

УДК 552.31:546.71

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕНИЯ В ФОРМАЦИОННЫХ ТИПАХ УЛЬТРАМАФИТОВ СИБИРИ

А.Ф. Коробейников, А.И. Чернышов\*

Томский политехнический университет  
E-mail: paya@tpu.ru

\*Томский государственный университет  
E-mail: aich@ggf.tsu.ru

Ультрамафиты офиолитовых, щелочно-ультраосновных субвулканических комплексов складчатых систем Саян и Алданского щита несут от 0,2 до 569 мг/т Re. Высокими концентрациями элемента обладают дуниты и гарцбургиты Калнинского и Кызыр-Бурлюкского массивов Куртушибинского (Западно-Саянского) офиолитового пояса, а также Оспинского массива Восточно-Саянского пояса с содержаниями Re до 383 и до 167 мг/т, соответственно. Обсуждаются особенности распределения Re в различных структурно-деформационных типах ультрамафитов. Наименее деформированные протогранулярные дуниты Восточного Саяна имеют повышенные содержания Re 56...90 мг/т. В пластически деформированных разностях пород с наиболее упорядоченной мезогранулярной структурой содержится всего 1...15 мг/т Re. В синтетонически рекристаллизованных дунитах и гарцбургитах с порфирукластовой, порфиroleйстовой и мозаичнолейстовой структурами содержания рения варьируют от 2 до 167 мг/т. Хромитовые руды офиолитовых комплексов содержат от 23 до 383 мг/т Re. Серпентиниты, как продукты низкотемпературного метасоматоза, характеризуются как низкими фоновыми, так и аномальными концентрациями рения до 547 мг/т. В дунитах щелочно-ультраосновного Инаглинского массива (Алданский щит) с разными деформационными микроструктурами и ассоциирующими с ними верлитах, клинопироксенитах, а также метасоматитах отмечаются обычно низкие содержания Re от 0,3 до 36,4 мг/т. Наиболее высокие концентрации рения до 6,8 г/т установлены в гранатовых перидотитовых включениях в кимберлитовых телах Сибирской платформы, что, вероятно, обусловлено процессами перераспределения вещества при внутримантийном высокотемпературном метасоматизме.

### Ключевые слова:

Рений, магматические комплексы, ультрамафиты, метаморфизм, метасоматоз.

### Key words:

Rhenium, magmatic complex, ultramafic, metamorphism, metasomatism.

### Введение

Рений весьма востребованный элемент — он широко используется в авиакосмической, электронной промышленности, при изготовлении суперсплавов, жаропрочных и каталитических материалов [1, 2]. Его извлекают преимущественно при переработке различных медных, молибденовых, урановых и других руд как попутный компонент. Основной сырьевой базой рения служат медносльфидные и молибденовые концентрации, реже шунгитовые скопления, урановое сырьё, фумарольные образования современных и древних вулканов. Поэтому геохимические и металлогенические прогнозно-поисковые исследования сегодня направлены преимущественно на выяснение геолого-генетических, формационных и иных причин накопления рения в различных продуктах геологических процессов.

Коллективом геолого-аналитического центра «Золото-платина» Томского политехнического университета проводятся работы по выяснению распределения рения в горных породах, рудах, минералах золоторудных, медно-молибден-порфировых, колчеданно-полиметаллических, скарново-магнетитовых, золотосульфидных черносланцевых месторождений Сибири, Монголии, Казахстана, Урала [3, 4]. Установлены необычно повышенные концентрации Re не только в традиционных медно-молибден-сульфидных образованиях гранитоидных интрузий, но и в глубинных ультрамафит-мафитовых магматитах и особенно во включениях метасоматически преобразованных их разностей в кимберлитовых телах. Здесь концентрации Re достигают значений 6,8 г/т, т. е. приобретают промышленное значение.

Расширение числа объектов для геохимических исследований на рений потребовало специальной разработки высокочувствительного метода анализа природного вещества на данный элемент. Поэтому в центре «Золото-платина» ТПУ была разработана новая методика инверсионно-вольтамперометрического анализа геохимических проб горных пород, минералов на рений [1, 5, 6].

