

## ГЕОГРАФИЯ

УДК 550.424

А. Ю. Опекунов<sup>1</sup>, А. Н. Смирнов<sup>2</sup>, Ю. М. Янишевская<sup>1</sup>**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОРБЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА  
ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ ФИНСКОГО ЗАЛИВА К ФОСФОРУ**<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9<sup>2</sup> ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И. С. Грамберга», Российская Федерация 190121, Санкт-Петербург, Английский проспект, 1

Цель работы заключается в оценке роли железомарганцевых конкреций Финского залива в фиксации фосфора и влиянии на общий баланс этого элемента в Балтийском море. В статье рассматриваются основные источники поступления фосфора в Балтийское море. Дается характеристика железомарганцевых конкреций, залегающих на дне Финского залива в пределах известных месторождений. Рассматриваются основные параметры рудных залежей: площадь месторождений, плотность залегания, содержание фосфатов, размер конкреций и скорость их роста. Разработан алгоритм расчета ежегодной фиксации фосфора ЖМК. Полученные результаты свидетельствуют, что за год конкрециями Финского залива может фиксироваться не менее 3440 т «антропогенного» фосфора. Эта величина соответствует 10% от техногенного вклада этого элемента в Балтийское море или почти 50% фосфора, поступающего со сбросами в Финский залив. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости учета сорбционного потенциала ЖМК при назначении предельно допустимых объемов поступления фосфора в морскую среду по Плану действий ХЕЛКОМ в Балтийском море. Библиогр. 12 назв. Ил. 2. Табл. 2.

*Ключевые слова:* железомарганцевые конкреции, донные осадки, эвтрофикация, фосфор, Финский залив, сорбционный потенциал.

**QUANTITATIVE ASSESSMENT OF SORPTION POTENTIAL OF FERROMANGANESE  
CONCRETIONS OF THE GULF OF FINLAND TO PHOSPHORUS**A. Y. Opekunov<sup>1</sup>, A. N. Smirnov<sup>2</sup>, I. M. Ianishevskaya<sup>1</sup><sup>1</sup> St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya nab., 199034, St. Petersburg, Russian Federation<sup>2</sup> VNIIOkeangeologia, 1, Angliyskiy pr., St. Petersburg, 190121, Russian Federation

The main purpose of this work is to estimate the role of the ferromanganese concretions of the Gulf of Finland in the fixation of phosphorus and its influence on the overall balance of this element in the Baltic Sea. The article deals with the main sources of the inflow of phosphorus into the Baltic Sea. The characteristic of ferromanganese concretions which occur in the bottom of the Gulf of Finland within the known fields is given. The work also deals with the basic parameters of the ore deposits: the area of the fields, the concretions abundance, the phosphate content, the size of the concretions, and their rate of growth. A calculation algorithm of the annual phosphorus fixation of concretions is given. Obtained results reveal that for a year the concretions of the Gulf of Finland can fix no less than 3440 t of "anthropogenic" phosphorus. This amounts to 10% of the anthropogenic contribution of this element to the Baltic Sea or about 50% of phosphorus which falls into the Gulf of Finland with the waste products. Obtained results reveal the necessity to account for the sorption capacity of ferromanganese concretions

in order to prescribe the maximum permissible volumes of the inflow of phosphorus into the marine environment according to the HELCOM action Plan at the Baltic Sea. Refs 12. Figs 2. Tables 2.

*Keywords:* ferromanganese concretions, benthic sediments, eutrophication, phosphorus, the Gulf of Finland, sorption potential.

