

**ОСОБЕННОСТИ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ  
НА ПОДВОДНОМ ХРЕБТЕ ВИТЯЗЯ  
(Тихоокеанский склон Курильской островной дуги)**

**Н.В. Астахова, Е.П. Леликов**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,  
690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43, Россия*

Приводятся данные о местонахождении, химическом составе и содержании микроэлементов в маломощных железомарганцевых корках двух участков хр. Витязя: полигоны Диана и Буссоль. Они содержат многочисленные включения зерен цветных (Cu, Zn, Pb, Sn, Ni, W) и благородных (Au, Ag, Pd, Pt) металлов в виде самородных элементов, сульфидов, сульфатов, оксидов или интерметаллидов. В корках полигона Дианы преимущественно встречаются зерна минералов цветных металлов, а на полигоне Буссоль — благородных. Также обнаружены участки марганцевого состава с высоким содержанием никеля (до 3.5 %). Детальное изучение рудных корок подводного хр. Витязя позволяет предположить, что в настоящее время они находятся в начальной стадии формирования.

*Железомарганцевые корки, цветные, благородные металлы, интерметаллические соединения, сульфиды, сульфаты, Тихий океан, хр. Витязя.*

**THE SPECIFICS OF FERROMANGANESE ORE FORMATION  
ON THE SUBMARINE VITYAZ' RIDGE  
(Pacific slope of the Kuril island-arc)**

**N.V. Astakhova and E.P. Letnikov**

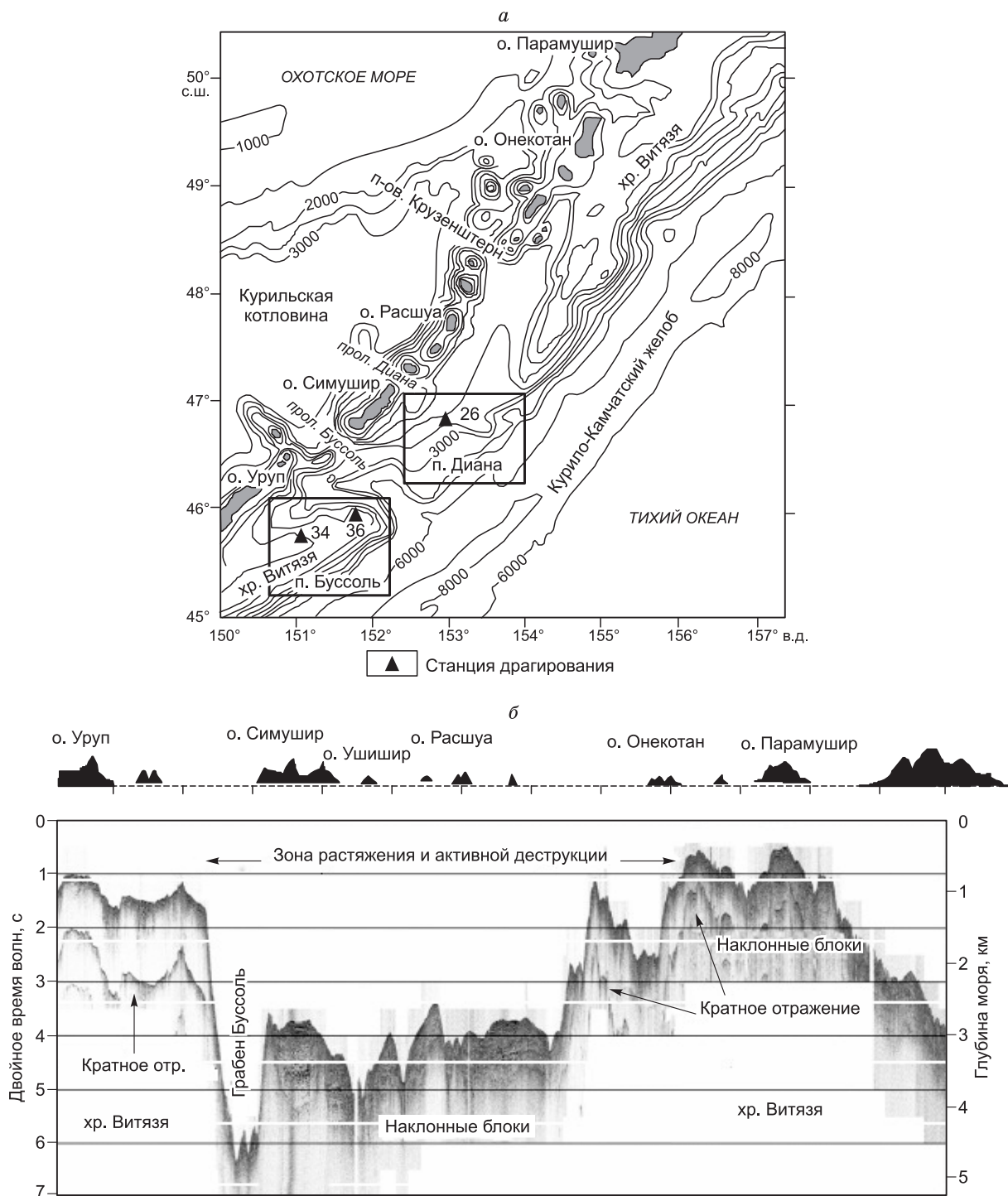
We present data on the location, chemical composition, and contents of trace elements in thin ferromanganese crusts at two sites of the submarine Vityaz' Ridge: Diana and Bussol' test grounds. The crusts abound in inclusions of grains of nonferrous (Cu, Zn, Pb, Sn, Ni, W) and noble (Au, Ag, Pd, Pt) metals in the form of native elements, sulfides, sulfates, oxides, or intermetallic compounds. The crusts at the Diana test ground contain mainly grains of nonferrous-metal minerals, and those at the Bussol' test ground, mainly noble-metal minerals. There are also sites with Ni-rich (up to 3.5%) manganese crust. A detailed study of the ore crusts from the Vityaz' Ridge showed that they are probably at the initial stage of formation.