Основной целью геолого-геохимических исследований явилось установление закономерностей фонового и аномального распределения рения в ультрамафитах, мафитах и ассоциирующих с ними метасоматитах, а также выяснение его поведения при автосоматических верхнемантийных и внутрикоровых гидротермальных процессах. Полученная новая геохимическая информация, представленная в данной статье, дает общее представление о фоновом распределении рения в глубинных породах земной коры и верхней мантии. Она может иметь важное значение для дальнейшего общего познания геохимии и минералогии данного элемента.

**Методика определения рения в породах и минералах**

При выборе наиболее экспрессного и простого метода определения рения в природных объектах авторы остановились на методе инверсионной вольтамперометрии (ИВА). Этот метод разработан Л.Г. Гольц [1] в геолого-аналитическом центре «Золото-платина» Томского политехнического университета.

Метод ИВА с графитовым электродом позволяет определять Re в пробах горных пород, руд и минералов разного состава в диапазоне содержаний до  $1 \cdot 10^{-7}$  мас. %

Правильность определения элемента оценивалась сопоставлением получаемых результатов по стандартным образцам, по параллельному анализу проб рентгенофлуоресцентным методом (РФА). Масса навески составляла 1 г. В табл. 1 приведены данные сопоставительного анализа определений рения этими методами. Из таблицы видна достаточно хорошая сходимости результатов анализов проб пород и руд.

Методика выделения и определения Re в пробах представляет многостадийный процесс. Для перевода элемента в раствор пробы обрабатывались азотной кислотой. Из оксидов, сульфидов пород Re окисляется до высшей степени +7, переходя в перренат-ион или рениевую кислоту. Полнота вскрытия пробы на Re достигается использованием избытка азотной кислоты при нагреве раствора до 150...170 °С с целью предотвращения потерь летучего рения в виде  $Re_2O_7$ . Обжиг проб не проводился, поскольку при температуре 250 °С начинается потери  $Re_2O_7$ , а при 350 °С он полностью улетучивается. Поскольку совместно с Re в раствор переходят Mo, Ag, Cu, Fe и другие элементы, для их устранения использовано сорбционное концентрирование рения на активированный уголь. Оп-

тимальные условия адсорбции: pH раствора 2...3, крупность угля 0,3...0,8 мм, температура раствора не выше 25 °С, скорость пропускания раствора через активированный уголь до 100 объемов в час.

**Таблица 1.** Результаты определения содержаний рения в золоторудном минеральном сырье методами ИВА и РФА

Месторождение	Материал пробы	Содержания Re, $n \cdot 10^{-5}$ , мас. %	
		ИВА	РФА
Нежданинское (Якутия)	Пирит рудных тел вкрапленного типа	7,12±0,05	7,12±0,06
	Пирит жильных рудных тел	0,82±0,04	1,07±0,04
Бого-Васильевское (СВ Казахстан)	Пирит, арсенопирит, халькопирит	9,61±0,06	10,20±0,02
Акжал (СВ Казахстан)	Сульфитизированный алевролит	4,21±0,03	4,18±0,03
Баладжал (СВ Казахстан)	Черные углеродистые сланцы	0,84±0,04	0,83±0,04
Джумба (СВ Казахстан)	Пирит, арсенопирит	0,96±0,03	0,95±0,04
Бакырчик (СВ Казахстан)	Сульфитизированный алевролит	1,78±0,03	2,04±0,02
Большевик (СВ Казахстан)	Пирит, арсенопирит, пентландит	3,17±0,05	3,16±0,02
Сухой Лог (Забайкалье)	Кремнисто-углеродистые алевролиты	0,37±0,004	0,56±0,05
Олимпиадинское (Енисейский Край)	Углеродистые сланцы	0,54±0,02	0,63±0,03

**Объекты исследования**

Объектами исследования на рений являются ультрамафиты различных формационных типов. Были изучены ультрамафиты офиолитовых, щелочно-ультраосновных, субвулканических комплексов, а также включения ультрамафитов в кимберлитах.

