

УДК 551

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЯХ МОРЕЙ И ОЗЕР

© 2019 г. Г. Н. Батури

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН  
117997 Москва, Нахимовский проспект, 36  
E-mail: galibatur@list.ru*

Поступила в редакцию 15.01.2018 г.

На базе оригинальных и литературных данных выполнено сопоставление элементного состава железомарганцевых конкреций со дна озер, внутриконтинентальных и арктических морей для сравнения с конкрециями Мирового океана. Установлены основные черты сходства и различия состава конкреций и тренды накопления в них химических элементов. Показано, что повышенная металлоносность океанских конкреций связана с относительно более высокой обогащенностью их марганцем, что отчасти проявляется также и в морских конкрециях. Определены коэффициенты корреляции между элементами во всей совокупности образцов с разнообразными корреляционными связями. Повышенное содержание некоторых металлов в арктических конкрециях является сопоставимым со средним их содержанием в океанских конкрециях, что может быть признаком локальной металлоносности железомарганцевых образований Восточной Арктики. Конкреции высоко обогащены оксидами марганца (26.7%) и железа (53.1%) относительно осадочных пород; всеми прочими макроэлементами, за исключением фосфора, эти конкреции обеднены.

**Ключевые слова:** железомарганцевые конкреции водоемов разных типов, геохимия микроэлементов.

DOI: 10.31857/S0024-497X20195404-417

Железомарганцевые конкреции со дна современных водоемов (включая озера, моря и Мировой океан) являются традиционными объектами исследования морских геологов, литологов и геохимиков в связи с широким распространением и перспективами расширения базы минеральных ресурсов. Впервые эту идею высказал автор открытия конкреционных полей на дне арктического бассейна выпускник Российского Императорского Тартусского Университета Адольф Эрик Норденшельд (впоследствии — шведский академик), прошедший на деревянном судне “Вега” весь Северный Морской Путь [Nordenskiöld, 1881].

В России инициаторами исследования морей и их ресурсов выступили академики Н. И. Андрусов [1890] и А. Д. Архангельский [1927], что было продолжено после 1917 г. [Самойлов, Титов, 1922; Самойлов, Горшкова, 1924; Архангельский, 1927; Горшкова, 1931].

После окончания Второй мировой войны проблема исследования морей и морских ресурсов значительно расширилась; были использованы новые методы и получены новые сведения

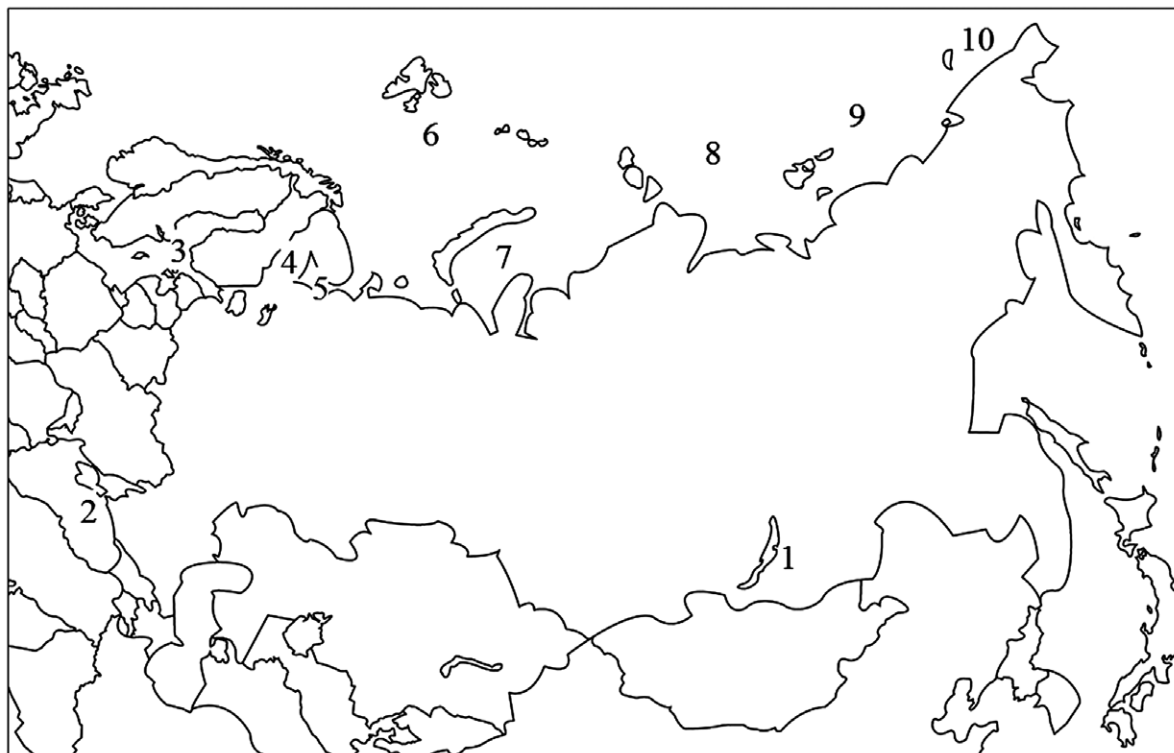
о морских осадках и сопутствующих железомарганцевых конкрециях.

Настоящая работа имеет целью оценить современное состояние этой проблемы на базе предшествующих и новых данных, с привлечением широкого спектра проанализированных химических элементов, что позволит выявить черты сходства и различия в составе железомарганцевых конкреций разного типа из российских и сопредельных озер и морей разного типа.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследовались типичные образцы железомарганцевых конкреций, собранных автором и его коллегами из Института океанологии РАН и других учреждений в российских озерах, в ряде морей и в Мировом океане в 1990–2000 гг. (рисунок).

- 1) Из озера Красное (Пуннус Ярви) получена средняя проба (описана в работе [Штеренберг и др., 1966]).
- 2) Из озера Байкал — 8 проб [Лейбович-Гранина, 1987; Гранина и др., 1991; Амиржанов



**Рис.** Схема с расположением водоемов, из которых отобраны пробы железомарганцевых конкреций. 1 — озеро Байкал; 2 — Черное море; 3 — Балтийское море; 4 — озеро Красное; 5 — Белое море; 6 — Баренцево море; 7 — Карское море; 8 — море Лаптевых; 9 — Восточно-Сибирское море; 10 — Чукотское море.

- и др., 1992; Батулин, Гранина, 2009; Батулин и др., 2009, 2011].
- 3) Из Черного моря — 8 проб ожелезненных раковин фазеолин [Шнюков, 1981, 1983; Шнюков и др., 1985; Батулин, 1987, 2010; Батулин и др., 2002].
  - 4) Из Балтийского моря — 10 проб (заливы Финский и Рижский) [Батулин, 2009; Варенцов, Блажчишин, 1976; Батулин и др., 1988; Горшкова и др., 1993; Батулин, Дубинчук, 2009; Hartmann, 1964; Manheim, 1965; Varentsov, 1973; Suess, 1979; Winterhalter, 1980; Ingri, 1985; Ingri, Ponter, 1987].
  - 5) Из Белого моря (“горло”) — средняя проба [Горшкова, 1931; Кленова, 1948; Калининко, Павлидис, 1982; Штеренберг и др., 1985].
  - 6) Из Баренцева моря (центральная часть моря) — средняя проба [Ingri, 1985; Дубинин, 2006].
  - 7) Из Карского моря — 15 проб [Шнюков и др., 1985; Гуревич, Яковлев, 1993, 2005; Стрекопытов, Дубинин, 2001; Батулин, 2011, 2013; Богданов и др., 2011].

- 8–10) Из морей Восточной Арктики (Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское) — 16 проб [Батулин, Дубинчук, 2011 а, 2011 б; Масуренков и др., 2012; Батулин и др., 2014].
- 11) Из Мирового океана — привлекались обобщенные данные по сотням проб [Батулин, 1986; Железомарганцевые ..., 1976; Аникеева, Казакова, 2002; Baturin, 1988; Li, 1991].

Для определения концентраций элементов в конкрециях океана использовались преимущественно методы атомной адсорбции, а для остальных образцов — версия метода ИСП-МС (индуктивно связанной плазмы с масс-спектрометрией) с большей чувствительностью при малых навесках материала и с возможностью определения до 58 элементов [Карандашев и др., 2016].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### *Основной состав конкреций*

Озеро Красное. Конкреции обогащены относительно осадочных пород оксидами марганца

(26.7%) и железа (53.1%). Всеми прочими макроэлементами, за исключением фосфора, эти конкреции обеднены.

