

Оригинальная статья / Original article
УДК: 550.42(571.54)

ИСТОЧНИКИ ФЛЮИДОВ, ФОРМИРОВАВШИХ АПОГИПЕРБАЗИТОВЫЕ МЕТАСОМАТИТЫ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

© М.В. Рампилова¹, Г.С. Рипп², Б.Б. Дамдинов³, М.О. Рампилов⁴, В.Ф. Посохов⁵

¹⁻⁵Геологический институт СО РАН,

Российская Федерация, Республика Бурятия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой ба.

РЕЗЮМЕ. Цель – на основании изучения стабильных изотопов в минералах апогипербазитовых метасоматитов Оспинско-Китойского, Парамского и Усть-Келянского массивов определить источники флюидов. **Методы.** Состав минералов изучен на сканирующем электронном микроскопе LEO-1430 с энергодисперсионным спектрометром Inca Energy-300. Изотопные составы кислорода, углерода и водорода определялись на прецизионных масс-спектрометрах Finigan MAT-252 и 253. Анализ микроэлементов выполнен методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS). **Результаты.** В серпентинитах всех изученных апогипербазитовых проявлений кислород (4,67–7,35% $\delta^{18}\text{O}$) близок к составам ультраосновных пород. В сравнении с серпентинитами составы кислорода в нефритах несколько более обогащены тяжелым кислородом (6,13–9,54% $\delta^{18}\text{O}$). Наибольшие вариации $\delta^{18}\text{O}$ характерны для минералов из лиственитов, они варьируют от 8,12 до 17,46% и указывают на участие корового вещества. Кислород карбонатов (12,9–18,8% $\delta^{18}\text{O}$) из этих пород, близкий к силикатным минералам, как и углерод (-2,8...+2,8% $\delta^{13}\text{C}$), отличается высокой гетерогенностью. **Выводы.** 1. Серпентиниты наследуют изотопный состав кислорода из ультрабазитов и свидетельствуют о ювенильном происхождении флюидов. 2. Флюидная фаза нефритов была мобилизована из серпентинитов с добавлением некоторой части корового компонента. 3. Формирование лиственитов происходило с участием флюидной фазы метаморфогенного источника.
Ключевые слова: серпентинит, нефрит, лиственит, изотопия.

Формат цитирования: Рампилова М.В., Рипп Г.С., Дамдинов Б.Б., Рампилов М.О., Посохов В.Ф. Источники флюидов, формировавших апогипербазитовые метасоматиты Западного Прибайкалья // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 2. С. 23–35.

¹Рампилова Мария Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник, e-mail: mburtseva@mail.ru

Maria V. Rampilova, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Junior Researcher, e-mail: mburtseva@mail.ru

²Рипп Герман Самуилович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, тел.: 8 (3012) 433275, e-mail: ripp@gin.bscnet.ru

German S. Ripp, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, tel.: 8 (3012) 433275, e-mail: ripp@gin.bscnet.ru

³Дамдинов Булат Батуевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, e-mail: damdinov@gin.bscnet.ru

Bulat B. Damdinov, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, e-mail: damdinov@gin.bscnet.ru

⁴Рампилов Михаил Олегович, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, e-mail: mrampilov@mail.ru

Mikhail O. Rampilov, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Researcher, e-mail: mrampilov@mail.ru

⁵Посохов Виктор Федорович, старший научный сотрудник, тел.: 8 (3012) 433275, e-mail: vitaf1@yandex.ru
Viktor F. Posokhov, Senior Researcher, tel.: 8 (3012) 433275, e-mail: vitaf1@yandex.ru

SOURCES OF FLUIDS FORMED APOULTRAMAFIC METASOMATITES IN WESTERN TRANSBAIKALIA

M.V. Rampilova, G.S. Ripp, B.B. Damdinov, M.O. Rampilov, V.F. Posokhov

Geological Institute SB RAS,

6a, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047, Republic of Buryatia, Russian Federation.

ABSTRACT. The purpose of the paper is to identify the sources of fluids on the basis of the study of stable isotopes in the minerals from apoultramafic metasomatites of the Ospa-Kitoy, Parama and Ust-Kelyana massifs. **Methods.** The composition of minerals has been studied by means of a LEO-1430 scanning electron microscope (SEM) equipped with Inca Energy-300 energy dispersive spectroscope (EDS). The isotopic composition of oxygen, carbon and hydrogen were determined by means of a Finnigan MAT-252 and 253 precision mass spectrometers. Analysis of trace elements has been performed by mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP MS). **Results.** The $\delta^{18}\text{O}$ values in all studied apoultramafic manifestations of serpentinites (4.67-7.35% $\delta^{18}\text{O}$) are similar to those of ultrabasic rocks. The $\delta^{18}\text{O}$ values in nephrites are slightly higher (6.13-9.54% $\delta^{18}\text{O}$) than those in serpentinites. The listvenites are characterized by the greatest variation of $\delta^{18}\text{O}$ (from 8.12 to 17.46%) and indicate the involvement of crustal material. The oxygen from these rocks carbonates (12.9-18.8% $\delta^{18}\text{O}$) close to silicate minerals is as highly heterogeneous as carbon (-2.8...+2.8% $\delta^{13}\text{C}$). **Results.** The $\delta^{18}\text{O}$ values in all studied apoultramafic manifestations of serpentinites (4.67-7.35% $\delta^{18}\text{O}$) are similar to those of ultrabasic rocks. The $\delta^{18}\text{O}$ values in nephrites are slightly higher (6.13-9.54% $\delta^{18}\text{O}$) than those in serpentinites. The listvenites are characterized by the greatest variation of $\delta^{18}\text{O}$ (from 8.12 to 17.46%) and indicate the involvement of crustal material. The oxygen from these rocks carbonates (12.9-18.8% $\delta^{18}\text{O}$) close to silicate minerals is as highly heterogeneous as carbon (-2.8...+2.8% $\delta^{13}\text{C}$). **Conclusions.** 1. Serpentinites inherit the oxygen isotopic composition from the ultramafic rocks and indicate the juvenile origin of fluids. 2. The fluid phase of nephrites was mobilized from the serpentinites with the addition of some crustal component. 3. Lisvenites were formed with the involvement of fluid phase of a metamorphogenic source.