*Ferromanganese crusts, nonferrous and noble metals, intermetallic compounds, sulfides, sulfates, Pacific, Vityaz' Ridge*

---

**ВВЕДЕНИЕ**

В процессе выполнения работ по проекту «Изучение строения центральной части Курило-Камчатской островной дуги как возможного очага катастрофического цунамигенного землетрясения» в 2005 г. Тихоокеанским океанологическим институтом ДВО РАН и Институтом океанологии РАН была проведена морская экспедиция на НИС «Академик М. Лаврентьев» (рейс 37). Целью экспедиции было изучение Центрально-Курильской сейсмической «брешии» и оперативная оценка состояния тектонической структуры в сейсмоактивной зоне фронтального склона дуги между островами Уруп на юго-западе и Парамушир на северо-востоке. В морфоструктурном плане район исследований располагается между Курильскими островами и Курило-Камчатским глубоководным желобом и включает в себя приостровную борту желоба, подводный хр. Витязя, который рассматривается в качестве внешней, невулканической дуги в общей системе дуга—желоб, и междуговой прогиб, отделяющий хр. Витязя от Курильских островов. Морфологически указанный хребет отчетливо фиксируется лишь на юго-западе и северо-востоке района исследований. На траверсе от о. Симушир до о. Расшуа в рельефе дна он не выражен [Кулинич и др., 2007]. По результатам предварительных батиметрических и сейсмических работ были выделены участки (полигоны), где проводились геологические работы, которые заключались в получении каменного материала путем драгирования крутых склонов подводных возвышенностей и бортов каньонов. На полигонах Диана и Буссоль, на отдельных станциях драгирования вместе с вулканическими и осадочными породами были подняты железомарганцевые корки (рис. 1).



**Рис. 1.** Карта-схема хр. Витязя (а) и сейсмический разрез вдоль профиля [Кулинич и др., 2007] (б).

Значками показано местоположение станций драгирования.

Полигон Буссоль расположен в юго-западной части района исследований и представляет собой стабильный, разбитый на блоки, но хорошо сохранившийся участок хр. Витязя (см. рис. 1, б). На этом участке хребет сложен терригенными отложениями палеогенового и олигоцен-нижнемиоценового возраста, а также эоценовыми и плиоцен-плейстоценовыми базальтами клинопироксен-плагиоклазового и оливин-клинопироксен-плагиоклазового составов.

Полигон Диана расположен в пределах наложенной тектономагматической зоны, поперечной к простираению островной дуги (см. рис. 1, б). Эта зона представляет собой участок активного разрушения консолидированного фундамента с образованием сложной грабенообразной структуры асимметричного облика. Существование интенсивных высокочастотных аномалий при общем опускании фундамента на значительную глубину свидетельствует о его насыщенности «свежим» магнитоактивным материалом, не затронутым деструктивными процессами. Таким материалом могут служить интрузивно-вулканогенные комплексы, поступившие к поверхности дна на конечной стадии структурно-тектонической деформации, в процессе которой образовался этот блок [Кулинич и др., 2007]. Здесь выявлено 15 ранее неизвестных вулканогенных построек, сложенных базальтами, андезитами и андезидацитами среднемиоценового и плиоцен-плейстоценового вулканических комплексов, а также риолитами [Леликов и др., 2008]. Данная зона прослеживается от о. Симушир до желоба и может рассматриваться в качестве осевой магматогенной зоны в процессе наложенного рифтогенеза [Кулинич и др., 2007].

На полигоне Диана (ст. 26, гл. 3200—2700 м) совместно с риолитами были подняты железомарганцевые корки (ЖМК) толщиной 2—3 см с характерной мелкобугристой поверхностью. Внутренние части обломков этих корок кавернозные, их пустоты заполнены желтовато-светлосерой глиной. На полигоне Буссоль ЖМК подняты на двух станциях (ст. 34, гл. 860—730 и ст. 36, гл. 2100—1800 м). Корки здесь более рыхлые и маломощные (до 1 см толщиной).

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения содержания макро-(Fe, Mn, Si, Al, Ca, Mg, Ti) и микроэлементов в ЖМК использовался атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой метод анализа на спектрометре Agilent 7500с (Agilent Technologies, США) в центре коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН. Все определения элементов выполнялись на навеску, высушенную при 105 °С.

Для выяснения форм нахождения и особенностей распределения аксессуарных металлов были изготовлены аншлифы железомарганцевых корок, которые изучались при помощи микронзондового анализатора JXA-8100 (JEOL Ltd., Япония) с тремя волновыми спектрометрами, доукомплектованного энергодисперсионным спектрометром INCAx — sight (Oxford Instruments Analytical Ltd., Англия) в центре коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН.

Анализ осуществлялся при ускоряющем напряжении 20 кВ, угол отбора излучения составлял 45°. В ходе анализа использовалась библиотека эталонов пользователя. Количественный и полуколичественный анализы производились по процедуре PhyRoZ, являющейся стандартной программой энергодисперсионного анализатора Link ISIS.

Для исследования образец напыляли тонким слоем углерода. Объем области, в которой производилось определение химического состава, принимался в среднем за грушевидный объем с максимальным размером 3—4 мкм.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Содержание Mn в валовых пробах рудных корок ст. 26 составляет 10.83 %, Fe — 16.38 %, Mn/Fe = 0.66; на ст. 34 — 5.39, 11.77 и 0.46 соответственно (табл. 1). Отмечается высокое содержание Si в рудных корках: 14.72 и 21.27 %. Содержание микроэлементов в изученных образцах составляет десятые и сотые доли процента (см. табл. 1).

В результате микронзондового исследования были получены данные по микростроению рудных корок и выявлены особенности выделения и распределения аксессуарных металлов в образцах. Под микроскопом хорошо видно, что образование корок связано с цементацией рудным веществом терригенно-эдафогенного материала. Общим для рудных корок обоих участков является наличие большого количества включений зерен титаномагнетита, ильменита и барита.