Озеро Байкал. Конкреции Байкала обогащены, как и предыдущие, оксидом железа (55.3%) и оксидом титана (0.32%), но обеднены оксидами натрия (0.86%) и кальция (1.25%).

Балтийское море: Финский и Рижский заливы. Конкреции такие же высокожелезистые, близки по составу, однако образцы из Финского залива, богаче, по сравнению с Рижским заливом, оксидами натрия (1.75%), кальция (2.15%) и общей серой (0.17%).

Черное море. Черноморские конкреции отличаются от балтийских относительно пониженным содержанием оксида железа (38.8%), а также кремнезема (14.6%), алюминия (3.3%), титана (0.10%), фосфора (1.7%) и общей серы (1.7%), при повышенном содержании оксида марганца (14.1%) и оксида кальция (11.3%), состоящего из нерастворившихся остатков карбонатной фауны (обломки раковин и фораминифер).

Белое море. Беломорские конкреции обеднены оксидами железа (22.3%) и марганца (12.5%), а также обогащены кремнеземом (43%) по сравнению со всеми остальными образцами.

Баренцево море. Конкреции северной части моря содержат 54.4% оксида железа при пониженном содержании других макроэлементов, кроме общей серы (0.30%).

Карское море. Конкреции обеднены относительно предыдущих арктических образцов железом (14.3%) и общей серой (0.09%), но обогащены кремнеземом (34.7%), глиноземом (6.4%), а также оксидами титана, натрия и калия.

Моря Восточной Арктики: Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское. Конкреции однообразны по составу, в них установлены оксиды железа (23.4–25.4%), оксид марганца (12.2–17.5%), кремнезем (22.8–24.6%), глинозем (3.7–4.5%), оксиды натрия (2.1–2.4%), фосфора (4.2–6.3%), калия (1.3–1.7%), кальция (2.1–2.2%) и магния (1.6–1.8%).

Мировой океан. Океанские конкреции отличаются от морских, в первую очередь, более высокими, в среднем, содержаниями оксидов марганца (24%), титана (1.12%) и общей серы (0.50%) при пониженных средних содержаниях оксида железа (17.9%), кремнезема (16.5%) и фосфора (0.57%).

Диапазон концентраций макроэлементов. Среднее содержание оксида железа в конкре-

**Таблица 1.** Среднее содержание основных компонентов в железомарганцевых конкрециях, %

Компоненты	Глины*	Озера		Заливы		Моря						Мировой океан	
		Красное	Байкал	Рижский	Финский	Черное	Белое	Баренцево	Карское	Лаптевых	Восточно-Сибирское		Чукотское
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.7	53.1	55.3	52.8	52.9	38.8	22.3	54.4	16.2	25.4	23.4	24.4	17.9
MnO	0.12	26.7	2.1	9.2	11.5	14.1	12.5	0.13	14.6	17.4	17.5	12.2	24.0
SiO <sub>2</sub>	50.3	8.6	17.7	—	16.0	14.6	43.0	13.5	34.7	24.6	22.8	23.4	16.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.6	0.53	5.9	6.3	4.1	3.3	4.6	4.0	6.4	3.8	3.7	4.5	5.10
TiO <sub>2</sub>	0.50	0.13	0.32	0.16	0.11	0.10	0.28	0.22	0.28	0.14	0.18	0.21	1.12
Na <sub>2</sub> O	1.38	0.07	0.86	0.69	1.75	1.20	1.7	0.68	2.4	2.1	2.1	2.2	2.7
K <sub>2</sub> O	3.28	0.15	1.25	1.1	1.0	0.87	1.5	0.61	1.6	1.3	1.3	1.7	0.84
CaO	3.10	0.92	1.70	1.9	2.15	11.3	2.1	1.3	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2
MgO	2.75	0.12	0.90	1.4	1.4	1.7	1.3	0.12	1.5	1.6	1.8	1.8	2.67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.18	2.3	2.9	3.0	3.7	1.7	1.6	1.4	1.9	5.7	4.2	6.3	0.57
S <sub>общ</sub>	0.36	0.06	0.13	0.08	0.17	0.14	0.2	0.30	0.09	0.12	—	0.12	0.50
MnO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.50	0.04	0.17	0.22	0.36	0.56	0.002	0.90	0.68	0.74	0.57	1.34

Примечание. \* [Григорьев, 2003]; прочерк — нет данных.

циях меняется от 16.2% в Карском море и 17.9% в Мировом океане до 52–55.5% в конкрециях Финского залива, озера Байкал и Баренцева моря (табл. 1). Среднее содержание оксида марганца минимально в конкрециях Баренцева моря (0.13%) и озера Байкал (2.1%) и максимально в конкрециях Восточной Арктики (17.5%) и в конкрециях океана (24.0%). При этом соотношение между оксидами железа и марганца варьирует от 0.002 (Баренцево море) до 1.33 (Мировой океан).

Содержание литогенных компонентов меняется в широких пределах:  $\text{SiO}_2$  — от 8.6% (озеро Красное) до 43.0% (Белое море);  $\text{TiO}_2$  — от 0.10% (Черное море) до 0.32% (Байкал);  $\text{Na}_2\text{O}$  — от 0.007% (озеро Красное) до 2.4% (Карское море);  $\text{K}_2\text{O}$  — от 0.15% (озеро Красное) до 1.7% (Чукотское море);  $\text{CaO}$  — от 0.92% (озеро Красное) до 11.3% (Черное море);  $\text{MgO}$  — от 0.12% (озеро Красное и Баренцево море) до 1.8% (моря Восточно-Сибирское и Чукотское);  $\text{P}_2\text{O}_5$  — от 1.4–1.9% (моря от Черного до Карского) до 4.2–6.3% (моря Восточной Арктики);  $S_{\text{общ}}$  — от 0.006–0.17% (большинство бассейнов) до 0.20% и 0.30% (Белое и Баренцево море) (см. табл. 1).

Соотношение содержаний оксидов марганца и железа в рассматриваемых конкрециях является их важнейшей характеристикой и колеблется от 0.002–0.04 (конкреции Баренцева моря и Байкала) до 0.90–1.34 (Карское море и Мировой океан). В большинстве конкреций арктических морей это соотношение составляет 0.50–0.90, а в океанских конкрециях — 1.34.

#### *Микроэлементный состав конкреций*

**Озеро Красное.** По сравнению с глинистыми породами, конкреции озера обогащены барием — в 3 раза и стронцием — в 1.5 раза, а также молибденом, вольфрамом и мышьяком — в 2–3.5 раза, при пониженном содержании остальных микроэлементов.

**Байкал.** Конкреции Байкала существенно обогащены относительно морских конкреций ураном (19 г/т) и торием (15 г/т), а также танталом (1.1 г/т), молибденом (27 г/т), вольфрамом (38 г/т), бериллием (3.5 г/т), оловом (2 г/т), цезием (3.5 г/т), ниобием (11 г/т), медью (110 г/т) и рубидием (86 г/т).

**Балтийское море, Рижский и Финский заливы.** В конкрециях обоих заливов установлено незначительно повышенное содержание висмута (0.33–0.42 г/т), иттрия (40–48 г/т) и бария (2334–2960 г/т), а в Финском заливе также цинка (415 г/т).

**Черное и Белое моря.** Конкреции обоих морей обогащены сурьмой (5.1–7.2 г/т), молибденом (31–112 мг/т), вольфрамом (4.1–19 г/т), никелем (84–465 г/т), мышьяком (220–2833 г/т), кобальтом (109–160 г/т), цинком (110–130 г/т), а черноморские образцы обогащены также вольфрамом (19 г/т), галлием (90 г/т) и барием (2180 г/т).

**Баренцево море.** Конкреции северной части Баренцева моря обогащены железом (54.4%), а также бериллием (3.3 г/т), гафнием (3.6 г/т) и скандием (23.6 г/т).

**Карское море.** В Карском море распространены железистые и в меньшей степени марганцовистые конкреции, из которых рассмотрена разновидность, обогащенная сурьмой (11.5 г/т), оловом (2 г/т), мышьяком (435 г/т), ванадием (435 г/т) и цирконием (83 г/т).

