

**ИСТОЧНИКИ ГАЛЛИЯ В ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОРКАХ ЯПОНСКОГО МОРЯ****П.Е. Михайлик<sup>1,2</sup>, Е.В. Михайлик<sup>1</sup>, М.Г. Блохин<sup>1</sup>, Н.В. Зарубина<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Дальневосточный геологический институт ДВО РАН,  
690022, Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159, Россия<sup>2</sup> Дальневосточный федеральный университет, 690950, Владивосток, ул. Суханова, 8, Россия

Рассмотрены возможные источники галлия в гидротермально-осадочных железомарганцевых корках подводной возвышенности Беляевского (Центральная котловина, Японское море). Проведенные исследования методом последовательного селективного выщелачивания показали, что около 80 % галлия содержится в марганцевой фазе. В колонке осадков Японского моря, расположенной в непосредственной близости к подводной возвышенности Беляевского, установлены пеплы влк. Чанбайшань (Пектусан) с содержанием галлия до 35.3 г/т. Поэтому его дополнительным источником в Fe-Mn корках подводной возвышенности Беляевского, вероятно, мог служить пепловый материал влк. Чанбайшань, породы которого характеризуются высоким (до 300 г/т) содержанием Ga.

*Галлий, источник, железомарганцевые корки, подводные возвышенности, Японское море.***SOURCES OF GALLIUM IN FERROMANGANESE CRUSTS FROM THE SEA OF JAPAN****P.E. Mikhailik, E.V. Mikhailik, M.G. Blokhin, and N.V. Zarubina**

Possible sources of gallium in hydrothermal-sedimentary ferromanganese crusts of the Belyaevsky Seamount edifice (Central Basin, Sea of Japan) are considered. Studies with successive selective leaching have shown that ~80% of Ga are present in the manganese fraction. The Changbaishan Volcano ash with up to 35.3 ppm Ga has been found in the marine sediment column located in the immediate vicinity of the Belyaevsky Seamount. This suggests that Ga of the Fe-Mn crusts of the seamount was supplied with the ash of volcanic rocks containing up to 300 ppm Ga.

*Gallium, source, ferromanganese crusts, seamounts, Sea of Japan***ВВЕДЕНИЕ**

Методом масс-спектрометрии были определены высокие концентрации Ga в гидротермально-осадочных Fe-Mn корках Курильской, Идзу-Бонин и Кермадек островных дугах [Аникеева и др., 2008], а также Японского моря [Михайлик, Ханчук, 2011; Батулин, 2012], а также в гидрогенных корках Охотского моря [Михайлик и др., 2009]. В настоящее время отсутствуют специализированные работы, посвященные геохимии Ga в морских отложениях. Выяснению этого вопроса на примере гидротермально-осадочных Fe-Mn корок Японского моря посвящена данная работа.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ**

Материалом для исследования послужили образцы Fe-Mn корок и их субстрата (базальтов), драгированных в 36-м рейсе НИС «Первенец» и переданных нам для изучения Е.П. Леликовым и В.Т. Съединым (ТОИ ДВО РАН). Детально в работе разбираются образцы Fe-Mn корок станции 2069/2 (41°26.0' с. ш., 134°59.6' в.д., глубина 2500—2200 м), а также базальты со станций 2068 (41°25.2' с.ш., 134°58.0' в.д., гл. 2800—2500 м) и 2070 (41°26.1' с.ш., 134°59.0' в.д., гл. 3400—3100 м) с подводной возвышенности Беляевского (Центральная котловина, Японское море) (рис. 1). Образцы 2069/2-2 и 2069/2-15-1 представлены верхними слоями Fe-Mn корок, 2069/2-П7 — Mn-рудной брекчией, которая является их субстратом. Базальты представлены оливин-плагиоклазовыми разностями с различными соотношениями в них оливина и плагиоклаза [Геология..., 1987; Астахова и др., 2010]. Возраст базальтов, определенный K-Ar методом, составляет  $12 \pm 1$  и  $4.4 \pm 0.3$  млн лет [Съедин, Емельянова, 2006].

Валовое содержание Ga в образцах Fe-Mn корок определялось методом ИСП-МС (Agilent 7700х, Япония), а изучение его распределения в минеральных фазах (I — легкорастворимая биогенная, II — марганцевая, III — железистая, IV — остаточная алюмосиликатная) проводилось методом последовательного селективного выщелачивания [Chester, Hughes, 1967] и выполнялось в Центре коллективного пользования, в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН согласно процедуре, изложенной в работе [Kochinsky, Halbach, 1995].