Keywords: serpentinite, nephrite, listvenite, isotopy

For citation: Rampilova M.V., Ripp G.S., Damdinov B.B., Rampilov M.O., Posokhov V.F. Sources of fluids formed apoultramafic metasomatites in Western Transbaikalia. Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits. 2017, vol. 40, no. 2, pp. 23–35. (In Russian).

Введение

Проблеме различных аспектов образования офиолитов и продуктов их последующего изменения посвящено большое количество работ. При этом основное внимание геологов было сосредоточено на изучении петрографических, минералогических и геохимических особенностей составных частей разреза офиолитовых комплексов: гипербазитов, габброидов, вулканогенно-осадочных пород. В меньшей степени исследования были посвящены метаморфическим и метасоматическим породам, включающим амфиболиты, жадеиты, нефриты, серпентиниты, листвениты, родингиты. Последние нередко играют важную роль в решении вопросов, касающихся условий формирования базит-ультрабазитовых комплексов.

В базит-гипербазитовых массивах Саяно-Байкальской складчатой области широко проявлены процессы постмагматического изменения. Их описание дано в работах [1–3]. Образование таких метасоматитов происходило в основном по серпентинитам. В одних случаях формировался нефрит, в других – листвениты, родингиты. Последние нередко встречаются за пределами массивов. Одной из важных проблем формирования этих метасоматитов является оценка источников вещества и флюидов, при ее решении используются результаты изучения стабильных и радиогенных изотопов.

Авторами изучены серпентиниты, нефриты, листвениты и тальк-карбонатные породы на Оспинско-Китойском, Парамском и Усть-Келянском массивах ультраосновных пород.

Методы исследований

При проведении анализа химического состава пород были использованы следующие методы: фотометрический, атомно-абсорбционный, потенциометрический и пламенно-фотометрический. Использовались измерительные приборы: атомно-абсорбционный спектрофотометр ААС-№1 (Германия), спектрофотометр СФ-46 (Россия), иономер Анион-4100 (аналитики Г.И. Булдаева, И.В. Боржонова, Э.М. Татьянакина; Геологический институт СО РАН). Анализ микроэлементов выполнен методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS) (аналитик И.В. Николаева; Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН). Микроструктурные особенности, взаимоотношения и однородность состава минералов изучались на электронном микроскопе LEO-1430 с энергодисперсионным спектрометром Inca Energy-300 (аналитик С.В. Канакин; Геологический институт СО РАН).

Изотопные составы кислорода и углерода проанализированы в Геологическом институте СО РАН. Кислород в силикатах определен методом лазерного фторирования, а углерод и кислород в карбонатах по методике разложения ортофосфорной кислотой с использованием опции «Газбенч» – при температуре 60–70°C в течение 2–4 часов. Все измерения проведены на масс-спектрометре Finigan MAT 253 в режиме двойной системы напуска для кислорода в силикатах и методом continuous flow (в постоянном потоке гелия) для карбонатов. Калибровка для силикатов осуществлялась по международным стандартам NBS-28 (кварц), NBS-30 (биотит), а для карбонатов – по NBS-18, NBS-19. Погрешность полученных значений составила не более 0,2–0,3%.

Изотопный состав водорода в гидроксилсодержащих минералах определен в Изотопном центре ДВНЦ

РАН. Анализ выполнен по методу [4]. Для удаления сорбированной воды пробы были предварительно нагреты до 200°C. Конституционная вода выделялась при температуре 1250°C. Отделение водорода из воды произведено на хrome при температуре 950°C. Состав его измерен на масс-спектрометре Finigan MAT 253 относительно лабораторного стандарта, калиброванного по международным стандартам VSMOW, SLAP, GISP. Воспроизводимость определения δD (1σ) составляет 1,5%.

Геологическая характеристика массивов

Изученные Оспинско-Китойский, Парамский и Усть-Келянский массивы базит-ультрабазитовых пород расположены в южном складчатом обрамлении Сибирского кратона (рис. 1).

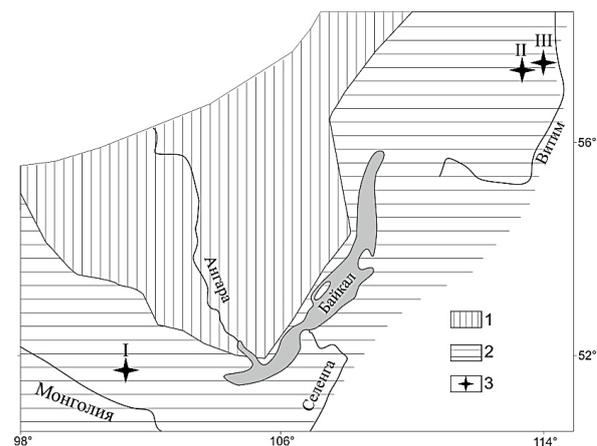


Рис. 1. Расположение массивов ультраосновных пород в южном складчатом обрамлении Сибирского кратона:

1 – Сибирский кратон; 2 – складчатое обрамление кратона; 3 – массивы ультраосновных пород.

Массивы: I – Оспинско-Китойский; II – Усть-Келянский; III – Парамский

Fig. 1. Location of massifs of ultrabasic rocks in the southern folded frame of the Siberian Craton:
1 – Siberian craton; 2 – folded frame;
3 – ultrabasic rocks.

Massifs: I – Ospa-Kitoy;

II – Ust-Kelyana; III – Parama

Оспинско-Китойский массив находится в юго-восточной части Восточного Саяна, на водоразделе рек Китой и Орот и образует линзообразное тело сложной конфигурации общей площадью 174 км². Массив является участком офиолитового покрова, находящимся на пересечении двух ветвей Восточно-Саянского офиолитового пояса [2, 5].

