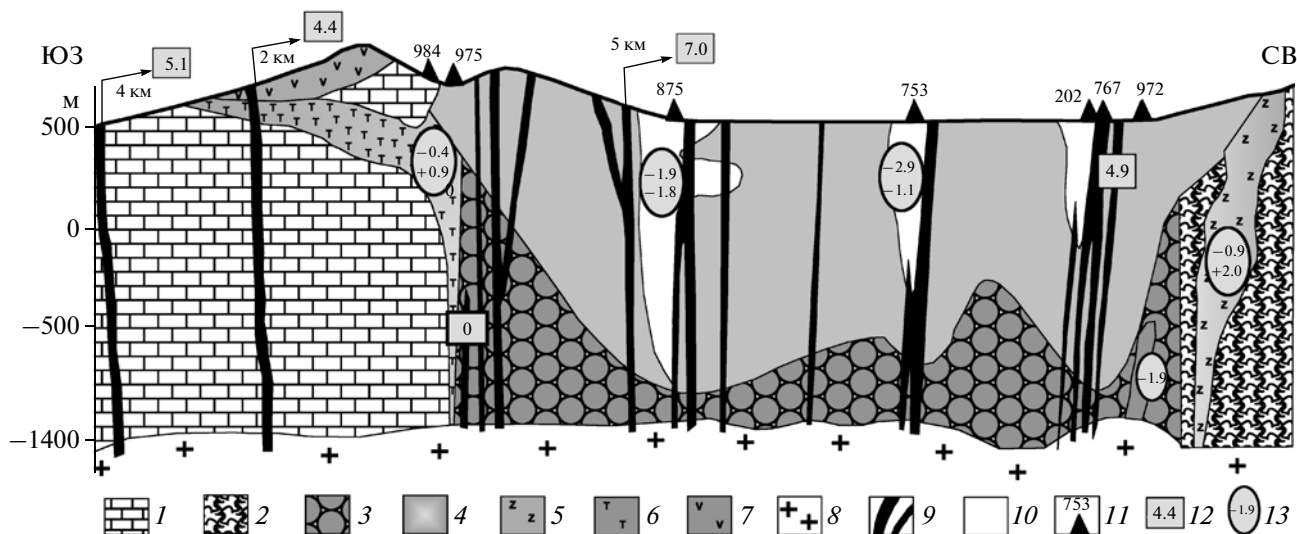


Рис. 1. Схематический разрез через зону промышленного боросиликатного оруденения Дальнегорского месторождения. 1 – известняки, триас; 2 – кремнистые сланцы и алевролиты горбушинской серии; 3 – ранние скарны; 4 – поздние скарны с промышленным датолитовым оруденением; 5 – щелочные базальты рамы месторождения; 6 – Na-трахиты; 7 – андезиты, палеоген; 8 – граниты долинные; 9 – дайки базальтов и андезито-базальтов; 10 – скопления высококальциевых дорудных латитов в поздних скарнах; 11 – скважины. Вариации величин $\delta^{18}\text{O}$: 12 – в пострудных дайках базальтов и андезито-базальтов; 13 – в высококальциевых дорудных латитах. Стрелками показана удаленность пробы от линии разреза.