© П.Е. Михайлик✉, Е.В. Михайлик, М.Г. Блохин, Н.В. Зарубина, 2015

✉ e-mail: mikhailik@fegi.ru

DOI: 10.15372/GiG20150805

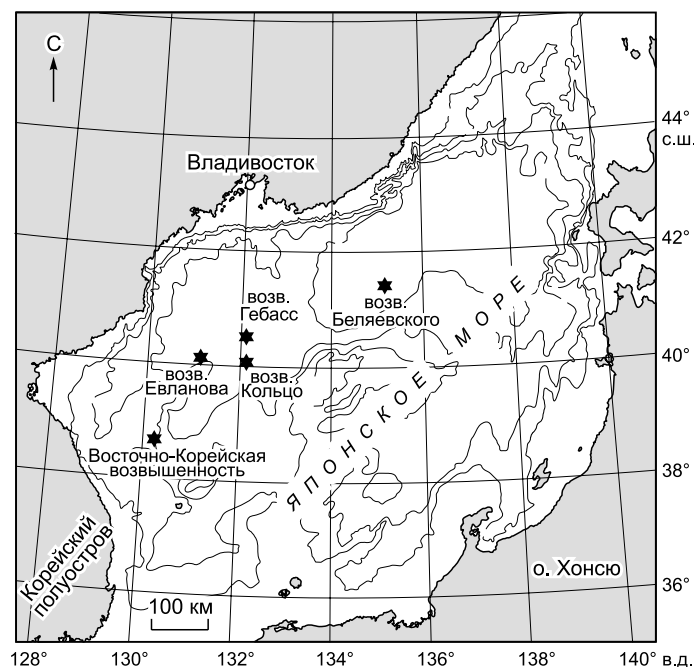
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности вещественного состава изученных Fe-Mn корок детально рассмотрены в работе [Михайлик и др., 2014].

В Fe-Mn корках подводной возвышенности Беляевского были определены концентрации галлия от  $< 2$  до  $777$  г/т [Михайлик, Ханчук, 2011; Батулин, 2012]. Высокие содержания галлия, определенные методом ИСП-МС, вначале были выявлены в различных генетических типах Fe-Mn образований. Так, для существенно диагенетических Fe-Mn конкреций (ЖМК) рудной провинции Кларин-Клиппертон концентрации Ga изменяются в пределах  $57$ — $212$  г/т [Дубинин, Успенская, 2006]. Анализ литературных данных показал, что железомарганцевый рудогенез островных дуг и окраинных морей характеризуется повышенными концентрациями этого элемента. Галлием обогащены (до  $48$  г/т) Fe-Mn корки Курильской островной дуги [Аникеева и др., 2008; Батулин и др., 2012]. В Fe-Mn образованиях островных дуг Кермадек и Идзу-Бонин количество Ga достигает  $320$  и  $110$  г/т соответственно [Аникеева и др., 2008]. В гидрогенных Fe-Mn корках центральной части Охотского моря (подводные возвышенности невулканического происхождения в трое Кашеварова) концентрации Ga определены от  $54$  до  $91$  г/т [Михайлик и др., 2009]. В ЖМК Балтийского моря (основное поле в Рижском заливе) количество металла достигает  $75$  г/т [Батулин, Дубинчук, 2009], в Чукотском и Восточно-Сибирском морях до  $42$  г/т [Батулин, Дубинчук, 2011], а в Fe-Mn корках Берингова моря до  $75$  г/т [Батулин и др., 2010], в Fe-Mn корках Японского моря по разным данным изменяется в пределах  $59$ — $874$  г/т [Михайлик, Ханчук, 2011; Батулин, 2012]. Однако в литературе имеются данные и о низких (на уровне кларка) концентрациях Ga в железомарганцевых образованиях задуговых бассейнов и островных дуг [Дубинин и др., 2008; Батулин и др., 2012]. Более того, повторное определение концентраций галлия в гидротермально-осадочных Fe-Mn корках подводной возвышенности Беляевского показало их значения на уровне кларка (табл. 1). Это несоответствие может быть связано либо с завышением истинных концентраций галлия в опубликованных работах в результате аналитической ошибки, либо объясняется наличием дополнительного источника этого металла в некоторых объектах. Рассмотрим эти два предположения более подробно.

При определении галлия методом ИСП-МС при идентификации уровней концентрации этого элемента в Fe-Mn образованиях возникают аналитические трудности. Появляются основные интерференции на массах изотопов галлия  $^{69}\text{Ga}$  и  $^{71}\text{Ga}$ , связанные с наложениями, формируемыми такими элементами, как Ba, Mn, Se и Nd, содержание которых в Fe-Mn образованиях может быть достаточно высоким. В случае использования квадрупольного ИСП-МС спектрометра при определении Ga предпочтительнее использовать изотоп  $^{71}\text{Ga}$ . Наиболее распространенный изотоп  $^{69}\text{Ga}$  подвержен наложению со стороны  $^{138}\text{Ba}^{++}$ , что ведет к завышению истинных концентраций Ga [Блохин и др., 2013].