**Введение.** Балтийское море представляет собой уникальную экологическую систему. Ряд факторов, таких как мелководность, слабая соленость, замкнутость, делают ее особо уязвимой к химическому загрязнению, обуславливая тем самым необходимость постоянного ведения мониторинга морской среды и осуществления строгого контроля качества сбрасываемых вод. Одна из главных проблем Балтийского моря — эвтрофикация, обусловленная чрезмерным поступлением в водоем азота и фосфора, вызывающих спонтанный неконтролируемый рост простейших сине-зелёных водорослей *Nodularia spumigena*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae* и *Dinophysis dinoflagellates*, способных получать энергию за счет фотосинтеза [1]. Признаками эвтрофикации служат «цветение» воды, обусловленное широким развитием этих водорослей, рост мутности, заиливание берегов, а также возникновение анаэробной среды в придонной воде и донных осадках. Последнее обстоятельство приводит к деградации водных экосистем [2]. Как показали исследования, с начала XX в. статус Балтийского моря изменился с олиготрофного до эвтрофного, что обусловлено чрезмерным поступлением в акваторию биогенных элементов [3].

Одна из особенностей Балтийского моря заключается в широком развитии полей железомарганцевых конкреций (ЖМК), в том числе в наличии месторождений и их проявлений в Финском и Рижском заливах (рис. 1) [4]. Известно, что ЖМК выступают уникальным сорбентом, поглощая и накапливая многие элементы из морской среды, в том числе и фосфор. Современный возраст указывает на исключительную роль ЖМК, как возобновляемого минерально-сырьевого ресурса, добыча которого может стимулировать рудообразование. ДискуSSIONируется вопрос о том, что конкреции могут способствовать улучшению экологического состояния Балтийского моря, так как они являются естественным сорбентом тяжелых металлов, а также связывают фосфор, извлекая его из биогеохимического круговорота и снижая уровень эвтрофикации вод. Следовательно, конкреции Финского залива выступают своего рода фильтром для сточных вод, сбрасываемых сюда с территории России, Финляндии и Эстонии, повышая тем самым способность морской среды к самоочищению. А сам процесс разработки месторождений ЖМК, стимулирующий рудообразование и фиксацию фосфора в конкрециях, будет способствовать улучшению экологической обстановки в Балтийском море [5]. На основе имеющихся материалов попытаемся дать количественную оценку величины сорбционной емкости конкреций к фосфору и установить значимость этого процесса для Балтийского моря и Финского залива.

**Исходные данные и методика расчета.** Антропогенными источниками поступления фосфора в Балтийское море служат сельскохозяйственное производство (около 44%), сбросы населенных пунктов (50%) и промышленных предприятий (около 6%) [6]. Доля естественных источников (в основном как результат выветривания горных пород) в общем объеме поступающего в море фосфора составляет 26% [7].