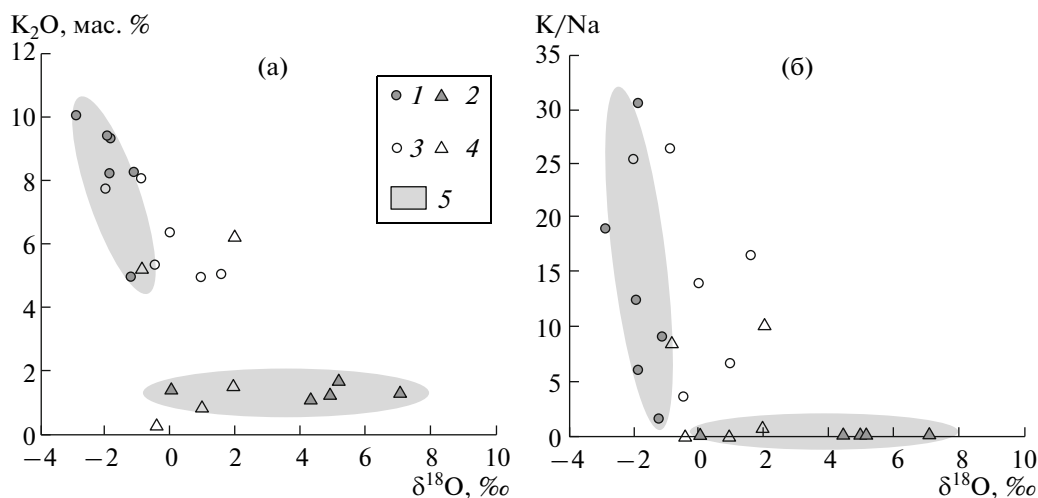


Рис. 2. Изотопно-геохимическая корреляция вмещающих магматических пород Дальнегорского месторождения. 1 – высоко- и ультракальциевые латиты предрудных тел в скарново-датолитовой зоне, 2 – базальты и андезито-базальты послерудных даек, 3 – щелочные базальты рамы и базальт-яшмовые агрегаты из зоны гидробрекций, 4 – габбро и метасоматиты пород рамы месторождения, 5 – дорудные и пострудные породы.

жилые базальты, расположенные как в непосредственной близости к рудной зоне, так и удаленные от нее на значительное расстояние. Кроме того, были определены величины $\delta^{18}\text{O}$ в сосуществующих кварце и датолите из зоны промышленного оруденения (табл. 1). Полученные изотопно-кислородные данные позволили установить корреляционную связь между изотопно-кислородным сдвигом, отражающим меру воздействия на поро-

ду водного флюида, и содержаниями элементов, являющихся атрибутом предполагаемого рудообразующего флюида (рис. 2).

Величины $\delta^{18}\text{O}$ всех исследованных пород понижены по сравнению с величинами, типичными для основных изверженных пород, что указывает на взаимодействие с флюидом, содержащим водный компонент при повышенных температурах. Самые низкие значения $\delta^{18}\text{O}$ установлены в высо-

Таблица 1. Химический состав, возраст и $\delta^{18}\text{O}$ изверженных пород Дальнегорского месторождения

Компонент	Высококальциевые дорудные тела						
	110/04	110-т	110-св	2122	2527	972	
SiO ₂	53.7	52.3	56.6	56.2	54.6	56.0	
TiO ₂	1.4	1.2	1.4	1.0	1.0	1.1	
Al ₂ O ₃	18.5	17.5	15.8	14.4	12.5	15.7	
FeO*	3.9	5.6	3.0	6.4	3.0	2.9	
MgO	2.3	4.5	2.0	2.8	1.9	3.9	
CaO	10.7	9.6	7.8	9.2	14.2	7.9	
Na ₂ O	0.6	2.1	0.4	0.9	0.2	0.5	
K ₂ O	8.2	4.9	10.0	8.2	9.3	9.4	
K/Na	9.0	1.5	18.8	6.0	30.7	12.4	
Sr	192	474	122	221	169	275	
Ba	1152	1157	1028	1926	1984	1921	
Rb	256	236	315	296	254	312	
Y	18	15	19	16	17	21	
Zr	61	65	52	68	54	64	
Nb	9	5	9	8	7	9	
$\delta^{18}\text{O}$, ‰	-1.1	-1.2	-2.9	-1.9	-1.8	-1.9	
Возраст, млн. лет		57 ± 1.4	53 ± 1.7	57 ± 1.4	56 ± 1.4	58 ± 1.2	
Компонент	Послерудные дайки базальтов				Щелочные габбро и лампрофиры рамы		
	2441/90	378/87	348/86	1348/88	40/03	38/03	2496/9
SiO ₂	4.9	5.1	7.0	4.4	45.4	45.4	46.9
TiO ₂	54 ± 2	53 ± 5	54 ± 2	50 ± 1.2	3.5	3.2	4.3
Al ₂ O ₃	52.1	51.4	54.1	53.6	9.6	12.4	13.1
FeO*	1.0	1.4	1.4	1.2	16.0	9.1	13
MgO	16.9	15.2	15.2	16.0	13.2	9.1	6.4
CaO	9.2	9.3	10.3	8.9	8.4	9.0	8.2
Na ₂ O	5.3	3.8	5.4	5.7	1.4	0.4	0.4
K ₂ O	8.4	8.3	8.0	7.7	1.5	5.2	6.2
K/Na	2.7	2.7	2.8	3.3	0.7	8.6	10.2
Sr	1.3	1.7	1.3	1.1	594	627	484
Ba	0.3	0.4	0.3	0.2	990	1651	4574
Rb	732	860	720	970	58	241	77
Y	198	660	640	700	44	35	41
Zr	20	22	21	16	345	231	393
Nb	18	27	23	29	55	131	79
$\delta^{18}\text{O}$, ‰	4.9	5.1	7.0	4.4	1.9	-0.9	2.0
Возраст, млн. лет	54 ± 2	53 ± 5	54 ± 2	50 ± 1.2	109 ± 6	70 ± 2	77 ± 2