Влияние двухзарядного иона Ba на концентрацию Ga отчетливо прослеживается в диагенетических ЖМК зоны Кларин-Клиппертон. Это отражается в прямолинейной зависимости содержаний Ga и Ba ( $R = 0.996$ , рис. 2, а). Аналогичная ситуация прослеживается для Fe-Mn корок Охотского [Михайлик



и др., 2009] и Берингова морей (см. рис. 2, б, в). В ЖМК Чукотского и Восточно-Сибирского морей [Батулин, Дубинчук, 2011], а также в корках Курильской островной дуги [Батулин и др., 2012] содержание Ga не зависит от концентрации Ba (рис. 3). Однако количество Ga в этих пробах невелико, а содержание Ba сопоставимо с Fe-Mn образованиями, обогащенными Ga. В Fe-Mn корках Японского моря прослеживается умеренная зависимость между содержаниями этих двух элементов,  $R = 0.58$  (рис. 4). Поэтому, скорее всего, Fe-Mn корки подводной возвышенности Беляевского обогащены галлием. Это подтверждается исследованиями Г.Н. Батурина [2012], которым изучены образцы Fe-Mn корок с этой же структуры по методике,

**Рис. 1.** Положение подводных возвышенностей с железомарганцевой минерализацией в Японском море.

Таблица 1. Содержание Ga (г/т) в гидротермальных Fe-Mn корках и базальтах подводной возвышенности Беляевского (Японское море)

Компонент	Fe-Mn корки			Базальты		
	2069/2-2	2069/2-П7	2069/2-15-1	2068	2070	2070А
Ga	18.8	19.5	19	17	18	17

примененной при анализе химического состава Fe-Mn корок Курильской островной дуги [Батурин и др., 2012], где отсутствует связь между накоплением Ba и Ga.

Высокие содержания Ga (среднее 307 г/т) в Fe-Mn корках подводного влк. Беляевского, по мнению Г.Н. Батурина [2012], могут быть связаны с повышенным содержанием этого элемента в коренных породах дна Японского моря. Однако проведенные нами специальные исследования химического состава слабоизмененных базальтов, слагающих подводную возвышенность Беляевского, показали, что они содержат Ga в пределах 17—18 г/т (см. табл. 1), что отвечает его средней концентрации в магматических породах [Вершковская и др., 1998].

В осадках Японского моря установлены пеплы и тефра влк. Чанбайшань (Пектусан) (рис. 5), которые обогащены Ga до 35.3 г/т, а его концентрация в аналогичных образованиях со склонов вулкана достигает 105.4 г/т [Сахно, Уткин, 2009]. По данным В.Т. Съедина и Т.А. Емельяновой [2006], наиболее молодые базальты характеризуют плиоценовый возраст подводной возвышенности Беляевского ( $4.4 \pm 0.3$  млн лет). Поставка пеплового материала влк. Чанбайшань в акваторию Японского моря достоверно продолжается последние 0.5 млн лет [Сахно, Уткин, 2009]. Следовательно, в Fe-Mn корках Японского моря может накапливаться пепловый материал периферийных вулканов. Проведенное нами исследование геохимии редкоземельных элементов и иттрия в четырех минеральных фазах гидротермально-осадочных Fe-Mn корок влк. Беляевского методом последовательного селективного выщелачивания показало, что алюмосиликатная составляющая сформирована эдафогенным веществом базальтов возвышенности Беляевского, континентальной пирокластикой влк. Чанбайшань, а также эоловой пылью