Массив представляет собой серию тектонических пластин, подстилаемых зонами меланжа. Пластины залегают на терригенных отложениях ильчирской толщи и имеют следующее строение: в основании залегает зона серпентинитового меланжа, которая вверх по разрезу сменяется серпентинитами, сменяющимися слабоизмененными ультраосновными породами [1]. В массиве представлены дуниты, гарцбургиты, занимающие до 30% площади массива, серпентиниты, тальково-карбонатные породы, листвениты, нефриты, родингиты.

Серпентиниты оконтуривают каждый из гарцбургитовых блоков. Петельчатая лизардитовая серпентинизация развита повсеместно. В краевых частях массива интенсивность ее возрастает. Среди серпентинитов наиболее распространены хризотил-антигоритовые разновидности. В южной части массива вблизи габброидов картируются обширные поля пятнистых карбонатизированных серпентинитов с порфиризовидными вкрапленниками брейнерита. С ними тесно ассоциируют бруситовые серпентиниты.

Месторождение нефритов расположено в центральной части Оспинско-Китойского массива. Здесь на площади 5 км² установлено более 15 нефритовых жил, сосредоточенных в трех зонах среди катаклазированных хризотил-лизардитовых серпентинитов с реликтами оливина. На контактах нефритовых жил отмечаются родингиты кварц-диопсид-клиноцоизитового состава.

На контакте с вмещающими породами и карбонатизированными серпенти-

нитами вдоль тектонических зон распространены тальково-карбонатные породы и листвениты. Состав их характеризуется вариациями соотношений талька, магнетита, брейнерита и кварца. Тальково-карбонатные породы развиты в основном на контакте гипербазитов с кристаллическими сланцами, они образовались в конечную стадию преобразования гипербазитов. В минеральном составе их преобладают магнезиальный или магнезиально-железистый карбонат и тальк. Относительные количества этих минералов колеблются в широких пределах [3]. Из второстепенных минералов присутствуют реликты серпентина, магнетита и хромшпинелидов.

Листвениты развиты около гранитных, реже габбровых тел, в некоторых случаях они вместе с тальково-карбонатными породами образуют жилы и участки среди карбонатизированных серпентинитов.

Парамский массив имеет форму линзы, ориентированной на северо-запад. Длина массива – 20 км, наибольшая ширина – 4,5 км, площадь – 37 км². Массив разбит серией тектонических нарушений. Центральная часть массива сложена полосчатым комплексом дунитов и гарцбургитов. Полосчатость комплекса подчеркивается ориентировкой зерен энстатита и направлением простирания линзовидных тел дунитов. Мощность полос колеблется от десятков сантиметров до 30, реже 250 м. Переходы между дунитами и гарцбургитами постепенные. По направлению к эндоконтакту возрастает роль серпентинитов. В небольшом количестве среди серпентинитов присутствуют тальк-карбонатные породы и листвениты. Гипербазиты массива прорваны дайками аплитов и гранитов. Встречены жильные тела и дайки ортоамфиболитов апогаббрового происхождения, частично родингитизированные [6].

Серпентиниты в зоне контакта с плагиоклаз-амфиболовыми породами

имеют скрытокристаллическую структуру, существенно антигоритовый состав с вкрапленностью магнетита. Они участками оталькованы, интенсивно дроблены, по трещинам развит брейнерит.

Нефритоносная зона длиной более 1,5 км и мощностью около 50 м располагается вдоль контакта плагиоклаз-амфиболовых метагаббро и сланцев келянской толщи с серпентинитами. Непосредственно в зоне контакта присутствуют тремолититы с хлоритом, серпентин-тремолит-хлоритовые породы и талькиты с включениями волокнистого тремолита. Породы имеют сланцеватую структуру, обусловленную параллельным расположением листочков хлорита и тремолита, а также прожилками с включениями талька. Содержание серпентина, тремолита и хлорита непостоянно. На участках максимальной тремолитизации отмечаются жилы с постепенными переходами от тремолитов к нефриту.

Тальк-карбонатные, тальк-карбонатно-серпентинитовые породы обычно слагают либо краевые части, либо мелкие линзы внутри массива. Иногда вместе с тальк-карбонатными породами отмечаются зоны лиственитов.

Усть-Келянский массив расположен к югу от Северо-Муйской глыбы и прослежен почти на 10 км при максимальной ширине до 2,05 км, общая площадь его – около 12 км². Этому массиву свойственно блоковое строение, сложенное лизардитовыми и хризотил-лизардитовыми серпентинитами. В виде небольших ядер в них встречаются серпентинизированные гарцбургиты [7].

На контакте массива с муйскими плагиогранитами картируется зона серпентинитового меланжа, переходящего к юго-востоку в листвениты. На северо-западном выклинивании массива за зоной серпентинитового меланжа с будинами габброидов и даек основного состава обнажаются апоперидотовые серпентиниты [8].

Минеральный состав метасоматитов

Нефриты всех участков сложены тремолитом, содержащим 0,4–0,8 ф.е. актинолитового компонента. Среди акцессорных минералов в них установлены хромит, магнетит, диопсид, циркон, титанит, гроссуляр, хлорит.

Серпентиниты имеют разный состав. В пределах одного участка встречаются как антигоритовые серпентиниты, так и лизардитовые с хризотилowymi. В них присутствуют единичные включения хромита, магнетита и аваруита.

Листвениты сложены кварцем и карбонатами с подчиненным количеством талька. Карбонат в основном представлен магнезитом, брейнеритом, реже доломитом.

Тальк-карбонатные породы состоят из магнезита и талька, при этом их содержание сильно варьирует.

Геохимические особенности метасоматитов

Составы серпентинитов и гарцбургитов Оспинского массива близки и отличаются в основном содержаниями воды (табл. 1). Незначительно отличаются они и по микроэлементному составу (табл. 2, рис. 2).