Ультрамафиты офиолитовых комплексов изучались на примере Оспинского массива (Восточно-Саянский офиолитовый пояс), Калнинского и Кызыр-Бурлюкского массивов (Куртушибинский офиолитовый пояс), а также мелкие реститовые тела ультрамафитов Идарского зеленокаменного пояса Канского блока. Ультрамафиты щелочно-ультраосновных комплексов исследовались в Инаглинском массиве (Алданский щит). Субвулканические ультрамафитовые интрузии изучались в Идарском зеленокаменном поясе Канского блока Восточного Саяна. Объектом исследования также являются ультраосновные включения из кимберлитов Якутии (образцы из коллекций Б.В. Олейникова, Якутский филиал СО РАН).

**Массивы офиолитовых комплексов.** Оспинский массив представляют собой крупное пластинообразные будинированное тело, сложенное метаморфическими дунитами и гарцбургитами и, реже, кумулятивными образованиями [7, 8]. Метаморфиче-

ские дуниты и гарцбургиты характеризуются значительным разнообразием деформационных микроструктур оливина, отражающих степень пластических деформаций пород и объединяемых в семь последовательно образовавшихся главных типов: протогранулярный, мезогранулярный, порфинокластовый, порфиroleйстовый, мозаичный, мозаично-лейстовый [9]. Переход от одного типа микроструктур к другому характеризуется возрастом роли признаков пластических деформаций: полос излома, неоднородности погасания, изменении конфигурации границ зерен оливина, их степени ориентации и увеличении роли рекристаллизованных индивидов. В процессе пластических деформаций пород происходит изменение химического состава оливина и хромшпинелида. Направленность изменения состава минералов определяется термодинамическими условиями их метаморфогенного преобразования, которые могут фиксироваться в доминирующем механизме пластического деформирования.

В Калнинском массиве с нетрадиционным платино-палладиевым типом оруденения [10] пластически деформированные дуниты и гарцбургиты претерпели вторичную рекристаллизацию отжига с образованием грубозернистых и пегматоидных структур, очевидно под воздействием глубинного теплового потока. В свою очередь пегматоидные разновидности дунитов и гарцбургитов в тектонически активных зонах также подвергались пластическим деформациям с образованием порфинокластовых структур.

Серпентиниты в изученных ультрамафитовых массивах офиолитовых комплексов пользуются значительным распространением, среди них выделяются аподунитовые и апогарцбургитовые разновидности.

Ультрамафиты кумулятивной серии офиолитовых комплексов представлены породами верлит-клинопироксенитовой ассоциации. Эти породы также были подвержены пластическим деформациям, что фиксируется наличием в минералах неоднородного погасания, полос излома и признаков синтетектонической рекристаллизации.

**Инаглинский щелочно-ультраосновной массив.** Внутренняя структура ультрамафитов в щелочно-ультраосновных комплексах, в отличие от ультрамафитовых массивов офиолитовых комплексов, сформировалась в более стабильной тектонической обстановке. При этом устанавливаемые структурные элементы в этих массивах имеют гетерогенную природу и создавались в результате последовательного проявления динамометаморфических процессов [7].

Ультрамафиты Инаглинского массива представлены метаморфогенными дунитами, которые отличаются большим разнообразием деформационных микроструктур. Установленные микроструктуры подразделяются на пластически деформированные: протогранулярный, пегматоидно-порфи-