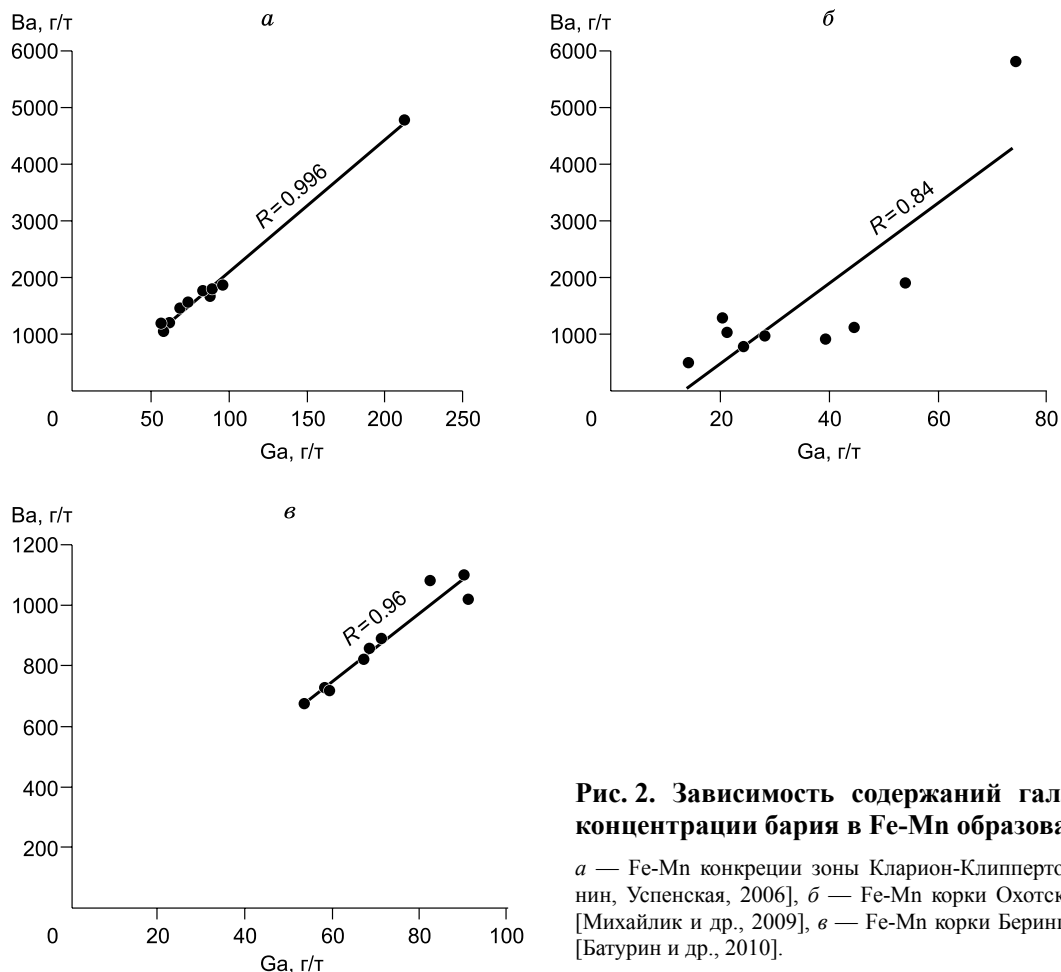
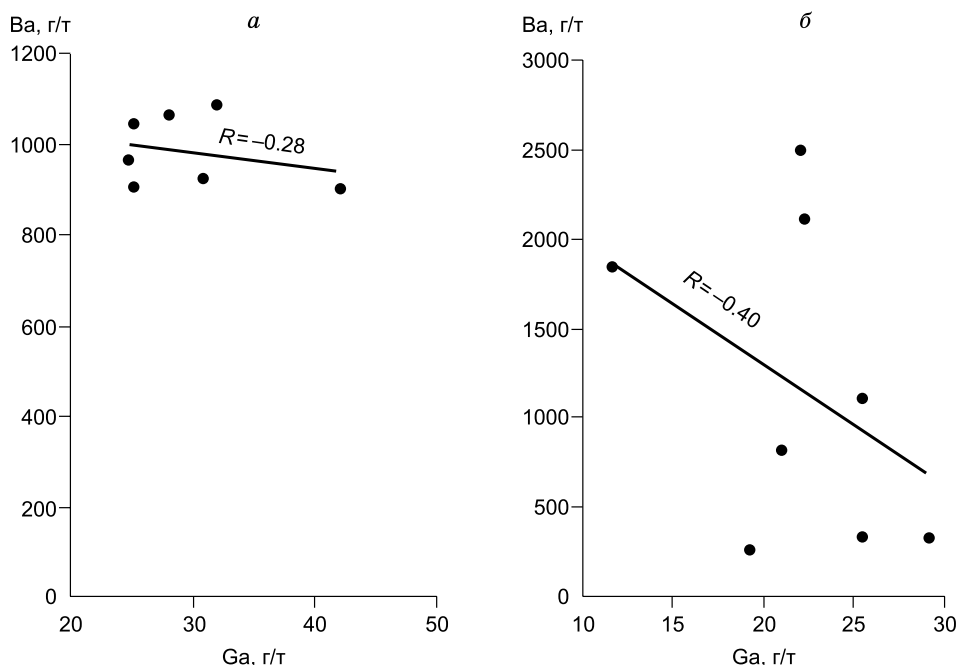


Рис. 2. Зависимость содержаний галлия от концентрации бария в Fe-Mn образованиях.

*а* — Fe-Mn конкреции зоны Кларион-Клиппертон [Дубинин, Успенская, 2006], *б* — Fe-Mn корки Охотского моря [Михайлик и др., 2009], *в* — Fe-Mn корки Берингова моря [Батурин и др., 2010].



**Рис. 3. Зависимость содержаний галлия от концентрации бария в Fe-Mn образованиях.**

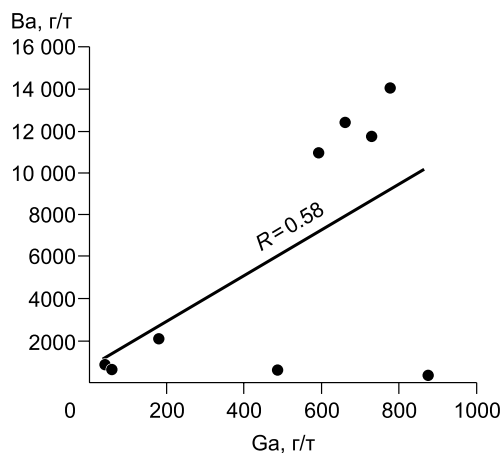
*а* — Fe-Mn конкреции Чукотского и Восточно-Сибирского морей [Батурин, Дубинчук, 2011], *б* — Fe-Mn корки Курильской островной дуги [Батурин и др., 2012].