В ЖМК полигона Дианы (ст. 26) обнаружены участки в основном железомарганцевого, с преобладанием железа, железомарганцево-кремнистого, железокремнистого и реже марганцевого или кремнистого составов (табл. 2). Рудное вещество заполняет пространство между породообразующими минералами, в основном плагиоклазами (рис. 2, а), или образует каемки вокруг зерен преимущественно кремнистого состава (см. рис. 2, б). В железомарганцевой матрице встречаются участки марганцевого состава, содержащие до 3.5 % Ni (см. табл. 2). Они приурочены к небольшим трещинам и выделяются в виде бесформенных пятен более светлого цвета (см. рис. 2, в, 3, а) и оконтуриваются железомарганцево-кремнистыми отложениями (на снимке выделяются темно-серым цветом). Также широко распространены отложения сульфатов щелочных металлов: Ca (гипс?, ангидрит?) и Ca-Na (глауберит?) в виде полос и пятен в железомарганцево-кремнистой матрице (см. табл. 2, рис. 2, в). В некоторых случаях, чаще всего на краях микротрещин, зафиксированы отложения CaSO<sub>4</sub> и NaCl.

Таблица 1. Валовый химический состав железомарганцевых образований хр. Витязя

Элемент	Ст. 26	Ст. 34	Элемент	Ст. 26	Ст. 34	Элемент	Ст. 26	Ст. 34
Mn	10.83	5.39	Cu	478	133	Ba	1301	801
Fe	16.38	11.77	Zn	675	438	Sr	884	480
Si	12.95	21.27	Pb	604	64	Li	23	27
Al	2.97	4.55	Co	1108	644	Rb	14	18
Ca	2.44	2.86	Ni	3188	1026	Zr	450	86
K	0.67	0.74	W	27	13	Cr	30	50
Mg	1.22	1.46	Mo	240	102	V	493	405
Na	2.03	1.87	As	113	71	Tl	57	8
Ti	0.51	0.39	Ag	0.66	0.12	Y	116	45

Примечание. ст. 26 — полигон Диана, ст. 34 — полигон Буссоль. Mn—Ti — в %, Cu—Y — 10<sup>-4</sup> %.

Содержание элементов определялось атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой методом на спектрометре Agilent 7500с в центре коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН. Аналитик Г.И. Горбач.

Таблица 2. Химический состав (мас. %) матрицы железомарганцевых корок хр. Витязя

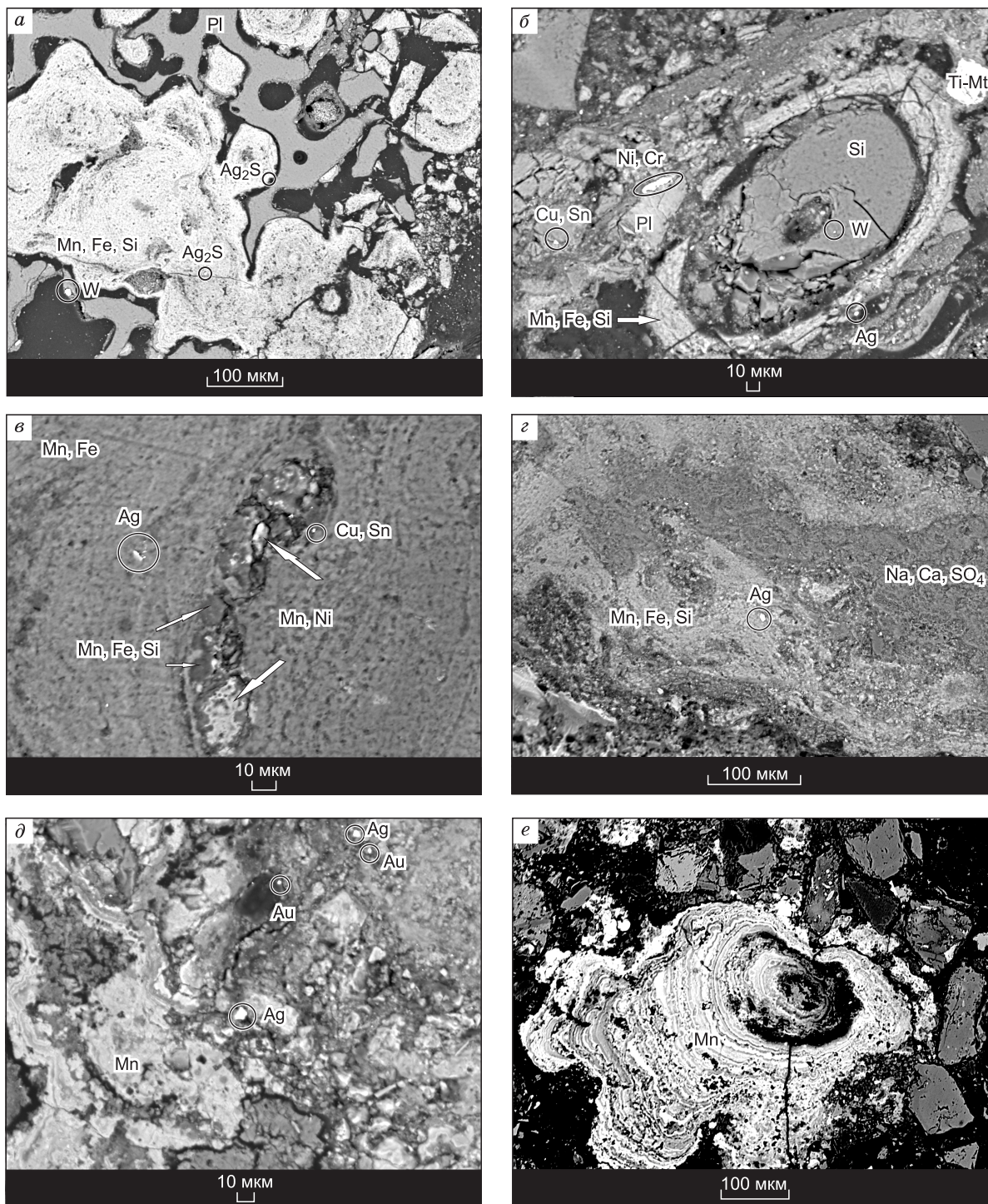
Участок	Mn	Fe	Si	O	Ni	Zn	Ti	Cl	P	S	Na	Mg	Al	K	Ca	Сумма
<b>Полигон Дианы (ст. 26)</b>																
1	42.84	3.71	1.54	29.31	3.52	—	—	—	—	—	1.76	1.28	0.72	1.19	1.32	87.19
2	13.13	20.53	5.57	31.23	—	—	0.62	0.35	0.61	0.95	1.30	2.40	0.50	0.24	1.48	78.91
3	8.94	24.39	6.15	20.72	—	—	0.44	0.46	0.61	2.81	3.33	1.46	0.41	0.30	3.26	73.28
4	—	0.25	40.39	46.74	—	—	—	—	—	—	0.20	—	—	—	—	87.58
5	0.38	0.76	—	32.07	—	—	—	—	—	21.08	10.33	0.30	—	—	14.96	79.880
<b>Полигон Буссоль (ст. 36)</b>																
6	44.61	1.17	0.51	36.20	—	—	—	0.77	—	—	2.52	1.62	—	0.87	1.33	89.60
7	44.12	—	—	29.95	1.64	0.51	—	1.29	0.24	0.29	1.15	2.60	0.26	0.88	1.1	84.03
8	43.66	2.24	0.82	35.96	0.46	—	—	0.55	—	0.06	3.03	2.22	0.35	0.88	1.63	91.86
9	40.49	1.79	1.18	32.42	—	0.44	0.20	0.77	0.21	—	2.55	2.06	0.47	1.06	1.37	85.01