**Море Лаптевых.** Конкреции обеднены висмутом (0.13 г/т), танталом (0.20 г/т), таллием (0.77 г/т), оловом (0.66 г/т), ниобием (3.1 г/т), хромом (14 г/т), медью (24 г/т) и цирконием (48 г/т), но обогащены ураном (12 г/т), мышьяком (750 г/т), свинцом (120 г/т), кобальтом (340 г/т) и стронцием (1070 г/т).

**Восточно-Сибирское море.** Конкреции обеднены рядом элементов (Ag, Tl, Be, Sn, Hf, Nb, Th, Sc и Zr), но обогащены кадмием (11.2 г/т), сурьмой (18.4 г/т), таллием (7.5 г/т), молибденом (417 г/т), литием (95 г/т) и ванадием (400 г/т). Обнаружены также признаки эксталяции со дна моря эндогенных компонентов, включая ртуть и золото [Батулин и др., 2014; Baturin et al., 2016].

**Чукотское море.** Конкреции Чукотского моря бедны ртутью (0.03 г/т), таллием (0.46 г/т), оловом (0.60 г/т) и гафнием (0.95 г/т), но обогащены висмутом (0.35 г/т), стронцием (1335 г/т) и мышьяком (800 г/т).

**Мировой океан.** Среднее содержание большинства микроэлементов в океанских конкрециях (в 22 из 34 проб) выше, чем в морских и озерных конкрециях, при следующих вариациях концентраций (г/т): Bi 0.2–7, Cd 0.44–11,

Sb 2.2–40, Tl 0.62–50, Ta 0.19–10, Mo 5.8–400, W 1.0–100, Th 2.9–30, Nb 3–50, Pb 10–900, Co 12.5–2700, Cu 11–4500, Ni 30–6600, Zn 90–1200 (табл. 2, 3).

Близкие средние содержания ряда микроэлементов в океанских и в морских конкрециях характерны для Se, Cd, Sb, Mo, As и Sr, которыми обогащены конкреции Восточно-Сибирского

Таблица 2. Среднее содержание микроэлементов в железомарганцевых конкрециях, (г/т)

Элемент	Глинис- тые породы	Озера		Заливы		Моря							Ми- ровой океан*
		Крас- ное	Бай- кал	Риж- ский	Фин- ский	Чер- ное	Белое	Барен- цево	Кар- ское	Лап- тевых	Восточно- Сибирское	Чукот- ское	
Hg	0.089	—	—	—	—	—	—	<b>0.31</b>	—	0.15	0.07	0.03	<b>0.32</b>
Ag	0.2	< 0.05	0.18	0.13	0.18	0.08	<b>0.23</b>	0.06	0.13	0.05	0.02	0.05	0.9
Se	0.36	—	1.3	—	—	—	—	< 1.5	2	<b>4.1</b>	2.7	3.4	0.6
Bi	0.38	< 0.3	0.2	<b>0.42</b>	0.33	0.20	0.18	0.08	0.16	0.13	0.24	0.35	<b>7</b>
Cd	1.0	0.4	3.1	1.7	5.3	2.7	1.0	0.44	1.4	2.4	<b>11.2</b>	1.3	<b>10</b>
Sb	1.0	0.13	2.5	2.2	4.0	7.2	5.1	2.5	11.5	14.3	<b>18.4</b>	15.8	<b>40</b>
Tl	1.3	0.5	2.3	2.8	4.1	1.2	4.3	0.62	2.1	0.77	<b>7.5</b>	0.46	<b>150</b>
Ta	1.4	0.04	<b>1.1</b>	0.28	0.44	0.19	0.6	0.23	0.52	0.20	0.20	0.24	<b>10</b>
Mo	1.6	6.0	27	5.8	6.7	31	112	43	153	190	<b>417</b>	90	<b>400</b>
W	2.6	5.0	<b>38</b>	3.0	7.7	19	4.1	1.0	10	8.5	5.5	5.0	<b>100</b>
Be	2.8	0.7	<b>3.5</b>	1.2	1.9	1.25	0.6	<b>3.3</b>	0.9	1.1	0.7	1.2	<b>2.5</b>
Sn	3.5	0.26	<b>2.0</b>	0.74	1.1	0.72	0.65	0.8	<b>2.0</b>	0.66	0.43	0.60	<b>2</b>
U	4.5	0.6	<b>19</b>	4.8	14	3.1	2.7	3.1	5.3	12	9.3	9.2	5
Hf	5	0.15	2.1	1.7	2.0	1.2	3.5	<b>3.6</b>	2.0	1.1	0.8	0.95	<b>8</b>
As	9.3	32	200	265	137	283	220	265	435	750	527	<b>800</b>	140
Cs	10	0.2	<b>3.5</b>	1.2	1.5	1.7	0.9	1.2	2.1	2.3	1.8	2.4	1
Th	10	0.9	<b>15</b>	5.7	6.3	2.9	6.8	3.4	4.4	3.4	3.2	4.1	<b>30</b>
Nb	11	1.0	<b>11</b>	5.8	6.7	3.0	6.0	3.2	5.0	3.1	3.1	4.0	<b>50</b>
Pb	14	4.0	28	50	36	26.2	14	10	23	<b>120</b>	48	73	<b>900</b>
Sc	15	1.1	10	5.8	6.3	6.7	7.2	<b>23.6</b>	8.0	5.4	4.2	5.3	10
Ga	16	<b>177</b>	23	75	170	90	8.0	5.7	53	15	42	28	10
Co	19	15	107	154	145	160	109	—	12.5	<b>340</b>	314	250	<b>2700</b>
Y	31	14	32	<b>48</b>	40	26.4	24	40	37	30	38	41	<b>150</b>
Cu	36	40	<b>110</b>	46	35	42	11	33	48	24	37	23	<b>4500</b>
Li	46	0.8	22	10.6	14	15	49	18	60	34	<b>95</b>	16	80
Ni	47	13	320	120	194	<b>465</b>	84	30	125	127	226	95	<b>6600</b>
Zn	52	114	146	278	<b>415</b>	130	110	90	130	190	320	170	<b>1200</b>
Cr	76	8.0	<b>70</b>	14	26	16	60	34	48	14	26	38	35
V	120	<2	195	66	69	218	225	290	365	173	<b>400</b>	305	<b>500</b>
Rb	130	4	<b>86</b>	34	48	26	28	20	40	33	31	39	17
Zr	190	15	65	78	<b>83</b>	58	70	58	<b>83</b>	42	37	44	<b>560</b>
Sr	240	320	326	545	655	930	570	190	500	1070	970	<b>1335</b>	830
Ba	460	<b>12043</b>	2970	2334	2960	2180	650	560	525	1020	900	1060	2300
MnO/ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	<b>0.50</b>	0.04	0.17	0.22	0.36	0.56	0.002	0.90	0.68	0.74	0.57	1.33

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены максимальные содержания; прочерк — нет данных; \*[Батурин, 1986].