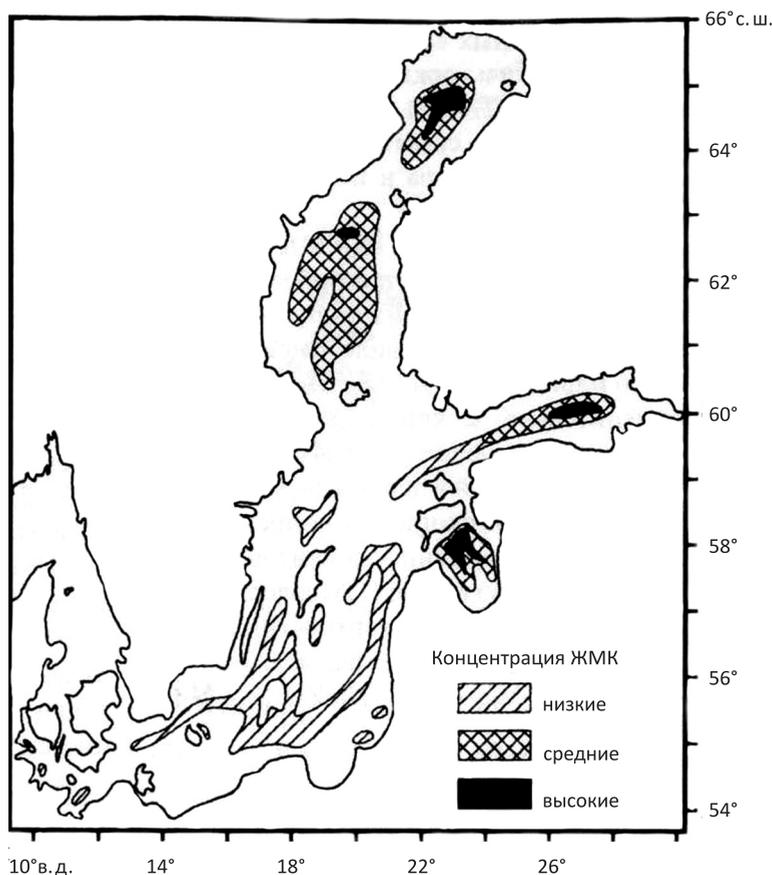


Рис. 1. Схема размещения полей ЖМК в Балтийском море [3]

Как известно, воды Балтийского моря омывают территории девяти государств: Дании, Финляндии, Латвии, Литвы, Эстонии, Швеции, Польши, Германии и России. Максимальный вклад в загрязнение Балтийского моря фосфором вносит Польша, на втором месте — Россия, наименьшее влияние оказывает Германия (табл. 1).

По данным, представленным в табл. 1, видно, что поступление фосфора в Балтийское море в 2006 г. по сравнению с 1994 г. несколько сократилось. Однако по оценке ХЕЛКОМ для стабилизации экологической ситуации и снижения степени эвтрофирования вод этого недостаточно. Поэтому Комиссией предлагается дальнейшее снижение объемов сбросов, которое затрагивает в первую очередь Польшу и Россию. Им предписывается постепенно сократить объем сбрасываемого в море фосфора на 8760 и 2500 т, соответственно. Сокращение сброса в Финский залив должно составить 2000 т, а максимально допустимое поступление в акваторию залива установлено на уровне 4860 т фосфора [6].

Как отмечалось выше, одной из характерных особенностей Балтийского моря является широкое распространение на дне железомарганцевых конкреций, которые были впервые обнаружены в конце XIX в. Залежи располагаются на дне, на глубинах от 29 до 78 м, чаще 50–56 м, преимущественно в восточной части Финского залива. Конкреции залегают на склонах банок и впадин, а также на поверхности плосковер-

Таблица 1. Поступление фосфора (в тоннах) в Балтийское море в 1994–2006 гг. (по [6])

Год	Государство									Всего
	Дания	Эстония	Финляндия	Германия	Латвия	Литва	Польша	Россия	Швеция	
1994	3621	1426	3507	955	2205	3986	13345	4192	4297	37535
1995	2588	1316	3587	686	2060	1373	14319	9263	4722	39914
1996	1603	736	3195	447	1010	1496	13462	4188	2439	28574
1997	1489	938	3040	418	1471	2418	16883	3811	4061	34528
1998	2039	1241	4475	717	2919	3228	16834	4049	4773	40275
1999	2214	1748	3438	568	2149	3612	14740	3866	4729	37064
2000	1865	965	4835	488	2207	1950	12559	6196	4946	36012
2001	1715	1346	3407	458	2267	2734	13590	4377	4311	34204
2002	2098	1237	2239	752	1863	3073	12958	5957	3155	33331
2003	1198	1023	2001	346	1797	1324	8458	4746	2250	23144
2004	1578	1502	3435	418	3121	2565	9746	7429	3342	33136
2005	1718	1763	3382	388	2712	1359	8911	7565	3552	31350
2006	1524	787	3488	488	2796	1241	10235	4071	3734	28365
Среднее	1942	1233	3387	548	2198	2335	12772	5362	3870	33649

шинных подводных возвышенностей, для которых характерна минимальная мощность современных осадков. Они приурочены в основном к терригенным отложениям. В тектоническом отношении залежи локализованы в узлах неотектонической напряженности.