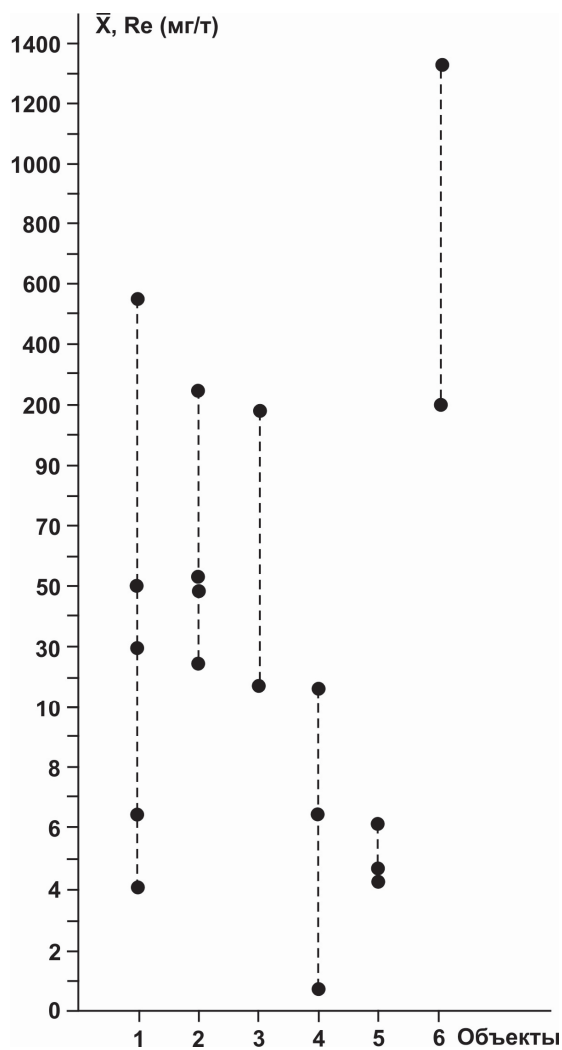
нокластовый, мезогранулярный, порфинокластовый, мозаичный типы и образовавшиеся в результате вторичной рекристаллизации отжига: пегматоидный, лейстовый, мозаично-лейстовый и идиобластовый типы. По дунитам часто образуются серпентиниты. Среди дунитов ограниченным распространением пользуются верлиты и клинопироксениты.

**Комплекс субвулканических ультрамафитовых массивов** пользуются значительным распространением в идарском зеленокаменном поясе Канского блока Восточного Саяна и объединяются в кингашский дунит-верлит-пикритовый комплекс [11, 12]. Наиболее представительным массивом этого комплекса является Кингашский массив, с которым связано Cu-Ni-Pt-месторождение [13]. Ультрамафиты этого комплекса представлены мелкими линзовидными телами с размерами до 3×0,7 км (Кингашский массив), которые обычно имеют северо-западное простирание и являются конкордантными к структуре пород образования. Они представлены магматическими породами дунит-верлит-пикритовой ассоциации: включающими дуниты, верлиты, их серпентинизированные разновидности, а также разнообразные по составу метапикриты. Характерной особенностью этих пород является наличие в них кумулятивных и бластопорфировых структур, свидетельствующих об их образовании в гипабиссальных и субвулканических условиях. Значительное разнообразие петрографического состава ультрамафитов кингашского комплекса на исследуемой территории, вероятно, обусловлено значительной степенью дифференцированности исходных магматических расплавов пикритового состава и глубиной их кристаллизации.

**Ультраосновные включения из кимберлитов** были любезно предоставлены Б.В. Олейниковым. Они преимущественно представлены гранатовыми перидотитами, метасоматическими измененными глубинными флюидами, обогащенными щелочами, титаном и ниобием [14]. Наличие таких включений в кимберлитах, по мнению О.Б. Олейникова, очевидно свидетельствует о масштабности метасоматических процессов в области зарождения кимберлитовых расплавов. Более ранние исследования зональных гранатов в перидотитовых включениях из кимберлитовых трубок Сибирской платформы также свидетельствуют о проявлении глубинного метасоматоза в верхней мантии [15].

#### **Распределение рения в ультрамафитах и ассоциирующих с ними породах**

Распределения рения в ультрамафитах представлено в табл. 2 и на рисунке, в которых приведены результаты анализов дунитов, гарцбургитов, серпентинитов, верлитов, пироксенитов, хромитов, пикритов, ультраосновных включений в кимберлитах. На рисунке отражено распределение средних содержаний рения в породах ультраосновных массивов Сибирского региона.