**Таблица 3.** Повышенные содержания микроэлементов в железомарганцевых конкрециях бассейнов разного типа, г/т

Элементы	Глинистые породы	Бассейн		
		Озеро Байкал	Моря и заливы (максимальное содержание)	Мировой океан
Ag	0.2	0.18	0.23 (Белое море)	<b>0.9</b>
Se	0.36	1.3	<b>4.1</b> (море Лаптевых)	0.6
Bi	0.38	0.2	0.42 (Рижский залив)	<b>7</b>
Cd	1	3.1	<b>11.2</b> (Восточно-Сибирское море)	<b>10</b>
Sb	1	2.5	<b>184</b> (Восточно-Сибирское море)	40
Tl	1.3	2.3	75 (Восточно-Сибирское море)	<b>150</b>
Ta	1.4	1.1	0.6 (Белое море)	10
Mo	1.6	27	<b>417</b> (Восточно-Сибирское море)	<b>400</b>
W	2.6	38	19 (Черное море)	<b>100</b>
Be	2.8	<b>3.5</b>	3.3 (Баренцево море)	2.5
Sn	<b>3.5</b>	2.0	2.0 (Карское море)	2.0
U	4.5	<b>19</b>	14 (Финский залив)	5
Hf	5	2.1	3.6 (Баренцево море)	<b>8</b>
As	9.3	200	<b>800</b> (Чукотское море)	140
Cs	10	<b>3.5</b>	2.4 (Чукотское море)	1.0
Th	10	15	10.6 (Балтийское море)	30
Nb	11	11	8.4 (Балтийское море)	<b>50</b>
Pb	14	28	120 (море Лаптевых)	<b>900</b>
Sc	15	10	<b>23</b> (Баренцево море)	10
Ga	16	23	<b>70</b> (Финский залив)	10
Co	19	107	340 (море Лаптевых)	<b>2700</b>
Y	31	32	48 (Рижский залив)	<b>150</b>
Cu	36	110	48 (Карское море)	<b>4500</b>
Li	46	22	<b>95</b> (Восточно-Сибирское море)	80
Ni	47	320	465 (Черное море)	<b>6000</b>
Zn	52	146	700 (Балтийское море)	<b>1200</b>
Cr	76	70	60 (Белое море)	35
V	120	195	400 (Восточно-Сибирское море)	<b>500</b>
Rb	130	<b>86</b>	60 (Балтийское море)	17
Zr	190	65	96 (Балтийское море)	<b>560</b>
Sr	240	320	<b>1335</b> (Чукотское море)	830
Ba	460	<b>2970</b>	<b>2960</b> (Финский залив)	2300

Примечание. Полужирным шрифтом выделены максимальные содержания.

и Чукотского морей. Это свидетельствует о том, что марганцевая фаза стимулирует накопление целого ряда цветных металлов преимущественно в океанских конкрециях и в меньшей степени в морских, что отмечалось ранее [Меро, 1969; Железомарганцевые ..., 1976], но не всегда учитывалось применительно к морским конкрециям.

Согласно обобщенным данным, содержание элементов (в порядке увеличения атомного веса) распределяется следующим образом.

Содержание серебра составляет от 0.02 до 0.05 г/т в конкрециях Восточной Арктики и достигает максимума 0.23 г/т в конкрециях Белого

моря, а также 0.18 г/т в конкрециях озера Байкал и Финского залива.

По единичным данным повышенное содержание селена (4.1 г/т) установлено в море Лаптевых. Максимальное содержание висмута (0.42 г/т) характерно для конкреций Рижского залива, что соответствует его среднему содержанию в глинистых породах (0.42 г/т), при 7 г/т в океанских конкрециях.

Содержание кадмия колеблется в большинстве конкреций рассматриваемых бассейнов от 0.44 до 5.3 г/т, при максимальных содержаниях 10 и 11 г/т, установленных в конкрециях океана и Восточно-Сибирского моря.

Содержание сурьмы в морских конкрециях повсеместно выше, чем в глинистых породах, и достигает 18.4 г/т в конкрециях Восточно-Сибирского моря и 40 г/т в конкрециях океана.

Содержание таллия в большинстве конкреций составляет от 1.2 до 4.3 г/т, при повышенных содержаниях (7.5 г/т) в конкрециях Восточной Арктики и 150 г/т в конкрециях океана.

Что касается других элементов в океанских конкрециях, то среднее содержание одиннадцати из них (Ta, W, Be, Sn, U, Cs, Th, Nb, Cu, Cr и Rb), оказывается выше среднего содержания во всех морских конкрециях.

Отношение  $MnO/Fe_2O_3$  в конкрециях. Соотношение между оксидами марганца и железа привлекает внимание как фактор, определяющий общий состав железомарганцевых конкреций, что в данном случае иллюстрирует микроэлементный состав конкреций на фоне соотношения гидроксидов марганца и железа (см. табл. 1–3).

Показано, что по сравнению со средним составом глинистых пород, конкреции обеднены одиннадцатью элементами, включая Ta, Sn, Hf, Cs, Th, Nb, Hf, Sc, Cr, Rb и Zr. Кроме того, содержание ряда элементов соответствует или приближено к их среднему содержанию в глинистых породах, включая Ag, Bi, Be, Y и Li. Содержание остальных 17 элементов (кроме меди) в конкрециях рассматриваемых бассейнов превышает средние содержания этих элементов в глинистых осадочных породах.

Минимальные величины соотношения  $MnO/Fe_2O_3$  (0.002 и 0.04) установлены в конкрециях Баренцева моря и озера Байкал при содержании

оксида марганца 0.13 и 2.1%. Среднее содержание оксидов в обогащенных марганцем конкрециях морей Восточной Арктики составляет 15%  $MnO$  и 22%  $Fe_2O_3$ .

Минимальное значение этого параметра (0.002 в конкрециях Баренцева моря) совпадает с максимальными содержаниями бериллия, гафния и скандия (3.3, 3.6 и 23.6 г/т). Второе низкое значение этого соотношения (0.04, озеро Байкал) совпадает с максимальными содержаниями 11 элементов (г/т): Ta (1.1), W (38), Be (3.5), Sn (2.0), U (19), Cs (3.5), Th (15), Nb (11), Cu (110), Cr (70), и Rb (86). Большая часть этих элементов, за исключением меди и урана, обычно связана с терригенными компонентами.

В конкрециях из Финского залива обнаружены повышенные содержания цинка (415 г/т) и циркония (83 г/т); в конкреции из Черного моря — цинка (465 г/т), в конкреции Баренцева моря — ртути (0.31 г/т), бериллия (3.3 г/т), гафния (3.6 г/т) и скандия (23.6 г/т); в конкреции Карского моря — циркония (83 г/т); в море Лаптевых конкреции обогащены свинцом (120 г/т) и кобальтом (340 г/т); в Восточно-Сибирском море — кадмием (24 г/т), сурьмой (18.4 г/т), молибденом (417 г/т), литием (95 г/т) и ванадием (400 г/т); в Чукотском море — мышьяком (800 г/т) и стронцием (1335 г/т).

Сопоставление этих данных показывает, что концентрация некоторых микроэлементов в морских конкрециях, главным образом формировавшихся в морях Восточной Арктики, близка к океанским конкрециям и колеблется в пределах одного порядка величины.

#### *Редкоземельные элементы*

Содержание суммы редкоземельных элементов (табл. 4) минимальное в конкрециях Черного, Белого и Баренцева морей (73–101 г/т); повышается в морях Восточной Арктики (136–205 г/т) и достигает 304–324 г/т в озере Байкал, Финском и Рижском заливах. Максимальная средняя величина суммы РЗЭ приходится на долю океанских конкреций (1668 г/т).

Сопоставление со средним содержанием РЗЭ в осадочных породах (172 г/т) [Балашов, 1976] показывает, что пониженное суммарное содер-

**Таблица 4.** Содержание редкоземельных элементов в железоманганцевых конкрециях (среднее содержание по бассейнам), г/т

Элемент	Глины	Озера		Заливы		Моря						Мировой океан**	
		Красное	Байкал	Рижский	Финский	Черное	Белое	Баренцево	Карское	Лаптевых	Восточно-Сибирское		Чукотское
La	32	27.9	58.	62.5	60.7	14.8	16.8	22.4	44	25.6	29	26.7	130
Ce	73	43.8	80	137	157	21	31.8	41.9	65.9	46.6	61	41.4	412
Pr	7.9	5.2	8.0	15.1	14.5	2.7	4.02	4.4	9.2	5.5	6.6	5.4	33
Nd	33	21.1	15	52.2	47.8	14	15.6	17.9	40.6	23.5	26	24	129
Sm	5.7	<4	7.0	12.0	9.9	2.3	3.07	3.5	10	5.0	5.6	5.6	37
Eu	1.24	<2	2.5	<3	<2	0.7	0.61	0.74	2.3	1.2	1.3	1.3	6.9
Gd	5.2	4.21	10	12.5	12.7	3.8	2.56	3.8	10.4	5.9	5.8	6.7	36
Tb	0.85	0.49	1.1	1.5	1.6	0.6	0.35	0.58	1.4	0.83	0.86	1.0	5.7
Dy	5.2	2.9	4.5	8.3	8.8	3.7	2.00	3.4	8.8	4.9	4.9	5.8	34
Ho	1.04	9.45	1.3	1.9	1.56	0.9	0.42	0.75	1.6	1.0	0.92	1.2	4.2
Er	3.4	1.5	3.9	4.1	4.4	2.7	1.11	2.1	4.8	2.8	2.7	3.5	17.4
Tm	0.5	0.30	0.4	0.60	0.51	0.3	0.14	0.29	0.63	0.39	0.36	0.48	2.7
Yb	3.1	2.1	3.6	4.0	3.9	2.9	0.89	2.0	3.6	2.4	2.30	3.0	14.2
Lu	0.48	0.45	0.5	0.58	0.59	0.5	0.17	0.30	0.48	0.38	0.35	0.48	2.25
ΣTR	172	123	304	315	324	73	81.3	101	205	136	145	158	1668
Ce*	1.00	0.78	1.3	0.95	1.16	0.8	0.91	0.90	0.70	0.85	0.96	0.79	1.36
Eu*	1.00	—	1.2	—	—	1.0	0.86	0.89	0.99	0.98	1.02	0.93	0.83

Примечание. Прочерк — нет данных; \* цериевая и европиевая аномалии; \*\* [Батулин, 1986].