ЖМК представляют собой округлые, эллипсоидальные, лепешковидные, иногда шарообразные образования диаметром от долей миллиметра до нескольких сантиметров, сложенные гидроксидами марганца и железа с примесью глинистого, обломочного и органического материала [8]. Конкреции лежат непосредственно на поверхности дна, не углубляясь сколько-нибудь значительно в ил. Это объясняется тем, что они встречаются главным образом в областях пелагического осадконакопления.

Почти все изученные разновидности характеризуются наличием ядер. Внутреннее строение конкреций определяется ритмически слоистым рисунком разреза, обусловленным чередованием различных по текстурным особенностям слоев. При этом все слои образованы последовательным нарастанием субмикроскопических слоев, различных по составу. Свойственная конкрециям иерархия слоев отражает относительно длительный и неравномерно протекающий процесс их роста. Часто отмечаются перерывы в накоплении рудного вещества, зафиксированные линзовидными скоплениями обломочного материала [8].

Рудные оболочки слагаются гидроксидами  $Mn^{4+}$  и  $Fe^{3+}$ , представленными двумя минеральными фазами: кристаллической и аморфной. Кристаллическая фаза образована почти исключительно минералами марганца: тодорокитом и бернесситом. В составе аморфной фазы присутствуют как минералы железа (начальная стадия гетита —  $FeO(OH)$ ), так и марганца — вернадит.

Морфология и размеры железомарганцевых образований на дне Финского залива весьма разнообразны. Выделяют следующие разновидности:

- а) корки обрастания гидроксидами гравийно-галечного материала;

- б) монетовидные и дисковидные уплощенные конкреции, формирующиеся вокруг обломков терригенного материала;
- в) корковидные слоистые конкреции толщиной до 10 см и более;
- г) бобовые и дробовидные конкреции диаметром от 0,1 до 5 см, для которых характерно концентрически-слоистое строение и мелкобугорчатая поверхность.

При изучении геохимии железомарганцевых конкреций принято делить элементы, входящие в их состав, на две основные группы. Первая — порообразующие элементы, к числу которых относят, наряду с доминирующими железом и марганцем, Si, Al, Ti, Ca, Mg, Na, K, P. Вторая — тяжелые металлы, представляющие потенциальное практическое значение, если рассматривать шельфовые конкреции в качестве рудного сырья. Эта группа представлена микроэлементами (Co, Ni, Cu, Zn, Pb, V), концентрация которых обычно не превышает сотых долей процента.

Фосфор в конкрециях относится к порообразующим элементам, так как его содержание превышает 1%. Среднее значение коэффициента концентрации фосфора (Кк — соотношение содержания элемента в конкрециях к вмещающим осадкам) в поверхностных конкрециях составляет 27,3, в погребенных — 7,0. Этот коэффициент служит критерием для оценки подвижности рудообразующего вещества в процессе формирования конкреций. В ходе диагенеза происходит перераспределение фосфора между донными осадками и конкрециями, в результате которого ЖМК обогащается элементом по отношению к осадку до 25 и более раз. По этому показателю он относится, наряду с марганцем, к наиболее подвижным элементам, способным к высокой степени концентрации в ЖМК. Для сравнения: Кк железа составляет около 5 [9].

Микроспектральный электронно-зондовый анализ показал, что фосфор в конкрециях в основном связан с гидроксидами железа. Положительная корреляционная связь железа и фосфора предполагает присутствие аутигенных фосфатов железа [10]. Как правило, в составе гидроксидов железа содержание фосфора составляет 3,0–5,5%, в то время как в гидроксидах марганца его количество не превышает десятых долей процента. Кроме того, фосфор находится в составе минералов отенита, апатита и монацита. Последний в ЖМК встречается наиболее часто. Содержание фосфора в отените достигает 4,5–6,0%, в монаците — 11–15%. Максимальной концентрацией характеризуется апатит — около 20%.