**Рисунок.** График распределения средних содержаний рения (мг/т) в различных ультраосновных породах (снизу вверх) исследуемых объектов: 1) Оспинский массив: клинопироксениты, верлиты, гарцбургиты, дуниты, серпентиниты с сульфидами; 2) Калнинский массив: хромититы, дуниты, гарцбургиты, дуниты пегматоидные; 3) Кызыр-Бурлюкский массив: верлиты, дуниты пегматоидные; 4) Инаглинский массив: клинопироксениты, дуниты, метасоматиты; 5) кингашский субвулканический комплекс: перидотиты, дуниты, пикриты; 6) ультраосновные включения в кимберлитах: гранатовые перидотиты

#### Офиолитовые комплексы

Ультрамафиты офиолитовых комплексов изучались на примере Оспинского массива (Восточно-Саянский офиолитовый пояс), Калнинского и Кызыр-Бурлюкского массивов (Куртушибинский офиолитовый пояс).

В *Оспинском массиве* анализ распределения рения проводился в пластически деформированных дунитах и гарцбургитах, а также в хромититах, серпентинитах, верлитах, и клинопироксенитах.

В гарцбургитах, которые являются наименее деплетированными ультрамафитами, среднее содержанием рения составляет 29,7 мг/т. Дуниты, представляющие наиболее деплетированные образования, содержат большие его концентрации, в среднем 49,4 мг/т. Отмечаются заметные вариации элемента в породах в зависимости от степени их пластического деформирования. Исходные дуниты с протогранулярной структурой несут повышенные концентрации рения (~77,3 мг/т), а протогранулярные гарцбургиты отличаются заметно меньшими значениями (~25,0 мг/т). Минимальные концентрации рения отмечаются в пластически деформированных дунитах и гарцбургитах с наиболее упорядоченной, равновесной мезогранулярной структурой (~8,0 и ~4,0 мг/т, соответственно). В синектонически рекристаллизованных ультрамафитах (с порфирокластовой, порфиroleйстовой и мозаично-лейстовой структурами) наблюдаются значительные вариации рения, иногда с аномально высоким содержанием (2,0...81,0 и 4,0...167,0 мг/т, соответственно в дунитах и гарцбургитах), очевидно обусловленных перераспределением элемента в процессе пластического течения при высоких температурах и высокой скорости деформации.

Для карбонатизированных серпентинитов массива, образовавшихся на месте дунитов и гарцбургитов в результате наложенного низкотемпературного метасоматоза, выявляются аномально высокие концентрации рения (~547,0 мг/т).

Хромититы, локализованные среди дунитов, отличаются значительными вариациями рения от минимальных 3,0 до аномальных 117 мг/т.

Верлиты и клинопироксениты, являющиеся продуктами высокотемпературного метасоматоза, отличаются минимальными содержаниями рения (~5,3 мг/т).

**Калнинский и Кызыр-Бурлюкский массивы.** В пластически деформированных гарцбургитах и дунитах Калнинского массива с порфирокластовыми структурами средние содержания рения составляют 53,5 и 48,0 мг/т, соответственно, и оказываются близкими с аналогичными ультрамафитами Оспинского массива. Однако грубозернистые и пегматоидные дуниты Калнинского и Кызыр-Бурлюкского массивов, претерпевшие вторичную высокотемпературную рекристаллизацию отжига, отличаются от пластически деформированных аномально высокими содержаниями (от 94 до 383 мг/т, при среднем 221 мг/т).

В хромититах содержание рения, примерно, в два раза меньше (23 мг/т), чем во вмещающих пластически деформированных дунитах.

В верлитах содержание рения также низкое, как и аналогичных породах Оспинского и Харанурского массивов, и составляет от 4...6 мг/т, отмеченные более высокие содержания до 32 мг/т, очевидно связаны с незначительной степенью клинопироксенизации.