Примечания. 2122 – микрофельзит из зоны закалки дайки; 2527 – порода с миндалинами ортоклаза; 110/04 – порода со светлыми линзами богатого К фельзита, вал; 110-т – темная матрица образца 110/04; 110-св – линза светлого фельзита из образца 110/04; 972 – ультракальциевая порода, скв. 972, глубина 1000 м; 378/87 – андезит-базальт с роговой обманкой, Светлый отвод; 1348/88 – долерит, участок Партизанский; 348/86 – базальт с оливином, Падь Шубина; 438/87 – трахибазальт в зоне борного месторождения, скв. 975; 2441/90 – долерит послерудный, вблизи канала калиевых латитов; 40/03 – габбро оливиновое, ранний мел; 38/03 – лампрофир керсутитовый, мел-палеоген; 2496/90 – габбро гидротермально измененное, мел-палеоген; 47/03 – натровый трахит (метасоматит щелочной), палеоген.

кокалиевых телах из скарново-рудной зоны. Гидротермальными изменениями затронуты щелочно-базальтовые тела из осадочной рамы (особенно в зонах брекчирования). Для палеогеновых послерудных даек наблюдается связь между степенью гидротермальных изменений, отраженных в величине $\delta^{18}\text{O}$, и удалением от центра рудной залежи (рис. 1). Эти данные свидетельствуют, что рудообразующий флюид был существенно водным, что и обеспечило наблюдаемые сдвиги в изотопном составе кислорода силикатных пород.

Изотопный состав кислорода в двух образцах сростаний кварца и датолита из промышленных руд ($\delta^{18}\text{O}$ соответственно 3.7‰ и –1.7‰ в кварце, 1.5‰ и –3.4‰ в датолите) использован для расчета температуры изотопного равновесия по методам Ченга [7, 8] и изотопного состава кислорода водного компонента флюида, равновесного с датолитом и кварцем. Температуры равновесия кварц–датолит в двух исследованных образцах составили 330 и 440°C, а величины $\delta^{18}\text{O}$ флюида –2.5‰ и –5.5‰ соответственно. Полученный интервал температуры формирования кварц–датолитовых ассоциаций частично совпадает с интервалом, определенным по флюидным включениям в кварце (405–150°C [5]). Полученные величины $\delta^{18}\text{O}$ флюида и дорудных базальтов соответствуют равновесию в системе базальт–вода [9] в интервале температур 250–450°C. Изотопный состав кислорода водного компонента флюида (от –2.5 до –5.5‰) не позволяет считать, что его происхождение связано с магматическим источником, и предполагать высокотемпературное равновесие с магматическими породами.

В измененных дорудных породах обнаруживается связь между изотопным составом кислорода и содержаниями элементов, характерными для рудообразующего флюида (K, Rb, Ba). Эти содержания возрастают с падением величин $\delta^{18}\text{O}$, т.е. с усилением проработки пород рудоносными гидротермами (рис. 2). Кристаллизация калиевых шпатов в измененных дорудных дайках имела место в кратком интервале времени (57–56 млн. лет), сопровождая отложение датолита и/или непосредственно предшествуя ему [5]. В пострудных породах, в том числе и несущих следы гидротермальной проработки, отсутствуют корреляции между содержаниями K_2O , Ba, Rb, отношением K/Na и изменениями $\delta^{18}\text{O}$.