Примечание. Так как основная масса рудных корок рыхлая, то при микрозондовом анализе сумма элементов часто получается менее 100 %.

В изученных образцах были обнаружены многочисленные зерна благородных и цветных металлов с резким преобладанием последних. Размер их составляет первые микрометры, изредка встречаются более крупные зерна, до 50 мкм. Из благородных металлов присутствует лишь серебро как в самородном виде, так и в виде сульфидов (табл. 3, см. рис. 2, *a—г*) и лишь одно зерно, представляющее собой соединение палладия и вольфрама (см. рис. 3, *д*). Из цветных металлов выявлены самородные Pb, Sn, Cu, Fe и W, иногда с примесью Cu и Ni, интерметаллоиды Cu-Zn, Cu-Sn, Ni-Cr (см. рис. 3, *б, в*), оксиды Zn, изредка вольфраматы Fe и Mn (табл. 4).

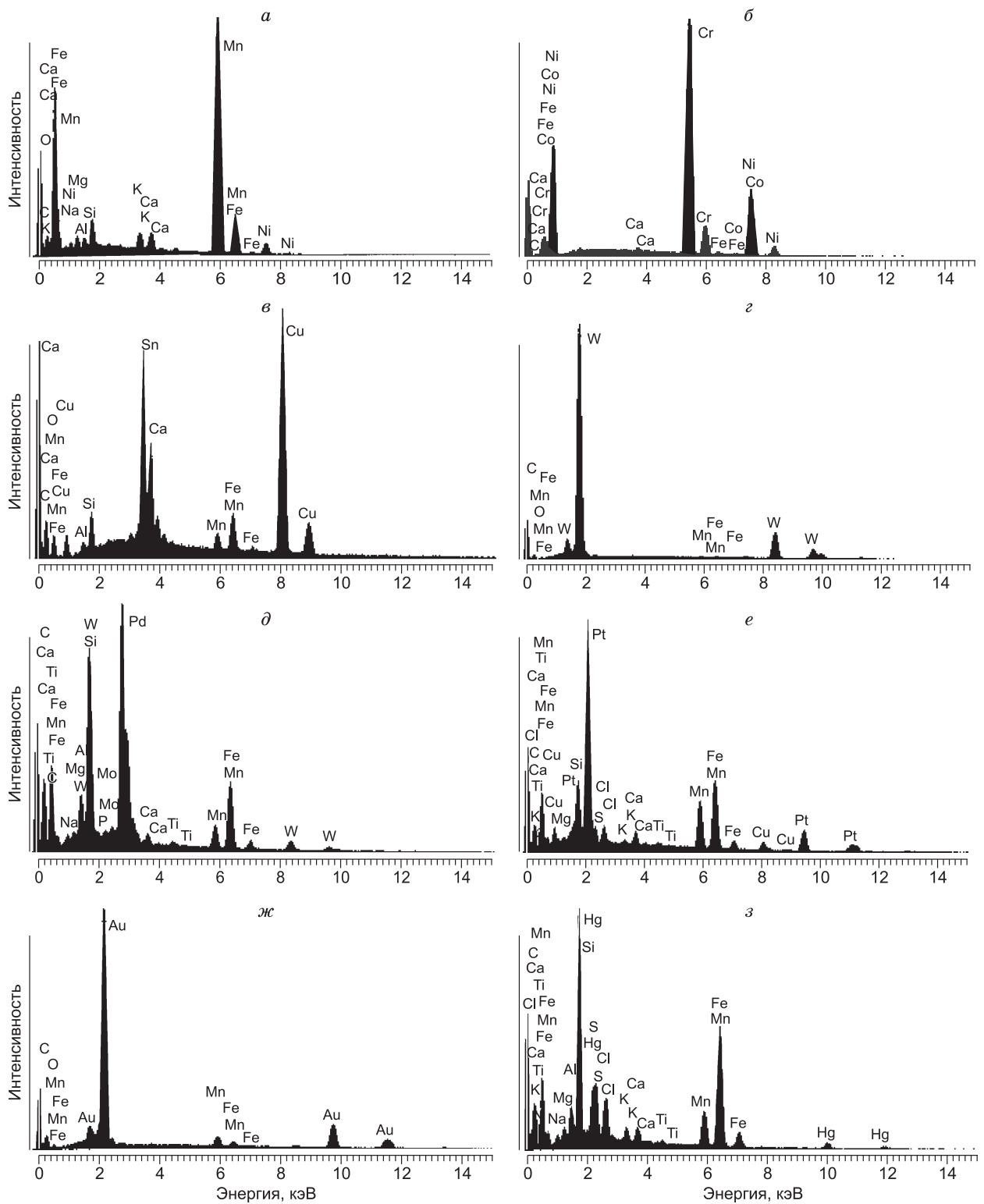
В ЖМК полигона Буссоль выделяются лишь небольшие пятна марганцевого, реже железомарганцевого и железомарганцево-кремнистого состава среди эдафогенно-пирокластического материала (см. рис. 2, *д, ж*). В отличие от ЖМК полигона Дианы, здесь марганец преобладает над железом. В марганцевой матрице также встречаются участки, содержащие до 1.6 % Ni и 0.5 % Zn (см. табл. 2).