В нефритах Оспинского и Парамского массивов относительно первичных пород ниже содержания MgO, FeO, выше SiO₂ и CaO (см. табл. 1), редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) (см. рис. 1, рис. 2). В лиственитах количества петрогенных и редких элементов широко варьируют (см. табл. 1, табл. 2, см. рис. 1, рис. 2).

Графики содержаний элементов гарцбургитов, серпентинитов, нефритов и лиственитов Оспинского массива, нормированных к примитивной мантии, близки (см. рис. 2, а). Относительно примитивной мантии породы Оспинского массива обеднены большинством элементов (кроме Cs, Rb, и U). Серпентиниты относительно гарцбургитов отлича-

Таблица 1

Химический состав пород Оспинского, Парамского
и Усть-Келянского массивов, мас. %

Table 1

Chemical composition of rocks from the Ospa, Parama
and Ust-Kelyana massifs, wt. %

Поро- да / Rock	Номер пробы / Sample no.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП / Losses on ig- nition	Сум- ма / Total	CO ₂
Оспинский массив / Ospa massif															
1	Ок14/10*	40,54	0,02	0,29	1,22	6,01	0,10	47,16	0,22	0,07	0,01	0,05	3,36	99,05	н/о
2	Ок2/8*	41,50	0,03	0,42	0,21	6,90	0,10	47,84	0,18	–	0,01	0,04	1,76	98,99	н/о
3	Ок17/6*	43,08	0,01	0,52	1,02	6,63	0,11	45,53	0,50	–	–	0,04	1,63	99,07	н/о
4	Ос-354-с	32,60	<0,02	0,10	0,70	5,14	0,11	38,40	0,06	0,02	<0,01	0,11	22,13	99,37	4,62
5	Ок-130	35,80	<0,02	0,20	6,52	1,76	0,10	40,16	0,33	0,05	<0,01	<0,10	14,48	99,40	1,54
6	Ок-132	40,00	<0,2	1,10	3,04	2,57	0,12	40,30	0,24	0,06	<0,01	<0,03	12,39	99,82	0,22
7	2682	55,80	<0,2	0,90	0,26	3,66	0,12	22,23	12,66	0,05	0,05	<0,03	3,37	99,10	0,44
8	Ос-354	22,60	<0,02	<0,10	<0,10	5,03	0,10	33,50	0,27	0,09	<0,01	<0,10	38,57	100,16	22,22
9	Ок 45	32,00	<0,02	0,10	0,09	3,08	0,13	18,60	14,66	<0,01	<0,01	<0,10	30,66	99,32	24,20
10	Ок-46	26,10	<0,02	<0,10	0,03	2,65	0,19	12,76	23,86	<0,01	0,01	<0,10	33,69	99,29	33,22
11	Ок-97	47,20	<0,02	<0,10	<0,10	4,20	0,09	21,26	1,96	0,02	<0,01	0,11	24,35	99,19	8,36
12	Ос-351	34,70	<0,02	0,20	<0,10	2,10	0,05	37,78	0,12	<0,01	<0,01	<0,10	24,92	99,87	2,86
Парамский массив / Parama massif															
13	Нк-4	40,50	<0,02	0,30	2,06	2,88	0,07	40,30	<0,10	<0,01	<0,01	0,12	13,50	99,73	0,66
14	911	46,60	<0,2	6,50	1,93	6,63	0,14	22,47	9,55	0,05	0,05	<0,03	5,64	99,56	1,10
15	Нк-22	25,80	<0,02	0,20	0,95	4,40	0,08	31,60	0,48	<0,01	0,04	<0,10	36,29	99,84	15,84
16	Нк-27	32,00	<0,02	0,50	1,51	4,35	0,17	40,35	<0,10	0,02	<0,01	<0,10	21,32	100,22	4,62
Усть-Келянский массив / Ust-Kelyana massifs															
17	Кел-4	42,40	<0,02	0,60	1,52	0,89	0,15	36,90	4,69	0,02	<0,01	0,15	12,32	99,64	0,44
18	Кел-8	39,70	<0,20	0,80	2,64	1,13	0,12	40,52	0,04	0,01	<0,01	0,13	14,71	99,80	0,44
19	Кел-16	26,00	<0,20	0,60	0,72	3,31	0,12	34,60	0,33	0,10	<0,01	0,10	33,87	99,75	9,68

Примечание. ППП – потери при прокаливании. 1–3 – гарцбургит; 4–6, 13, 17, 18 – серпентинит; 7, 14 – нефрит; 8–11, 15, 16, 19 – лиственит; 12 – тальк-карбонатная порода. Н/о – элемент не определялся. Проверк – элемент не обнаружен. * – пробы по Анциферовой, 2006⁶.

Note. П.П.П. – losses on ignition. 1-3 – harzburgite, 4-6, 13, 17, 18 – serpentinite; 7, 14 – nephrite, 8-11, 15, 16, 19 – listvenite, 12 – talc-carbonate rock. Н/о – element was not determined. Dash – element was not found. * – samples according to Antsiferova, 2006⁶.

ются только повышенными содержаниями Cs, Ba и Ta, а нефриты при близкой конфигурации – более высокой концентрацией всех элементов. В лиственитах некогерентные элементы варьируют, относительно гарцбургитов, серпентинитов и нефритов обогащены легкими лантаноидами.

Для графиков распределения РЗЭ гарцбургитов, серпентинитов, нефритов и лиственитов Оспинского массива (см. рис. 2, б) характерны содержания РЗЭ ниже хондритовой нормы при относительно широком диапазоне вариаций. График распределения РЗЭ в гарцбургитах (см. рис. 2, б) характеризуется умень-

⁶Анциферова Т.Н. Петролого-минералогические особенности гипербазитов Оспинского массива (Восточный Саян): дис. ... канд. геолог.-минералог. наук. Улан-Удэ, 2006. 172 с. / Antsiferova T.N. Petrological and mineralogical features of the Ospinsky Massif ultrabasites (Eastern Sayan): Candidate's Dissertation in Geological and Mineralogical sciences. Ulan-Ude, 2006. 172 p.