Активность конкрециеобразования зависит от скорости осадконакопления, состава вмещающих отложений, интенсивности диагенетических процессов, а также гидрохимических и гидродинамических условий [8]. Скорость накопления осадков в Финском заливе контролируется в первую очередь речным стоком, поставляющим ежегодно порядка 1 млн т взвешенного материала. Поэтому она многократно превосходит скорость седиментации в пелагической зоне океана, где формируются поля глубоководных металлоносных конкреций. Осадки Финского залива преимущественно терригенные, бескарбонатные и обогащены железом и марганцем, т. е. в определенной мере сходны с пелагическими океанскими осадками. Но, в отличие от них, бедны рудными и редкими металлами и обогащены органическим углеродом, содержание которого составляет 2–3% и более. Последнее обстоятельство предопределяет высокую активность процессов диагенеза, приводящих к перераспределению металлов и формированию конкреций. Кроме того, существует мнение, что ограничения по площади участков формирования ЖМК связаны с тем, что они

образуются преимущественно на участках неотектонической активности, которая является природным вибрационным катализатором выпадения из морской воды рудного вещества [5].

Принципиальным является вопрос о скорости роста конкреций. Изучение этой характеристики началось в 1965 г. Долгое время по косвенным данным считалось, что скорости меняются в широком диапазоне величин от 0,02 до 1,0 мм/год. Приводились средние величины, соответствующие примерно 0,15 мм/год. Однако по данным исследований, проводимых в последние годы на основе определения изотопа  $^{210}\text{Pb}$  [10], скорость роста конкреций Финского залива оказалась ниже, чем предполагалось ранее. Для изученных сферических образований она колебалась в интервале 0,007–0,027 мм/год, при средней скорости роста 0,014 мм/год. Расчетная скорость роста лепешковидных ЖМК по вертикали составила приблизительно 0,004 мм/год, а по горизонтали 0,028 мм/год. При этом минимальные скорости характерны для начального этапа ее развития, а максимальные — для среднего и позднего времени. Вероятно, эта характеристика вообще подвержена очень значительным флуктуациям в зависимости от конкретных природных (и техногенных) факторов их эволюции. Однако с достаточной долей уверенности можно говорить о том, что скорости роста ЖМК в Финском заливе, как и во всем Балтийском море, существенно превышают данный показатель для океанических конкреций. Исходя из изложенных выше данных, примем величину скорости роста конкреций на современном этапе — 0,028 мм/год.

Следующий вопрос, на который необходимо получить ответ при оценке ассимиляционной емкости — количество железомарганцевых конкреций или их плотность залегания. В настоящее время в акватории российской части Финского залива открыто 7 месторождений конкреций: «Кургальское», «Копорское», «Рондо», «Элеонора», «Виргунд», «Родшер», «Вихревое» (рис. 2). Наибольшим по площади из перечисленных является «Виргунд» — 362,8 км<sup>2</sup>, а наименьшим — «Вихревое» площадью 14 км<sup>2</sup>. Плотность залегания ЖМК в пределах этих месторождений меняется от 10,9 до 24,9 кг/м<sup>2</sup>, а содержание фосфатов в них составляет в среднем 3–4%.

Непросто ответить на вопрос о размере конкреционных образований. Данных для дифференциации месторождений по этому показателю в настоящее время недостаточно, однако размер сферических конкреций ЖМК Финского залива находится преимущественно в диапазоне от первых миллиметров до 3,0 см. Как правило, размеры плоских образований больше. Поэтому примем средний размер конкреций с учетом распространенных морфологических типов в 0,02 м (табл. 2).

Далее, основываясь на перечисленных данных, необходимо определить ежегодную фиксацию фосфора ЖМК Финского залива. При этом следует подчеркнуть, что оценка затрагивает только конкреции, залегающие в пределах месторождений, и не учитывает рассеянную часть рудного вещества.

Алгоритм расчета объема поглощенного фосфора был получен на основе следующих рассуждений. При заданной плотности залегания ( $P$ ) объем конкреций на 1 м<sup>2</sup> ( $V_{\Sigma}$ ) составит:

$$V_{\Sigma} = P/\rho,$$

где  $\rho$  — объемный вес (кг/м<sup>3</sup>).