Основная масса акцессорных металлов представлена благородными металлами: золотом, серебром, платиной и палладием (см. табл. 3). Выявлено большое количество мелких (до 10 мкм) зерен самородного Au (см. рис. 3, *ж*), иногда с примесью Ag, Ni, Zn и Ag, изредка с примесью Te. Серебро также наблюдается в виде сульфидов или оксидов. Зерна платиноидов встречаются значительно реже. Платина присутствует в самородном виде (см. рис. 3, *е*), иногда с примесью меди, а палладий — в виде оксидов (палладит?), реже в составе смешанного оксида Pd-Ag (см. табл. 3).



**Рис. 2. Выделения рудного вещества в ЖМК полигонов Диана (а—г) и Буссоль (д, е).**

а, б — отложения железомарганцево-кремнистого состава заполняют пространство между плагиоклазами (а) или образуют каемки вокруг зерен преимущественно кремнистого состава (б); в — участки марганцевого состава с содержанием 3,5 % Ni (светлые пятна) в железомарганцево-кремнистой матрице; г — отложения сульфатов Ca-Na (глауберит?) в железомарганцево-кремнистой матрице; д, е — пятнистое выделение гидроксидов марганца в рудных корках хр. Буссоль.



**Рис. 3. Энергодисперсионные рентгеновские спектры рудных минералов.**

*a* — гидроксиды марганца с содержанием Ni 3.5 %; *б–в* — интерметаллы: *б* — хром-никелевый сплав, *в* — оловянистая медь; *г* — самородный вольфрам; *д* — соединение палладия и вольфрама; *е–ж* — самородные: *е* — платина, *ж* — золото; *з* — сульфид ртути (киноварь?).

Таблица 3. Химический состав (мас. %) зерен благородных металлов и ртути в железомарганцевых корках хр. Витязя

Зерно	Au	Ag	Pt	Pd	Ni	Cu	Zn	Te	W	Mo	Hg	S	Cl	Mn	Fe	Si	O	Na	Mg	Al	Ca	Сумма	
<b>Полигон Дианы (ст. 26)</b>																							
1	—	97.56	—	—	—	—	—	0.68	—	—	—	0.45	0.36	0.63	1.81	—	—	—	—	—	—	—	101.49
2	—	66.30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.90	2.84	—	0.68	—	10.83	3.43	0.61	—	—	—	94.59
3	—	—	—	34.87	—	—	—	—	8.87	0.75	—	—	—	3.35	11.79	6.68	28.43	0.90	0.46	2.29	0.73	—	99.12
<b>Полигон Буссоль (ст. 36)</b>																							
4	89.48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.46	1.56	—	3.71	—	—	—	—	—	98.21
5	50.92	—	—	—	—	—	0.43	—	—	—	—	—	1.07	15.51	2.24	0.92	18.66	—	0.77	0.34	1.06	—	91.92
6	31.98	0.54	—	—	0.58	—	—	—	—	—	—	—	0.34	18.79	—	10.38	33.48	1.20	1.05	0.14	1.21	—	99.69
7	—	77.97	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.69	3.24	1.43	0.21	—	—	0.27	—	—	—	83.81
8	—	77.55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.39	4.41	2.56	1.65	4.21	—	6.47	0.47	1.28	—	—	98.99
9	—	75.04	—	—	—	—	1.97	—	—	—	—	—	0.41	0.49	2.58	4.58	11.34	—	0.49	0.42	—	—	97.32
10	—	57.55	—	—	—	—	—	0.80	—	—	—	9.42	0.26	0.44	0.49	4.26	8.87	0.55	—	3.84	2.42	—	88.90
11	—	13.14	—	24.39	—	—	—	—	—	—	—	—	0.59	3.89	1.49	5.86	20.47	1.02	0.54	0.99	0.81	—	73.19
12	—	—	—	—	—	3.14	—	—	—	—	—	0.65	1.26	8.79	14.70	2.94	19.95	—	0.47	—	1.19	—	92.36
13	—	—	—	—	0.36	—	0.47	—	—	—	22.46	2.29	—	19.08	4.59	0.99	14.37	1.05	0.94	0.39	0.97	—	67.96

Примечание. Из-за очень малых размеров зерен (до 10 мкм) при микрозондовом анализе частично захватывается окружающая матрица.

Минералы цветных металлов имеют незначительное распространение. Обнаружены лишь сульфиды Cu (халькозин?  $Cu_2S$ ), халькопирит, смешанные сульфиды Cu-Zn, сульфаты и оксиды Zn (см. табл. 4).

Кроме этих соединений впервые в корках Дальневосточного региона в марганцевой матрице обнаружены очень мелкие включения минералов ртути (см. табл. 3, рис. 3, e).