В то время как приведенные выше данные достаточно определенно указывают на экзогенную природу бороносных растворов, вопрос об их источнике остается открытым. Ранее предполагалось [5], что источником бора служат метаосадочные толщи и/или локальные залежи неморских эвапоритов, о чем свидетельствует изотопный состав бора датолита Дальнегорского месторождения ($\delta^{11}\text{B}$ от –9 до –31‰) [10]. Географическая

позиция Дальнегорского месторождения соответствует областям максимального развития континентальных эвапоритов в мезозое [11], а низкие отношения Na/K указывают на малую вероятность морского генезиса рудоносных флюидов. В то же время растворы флюидных включений в минералах месторождения [5] близки по микроэлементному составу к подземным водам из провинций континентального засоления [12, 13].

Полученные результаты позволяют предполагать, что вероятным источником рудообразующего флюида могли служить глубинные подземные воды, которые обладали как специфической геохимией, так и изотопным составом кислорода, близким к полученным оценкам для рудообразующего флюида. Месторождения, подобные Дальнегорскому, рассматриваются как возможные корневые источники при формировании экзогенных миоцен–четвертичных боратов [14].

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Высококалиевые породы, локализованные в центре Дальнегорского месторождения, испытали воздействие водного флюида с повышенной минерализацией (с высокими содержаниями K, Ba, Rb), близкого к составу флюидов во включениях в датолите и кварце из промышленных руд. Предполагается, что эти флюиды активно взаимодействовали с породами дорудных даек в кратком интервале времени, непосредственно предшествовавшем датолитовой минерализации, и при температурах, близких к температурам формирования промышленных датолитовых минеральных ассоциаций.

2. Изотопный состав кислорода водного компонента рудообразующего флюида (от –2.5 до –5.5‰) не позволяет считать, что его источник связан с магматическим процессом, и предполагать высокотемпературное равновесие с магматическими породами. Природа этого флюида экзогенная.

3. Вероятным источником флюида могли быть глубинные бороносные подземные воды, обладающие соответствующей геохимией и изотопным составом кислорода, близкими к параметрам рудообразующего флюида. Не исключено, что источником бороносных флюидов могли служить локальные залежи неморских эвапоритов.

4. Исследование изотопного состава кислорода и его сопоставление с геохимическими параметрами пород, вмещающих гидротермально-метасоматические руды, и с характеристиками рудных минералов могло бы дать дополнительные возможности прогнозно-металлогенической оценки рудных районов Дальнего Востока России и привести к прогнозу новых или переоценке известных рудных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Говоров И.Н.* // ДАН. 1976. Т. 230. № 1. С. 186–189.
2. *Малинко С.В., Лисицын А.Е., Шергина Ю.П.* // Зап. ВМО. 1994. Ч. 123. № 4. С. 10–21.
3. *Малинко С.В.* // Минерал. журн. 1992. Т. 14. № 5. С. 3–12.
4. *Obolenskiy A.A., Rodionov S.M., Ariunbileg S. et al.* In: *Metallogenesis and Tectonics of Northeast Asia* // US Geol. Surv. Open-File Rept. 2007. № 1183; Ch. С.
5. *Баскина В.А., Прокофьев В.Ю., Лебедев В.А. и др.* // Геология руд. месторождений. 2009. Т. 51. № 3. С. 203–221.
6. *Clayton R.N., Mayeda T.K.* // *Geochim. et cosmochim. acta.* 1963. V. 27. P. 43–52.
7. *Zheng Y.-F.* // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 1993. V. 120. P. 247–263.
8. *Zheng Y.-F.* // *Geochim. et cosmochim. acta.* 1993. № 57. P. 1079–1091.
9. *Zhao Z.F., Zheng Y.F.* // *Chem. Geol.* 2003. V. 193. P. 59–80.
10. *Баскина В.А.* // ДАН. 2008. Т. 423. № 2. С. 234–237.
11. *Warren J.K.* // *Earth-Sci. Rev.* 2010. V. 98. P. 217–268.
12. *Шварцев С.Л.* *Гидрогеохимия зоны гипергенеза.* М.: Недра, 1998. 366 с.
13. *Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М.* *Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты.* М.: Наука, 2004. 677 с.
14. *Романюк Т.В., Ткачев А.В.* *Геодинамический сценарий формирования крупнейших мировых миоцен-четвертичных бор-литиеносных провинций.* М.: СветочПлюс, 2010. 302 с.