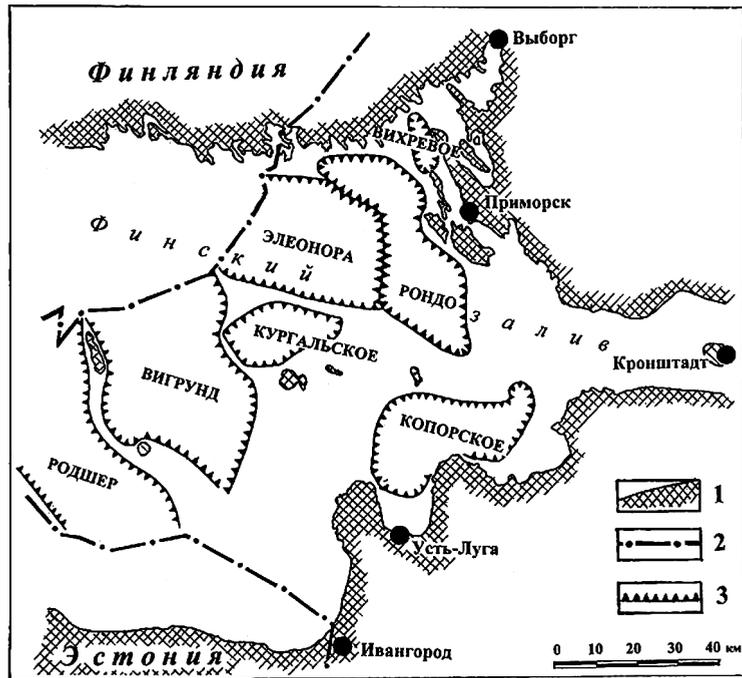


Рис. 2. Месторождения железомарганцевых конкреций в Финском заливе (по данным ООО «Петротранс»)

Условные обозначения: 1 — береговая зона; 2 — линия государственной границы; 3 — границы месторождений ЖМК.

Таблица 2. Характеристики месторождений ЖМК Финского залива (по: [8])

Месторождение	Площадь месторождения, м <sup>2</sup> (S)	Плотность залегания сухих ЖМК, кг/м <sup>2</sup> (P)	Содержание фосфатов в конкрециях, % (C')	Содержание фосфора в конкрециях, % (C)	Средний радиус конкреции, м (r)	Скорость роста конкреций, м/год (U)	Масса фосфора, поглощаемого ЖМК, кг (m)
Копорское	136400000	10,94	3,29	1,45	0,01	0,000028	181752
Кургальское	700000000	18,68	3,93	1,73	0,01	0,000028	190020
Рондо	183600000	15,64	3,64	1,6	0,01	0,000028	385930
Элеонора	235200000	15,46	3,80	1,67	0,01	0,000028	510085
Виргунд	362800000	10,84	3,16	1,39	0,01	0,000028	459188
Родшер	289200000	12,36	4,16	1,83	0,01	0,000028	549474
Вихревое	140000000	24,9	3,75	1,65	0,01	0,000028	48316
Итого							2324765

Затем находим объем одной конкреции ( $V_k$ ) при заданном радиусе ( $r$ ):

$$V_k = \frac{4}{3} \pi r^3.$$

Рассчитаем количество конкреций на 1 м<sup>2</sup>:

$$n = \frac{V_{\Sigma}}{V_k} = \frac{3P}{4\rho\pi r^3}.$$

Определим площадь поверхности всех конкреций на площади в 1 м<sup>2</sup>:

$$S = \pi r^2 n = \frac{4\pi r^2 3P}{4\rho\pi r^3} = \frac{3P}{\rho r}.$$

Найдем массу прироста конкреций за год на 1 м<sup>2</sup> ( $\Delta M$ ) при скорости их роста ( $U$ ):

$$\Delta M = S \cdot U \cdot \rho = \frac{3P \cdot U \cdot \rho}{\rho \cdot r} = \frac{3P \cdot U}{r}.$$