жание РЗЭ (до 100 г/т) свойственно конкрециям из Черного, Белого и Баренцева морей, умеренное (123–205 г/т) — для озера Красное и морей восточного сектора Арктики, а повышенное (более 300 г/т) — для конкреций Байкала, Рижского и Финского заливов, что в 5.5 раз ниже по сравнению с океанскими конкрециями.

Рассчитанная по стандартному методу [Балашов, 1976; Дубинин, 2006] величина цериевой аномалии максимальна в конкрециях Байкала и океана (1.30–1.36), а также Финского залива (1.16).

Европиевая аномалия составляет 1.2 в конкрециях Байкала, от 0.86 до 1.02 в прочих рассматриваемых образцах и 0.83 в конкрециях океана, что свидетельствует о единообразии поведения редкоземельных элементов в условиях морского осадкообразования. Но положительная европиевая аномалия в конкрециях Байкала может интерпретироваться как довод в пользу влияния на осадочный процесс эндогенного фактора.

## АССОЦИАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНКРЕЦИЯХ

**Макроэлементы.** Сопоставление состава конкреций из разных водоемов показывает, что озерные конкреции, относительно глинистых осадочных пород, сильнее обогащены железом, чем марганцем, при умеренном или пониженном содержании ряда терригенных компонентов (Si, Al, Ti и P). Максимальное содержание SiO<sub>2</sub> (43%) наблюдается в конкрециях Белого моря, в океанских конкрециях наряду с SiO<sub>2</sub> установлены Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5.1%), Na<sub>2</sub>O (2.7%), CaO (3.2%), MgO (2.67%) и S<sub>общ</sub> (0.50%), что дает общее представление об основном составе терригенных компонентов в конкрециях.

**Микроэлементы.** Согласно приведенным в табл. 2 данным, повышенные (относительно глинистых пород) содержания отдельных микроэлементов могут проявляться в конкрециях всех рассматриваемых бассейнов.

В Байкале конкреции максимально обогащены семью элементами — Ta, U, Be, Cs,



Sr, Rb и Ba. В арктических морях (преимущественно в Восточной Арктике) конкреции обогащены, относительно образцов из западной части Арктики, Se, Cd, Sb, Mo, As, Sc, Ga, Li, Sr и Ba, а океанские конкреции наиболее высоко обогащены Bi, Cd, Tl, Mo, Hf, Nb, Pb, Co, Y, Cu, Ni, Zn, V, Zr, Ba и редкоземельными элементами.

Конкреции пресноводных озер обогащаются относительно осадочных пород единичными элементами, конкреции морей — десятью, а конкреции океанов — тридцатью элементами, без учета ртути, золота и платиноидов, которые, судя по единичным определениям [Аникеева, Казакова, 2002], могут входить в эту группу.

При рассмотрении этих различий в степени накопления металлов в морских и в океанских конкрециях, возникает предположение о следующих факторах: состав подстилающих конкреции осадков, состав морских и поровых вод, скорость осадконакопления и соотношение в конкрециях оксидов марганца и железа. Последний фактор, как наиболее вероятный, подкрепляется сочетанием повышенного уровня содержания цветных металлов с высокими содержаниями марганца [Батурин, 1986].

### КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ В КОНКРЕЦИЯХ

Корреляционные связи между элементами (табл. 5) показывают, что в целом корреляция между главными породообразующими элементами — железом и марганцем — практически отсутствует. Что касается других элементов, то с железом слабо коррелируются только бериллий и галлий, а с марганцем — большинство рудных элементов (Mo, Pb, Co, Cu, Ni) и некоторые редкие элементы (Bi, Sb, Tl, Ta, Ba).

При рассмотрении соотношений между микроэлементами, исключая железо и марганец, выявляются корреляционные группы элементов, варьирующие по составу. В табл. 6 приведен состав десяти таких групп, выделенных по числу выбранных рудных и сопутствующих микроэлементов (Ag, Bi, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn и Zn). Наиболее обширны группы с сурьмой и серебром, включающие соответственно 16 и 17 элементов. Менее широки группы, связанные с оловом и с молибденом (11 и 12 элементов).

Таблицы 5 и 6 показывают, что из 17 перечисленных элементов во всех десяти группах участвуют лишь шесть элементов — Pb, Bi, Cu, Co, Zn и Zr.

На втором месте по распространенности — Ag, Sb, Tl, Ni и Zn (встречаются в 7–8 группах).

Ряд прочих элементов присутствует в рассматриваемых группах не более 5–6 раз (Cd, Mo, Sn, W, Th, Ta).

Это демонстрирует варианты распределения в конкрециях серии элементов, которым свойственно совместное накопление на Fe–Mn гидроксидах, невзирая на разнообразие условий морской среды в разных водоемах. При этом, наряду с рудными металлами, во всех рассмотренных группах присутствует цирконий, а в ряде других групп — также ниобий, гафний и реже литий (малоподвижные элементы), которые захвачены гидроксидами железа и марганца из вмещающих осадков.

В целом содержание микроэлементов в конкрециях разных типов из разных водоемов постоянно, но заметное обогащение относительно среднего состава глин характерно для средних содержаниях целого ряда микроэлементов во всех многокомпонентных конкрециях (в частности, в конкрециях Байкала). В конкрециях морей и заливов спорадически встречаются повышенные содержания 17 микроэлементов (Se, Bi, Cd, Sb, Tl, Mo, U, As, Pb, Sc, Co, Li, Ni, Zn, V, Sr и Ba), что свидетельствует о сходстве локальных условий осадконакопления и среды формирования конкреций.

В океанских конкрециях наиболее высокие средние содержания характерны для 17 микроэлементов (Ag, Bi, Tl, Mo, W, Hf, As, Th, Nb, Pb, Co, Y, Cu, Ni, Zn, V, Zr), а также 14 редкоземельных элементов, что согласуется с составом вмещающих конкреции пелагических осадков. В то же время в морях конкреции перманентно обогащены железом и марганцем, но спорадически и локально — несколькими другими элементами (Se, Cd, Sb, Tl, Mo, W, U, Co и Pb).

### ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗОМАНГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ

При исследовании состава конкреций установлено, что максимальное значение величины