азиатских пустынь [Михайлик и др., 2014]. Поэтому высокие содержания Ga в Fe-Mn корках подводной возвышенности Беляевского могут формироваться за счет накопления пеплового материала влк. Чанбайшань, породы которого характеризуются высоким (до 300 г/т) содержанием Ga [Сахно, 2008]. На рис. 5 показано, что Fe-Mn корки с высоким содержанием галлия [Михайлик, Ханчук, 2011; Батурин, 2012] приурочены к подводным возвышенностям, находящимся в зоне распространения пироклаستيку влк. Чанбайшань. Однако в зоне распределения пеплового материала с возрастом 51 тыс. лет находятся подводные возвышенности Геббас и Кольцо, но высоких содержаний галлия в Fe-Mn корках с этих структур установлено не было. Концентрация Ga в пепловых прослоях, характеризующих извержения других вулканов и расположенных по периферии Японского моря, в целом не превышает кларк [Сахно, Уткин, 2009].

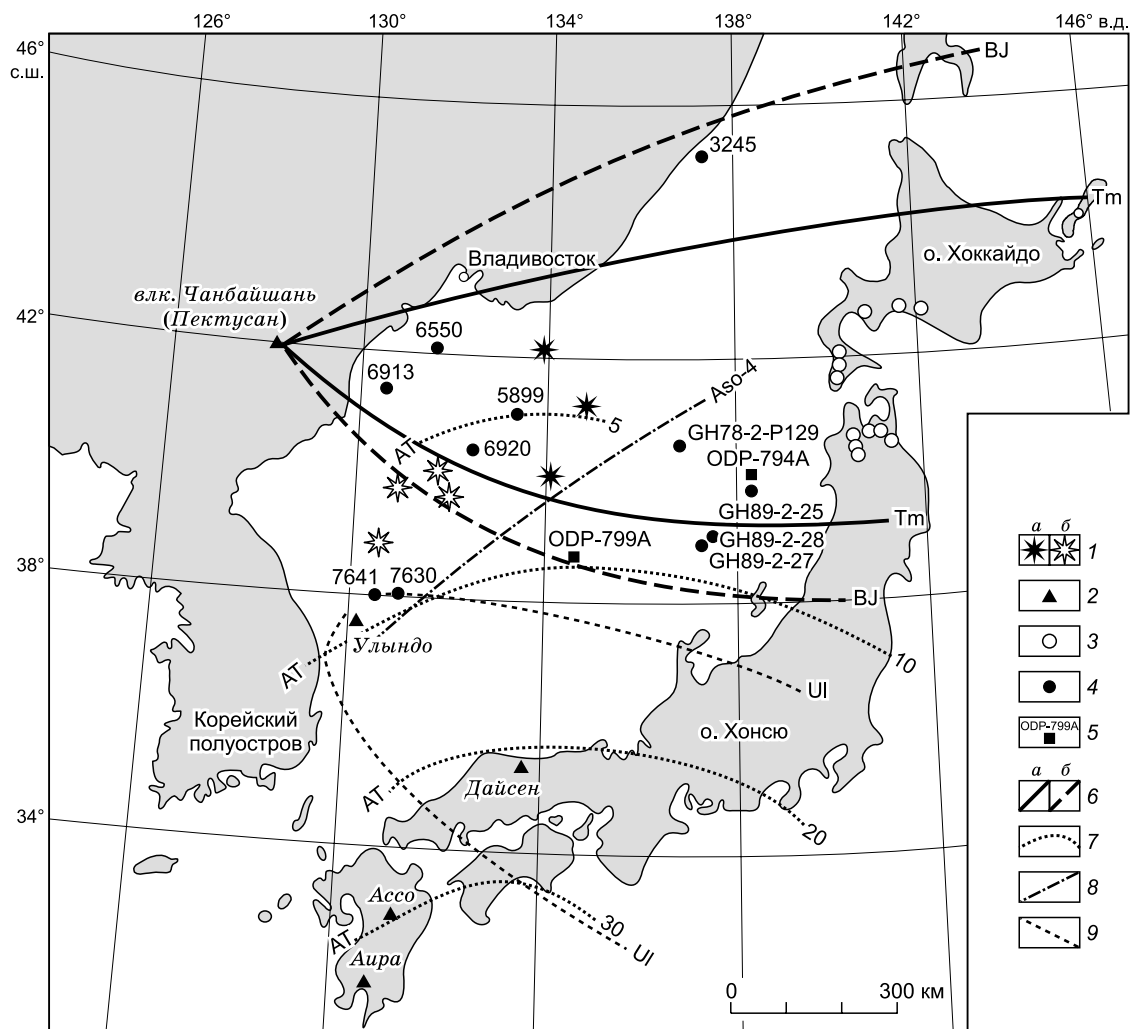
В монографии [Геохимия..., 1980] указано, что в осадках и ЖМК пелагиали океана концентрации Ga незначительны, и уточняется, что этот элемент не сорбируется оксигидроксидами железа и марганца. В работах [Савенко, 2004; Дубинин, Успенская, 2006] показано, что Ga в диагенетических ЖМК приэкваториальной части Восточной Пацифики связан не с основными рудными фазами (оксиды Mn и гидроксиды Fe), а с алюмосиликатной составляющей. В гидротермальных и гидротермально-осадочных Fe-Mn корках тропических областей Западной Пацифики и Атлантики концентрации Ga остаются на уровне кларка [Koschinsky, Hein, 2003].