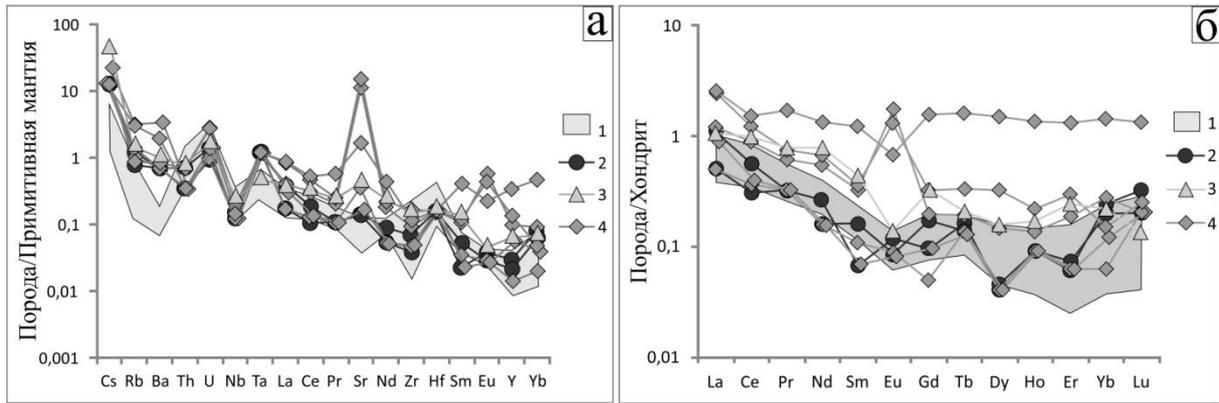


Рис. 2. Спайдер-диаграмма (а) и распределение редкоземельных элементов (б) для гипербазитов и метасоматитов Оспинского массива [9]: 1 – поле гарцбургитов; 2 – серпентинит; 3 – нефрит; 4 – лиственит
Fig. 2. Spidergram (a) and distribution of rare earth elements (б) for ultrabasites and metasomatites of the Ospa massif [9]
 1 – harzburgite field; 2 – serpentinite; 3 – nephrite; 4 – listvenite

шением концентраций лантаноидов от легких к тяжелым, но с отчетливой отрицательной Eu аномалией. Серпентиниты попадают в поле гарцбургитов. Нефриты повторяют конфигурацию, но содержания лантаноидов выше, чем в гарцбургитах и серпентинитах. Листвениты характеризуются широким диапазоном вариаций РЗЭ, часть значений их попадает в поле гарцбургитов, другие существенно дистанцировались.

Графики содержаний элементов метасоматитов Парамского массива,

нормированных к примитивной мантии, показаны на рис. 3, а. Нефриты относительно серпентинитов характеризуются более высокими содержаниями Sm, Eu, Y и Yb, а в лиственитах выше содержания Nb, Ta и Sr. В метасоматитах этого массива содержания РЗЭ ниже хондритовой нормы (рис. 3, б). График распределения РЗЭ в серпентинитах имеет резкие перепады. В нефритах содержание лантаноидов выше, чем в серпентинитах, график более ровный. В лиственитах содержания РЗЭ выше, чем в серпентинитах, но

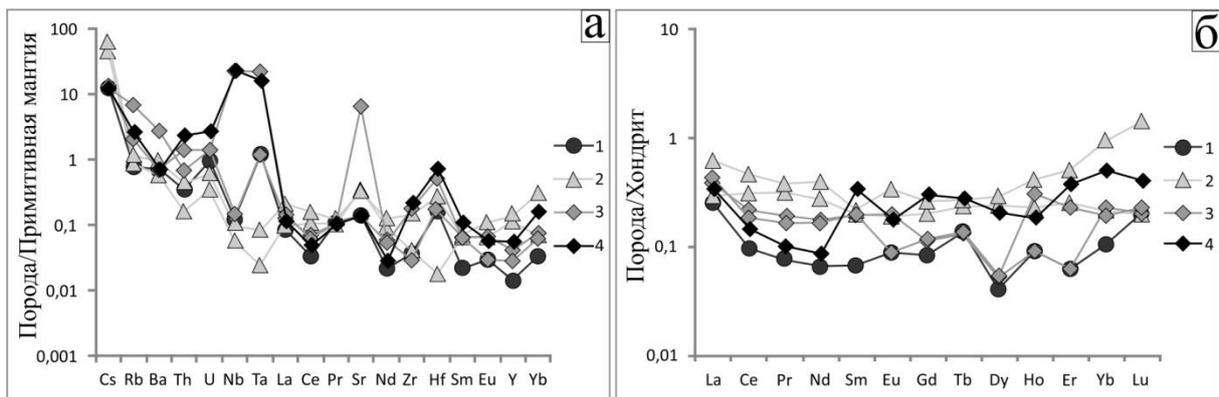


Рис. 3. Спайдер-диаграмма (а) и распределение редкоземельных элементов (б) для метасоматитов [9] Парамского (1 – серпентинит; 2 – нефрит; 3 – лиственит) и Келянского (4 – лиственит) массивов
Fig. 3. Spidergram (a) and distribution of rare-earth elements (б) for metasomatites [9] of the Parama massif (1 – serpentinite; 2 – nephrite; 3 – listvenite) and the Kelyana massif (4 – listvenite)

ниже, чем в нефритах. Конфигурация графика распределения РЗЭ лиственитов близка к конфигурации графика распределения РЗЭ серпентинитов.

Результаты изотопных исследований и их обсуждение

Изотопному изучению были подвержены дуниты, нефриты, серпенти-

ниты и минералы, слагающие листвениты (табл. 2, табл. 3, рис. 4).