Таблица 5. Корреляционные связи элементов в железомарганцевых конкрециях

	Fe2O3	MnO	Ag	Bi	Cd	Sb	П	Ta	Mo	W	Be	Sn	U	Hf	As	Cs	Th	Nb	Pb	Sc	Ga	Co	Y	Cu	Li	Ni	Zn	Cr	V	Rb	Zr	Sr	Ba
Fe2O3		-45	-32	-35	-38	-70	-37	-38	-72	-28	43	-48	17	-35	-39	-55	-39	-36	-40	11	52	-40	-34	-36	-78	-35	-23	-54	-55	-31	-38	-62	39
MnO	-45		31	43	39	46	44	42	45	32	-56	21	-38	15	-22	-4	36	38	44	-52	32	43	28	43	39	41	34	-23	-11	-15	39	40	58
Ag	-32	31		96	50	75	96	97	49	93	36	66	-6	89	-36	-26	98	98	94	14	-26	94	93	96	43	96	93	27	48	-20	97	2	-8
Bi	-35	43	96		58	84	100	100	59	94	33	61	-13	85	-29	-19	98	99	99	13	-24	99	97	100	46	100	94	11	49	-25	99	15	1
Cd	-38	39	50	58		72	61	57	83	54	3	29	16	40	-5	11	57	58	59	-11	-9	64	61	58	75	59	71	-3	48	10	57	37	-16
Sb	-70	46	75	84	72		85	84	85	80	11	57	4	66	18	26	82	83	88	1	-46	89	85	84	72	85	81	20	71	1	83	52	-26
П	-37	44	96	100	61	85		100	62	94	32	62	-13	87	-30	-18	98	99	99	14	-26	99	97	100	51	100	94	14	51	-24	99	15	-1
Ta	-38	42	97	100	57	84	100		60	94	33	65	-14	88	-30	-17	99	100	99	16	-27	98	97	100	49	99	93	17	51	-22	99	14	-3
Mo	-72	45	49	59	83	85	62	60		52	-9	37	1	46	21	25	57	58	63	-2	-47	65	60	60	93	59	59	21	69	1	57	43	-29
W	-28	32	93	94	54	80	94	94	52		43	55	8	74	-22	-24	90	94	94	5	-25	95	89	95	37	97	92	8	59	-35	92	5	-4
Be	43	-56	36	33	3	11	32	33	-9	43		16	34	41	-12	-27	31	35	32	65	-25	32	40	34	-22	36	39	2	37	-30	33	44	-25
Sn	-48	21	66	61	29	57	62	65	37	55	16		-18	70	-20	23	68	66	61	30	-16	56	67	62	48	61	55	41	41	30	70	6	-26
U	17	-38	-6	-13	16	4	-13	-14	1	8	34	-18		-30	50	15	-12	-10	-8	-27	-7	-4	-6	-14	-13	-9	15	-8	23	17	-16	0	-35
Hf	-35	15	89	85	40	66	87	88	46	74	41	70	-30		-39	-15	91	89	84	51	-41	82	87	86	48	84	75	43	46	-9	90	0	-23
As	-39	-22	-36	-29	-5	18	-30	-30	21	-22	-12	-20	50	-39		72	-30	-30	-19	-15	-51	-18	-20	-29	9	-28	-25	7	33	34	-32	54	-54
Cs	-55	-4	-26	-19	11	26	-18	-17	25	-24	-27	23	15	-15	72		-14	-17	-10	3	-29	-12	-6	-19	27	-19	-18	12	18	77	-14	75	-57
Th	-39	36	98	98	57	82	98	99	57	90	31	68	-12	91	-30	-14		99	97	17	-29	96	97	98	50	97	93	24	48	-10	99	16	-11
Nb	-36	38	98	99	58	83	99	100	58	94	35	66	-10	89	-30	-17	99		98	16	-27	98	97	99	48	99	95	19	51	-18	100	13	-6
Pb	-40	44	94	99	59	88	99	99	63	94	32	61	-8	84	-19	-10	97	98		12	-30	100	97	99	48	99	94	9	51	-20	98	22	-4
Sc	11	-52	14	13	-11	1	14	16	-2	5	65	30	-27	51	-15	3	17	16	12		-44	8	24	15	5	13	2	32	27	-2	20	-29	-39
Ga	52	32	-26	-24	-9	-46	-26	-27	-47	-25	-25	-16	-7	-41	-51	-29	-29	-27	-30	-44		-30	-32	-26	-45	-26	-15	-53	-71	1	-26	-18	75
Co	-40	43	94	99	64	89	99	98	65	95	32	56	-4	82	-18	-12	96	98	100	8	-30		96	99	50	99	95	9	54	-22	97	23	-6
Y	-34	28	93	97	61	85	97	97	60	89	40	67	-6	87	-20	-6	97	97	97	24	-32	96		97	49	96	94	15	54	-9	98	18	-16
Cu	-36	43	96	100	58	84	100	100	60	95	34	62	-14	86	-29	-19	98	99	99	15	-26	99	97		47	100	94	12	51	-26	99	13	0
Li	-78	39	43	46	75	72	51	49	93	37	-22	48	-13	48	9	27	50	48	48	5	-45	50	49	47		47	45	42	64	17	49	34	-37
Ni	-35	41	96	100	59	85	100	99	59	97	36	61	-9	84	-28	-19	97	99	99	13	-26	99	96	100	47		95	11	53	-27	98	14	-2
Zn	-23	34	93	94	71	81	94	93	59	92	39	55	15	75	-25	-18	93	95	94	2	-15	95	94	94	45	95		3	48	-14	93	13	-5
Cr	-54	-23	27	11	-3	20	14	17	21	8	2	41	-8	43	7	12	24	19	9	32	-53	9	15	12	42	11	3	50	25	19	-3	-54	
V	-55	-11	48	49	48	71	51	51	69	59	37	41	23	46	33	18	48	51	51	27	-71	54	54	51	64	53	48	50		-11	49	12	-59
Rb	-31	-15	-20	-25	10	1	-24	-22	1	-35	-30	30	17	-9	34	77	-10	-18	-20	-2	1	-22	-9	-26	17	-27	-14	25	-11		-15	52	-51
Zr	-38	39	97	99	57	83	99	99	57	92	33	70	-16	90	-32	-14	99	100	98	20	-26	97	98	99	49	98	93	19	49	-15		14	-7
Sr	-62	40	2	15	37	52	15	14	43	5	-44	6	0	54	75	16	13	22	-29	-18	23	18	23	18	13	34	14	13	-3	12	52	14	-24
Ba	39	58	-8	1	-16	-26	-1	-3	-29	-4	-25	-26	-35	-23	-54	-57	-11	-6	-4	-39	75	-6	-16	0	-37	-2	-5	-54	-59	-51	-7	-24	

Таблица 6. Корреляционные ассоциации элементов в железомарганцевых конкрециях

Группы	Состав групп коррелирующих элементов
1	Ag, <b>Bi</b> , Cd, <b>Co</b> , <b>Cu</b> , Mo, Hf, Ni, <b>Pb</b> , Sb, Sn, Th, Ta, Tl, W, <b>Zn</b> , <b>Zr</b>
2	<b>Bi</b> , Ag, Cd, <b>Co</b> , <b>Cu</b> , Hf, Nb, Ni, <b>Pb</b> , Sb, Th, Ta, Tl, W, <b>Zn</b> , <b>Zr</b>
3	<b>Co</b> , Ag, <b>Bi</b> , Cd, <b>Cu</b> , Mo, Hf, Nb, Ni, <b>Pb</b> , Sb, Ta, Tl, W, <b>Zn</b> , <b>Zr</b>
4	<b>Cu</b> , Ag, <b>Bi</b> , <b>Co</b> , Hf, Mo, Nb, Ni, <b>Pb</b> , Sn, Ta, Th, Tl, <b>Zn</b> , <b>Zr</b>
5	Mo, <b>Bi</b> , Cd, <b>Co</b> , <b>Cu</b> , Li, Ni, <b>Pb</b> , Sb, V, Y, <b>Zn</b> , <b>Zr</b>
6	Ni, Ag, <b>Bi</b> , <b>Co</b> , <b>Cu</b> , Hf, Nb, <b>Pb</b> , Sb, Sn, Ta, Th, Tl, W, <b>Zn</b> , <b>Zr</b>
7	<b>Pb</b> , Ag, <b>Bi</b> , <b>Co</b> , <b>Cu</b> , Hf, Mo, Nb, Sb, Sn, W, Y, <b>Zn</b> , <b>Zr</b>
8	Sb, Ag, <b>Bi</b> , Cd, <b>Co</b> , <b>Cu</b> , Hf, Li, Mo, Nb, Ni, <b>Pb</b> , Ta, Th, Y, <b>Zn</b> , <b>Zr</b>
9	Sn, <b>Bi</b> , <b>Co</b> , <b>Cu</b> , Hf, Nb, <b>Pb</b> , Ta, Tl, Th, Y, <b>Zr</b>
10	Zn, Ag, <b>Bi</b> , Cd, <b>Co</b> , <b>Cu</b> , Hf, Nb, Ni, <b>Pb</b> , Sb, Ta, Th, Tl, Y, <b>Zr</b>

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены элементы, участвующие практически во всех группах (**Bi**, **Co**, **Cu**, **Pb**, **Zn**, **Zr**).

отношения концентраций оксидов марганца и железа, равное 1.34 и свойственное океанским конкрециям, совпадает с установленными в них максимальными концентрациями главных рудных металлов — Co, Cu, Ni, Zn, Pb, а также, отчасти, и других металлов — Bi, Mo, Cd, Sn, Se и V (см. табл. 1, 2).