Рассчитаем массу фосфора ( $M_p$ ), вовлекаемого в конкреции в год, на площади 1 м<sup>2</sup> с учетом его содержания в конкрециях ( $C/100$ ):

$$M_p = \Delta M \cdot C = \frac{3P \cdot U \cdot C}{100r}.$$

Таким образом, для месторождения площадью  $S$  расчет массы фосфора (кг), поглощаемого в течение года, выполняется по следующей формуле:

$$M_p = \frac{3P \cdot U \cdot C \cdot S}{100r},$$

где  $P$  — плотность залегания сухих ЖМК, кг/м<sup>2</sup>;  $U$  — скорость роста конкреций, м/год;  $C$  — содержание фосфора в конкрециях, %;  $S$  — площадь месторождения, м<sup>2</sup>;  $r$  — средний радиус конкреции, м.

**Обсуждение результатов.** С использованием полученной формулы была рассчитана ориентировочная масса ежегодно поглощаемого фосфора на каждом из известных месторождений ЖМК Финского залива (см. табл. 2). В целом за год конкрециями в пределах рассматриваемых месторождений может фиксироваться не менее 2325 т фосфора. Пусть, как было отмечено выше, четверть этой величины (26%) поставляется природными источниками элемента. Тогда масса поглощаемого «антропогенного» фосфора составит 1720 т ежегодно. Кроме того, необходимо принять во внимание, что эти расчеты отражают фиксацию фосфора только в российском секторе Финского залива. По данным [11] поля конкреций размером от миллиметров до одного сантиметра большой плотности (0,5–50 кг/м<sup>2</sup>) занимают около 10% поверхности дна Финского залива. Оцененные нами месторождения составляют 4,5% площади залива. Таким образом, полученные значения необходимо увеличить в 2 раза и тогда ежегодная фиксация составит 4650 т «общего» или 3440 т «антропогенного» фосфора.

Это довольно большое количество, если принять во внимание, что в среднем в период 1994–2006 гг. каждый год в Балтийское море поступало 33649 т фосфора (см. табл. 1), т.е. масса поглощаемого конкрециями Финского залива фосфора

составляет более 10% от антропогенного вклада этого элемента в морскую среду. Средняя величина поступления фосфора в Финский залив по данным ХЕЛКОМ за период 1994–2003 гг. достигала 6860 т. Таким образом, 50% из этого объема могло быть адсорбировано ЖМК Финского залива. Можно ожидать, что подобные процессы активно развиваются в Рижском и особенно Ботническом заливах (см. рис. 1) в связи с высокой концентрацией на дне железомарганцевых образований.

Как показывают результаты исследований [6], в Балтийском море в фиксации фосфора, содержащегося в водной толще, значительную роль играют донные отложения. Однако в зимнее время (в условиях гипоксии) они являются источником вторичного загрязнения воды этим элементом. В Финском заливе объем выхода фосфора из донных осадков зимой может превосходить ежегодную величину антропогенного поступления. В этом случае роль ЖМК, которые связывают фосфор, выводя его из биологического круговорота, может быть также весьма существенна.

По проведенным расчетам получается, что ассимиляционная емкость конкреций Финского залива значительно превышает установленную величину необходимого сокращения сброса фосфора Россией, Финляндией и Эстонией, которая составляет около 2000 т. Она также сопоставима с максимально допустимой величиной поступления фосфора в Финский залив (4860 т), установленной ХЕЛКОМ. Это доказывает необходимость учета полученных результатов при обосновании нормативов поступления фосфора в Финский залив.