Анализ корреляционных связей элементов, выполненный ими при селективном выщелачивании, показал, что Ga тесно связан с марганцевой фазой.

Наши данные по селективному выщелачиванию Fe-Mn корок подводной возвышенности Беляевского показали, что около 80 % Ga (табл. 2) связано с оксидами Mn, которые представлены тодорокитом и бёрнесситом [Михайлик, 2009; Батурин, 2012]. Таким образом, полученные данные указыва-



**Рис. 4. Зависимость содержаний галлия от концентрации бария в Fe-Mn корках Японского моря [Михайлик, Ханчук, 2011].**



**Рис. 5.** Схема ареалов пеплов и тефры на дне Японского моря и островах извержений вулканов Ассо, Дайсен, Аира (Япония), Чанбайшань (Китай, Корея) и о. Улындю (Корея) в позднем плейстоцен—голоцене [Сахно, Уткин, 2009].

1 — подводные возвышенности с содержанием галлия в Fe-Mn корках > 50 г/т (а), < 50 г/т (б); 2 — вулканы; 3 — находки пеплов на суше; 4 — пеплы и тефра трубок морского дна и их номера; 5 — скважины; 6 — ареал пеплов в морских осадках извержений влк. Чанбайшань: а — тысячелетнего возраста нашей эры (Тм), б — 51 тыс. лет (ВJ); 7 — ареал пеплов влк. Аира (АТ), изопахиты (см), 29 тыс. лет; 8 — ареал пеплов влк. Ассо (Асо-4), мощность 6 см; 9 — ареал пеплов вулкана о. Улындю (UI) (граница распространения извержений 9.3 и 33 тыс. лет).

ют на то, что источником Ga в Fe-Mn корках подводной возвышенности Беляевского в Японском море являются поствулканические нейтротермы и пирокластический материал вулканов континентального обрамления, в нашем случае это Чанбайшань.

Высокие концентрации галлия, определенные нейтронно-активационным методом, установлены в глубоководных полиметаллических сульфидах (ГПС) трюга Мид-Окинава (до 3700 г/т) и горы Суйо (до 1440 г/т) в Южно-Китайском и Филиппинском морях соответственно [Noguchi et al., 2007]. Такое содержание эти авторы объясняют взаимодействием флюида с мощным слоем осадков.

Сульфиды срединно-океанических хребтов (СОХ) умеренно обогащены Ga, его концентрации достигают для Галапагосского рифта 36 г/т; гидротермального поля Логачев-2 — 43 г/т; Восточно-Тихоокеанского поднятия (11° с.ш.) — 58 г/т; гидротермального поля Рэйнбоу — 60 г/т; хр. Эксплорер — 64 г/т и максимальное содержание (591 г/т) отмечено в гидротермальных сульфидах поля TAG (Trans Atlantic Geotravers) [Hannington et al., 1991; Леин и др., 2003]. В работе [Hannington et al., 1991] показано, что для поля TAG характерна прямая зависимость содержания галлия с золотом (до 5.53 г/т). М. Ханнингтон с соавторами [Hannington et al., 1991], проанализировав более 170 образцов сульфидов с гидро-

Таблица 2. Содержание и процентное соотношение Ga в четырех минеральных фазах Fe-Mn корок подводной возвышенности Беляевского (Японское море)

Фаза	2069/2-2		2069/2-Р7		2069/2-15-1	
	г/т	%	г/т	%	г/т	%
I	0.019	0.1	0.034	0.2	0.024	0.1
II	12.6	76.8	14.6	79.3	13.7	82.1
III	0.97	6	1.8	9.6	1.5	8.9
IV	2.8	17.1	2	10.9	1.5	8.9
Сумма	16.4	100	18.4	100	16.7	100
Валовое содержание	18.8	—	19.5	—	19	—

термальных полей Атлантического и Тихого океанов и сопоставив данные с различными (островные дуги, задуговые бассейны) геологическими обстановками подводного гидротермального сульфидообразования, пришли к выводу о близости минералого-геохимических признаков сульфидов СОХ и задуговых бассейнов. Более того, особенности вещественного состава Fe-Mn корок Западно-Тихоокеанской переходной зоны (ЗТПЗ) указывают на обнаружение возможного поддонного сульфидообразования в Японском и Охотском морях, аналогичного крупным рудопроявлениям южных сегментов ЗТПЗ, таких как месторождения ГПС Санрайз (островная дуга Идзу-Бонин) [Halbach et al., 1989] и Джейд (трог Окинава) [Lizasa et al., 1999]. В настоящее время ГПС в дальневосточных морях не выявлены [Геология..., 2011].