Так, в Баренцевом море исследованные конкреции чрезвычайно бедны марганцем, в то же время они заметно отличаются от прочих минимальным содержанием большинства рассматриваемых металлов. Это позволяет предположить, что длительное перемывание конкреций придонными течениями и диффузия металлов из подстилающих осадков способствуют накоплению металлов в конкрециях при их длительной экспозиции на поверхности дна. Но главной причиной является повышенное содержание в конкрециях марганца, который накапливается в озерных конкрециях, несмотря на обеднение марганцем озерных вод и осадков.

Независимо от типа водоема, различия в составе морских и океанских конкреций обусловлены несколькими причинами, включая обогащенность осадков и вод металлами, скорость осадконакопления, состав поровых вод осадков и активность диагенетических процессов, а также сорбционные свойства конкреций.

#### *Соотношение марганца и железа в конкрециях*

Возможное влияние марганца и железа на процессы накопления металлов в железомарганцевых конкрециях предполагалось и неодно-

кратно рассматривалось на отдельных примерах [Меро, 1969; Железомарганцевые ..., 1976], в данном случае его можно проанализировать на примере нескольких бассейнов разного типа.

При средних содержаниях оксидов марганца и железа в океанских конкрециях (24% и 16.9%) доминирование марганца оказывает существенное влияние на накопление большей части микроэлементов в конкрециях восточной зоны Арктики (см. табл. 1). При этом марганец вовлекает сопутствующие элементы (Bi, Cd, Sb, Tl, Mo, As, Pb, Co, Ni, Zn, V), содержание которых в пелагических марганцевых конкрециях много выше, чем в морских железистых конкрециях.

Соотношение  $MnO/Fe_2O_3$  в конкрециях морей восточной части Арктики неодинаковое: в Чукотском море составляет 0.57, а в Карском море повышается до 0.9; заметно варьирует и в Западной Арктике — от 0.002 в Баренцевом море до 0.56 в Белом море.

#### *Источники элементов в конкрециях*

В качестве источников элементов в океанских железомарганцевых конкрециях рассматривались разные варианты, в том числе донные осадки, морская и поровая вода, а также вулканические эксгаляции [Батурин, 1986], что, в определенной мере, подтверждается и современными данными, включая гидротермальный фактор [Богданов и др., 2006].

Морские конкреции, как правило, залегают на терригенных осадках, располагаясь относи-



тельно близко к континентам, и сложены преимущественно терригенным материалом, что свидетельствует против гипотезы о возможном высоком обогащении цветными металлами конкреций в обычных морских условиях.

Доказательством сходства составов всех рассмотренных выше конкреций и осадочных пород является то, что многие инертные и малоподвижные элементы в конкрециях и во вмещающих осадках присутствуют в сопоставимых количествах.

Согласно известным гипотезам, источниками металлов в конкрециях океана могут быть эпизодические гидротермы, глубинные флюиды и плюмы, которые в полярных морях хотя и не наблюдались, но предполагались [Батулин, 1986].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнено сопоставление современных литературных и оригинальных данных об основном и микроэлементном составе железомарганцевых конкреций со дна двух озер, трех внутренних морей Восточной Европы и пяти арктических морей со средним составом конкреций Мирового океана. Определены средние содержания элементов и вариации их концентраций в конкрециях из каждого бассейна; выявлены черты сходства и различия в их микроэлементном составе, установлено обогащение конкреций восточной части Арктики, относительно прочих образцов, целым рядом элементов, включая селен, кадмий, сурьму, молибден, свинец, кобальт, литий, ванадий и стронций.

Показано, что состав конкреций неоднороден и меняется в разных бассейнах. Конкреции Восточной Арктики сходны по содержанию отдельных элементов с конкрециями океана. Максимальные концентрации цветных металлов в них сопровождаются повышенным содержанием оксидов марганца, которые стимулируют извлечение растворенных в морской воде металлов, что является свидетельством заметной роли этого фактора в рудоносности конкреций [Батулин, Дубинчук, 2011 б].

Согласно приведенным данным, величина отношения  $MnO/Fe_2O_3$  в изученных образцах является индикаторной в отношении уровня концентрации цветных металлов, тесно связанных с марганцем. В рассмотренных нами кон-

крециях величина этого отношения колеблется от 0.002 (конкреции Баренцева моря) до 1.33 (среднее в конкрециях океана). Содержания оксидов железа и марганца в исследованных образцах меняются, таким образом, в пределах трех порядков величины.

Вместе с тем, высокая доля терригенного материала в рассмотренных морских конкрециях позволяет относить их к отложениям не рудного, а переходного типа, в то время как кондиционные конкреции в океане являются рудами, но пока недоступны по экономическим и технологическим причинам. Обогащенность металлами морских и океанских конкреций обусловлена поступлением элементов из подстилающих осадков, морской воды и, вероятно, эндогенных источников, функционирующих во всех океанах и, по-видимому, в некоторых морях. Общая относительная обедненность рудными элементами арктических конкреций сочетается с повышением концентраций микроэлементов в конкрециях из отдельных участков арктических морей, что может быть обусловлено эндогенными факторами. При оценке перспектив освоения конкреций Восточной Арктики требуется комплексное детальное исследование, включающее поиск предполагаемых рудных полей и гидротермальных проявлений.

### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке по Госзаданию по теме № 0149-2018-0005.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Амиржанов А. А., Пампура В. Д., Пискунова Л. Ф., Карабанов Е. Б.* Геохимические типы железомарганцевых конкреций озера Байкал // Докл. РАН. 1992. Т. 326. № 3. С. 530-534.
- Андрусов Н. И.* Предварительный отчет об участии в Черноморской глубоководной экспедиции 1890 г. // Известия Императорского Русского Географического общества. 1890. Т. 26. Вып. 5. С. 398-410.
- Аникеева Л. И., Казакова В. Е.* Геохимия кобальтбогатых Fe-Mn корок // Кобальтбогатые руды Мирового океана. СПб.: ВНИИИОкеанология, 2002. С. 155-192.
- Архангельский А. Д.* Об осадках Черного моря и их значении в познании осадочных горных пород // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1927. Т. 5. № 3-4. С. 189-299.
- Балашов Ю. А.* Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267 с.