Таким образом, железомарганцевые корки хр. Витязя (Тихоокеанский склон Курильской островной дуги) содержат включения зерен того же комплекса цветных и благородных металлов, что и корки Охотского и Японского морей [Астахова, 2008, 2009]. Но железомарганцевая корка полигона Буссоль отличается от других по содержанию разнообразных зерен благородных металлов. Во всех корках дальневосточных морей присутствует серебро. Включения зерен золота характерны для охотоморских корок. В рудных корках некоторых возвышенностей Японского моря совместно с серебром присутствуют включения палладия, иногда с примесью платины. И лишь в ЖМК возвышенности Мацу, находящейся у берегов Северной Японии, обнаружено единственное зерно, представляющее собой комплексное соединение Au, Rh, Cu. А в корке, поднятой на полигоне Буссоль, все эти четыре металла присутствуют одновременно.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что цветные и благородные металлы в железомарганцевых корках хр. Витязь преимущественно образуют собственные минеральные фазы. Они встречаются в виде самородных элементов, сульфидов, сульфатов, оксидов или интерметаллических соединений. Это указывает на то, что эти металлы не сорбируются железомарганцевыми гидроксидами из морской воды, а источниками их являются поствулканические газогидротермальные флюиды. На некоторых участках никель и цинк входят в состав марганцевой матрицы, но такие выделения носят локальный характер и, как правило, они распространены вокруг микротрещин, часто оконтуривая их.

Непосредственные наблюдения над современными подводными вулканами, расположенными на мелководье, показали, что вместе с газами из недр земли в океан поступает железо и марганец [Зеленов, 1972]. У основания подводных газовых выходов видно, что наряду с газовыми струями существуют менее заметные газирующие «муаровые» колышущиеся струи горячей воды. Анализ проб этой воды отличается высоким содер-

Таблица 4. Химический состав (мас. %) зерен цветных металлов в железомарганцевых корках хр. Витязя

Зерно	Cu	Zn	Sn	Pb	Ni	Co	Cr	W	Ag	S	Mn	Fe	Si	O	Na	Mg	Al	Cl	K	Ca	Сумма
<b>Полигон Дианы (ст. 26)</b>																					
1	68.11	—	23.03	—	—	—	—	—	—	0.58	1.47	3.68	1.02	5.31	—	—	—	—	—	0.43	100.48
2	64.59	—	—	—	—	—	—	—	—	0.56	1.24	2.90	2.29	11.72	—	—	1.07	0.18	—	0.22	84.77
3	63.14	—	14.45	—	—	—	—	—	—	0.54	0.75	2.24	2.01	8.39	—	—	0.37	0.40	—	0.32	93.15
4	—	—	83.17	—	—	—	—	—	—	0.35	1.13	5.02	0.37	7.92	—	—	—	2.93	—	—	100.89
5	35.58	19.70	—	—	—	—	—	—	—	2.94	3.24	9.85	3.09	13.77	—	—	—	0.22	0.26	2.69	92.16
6	24.72	—	3.81	—	—	—	—	—	0.87	9.50	1.17	4.89	5.48	26.51	—	—	1.39	0.45	—	8.33	88.04
7	19.17	10.88	—	—	—	—	—	—	—	12.48	1.02	3.92	5.28	24.55	7.47	—	1.37	—	0.97	9.17	96.85
8	78.85	—	3.79	—	—	—	—	—	—	—	2.12	3.01	1.73	3.38	—	—	1.01	—	—	—	93.89
9	—	52.80	—	—	—	—	—	—	—	—	2.59	7.53	4.46	26.11	—	—	0.78	0.15	—	0.28	95.06
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.39	1.23	—	5.59	—	—	—	—	—	—	100.87
11	—	—	—	—	35.14	0.48	55.21	—	—	—	—	0.98	—	—	—	—	—	—	—	0.34	92.15
12	2.78	—	—	—	3.84	—	—	39.82	—	—	0.39	0.98	23.15	28.47	—	—	—	—	—	—	99.43
13	—	—	—	—	—	—	—	98.30	—	—	—	1.17	—	1.69	—	—	—	—	—	—	101.16
14	—	—	—	—	—	—	—	96.70	—	—	0.45	0.68	—	1.18	—	—	—	—	—	—	99.01
<b>Полигон Буеоль (ст. 36)</b>																					
15	72.98	—	—	—	—	—	—	—	—	22.95	2.59	0.75	—	—	—	—	—	—	—	—	99.27
16	—	48.66	—	—	—	—	—	—	—	0.23	0.54	9.67	4.75	19.89	—	—	1.14	1.26	0.31	0.93	87.38

жанием растворенного кремнезема и выделением из остывающей воды гидроксидов железа и марганца. В буквально «только что» коагулировавшей и осевшей взвеси этих гидроксидов у устья горячих струй установлены V, Sr, Mo, Cr, Zn, Ba, Ni, Co, Zr, Pb, Sn. Несмотря на то, что эти данные получены на мелководе, с определенной долей условности их можно принять и для глубоководного вулканизма [Зеленов, 1972].

Согласно В.Б. Курносову [1986], при высокотемпературном воздействии на породы морского дна океаническая вода трансформируется в кислый восстановительный натриево-кальциево-хлоридный гидротермальный раствор, который выносит из базальтов Si, Ca, Fe, Mn, Na, Mg, Cu, Zn, Ni. Многие из этих химических компонентов осаждаются на геохимическом барьере. Раствор содержит значительное количество сероводорода и существенно обогащен водородом и метаном. Вероятно, этим и объясняется наличие сульфатов щелочных металлов внутри железомарганцевой матрицы, а также обогащение никелем и цинком марганцевых отложений вдоль микротрещин.

Наибольший интерес представляют интерметаллические соединения цветных металлов, образования которых возможно лишь при высоких температурах в резко восстановительной среде. Интерметаллиды образуются в результате взаимодействия компонентов при сплавлении, конденсации из пара, а также при реакциях в твердом состоянии вследствие взаимной диффузии (при химико-термической обработке), при распаде пересыщенного твердого раствора одного металла в другом [Химическая...] Так, например, согласно диаграмме состояния системы Cr—Ni (см. табл. 4, зерно 11), температура одновременной кристаллизации этих металлов при содержании Cr от 50 до 68 % составляет 1345 °С [Диаграммы..., 1997], но газовые флюиды с такой температурой на морском дне неизвестны и вряд ли они могут существовать.