**Таблица 2.** Распределение рения (мг/т) в ультрамафитах различных формационных типов из разных регионов Сибири

Горная порода	Число проб	Содержание Re		
		от	до	$\bar{X}$
<b>Оспинский массив Восточно-Саянского офиолитового пояса</b>				
Дуниты протогранулярные	3	56	90	77,3
Дуниты мезогранулярные	2	1	15	8,0
Дуниты порфирукластовые	2	40	71	55,5
Дуниты порфиро-, мозаичнолейстовые	3	2	81	45,0
Гарцбургиты протогранулярные	1	-	25	25,0
Гарцбургиты мезогранулярные	3	3	5	4,0
Гарцбургиты порфиroleйстовые	2	12	167	89,5
Гарцбургиты мозаичнолейстовые	2	13	34	23,5
Серпентиниты с сульфидами	2	525	569	547
Верлиты, клинопироксениты	4	3	10	5,3
Хромититы	2	3	117	60
<b>Калнинский и Кызыр-Бурлюкский массивы Западно-Саянского (Куртушибинского) офиолитового пояса</b>				
Дуниты	3	40	55	48,0
Дуниты пегматоидные	3	94	383	235,0
Гарцбургиты	2	40	67	53,5
Верлиты	3	4	32	14,0
Хромититы	1	-	23	23,0
<b>Инаглинский массив щелочно-ультраосновного комплекса Алдана</b>				
Дуниты протогранулярные	4	1,4	7,8	3,3
Дуниты пегматоидно-порфирукластовые	8	1,0	24,3	6,8
Дуниты порфирукластовые	3	2,7	13,9	7,5
Дуниты лейстовые	3	1,7	15,7	10,4
Дуниты мозаично-лейстовые	8	1,3	6,0	3,1
Дуниты мозаичные	7	1,4	36,4	6,9
Дуниты идиобластовые	5	1,7	18,7	8,3
Верлиты, клинопироксениты	2	2,1	3,1	2,7
Метасоматиты	11	4,6	34,0	12,2
<b>Кингашский субвулканический дунит-верлит-пикритовый комплекс Канской глыбы. СЗ Восточного Саяна</b>				
Дуниты	2	2,7	6,7	4,7
Перидотиты	2	0,6	7,9	4,2
Пикриты	10	0,2	16,8	6,1
<b>Ультраосновные включения из кимберлитов Якутии</b>				
Перидотиты гранатовые	24	194	6803	1332

Анализы пород выполнены в лаборатории геолого-аналитического центра Томского политехнического университета методом инверсионной вольтамперометрии. Аналитики Л.Г. Гольц, Э.В. Горчаков, Т.С. Глызина, З.С. Михайлова.

### Щелочно-ультраосновные комплексы

В *Инаглинском массиве* доминирующими породами являются дуниты с разнообразными деформационными микроструктурами при подчиненной роли щелочных пород и сопровождаемых их метасоматитов. Для всех дунитов с различными структурными типами устанавливаются низкие содержания рения (~5,7 мг/т), при этом вариации элемента незначительные и составляют от 0,4 до 18,7 мг/т, лишь в единичных образцах его концентрации заметно возрастает до 36,4 мг/т. В клино-

пироксенизированных дунитах содержания рения очень низкие (~2,6 мг/т), сопоставимая с близкими породами офиолитовых комплексов. В щелочных метасоматитах отмечается тенденция к возрастанию концентраций рения по отношению к дунитам, при среднем ~12,2 мг/т, вариации составляют от 4,6 до 34 мг/т.

### Комплекс субвулканических ультрамафитовых массивов

В составе этого комплекса изучались породы из различных мелких массивов северо-западной части Канского блока, которые представлены дунитами, серпентинитами, апоперидотитовыми метасоматитами, пикритами. Для дунитов и перидотитов отмечаются низкие средние концентрации рения (4,7 и 4,2 мг/т, соответственно). Пикриты отличаются неоднородностью концентраций рения от 0,2 до 16,8, в среднем 4,8 мг/т.

### Ультраосновные включения из кимберлитов

Ультраосновные включения из кимберлитов характеризуются значительными вариациями и максимальными концентрациям рения, при этом значительно отличаются от ультрамафитов других формационных типов. Содержание рения составляют от 194 до 6803 мг/т.

### Обсуждение результатов исследования

Особенности распределения рения в ультрамафитах заключаются в следующем.