Как известно, ГПС и Fe-Mn корки являются продуктами минеральной дифференциации гидротермального флюида при смешении его с придонной морской водой [Cronan, 1980; Богданов и др., 2006]. Следовательно, высокая концентрация Ga в гидротермально-осадочных Fe-Mn корках Японского моря может служить важным признаком, указывающим на наличие ГПС.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что:

1. Галлий в гидротермально-осадочных Fe-Mn корках задуговых бассейнов (Японское море) сосредоточен главным образом в марганцевой фазе (около 80 %), что согласуется с данными фазового анализа, выполненного на примере гидротермально-осадочных Fe-Mn корок зон спрединга [Koschinsky, Hein, 2003].

2. Существенная доля Ga в гидротермально-осадочных Fe-Mn корках подводной возвышенности Беляевского в Японском море сосредоточена в остаточной алюмосиликатной фазе и представлена пепловым материалом влк. Чанбайшань (Пектусан), так как пеплы только этого вулкана в колонках морских осадков характеризуются повышенным содержанием Ga относительно пепловых прослоев других вулканов [Сахно, Уткин, 2009].

3. Повышенные содержания Ga в гидротермально-осадочных Fe-Mn корках вулканических сооружений задуговых бассейнов являются важным признаком, указывающим на наличие ГПС, в том числе несущих благороднометалльную минерализацию.

4. Представленные материалы свидетельствуют о возможном приросте к общим континентальным запасам и морских гидротермально-осадочных Fe-Mn корок с высокими содержаниями галлия и ассоциирующихся ГПС.

Работа выполнена при поддержке проекта Президиума ДВО РАН (проект 12-I-П23-01).

#### ЛИТЕРАТУРА

**Аникеева Л.И., Казакова В.Е., Гавриленко Г.М., Рашидов В.А.** Железомарганцевые корковые образования Западно-Тихоокеанской переходной зоны // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008, т. 11, № 1, с. 10—30.

**Астахова Н.В., Колесник О.Н., Съедин В.Т.** Цветные, благородные и редкоземельные металлы в железомарганцевых корках возвышенности Беляевского (Японское море) // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010, т. 16, № 2, с. 152—165.

**Батурич Г.Н.** Геохимия гидротермальных железомарганцевых корок Японского моря // ДАН, 2012, т. 445, № 2, с. 179—184.

**Батурич Г.Н., Дубинчук В.Т.** О составе железомарганцевых конкреций Рижского залива (Балтийское море) // Океанология, 2009, т. 49, № 1, с. 111—120.

**Батурич Г.Н., Дубинчук В.Т.** О составе железомарганцевых конкреций Чукотского и Восточно-Сибирского морей // ДАН, 2011, т. 440, № 1, с. 93—99.