Изотопный состав кислорода в оливинах из дунитов, равный 4,6–5,5‰ $\delta^{18}\text{O}$, близок к значениям глубинных магматических пород. В серпентинитах всех изученных нами апогипербазитовых проявлений кислород близок к составам

Таблица 2

Изотопный состав кислорода и водорода в апогипербазитовых метасоматитах

Table 2

Isotopic composition of oxygen and hydrogen in apoultrabasic metasomatites

Массив / Massif	Порода / Rock	Проба / Sample	Минерал / Mineral	$\delta^{18}\text{O}\%$ SMOW	$\delta^{18}\text{O}\%$ SMOW _{fluid}	$\delta \text{D}\%$ SMOW
1	Дунит / Dunite	Ок-20	Оливин / Olivine	4,60		
2		Гг-65	Оливин / Olivine	5,50		
3		Гг-60	Оливин / Olivine	5,50		
4	Серпентинит / Serpentine	Ос-354-с	Серпентин / Serpentine	7,35	7,05	-85,00
5		Ос-132		4,67	4,37	-80,50
6		Ос-348				-167,20
7		Кел-8-с		6,26	5,96	-151,90
8		Кел-4-с		5,34	5,04	
9		Нк-4-с		7,05	6,75	-73,50
10		Нк-27-с		6,91	6,61	
11	Нефрит / Nephrite	Пар	Тремолит / Tremolite	9,54	9,54	
12		Пар		9,46	9,46	
13		Пар		6,13	6,13	-47,70
14		Ос		8,43	8,43	
15	Тремолитит* / Tremolite	31				-104,5
16	Лиственит / Listvenite	Сс-31-к	Кварц / Quartz	17,46	10,46	
17		Ок-46-к		15,5	8,5	
18		Ок-97-к		15,46	8,46	
19		Ок-45-к		14,97	7,97	
20		Ос-354-к		12,82	5,82	
21		Ок-45-т	12,65	10,05		
22		Ос-351	Тальк / Talc	8,12	5,52	-92,10
23	Гранит / Granite	Ок-52	Кварц / Quartz	13,70		
24		Ок-52	Полевой шпат / Feldspar	11,40		

Примечание. Массивы: 1–6, 14–24 – Оспинский; 7, 8 – Усть-Келянский; 9–13 – Парамский. * – В отличие от нефрита, в котором тремолит имеет спутано-волокнистое строение, тремолит из тремолитита имеет призматическое крупнозернистое строение. Расчет кислорода во флюиде произведен для температуры 300°C [10].

Note. Massifs: 1–6, 14–24 – Ospa; 7, 8 – Ust-Kelyana; 9–13 – Parama. * – Unlike nephrite, in which tremolite has a pell-mell structure, tremolite from tremolite has a prismatic coarse-grained structure. Calculation of oxygen in the fluid has been performed for the temperature of 300°C [10].

Таблица 3

Изотопный состав углерода и кислорода
в карбонатных минералах из лиственитов

Table 3

Isotopic composition of carbon and oxygen
in carbonate minerals from listvenites

Мас-сив / Massif	Проба / Sample	Минерал / Mineral	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ SMOW	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ SMOW	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ SMOW _{fluid}
1	Сс-31м	Магнезит / Magnesite	-0,7	18,8	12,8
2	Ок-45м	Магнезит + доломит / Magnesite + dolomite	-1,2	14,6	8,6
3	Ок-46д	Доломит / Dolomite	-0,6	13,2	7,2
4	Ос-351м	Магнезит / Magnesite	0,7	12,9	6,9
5	Ос-354м	Магнезит / Magnesite	2,8	14,8	8,8
6	Ок-97м	Магнезит / Magnesite	-1,5	15,6	9,6
7	Кел-16м	Магнезит / Magnesite	-1,8	14,2	8,2
8	Кел-16л	Лиственит (вал) / Listvenite (wall-rock)	-1,6	14,9	8,9
9	Нк-22м	Магнезит / Magnesite	-2,3	17,1	11,1
10	Нк-27м	Магнезит / Magnesite	-2,8	14,5	8,5

Примечание. Массивы: 1–6 – Оспинский; 7, 8 – Усть-Келянский; 9, 10 – Парамский. Расчет кислорода во флюиде произведен для температуры 300°C [10].

Note. Massifs: 1–6 – Ospa; 7, 8 – Ust-Kelyana; 9, 10 – Parama. Calculation of oxygen in the fluid has been performed for the temperature of 300°C [10].

ультраосновных пород различных регионов. В нефритах в сравнении с серпентинитами составы кислорода больше обогащены тяжелым кислородом.

Значения δD в гидроксильной группе тремолита, слагающего нефрит, и серпентина также лежат в области ювенильного источника. Установленные значения δD (см. табл. 2, см. рис. 4), как и в случае с кислородом, концентрируются в контурах ювенильного источника флюидов. Частично они перекрываются значениями, встречающимися в водах метаморфического происхождения. В связи с этим относительно логичным представляется вариант мобилизации флюида из серпентинитов, содержание воды в которых в 5–6 раз выше, чем в тремолитах. В пользу этого предположения кроме близких изотопных характеристик свидетельствует замещение серпентина тремолитом, хотя источник кальция и остается пока невыясненным.

Обеднение δD серпентинов (см.

табл. 2, анализ 6, 7) свидетельствует об участии метеорного источника.

Состав лиственитов свидетельствует о привносе ряда компонентов из пород другого источника (SiO_2 , CO_2 и др.). Значения $\delta^{18}\text{O}$ в кварце, карбонатах, тальке, варьирующие в пределах от 8,12 до 17,46‰ (см. табл. 2), отчетливо указывают на участие корового вещества. Рассчитанный по источнику [10] состав кислорода во флюиде, равновесном с минералами (кварц, карбонаты, тальк), приближен к значениям метаморфогенного источника (см. табл. 3).