1. Ультрамафиты офиолитовых комплексов складчатых поясов Сибири характеризуются неоднородным распределением рения от пониженных до умеренных и высоких в изученных массивах Западного и Восточного Саяна. Вариации средних содержания элемента в дунитах, гарцбургитах с разными деформационными структурами составили от 4,0 до 235,0 мг/т (табл. 2, рисунок).

Мелкие тела хромититов, установленные в изученных массивах, характеризуются значительными вариациями элемента от низких 3,0 до повышенных 117 мг/т (Оспинский массив) (табл. 2).

В карбонатизированных сульфидизированных серпентинитах Оспинского массива выявлены anomalно высокие концентрации рения (525...547 мг/т) (табл. 2). Очевидно происходит существенное перераспределение рения в серпентинитах в процессе наложенной сульфидной минерализации.

Верлиты и клинопироксениты, представляющие кумулятивную серию офиолитовых комплексов, отличаются очень низкими содержаниями рения обычно менее 10 мг/т.

2. Специальное изучение распределения рения в различных структурно-деформационных типах ультрамафитов офиолитовых комплексов свидетельствуют о существенном перераспределении элемента в процессе пластического деформирования породах. Особенно наглядно эта тенденция про-

явилась в Оспинском массиве Восточного Саяна. В исходных наименее деформированных протогранулярных дунитах среднее содержание Re составляет 77 мг/т, а в наиболее пластически деформированных дунитах, гарцбургитах с наиболее упорядоченной структурой его содержания существенно уменьшаются до 4 и 8 мг/т, соответственно. В синтетически рекристаллизованных ультрамафитах с порфирокластовой, порфиroleйстовой и мозаично-лейстовой структурами установлены наиболее значительные вариации содержания элемента от 2 до 167 мг/т, обусловленные крайне неравномерным его перераспределением в процессе неоднородных пластических деформаций.

3. В щелочно-ультраосновном Инаглинском массиве Алдана преобладающие дуниты отличаются низкими содержаниями рения (~5,7 мг/т) при незначительных вариациях в породах с различными деформационными микроструктурами. В ассоциирующих с дунитами щелочных метасоматитах концентрации рения остаются низкими, с проявлением слабой тенденции к увеличению. Что вероятно свидетельствует о нейтральном балансе элемента в процессе перераспределения вещества при метасоматозе.

4. Субвулканические ультрамафитовые комплексы Канского блока Восточного Саяна отличаются низкими содержаниями рения и его незначительными вариациями в различных породах.

5. При изучении геохимии рения в метасоматически преобразованных включениях гранатовых перидотитов в кимберлитовых телах Сибирской платформы установлено необычно высокое содержание рения до 6,8 г/т (табл. 2). Очевидно, что в областях зарождения кимберлитового магматизма осуществлялись процессы высокотемпературного метасоматического преобразования, которые обеспечивали перераспределение, вынос и накопление рения в исходных мантийных ультрамафитах.

Возможно, что установленный нами этот геохимический феномен окажется важным свидетельством становления глубинно-мантийных металлоносных систем, способных формировать в земной коре крупные редкометалльные месторождения типа Томтора [16].

#### Заключение

Получены новые данные по фоновому содержанию рения в разноформационных ультрамафитах массивов Сибирского региона: Оспинского, Калнинского, Кызыр-Бурлюкского, Инаглинского, Гулинского, Кингашского. Выявлено промышленно интересное накопление данного элемента в продуктах глубинного высокотемпературного внутримантийного метасоматизма ультрамафитов в зонах формирования кимберлитов – производных глубинного щелочного метасоматизма внутримантийных пород.

Изучение распределения рения в различных структурно-деформационных типах дунитов, гарцбургитов, перидотитов и их преобразованных разновидностях выявило последовательное сокращение содержания элемента в последовательно деформированных образованиях: фоновые содержания Re 48...77 мг/т в исходных дунитах и пониженное до 4...8 мг/т в наиболее деформированных их разновидностях с наиболее упорядоченной мезогранулярной структурой. Аномально повышенные концентрации элемента возникали при наложении сульфидной фазы в серпентинитах, что, очевидно, связано с рудно-метасоматическими процессами.