Включения самородных цветных металлов и интерметаллоидов обнаружены во всех изученных корках дальневосточных морей [Астахова, 2008, 2009]. В Мировом океане самородные металлы и интерметаллические соединения были обнаружены в осадках в районе ВТП и в железомарганцевых корках гайотов центральной части Тихого океана. Образование их одни авторы связывают с гидротермальными процесса-



ми, другие — с эдафогенным размывом подстилающих базальтов [Штеренберг, Васильева, 1979; Давыдов и др., 1998; Рудашевский и др., 2001; Коноплева и др., 2004; Торохов, Мельников, 2005].

Подобный комплекс самородных металлов и интерметаллидов цветных металлов наблюдается в настоящее время в продуктах эксгальций высокотемпературных газовых флюидов Большого трещинного Толбачинского извержения [Главатских, 1990, 1995; Главатских, Трубкин, 2000]. Согласно С.Ф. Главатских, формирование данной ассоциации металлов «является неопровержимым доказательством резко восстановительного потенциала среды, возникновение которого возможно при фракционировании эндогенного флюида, отделившегося от базальтового расплава» [Главатских, 1995, с. 214]. Накопление продуктов эксгальций происходит в участках интенсивной газовой фильтрации и является ее минеральным отражением. К такому же выводу пришли исследователи [Рычагов и др., 2005], изучавшие современные высокотемпературные гидротермально-магматические системы Курило-Камчатской островной дуги. Они считают, что эти минералы образуются за счет привнесения в метасоматиты «сухого» восстановленного флюида, имеющего температуру не менее 500—600 °С. Этот флюид обладает высокой газонасыщенностью и привносит во вмещающие породы в микроколичествах Fe, Mg, Mn, Ti, Cr, Cu, Pb, Au, Ag, Al, Si, K, Na, Ca и др. [Рычагов и др., 2005].

В то же время другие исследователи, в частности А.Е. Лукин [Лукин, 2009], считают, что этот флюид имеет более глубокие корни и связан с возникновением суперплюмов на границе ядро—мантия. Этот вывод был сделан на основании изучения свыше 2000 образцов продуктивных горизонтов около 50 различных газовых и нефтяных месторождений. Независимо от региональной геологии (от Черного моря до шельфа Южно-Китайского), стратиграфии (докембрий — кайнозой), глубины (до 7 км), петрографии исходных породных субстратов (кварцевые песчаники, аркозы, граувакки, карбонатные породы, вулканиты, граниты, гнейсы и т.д.) и газовой-геохимических типов залежи, практически во всех изученных образцах были установлены дисперсные частицы более 30 самородных металлов, сплавов и интерметаллидов: Fe, Ti, Sn, Cu, Zn, Pb, Sb, Ag, Au, Al, Cd, In, W, Cr, Ni, Fe-Cr, Fe-Ni, Fe-Cr-Ni, Fe-Si, Cu-Sn, Cu-Zn, Cu-Sn-Zn, Cu-Fe, Fe-Cu-Ni, Pb-Cu-Zn, Ti-(Pt, Ir, Pd) и др. Они выделяются по разнообразным трещинам естественного гидроразрыва, образованным как при разрыве породы, так и при раскрытии более ранних диаклавов различной природы [Лукин, 2009]. «При этом, самородные металлы характеризуются сочетанием несовместимых элементов. Так, самородное железо, наряду с никелем, хромом, платиноидами и другими сидерофильными элементами — геохимическими индикаторами связи флюидов с ядром, содержит примеси различных редкоземельных элементов, преимущественно легких, летучих (F, Cl) и некогерентных (Ca, K, Cs, Rb, Pb и др.) элементов. Это — свидетельство наличия всей указанной аномальной ассоциации в слое D'' расплавленно-металлической (железо, никель и др.) фазе внешнего ядра» [Лукин, 2009, с. 66].

Многочисленные включения самородных металлов и интерметаллических соединений обнаружены в железомарганцевых корках и базальтах подводных возвышенностей Японского моря [Астахова, 2008; Астахова и др., 2010]. Текстурно-структурные особенности, специфика минерального и химического состава вулканических пород этих возвышенностей указывает на то, что исходной магмой для вулканизма была глубинная мантийная базальтовая магма повышенной щелочности, обогащенная флюидами [Емельянова, Леликов, 2010].

Отделяющиеся от магматических расплавов флюиды на разных уровнях глубинности существенно отличаются по фазовому состоянию: гомогенные надкритические (близповерхностный уровень), гетерогенные (гипабиссальный уровень генерации) и гомогенные газовые флюиды (глубинные нижнекоровые и мантийные) [Борисенко и др., 2006]. Вероятнее всего, источником цветных и благородных металлов в железомарганцевых корках хр. Витязя являются подобные эндогенные флюиды. Не исключено, что часть интерметаллидов могла переноситься в газовом потоке в твердой фазе.

Образование железомарганцевых корок на подводных вулканах может происходить несколькими путями. Гидроксиды железа и марганца осаждаются при излиянии рудоносных гидротермальных растворов в кальдере вулкана или на его склонах, а также при разрушении гидротермального плюма. В то же время образование рудных корок может происходить при диффузном просачивании гидротермальных растворов по трещинам или ослабленным зонам в вулканических породах и последующей цементации железомарганцевыми гидроксидами вулканокластического материала на склонах вулкана. Этот процесс описан на активных в настоящее время подводных вулканах Филиппинского моря [Usui et al., 1992; Hein et al., 2008]. По-видимому, такой же процесс происходит сейчас и на склонах хр. Витязя.