Поскольку существует предположение о том, что листвениты формируются под воздействием растворов, поступающих из изверженных пород при воздействии интрузий кислого состава [13] либо при формировании вулканогидротермальных систем [14], авторами определен изотопный состав кислорода в минералах из гранитов (см. табл. 2), закартированных на площади Оспинско-Китой-

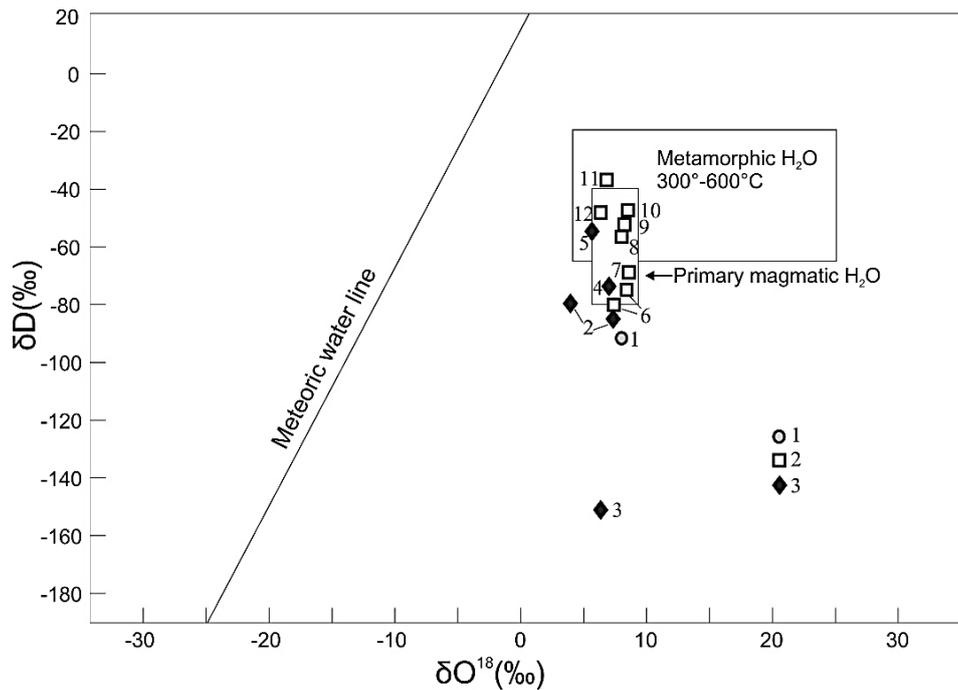


Рис. 4. Диаграмма составов δD и $\delta^{18}O$ в тальк-карбонатных породах (1), апогипербазитовых нефритах (2) и серпентинитах (3)

Восточно-Сибирской нефритоносной провинции и других регионов

Поля составов вод по [11]. Массивы: 1, 2 – Оспинско-Китойский; 3 – Усть-Келянский; 4, 12 – Парамский; 5 – Горлыкгольский; 6 – Хамар-Худинский; 7 – Уланходинский; 8 – Ред Маунтин (Новая Зеландия); 9 – Огден (Канада); 10 – Шулапс Рэйндж (Канада), 11 – Чара (Сибирь). Проявления: 8–11 по [12]

Fig. 4. Diagram of δD and $\delta^{18}O$ compositions in talc-carbonate rocks (1), apultrabasic nephrites (2) and serpentinites (3)

of the East Siberian nephrite-bearing province and other regions.

Fields of water compositions by [11]. Massifs: 1, 2 – Ospa-Kitoy; 3 – Ust-Kelyana; 4, 12 – Parama; 5 – Gorlykgo; 6 – Khamar-Khuda; 7 – Ulankhoda; 8 – Red Mountain (New Zealand); 9 – Ogden (Canada); 10 – Shulaps Range (Canada); 11 – Chara (Siberia). Occurrences: 8–11 by [12]

ского массива. Близость полученных изотопных данных с составами в минералах лиственитов в целом не противоречит гипотезе такой связи. В тоже время существенный дискомфорт при этом создает проблема источника углекислоты, Mg, Ca, определившего появление карбонатов в лиственитах. Это указывает на большую вероятность метаморфогенного источника флюидов.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать вывод об идентичности источника флюидов, формировавших серпентиниты и нефриты. Некоторое утяжеление относительно материнских ультра-

основных пород, изотопного состава кислорода последних, вероятно, является свидетельством трансформации состава в результате эволюции в процессе изменения физико-химических условий образования пород. Вполне вероятным также может быть вовлечение флюидов корового источника.

Флюиды, участвующие в образовании лиственитов, с большой долей вероятности имели метаморфогенный источник.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ 16-35-00040-мол_а и 15-06-06133-А.

Библиографический список

1. Дамдинов Б.Б. Листвениты Оспинско-Китойского ультрабазитового массива (Восточный Саян): вещественный состав и благороднометалльная минерализация // Металлогения древних и современных океанов – 2011. Рудоносность осадочно-вулканогенных и гипербазитовых комплексов. Миасс: ИМин УрО РАН, 2011. С. 89–92.

2. Добрецов Н.Л., Конников Э.Г., Медведев В.Н., Склярёв Е.В. Офиолиты и олистостромы Восточного Саяна // Рифейско-нижнепалеозойские офиолиты Северной Евразии. Новосибирск: Наука, 1985. С. 34–58.

3. Сутурин А.Н., Замалетдинов Р.С. Нефриты. Новосибирск: Наука, 1984. 150 с.

4. Vennemann T.W., O'Neil J.R. A simple and inexpensive method of hydrogen isotope and water analyses of minerals and rocks based on zinc reagent // Chemical Geology (Isot. Geosci. Sect.). 1993. Vol. 103. Pp. 227–234.

5. Кузьмичев А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. М.: ПРОБЕЛ-2000, 2004. 192 с.