Приведенные материалы по ультраосновным включениям в кимберлитах, вероятно, свидетельствуют об участии высокотемпературных метасоматизирующих флюидов глубинных систем в формировании редкометалльных месторождений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по гранту № 2.1.1/1008 «Геология и геохимия благородных и редких металлов: мантийно-коровые источники».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольц Л.Г. Вольтамперометрическое определение рения в минеральном и техногенном сырье: автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Томск: ТПУ, 2006. – 22 с.
2. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Кн. 5. Редкие элементы. – М.: Экология, 1997. – С. 218–259.
3. Коробейников А.Ф. Мантийно-коровые рудообразующие системы комплексных месторождений благородных и редких металлов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 130 с.
4. Палант А.А., Трошкина И.Д., Чекмарев А.М. Металлургия рения. – М.: Наука, 2007. – 298 с.
5. Пшеничкин А.Я., Коробейников А.Ф., Гольц Н.А., Колпакова Н.А. О нахождении рения в рудах золоторудных месторождений черносланцевых толщ // Благородные металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. – Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2005. – Т. 2. – С. 34–37.
6. Пшеничкин А.Я., Коробейников А.Ф., Колпакова Н.А. О концентрации рения в рудах золоторудных месторождений черносланцевых толщ // Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – С. 516–520.
7. Чернышов А.И. Ультрамафиты (пластическое течение, структурная и петроструктурная неоднородность). – Томск: Чародей, 2001. – 214 с.
8. Леснов Ф.П., Чернышов А.И., Истомин В.Е. Геохимические свойства и типоморфизм оливинов из гетерогенных ультрамафитовых пород // Геохимия. – 2005. – № 4. – С. 395–414.
9. Чернышов А.И. Петроструктурная эволюция оливинов в ультрамафитах Парамского и Шаманского массивов (Байкало-Муйский офиолитовый пояс) // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46. – № 11. – С. 1121–1132.
10. Подлипский М.Ю., Кривенко А.П. Платино-палладиевый тип оруденения в хромитовых рудах гипербазитов Западного Саяна // Доклады Академии наук. – 2004. – Т. 396. – № 1. – С. 98–101.
11. Чернышов А.И., Ножкин А.Д., Мишенина М.А. Петрогеохимическая типизация ультрамафитов Канского блока (Восточный Саян) // Геохимия. – 2010. – № 2. – С. 126–150.

12. Chernyshov A.I., Nozhkin A.D., Mishenina M.A. Petrogeochemical Typification of the Ultramafic Rocks from the Idar Greenstone Belt, Kan Block, East Sayan // *Geochemistry International*. – 2010. – V. 4. – № 2. – P. 118–139.
13. Чернышов А.И., Ножкин А.Д., Ступаков С.И. и др. Кингашский мафит-ультрамафитовый массив: геологическое положение, внутреннее строение, вещественный состав и петроструктурный анализ ультрамафитов (Восточный Саян) // *Платина России. Проблемы развития, оценки, воспроизводства и комплексного использования минерально-сырьевой базы платиновых металлов. Сб. научн. трудов. Т. 5.* – М.: ООО «Геонинформмарк», 2004. – С. 152–175.
14. Олейников О.Б. Глубинные метасоматические ассоциации в интрузивном кимберлите // *Отечественная геология*. – 1998. – № 6. – С. 51–54.
15. Лазько Е.Е., Серенко В.В. Перидотиты с зональными гранатами из кимберлитов Якутии: свидетельство высокотемпературного глубинного метасоматоза и внутримантийного метасоматизма // *Известия АН СССР. Сер. геол.* – 1983. – № 12. – С. 41–53.
16. Кравченко С.М., Беляев А.Ю., Покровский Б.Г. Геохимия и генезис массива Томтор (север Сибирской платформы) // *Геохимия*. – 1992. – № 8. – С. 1094–1110.

*Поступила 18.11.2011 г.*