Детальное изучение рудных корок подводного хр. Витязя позволяет предположить, что они находятся в начальной стадии формирования. Этот район, вероятнее всего, не представляет промышленный интерес, но важен для решения фундаментальной задачи генезиса стратиформных и колчеданных рудных месторождений в обстановке островных дуг. Различия в геологическом строении и составе вулканитов полигона Диана и полигона Буссоль, вероятно, определили геохимическую специализацию железомарганцевых корок каждой из этих структур.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Центра коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН А.А. Карабцову, Г.Б. Молчановой и Г.И. Горбач за помощь в проведении аналитических исследований.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Мировой океан».

#### ЛИТЕРАТУРА

**Астахова Н.В.** Благородные, редкоземельные и цветные металлы в железомарганцевых корках Японского моря // ДАН, 2008, т. 422, № 4, с. 522—527.

**Астахова Н.В.** Благородные и цветные металлы в железомарганцевых корках центральной части Охотского моря // Океанология, 2009, т. 49, № 3, с. 440—452.

**Астахова Н.В., Колесник О.Н., Съедин В.Т.** Цветные, благородные и редкоземельные металлы в железомарганцевых корках и базальтах возвышенности Беляевского (Японское море) // Вестник КРАУНЦ. Серия НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2010, № 2, вып. 16, с. 152—166.

**Борисенко А.С., Боровиков А.А., Житова Л.М., Павлова Г.Г.** Состав магматогенных флюидов, факторы их геохимической специализации и металлоносности // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (12), с. 1308—1325.

**Главатских С.Ф.** Самородные металлы и интерметаллические соединения в продуктах эксгаляций Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка) // ДАН, 1990, т. 313, № 2, с. 433—437.

**Главатских С.Ф.** Металлообразования в продуктах эксгаляций Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка) // Вулканология и сейсмология, 1995, № 4—5, с. 193—214.

**Главатских С.Ф., Трубкин Н.В.** Первые находки самородных вольфрама и серебра в продуктах эксгаляций большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка) // ДАН, 2000, т. 373, № 4, с. 523—526.

**Давыдов М.П., Судариков С.М., Колосов О.В.** Самородные металлы и интерметаллические соединения в осадках и взвешах гидротермально-активных сегментов Восточно-Тихоокеанского поднятия // Литология и полезные ископаемые, 1998, № 1, с. 17—29.

**Диаграммы** состояния двойных металлических систем / Ред. Н.П. Лякишев. М., Машиностроение, 1997, т. 2, 1024 с.

**Емельянова Т.А., Леликов Е.П.** Миоцен-плейстоценовый вулканизм глубоководных котловин Японского и Охотского морей // Тихоокеанская геология, 2010, т. 29, № 2, с. 58—69.

**Зеленов К.К.** Вулканы как источники рудообразующих компонентов осадочных толщ. М., Наука, 1972, 218 с.

**Коноплева Е.В., Батурин Г.Н., Голева Р.В., Дубинчук В.Т., Мельников М.Е., Ожогина Е.Г., Юбко В.М.** Формы золота и платины в железомарганцевых корках Магеллановых гор (Тихий океан) // ДАН, 2004, т. 397, № 2, с. 253—257.

**Кулинич Р.Г., Карп Б.Я., Баранов Б.В., Леликов Е.П., Карнаух В.Н., Валитов М.Г., Николаев С.М., Колпащикова Т.Н., Цой И.Б.** О структурно-геологической характеристике «сейсмической брешы» в центральной части Курильской островной дуги // Тихоокеанская геология, 2007, т. 26, № 1, с. 5—19.

**Курносков В.Б.** Гидротермальные изменения базальтов в Тихом океане и металлоносные отложения (по материалам глубоководного бурения). М., Наука, 1986, 253 с.

**Леликов Е.П., Емельянова Т.А., Баранов Б.В.** Магматизм подводного хребта Витязя (Тихоокеанский склон Курильской островной дуги) // Океанология, 2008, т. 47, № 2, с. 294—303.

**Лукин А.Е.** Самородно-металлические микро- и нановключения в формациях нефтегазоносных бассейнов — трассеры суперглубинных флюидов // Геофизический журнал, 2009, т. 31, № 2, с. 61—92.

**Рудашевский Н.С., Крецер Ю.Л., Анисеева Л.И., Андреев С.И., Торохов М.П., Казакова В.Е.** Минералы платины в железомарганцевых океанических корках // Докл. РАН, 2001, т. 378, № 2, с. 246—249.

**Рычагов С.Н., Главатских С.Ф., Сандмирова Е.И., Белоусов В.И.** Рудные минералы в структуре гидротермально-магматических систем: состав, распределение, условия формирования // Геотермальные и минеральные ресурсы областей современного вулканизма. Материалы Международного полевого Курило-Камчатского семинара. Петропавловск-Камчатский, 2005, с. 363—379.

**Торохов М.П., Мельников М.Е.** Акцессорные минералы в гидrogenных железомарганцевых корках Тихого Океана — россыпной механизм накопления // ДАН, 2005, т. 405, № 4, с. 511—513.

**Химическая энциклопедия** // [http://dic.academic.ru/contents.nsf/enc\\_chemistry](http://dic.academic.ru/contents.nsf/enc_chemistry).

**Штеренберг Л.Е., Васильева Г.Л.** Самородные металлы и интерметаллические соединения в осадках северо-восточной части Тихого океана // Литология и полезные ископаемые, 1979, № 2, с. 133—139.

**Hein J.R., Schulz M.S., Dunham R.E., Stern R.J., Bloomer S.H.** Diffuse flow hydrothermal manganese mineralization along the active Mariana and southern Izu-Bonin arc system, western Pacific // J. Geophys. Res., 2008, v. 113, B08S14, doi: 10.1029/2007JB005432.

**Usui A., Nishimura A.** Submersible observations of hydrothermal manganese deposits on the Kaikata Seamount, Izu-Ogasawara (Bonin) Arc // Marine Geol., 1992, v. 106, p. 203—216.

*Рекомендована к печати 14 августа 2012 г.  
В.Н. Шарповым*

*Поступила в редакцию  
18 апреля 2012 г.*