6. Гурулев С.А., Шагжиев К.Ш. Геология и условия образования Парамского месторождения нефрита в

References

1. Damdinov B.B. *Listvenity Ospinsko-Kitoiskogo ul'trabazitovogo massiva (Vostochnyi Sayan): veshchestvennyi sostav i blagorodnometal'naya mineralizatsiya* [Listvenites of the Ospa-Kitoy ultrabasic massif (Eastern Sayan): composition and noble metal mineralization]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov – 2011. Rudonosnost' osadochno-vulkanogennykh i giperbazitovykh kompleksov* [Metallogeny of ancient and modern oceans – 2011. Ore-bearing of sedimentary-volcanogenic and ultrabasic complexes]. Miass, Institut mineralogii Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk Publ., 2011, pp. 89–92. (In Russian).

2. Dobretsov N.L., Konnikov E.G., Medvedev V.N., Sklyarov E.V. *Ofiolity i olivostromy Vostochnogo Sayana* [Ophiolites and olistostromes of the Eastern Sayan]. *Rifeysko-nizhnepaleozoiskie ofiolity Severnoi Evrazii* [Riphean-Lower Paleozoic ophiolites of Northern Eurasia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1985, pp. 34–58. (In Russian).

3. Suturin A.N., Zamaletdinov R.S. *Nefrity* [Nephrites]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1984. 150 p.

4. Vennemann T.W., O'Neil J.R. A simple and inexpensive method of hydrogen isotope and water analyses of minerals and rocks based on zinc reagent. *Chemical Geology (Isot. Geosci. Sect.)*, 1993, vol. 103, pp. 227–234.

5. Kuz'michev A.B. *Tektonicheskaya istoriya Tuvino-Mongol'skogo massiva: rannebai-kal'skii, pozdnebaikal'skii i rannekaledonskii etapy* [Tectonic history of the Tuva-Mongolia massif: early Baik, late Baik and early Caledonian stages]. Moscow, PROBEL-2000 Publ., 2004. 192 p.

6. Gurulev S.A., Shagzhiev K.Sh. *Geologiya i usloviya obrazovaniya Paramskogo mestorozhdeniya nefrita v*

Восточной Сибири // Неметаллические полезные ископаемые гипербазитов. М.: Наука, 1973. С. 234–244.

7. Грудинин М.И. Базит-гипербазитовый магматизм Байкальской горной области. Новосибирск: Наука, 1979. 156 с.

8. Конников Э.Г., Цыганков А.А., Врублевская Т.Т. Байкало-Муйский вулканоплутонический пояс: структурно-вещественные комплексы и геодинамика. М.: ГЕОС, 1999. 163 с.

9. McDonough W.F., Sun S.-S. The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. Vol. 120. Pp. 228.

10. Zheng Y.-F. On calculations of oxygen isotope fractionation in minerals // Episodes. 1999. Vol. 22. No. 2. Pp. 99–106.

11. Тейлор Х.П. Применение изотопии кислорода и водорода к проблемам гидротермального изменения вмещающих пород и рудообразования // Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. М.: Мир, 1977. С. 213–298.

12. Yui T.-F., Kwon S.-T. Origin of a dolomite-related jade deposit at Chuncheon, Korea // Economic Geology. 2002. Vol. 97. Pp. 593–601.

13. Сазонов В.Н. Березит-лиственитовая формация и сопутствующее ей оруденение (на примере Урала). Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1984. 208 с.

Vostochnoi Sibiri [Geology and formation conditions of the Parama nephrite deposit in Eastern Siberia]. *Nemetallicheskie poleznye iskopaemye giperbazitov* [Non-metallic minerals of ultrabasites]. Moscow, Nauka Publ., 1973, pp. 234–244. (In Russian).

7. Grudin M.I. *Bazit-giperbazitovyi magmatizm Baikalskoi gornoj oblasti* [Basite-ultrabasite magmatism of the Baikal area]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979. 156 p.

8. Konnikov E.G., Tsygankov A.A., Vrublevskaia T.T. *Baikalo-Muiskii vulkano-plutonicheskii poias: strukturno-veshchestvennye komplekсы i geodinamika* [Baikal-Muya volcano-plutonic belt: structural and compositional complexes and geodynamics]. Moscow, GEOS Publ., 1999. 163 p.

9. McDonough W.F., Sun S.-S. The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 1995, vol. 120, pp. 228.

10. Zheng Y.-F. On calculations of oxygen isotope fractionation in minerals. *Episodes*, 1999, vol. 22, no. 2, pp. 99–106.

11. Teilor Kh.P. *Primenenie izotopii kisloroda i vodoroda k problemam gidrotermal'nogo izmeneniya vmeshchayushchikh porod i rudoobrazovaniya* [Application of oxygen and hydrogen isotopy to the problems of hydrothermal alteration of host rocks and ore formation]. *Stabil'nye izotopy i problemy rudoobrazovaniya* [Stable isotopes and ore formation problems]. Moscow, Mir Publ., 1977, pp. 213–298. (In Russian).

12. Yui T.-F., Kwon S.-T. Origin of a dolomite-related jade deposit at Chuncheon, Korea. *Economic Geology*, 2002, vol. 97, pp. 593–601.

13. Sazonov V.N. *Berezit-listvenitovaya formatsiya i sopushtvuyushchee ee orudnenie (na primere Urala)* [Beresite-listvenite formation and an accompanying mineralization (on example of the Urals)]. Sverdlovsk, Uchebno-nauchnyi tsentr

14. Осипенко А.Б., Сидоров Е.Г., Романченко В. В. Листвениты Северной Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2001. 156 с.

Akademii nauk Soyuzu Sovetskii Sotsialisticheskikh Respublik Publ., 1984. 208 p.

14. Osipenko A.B., Sidorov E.G., Romanchenko V.V. *Listvenity Severnoi Kamchatki* [Listvenites of the Northern Kamchatka]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2001. 156 p.

*Статья поступила 20.01.2017 г.
The article was received 20.01.2017.*