- Батурин Г. Н.* Геохимия железомарганцевых конкреций океана. М.: Наука, 1986. 340 с.
- Батурин Г. Н.* О строении и составе железомарганцевых конкреций Черного моря // Литология и геохимия осадкообразования в приустьевых районах западной части Черного моря. М.: ИО РАН, 1987. С. 95-98.
- Батурин Г. Н.* Геохимия железомарганцевых конкреций Финского залива, Балтийского моря // Литология и полез. ископаемые. 2009. № 5. С. 451-463.
- Батурин Г. Н.* Элементный состав железомарганцевых конкреций Черного моря // Океанология. 2010. Т. 50. № 1. С. 89-98.
- Батурин Г. Н.* Вариации состава железомарганцевых конкреций Карского моря // Океанология. 2011. Т. 51. № 1. С. 153-161.
- Батурин Г. Н.* Микроэлементный состав ЖМК арктических морей России // Тез. докл. XX Международной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2013. Т. 2. С. 244-247.
- Батурин Г. Н., Горшков А. И., Магазина Л. О.* О строении и составе железо-марганцево-фосфатных стяжений со дна Черного моря // Литология и полез. ископаемые. 2002. № 4. С. 431-442.
- Батурин Г. Н., Гранина Л. З.* Редкоземельные элементы в железомарганцевых образованиях озера Байкал // ДАН. 2009. Т. 428. № 4. С. 511-514.
- Батурин Г. Н., Дубинчук В. Т.* О составе железомарганцевых конкреций Рижского залива (Балтийское море) // Океанология. 2009. Т. 49. № 1. С. 121-130.
- Батурин Г. Н., Дубинчук В. Т.* Состав железомарганцевых конкреций моря Лаптевых // Материалы XIX Международной школы морской геологии. М.: ГЕОС, 2011а. Т. 2. С. 143-147.
- Батурин Г. Н., Дубинчук В. Т.* О составе железомарганцевых конкреций Чукотского и Восточно-Сибирского морей // ДАН. 2011б. Т. 440. № 1. С. 93-99.
- Батурин Г. Н., Дубинчук В. Т., Гранина Л. З. и др.* Минералогия и геохимия железомарганцевых конкреций озера Байкал // Тез. докл. XVIII Международной школы морской геологии. М.: ГЕОС, 2009. Т. 2. С. 228-231.
- Батурин Г. Н., Дубинчук В. Т., Иванов Г. И., Сираев А. И.* Особый тип железомарганцевой минерализации в арктическом бассейне // ДАН. 2014. Т. 458. № 4. С. 436-441.
- Батурин Г. Н., Пересыпкин В. И., Жегалло Е. А.* Формы железомарганцевой минерализации на дне озера Байкал // Океанология. 2011. Т. 51. № 3. С. 494-504.
- Батурин Г. Н., Рогинская Н. С., Раковский Э. Е., Кулигин В. М.* О составе железомарганцевых и сульфидных конкреций в осадках Балтийского моря // Океанология. 1988. Т. 28. № 4. С. 613-621.
- Батурин Г. Н., Юшина И. Г., Золотых Е. О.* Вариации элементного состава железомарганцевых образований озера Байкал // Океанология. 2009. Т. 49. № 4. С. 549-558.
- Богданов Ю. А., Горшков А. И., Гурвич Е. Г.* Железомарганцевые конкреции Карского моря // Океанология. 2011. Т. 51. № 1. С. 151-161.
- Богданов Ю. А., Лисицын А. П., Сагалевич А. М., Гурвич Е. Г.* Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 528 с.
- Варенцов И. М., Блажчишин А. И.* Железомарганцевые конкреции // Геология Балтийского моря. Вильнюс: Мокслас, 1976. С. 307-348.
- Горшкова Т. И., Батурин Г. Н., Березовская В. В.* Минералогия и генезис захороненных конкреций Балтийского моря // Докл. РАН. 1993. Т. 330. № 1. С. 79-83.
- Горшкова Т. И.* Химико-минералогические исследования в Баренцевом и Белом морях // Тр. государственного Океанографического института. 1931. № 2/3. С. 83-127.
- Гранина Л. З., Карабанов Е. Б., Пампура В. Д.* Железомарганцевые образования в Байкале // География и Природные Ресурсы. 1991. № 3. С. 89-96.
- Григорьев Н. А.* Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. 2003. № 7. С. 785-792.
- Гуревич В. И., Яковлев А. В.* Железисто-марганцевистые корки и конкреции Карского моря // Кобальтоносные корки Тихого океана. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1993. С. 97-111.
- Гуревич В. И., Яковлев А. В.* Железомарганцевые конкреции и корки западно-арктического шельфа // Полезные ископаемые океанских шельфов. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2005. С. 158-161.
- Дубинин А. В.* Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 360 с.
- Железомарганцевые конкреции Тихого океана / Под ред. П. Л. Безрукова. М.: Наука, 1976. 302 с.
- Калиненко В. В., Павлидис Ю. А.* Железистые конкреции Чукотского моря // Проблемы геоморфологии, литологии и литодинамики шельфа. М.: Наука, 1982. С. 115-129.
- Карандашев В. К., Хвостиков В. А., Носенко С. В., Бурмий Ж. П.* Использование высокообогащенных стабильных изотопов в массовом анализе образцов горных пород, грунтов, почв и донных отложений методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2016. Т. 82. № 7. С. 6-15.
- Кленова М. В.* Геология моря. М.: УчПедГиз, 1948. 500 с.
- Лейбович-Гранина Л. З.* К вопросу о круговороте железа и марганца в озере Байкал // Водные ресурсы. 1987. № 3. С. 1756-1761.
- Масуренков Ю. П., Собисевич А. Л., Петрова В. В.* Современная активность эндогенных процессов у острова Беннетта (архипелаг де Лонга, Арктика). М.: Институт физики Земли, 2012. 160 с.
- Меро Д.* Минеральные богатства океана. М.: Прогресс, 1969. 440 с.



- Самойлов Я. В., Горшкова Т. И. Осадки Баренцева и Карского морей // Тр. Плавучего Морского научного института. 1924. Вып. 4. С. 3-40.
- Самойлов Я. В., Титов А. Г. Железомарганцевые желваки со дна Черного, Балтийского и Баренцева морей // Тр. Геологического и Минералогического музея Академии Наук. 1922. Т. 3. Вып. 2. С. 25-112.
- Стрекопытов С. В., Дубинин А. В. К геохимии железистых стяжений Баренцева моря // Океанология. 2001. Т. 41. № 3. С. 386-393.
- Шнюков Е. Ф. Железомарганцевые конкреции Черного моря // Литология и полез. ископаемые. 1981. № 5. С. 71-78.
- Шнюков Е. Ф. Железомарганцевые конкреции Черного моря // Геология шельфа УССР. Твердые полезные ископаемые. Киев: Наукова думка, 1983. С. 93-106.
- Шнюков Е. Ф., Огородников В. И., Красовский К. С. Железомарганцевые конкреции морей СССР // Геол. журнал. 1985. Т. 45. № 4. С. 24-35.
- Штеренберг Л. Е., Базилевская Е. С., Чигирин Т. А. Карбонаты железа и марганца в донных отложениях озера Пуннус Ярви // Докл. АН СССР. 1966. Т. 170. № 3. С. 536-538.
- Штеренберг Л. Е., Лаврушин Ю. А., Голубев Ю. К. Железомарганцевые конкреции горла Белого моря // Литология и полез. ископаемые. 1985. № 5. С. 66-84.
- Baturin G. N. Geochemistry of manganese and manganese nodules in the Ocean. Dordrecht, Boston, Lancaster, Tokyo: D. Reidel Publishing Company, 1988. 342 p.
- Baturin G. N., Dubinchuk V. T., Ovsiannikov A. A., Rashidov V. A. Ferromanganese nodules from the Siberian Sea // Minerals of the Ocean. intern. conf. deep-sea mining and development (St. Petersburg, 13-16 June 2016). St. Petersburg, 2016. P. 26-31.
- Hartmann M. Zur Geochemie von Mangan und Eisen in dem Ostsee // Meiniiana. 1964. B. 14. S. 3-20.
- Ingri J. Geochemistry of ferromanganese concretions in the Barents Sea // Mar. Geol. 1985. V. 67. P. 101-119.
- Ingri J., Ponter C. Rare earth abundance patterns in ferromanganese nodules from the Gulf of Bothnia and the Barents Sea // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1987. V. 51. № 1. P. 155-161.
- Li J. H. Distribution pattern of elements un the ocean: a synthesis // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1991. V. 55. P. 3223-3240.
- Manheim F. T. Manganese-iron accumulations in the shallow marine environments // Narragansett Marine Lab., Univ. Rhode Island, Occasional Publ. 1965. № 3. P. 217-276.
- Nordenskiold A. E. The voyage of the Vega round Asia and Europe. London: McMillan, 1881. 524 p.
- Suess E. Minera phases formed in anoxic sediments by microbial decomposition of organic matter // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1979. V. 43. P. 339-352.
- Varentsov I. M. Geochemical aspects of formation of ferromanganese ores in shelf regions of Recent seas // Acta Mineral. Petrogr. Szeged. 1973. V. 21. P. 141-153.
- Winterhalter B. Ferromanganese concretions in the Baltic Sea // Proceed. Conf. Geology and Geochemistry of Manganese / Eds I. V. Varentsov, G. Grasselly. Schweizerbarth, 1980. V. 3. P. 227-254.

## DISRIBUTION OF ELEMENTS IN FERRUM-MANGANESE NODULES IN SEAS AND LAKES

G. N. Baturin

*Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences,  
Nahimovskiy prospekt 36, Moscow, 117997 Russia  
E-mail: galibatur@list.ru*

Received January 15, 2018

The element composition of manganese nodules from the inner lakes and arctic seas has been studied for comparison with ferrum-manganese nodules from the World ocean which helped to find their similar and different features as well as the trends to accumulate more elements which is related to their ferrum-manganese environment. The correlation coefficients have been calculated for all samples. The high concentration of ferrum-manganese and iron in arctic nodules.

**Keywords:** *ferrum-manganese nodules basin of various types, geochemistry elements.*

**DOI:** 10.31857/S0024-497X20195404-417