- Батурин Г.Н., Дубинчук В.Т., Савельев Д.П., Деркачев А.Н., Цуканов Н.В., Золотых Е.О.** Железомарганцевые корки на дне Берингова моря // ДАН, 2010, т. 435, № 2, с. 225—229.
- Батурин Г.Н., Дубинчук В.Т., Рашидов В.А.** Железомарганцевые корки Охотского моря // Океанология, 2012, т. 52, № 1, с. 88—100.
- Блохин М.Г., Зарубина Н.В., Михайлик П.Е.** Определение галлия методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на примере анализа железомарганцевых корок Японского моря // Масс-спектрометрия, 2013, т. 10, № 3, с. 191—198.
- Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Сагалевич А.М., Гурвич Е.Г.** Гидротермальный рудогенез океанского дна. М., Наука, 2006, 527 с.
- Вершковская О.В., Зуева Т.И., Прокопчук В.П.** Минеральное сырье. Галлий. Справочник. М., ЗАО «Геоинформмарк», 1998, 17 с.
- Геология** дна Японского моря / Ред. И.И. Берсенева. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 1987, 139 с.
- Геология** и минерагения дальневосточных морей России (твердые полезные ископаемые) / Ред. С.И. Андреев. СПб., ВНИИОкеангеология, 2011, 126 с. (Тр. ВНИИОкеангеологии, т. 222).
- Геохимия** элементов-гидролизатов / Ред. А.Б. Ронов. М., Наука, 1980, 240 с.
- Дубинин А.В., Успенская Т.Ю.** Геохимия и особенности марганцевого рудообразования в осадках биопродуктивных зон океана // Литология и полезные ископаемые, 2006, № 1, с. 3—18.
- Дубинин А.В., Успенская Т.Ю., Гавриленко Г.М., Рашидов В.А.** Геохимия и проблемы генезиса железомарганцевых образований островных дуг западной части Тихого океана // Геохимия, 2008, № 12, с. 1280—1303.
- Леин А.Ю., Черкашев Г.А., Ульянов А.А., Ульянова Н.В., Степанова Т.В., Сагалевич А.М., Богданов Ю.А., Гурвич Е.Г., Торохов М.П.** Минералогия и геохимия сульфидных руд полей Логачев-2 и Рейнбоу: черты сходства и различия // Геохимия, 2003, № 3, с. 304—328.
- Михайлик П.Е.** Состав, строение и условия формирования железомарганцевых корок Японского и Охотского морей: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Владивосток, ДВГИ ДВО РАН, 2009, 22 с.
- Михайлик П.Е., Ханчук А.И.** Железомарганцевые корки с подводных вулканов задуговых бассейнов — новый генетический тип месторождений галлия // ДАН, 2011, т. 439, № 4, с. 520—522.
- Михайлик П.Е., Деркачев А.Н., Чудаев О.В., Зарубина Н.В.** Железомарганцевые корки подводных возвышенностей трюга Кашеварова (Охотское море) // Тихоокеанская геология, 2009, т. 28, № 1, с. 32—43.
- Михайлик П.Е., Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Зарубина Н.В., Блохин М.Г.** Новые данные о распределении редкоземельных элементов и иттрия в гидротермально-осадочных Fe-Mn корках Японского моря по данным фазового анализа // ДАН, 2014, т. 454, № 5, с. 322—327.
- Савенко В.С.** Физико-химический анализ процессов формирования железомарганцевых конкреций в океане. М., ГЕОС, 2004, 155 с.
- Сахно В.Г.** Новейший и современный вулканизм юга Дальнего Востока. Владивосток, Дальнаука, 2008, 128 с.
- Сахно В.Г., Уткин И.В.** Пеплы вулкана Чанбайшань в осадках Японского моря: идентификация по макро- и редкоземельным элементам и определение возраста их извержений // ДАН, 2009, т. 428, № 5, с. 641—647.
- Сьедин В.Т., Емельянова Т.А.** Вулканические комплексы Японского и Охотского морей на основе радиоизотопного датирования (по данным драгирования) // Материалы III Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Т. 2. Улан-Удэ, 2006, с. 343—347.
- Chester R., Hughes M.J.** A chemical technique for the separation of ferromanganese minerals, carbonate minerals and adsorbed trace elements from pelagic sediments // Chem. Geol., 1967, v. 2, № 3, p. 249—262.
- Cronan D.S.** Underwater minerals. London, New York, Academic Press, 1980, 362 p.
- Dullo W.-Chr., Biebow N., Georgeleit K.** SO178-KOMEX Cruise Report. 2004, [http://www.geomar.de/div/projects/komex/sonne/SO178\\_Cruise\\_Report.pdf](http://www.geomar.de/div/projects/komex/sonne/SO178_Cruise_Report.pdf).
- Halbach P., Nakamura K., Wahsher M., Lahge J., Sakai H., Kaselitz L., Hansen R.-D., Yamano M., Post L., Prause B., Seifert R., Michaelis W., Teichmann F., Kinoshita M., Marten A., Ishibashi J., Czerwinski S., Blum N.** Probable modern analogue of Kuroko-type massive sulphide deposits in the Okinawa Trough back-arc basin // Nature, 1989, v. 338, p. 496—499.
- Hannington M., Herzig P., Scott S., Thompson G., Rona P.** Comparative mineralogy and geochemistry of gold-bearing sulfide deposits on the mid-oceanic ridges // Mar. Geol., 1991, v. 101, p. 217—248.
- Koschinsky A., Halbach P.** Sequential leaching of marine ferromanganese precipitates: Genetic implications // Geochim. Cosmochim. Acta, 1995, v. 59, p. 5113—5132.

**Koschinsky A., Hein J.R.** Uptake of elements from seawater by ferromanganese crusts: solid-phase associations and seawater speciation // *Mar. Geol.*, 2003, v. 198, p. 331—351.

**Lizasa K., Fiske R.S., Ishizuka O., Yuasa M., Hashimoto J., Ishibashi J., Naka J., Horii Y., Fujiwara Y., Ima A., Koyama S.** A Kuroko-type polymetallic sulfide deposit in a submarine silicic caldera // *Science*, 1999, v. 283, p. 975—977.

**Noguchi T., Oomori T., Tanahara A., Taira N., Takada J., Taira H.** Chemical composition of hydrothermal ores from Mid-Okinawa Trough and Suiyo Seamount determined by neutron activation analysis // *Geochem. J.*, 2007, v. 41, p. 141—148.

*Рекомендована к печати 29 января 2015 г.  
В.В. Реввердатто*

*Поступила в редакцию 5 февраля 2014 г.,  
после доработки — 29 сентября 2014 г.*