**Выводы.** Существуют разные точки зрения на баланс фосфора в Финском заливе и Балтийском море, что требует дальнейшего продолжения исследований в этом направлении. Полученные в работе оценки — еще один шаг к познанию реальной ситуации. Выполненные расчеты показали, что ЖМК Финского залива (и Балтийского моря в целом) обладают высоким ассимиляционным потенциалом к фосфору, являясь значимым фактором, влияющим на баланс этого биогенного элемента в заливе (и в море в целом). Конкрециеобразующие процессы выступают механизмом, сдерживающим процесс роста содержания фосфора в воде Финского залива и оказывающим в этом смысле благоприятное влияние на экологическую обстановку в море.

При назначении предельно допустимых объемов поступления фосфора в морскую среду по Плану действий ХЕЛКОМ в Балтийском море [12], а также в балансовых расчетах биогенных элементов необходимо учитывать сорбционный потенциал ЖМК. Предложенный алгоритм расчета может быть использован при оценке сорбционной емкости конкреций к тяжелым металлам и другим элементам. В то же время полученные результаты не дают основания рекомендовать разработку ЖМК для стимулирования рудообразования и улучшения экологической ситуации за счет более активной фиксации тяжелых металлов и фосфора. Сам процесс добычи сопряжен с серьезным воздействием на морскую экосистему и требует детального обоснования, а ассимиляция загрязняющих веществ конкрециями вряд ли компенсирует в обозримом будущем нанесенный ущерб.

## Литература

1. Bianchi T., Westman P., Andren T., Rolff C., Elmgren R. Cyanobacterial blooms in the Baltic Sea: natural or human induced? // *Limnol. Oceanogr.* 2000. Vol. 45. P. 716–726.

2. Микробиологические процессы образования сероводорода в реке Преголи (г. Калининград) / М. В. Иванов, Н. В. Пименов, А. С. Саввичев, А. Ю. Опекунов, М. Е. Барт // Микробиология. 1995. Т. 64, № 1. С. 112–118.

3. Форсберг К. Эвтрофикация Балтийского моря. СПб.: Гидрометеиздат, 1996. 32 с.

4. Environments of formation of ferromanganese concretions in the Baltic Sea: Geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine deposits / G. P. Glasby, E. M. Emelyanov, V. A. Zhamoida, G. N. Baturin, T. Leipe, R. Bahlo, P. Bonacker // Geol. Soc. Spec. Publ. 1997. N 119. P. 213–237.

5. Шельфовые железомарганцевые конкреции — новый вид минерального сырья / А. М. Иванова, А. Н. Смирнов, В. С. Рогов, А. П. Мотов, Н. С. Никольская, К. В. Пальшин // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. № 6. С. 14–19.

6. Eutrophication in the Baltic Sea — An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region / eds Jesper H. Andersen, Maria Laamanen // Balt. Sea Environ. Proc. N 115B. Erwoko Painotuote Oy, Finland, 2009. 148 p.

7. Андерсен Х., Паулак Д. Биогенные вещества и эвтрофикация в Балтийском море: причины, последствия, решения / пер. с англ. Калининград. 2007. 36 с.

8. Рогов В. С., Фролов В. В., Никольская Н. С., Титов А. Л. Опыт добычи и промышленного использования железомарганцевых конкреций // Горный журнал. 2012. № 3. С. 50–54.

9. Батурич Г. Н. Геохимия железомарганцевых конкреций Финского залива, Балтийское море // Литология и полез. ископаемые. 2009. № 5. С. 451–467.

10. Григорьев А. Г., Жамойда В. А., Груздов К. А., Крымский Р. Ш. Возраст и скорости роста железомарганцевых конкреций Финского залива по результатам определения изотопа  $^{210}\text{Pb}$  // Океанология. 2013. Т. 53, № 3. С. 1–7.

11. Yli-Hemminki P., Jørgensen K. S., Lehtoranta J. Ferromanganese concretions as microhabitats in the Gulf of Finland // Bulletin of The Geological Society of Finland. 2011. Vol. 83, Special issue 1. P. 103.

12. План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю. Министерское заседание ХЕЛКОМ, Краков, Польша, 15 ноября 2007 г. URL: <http://ru.convdocs.org/docs/index-136431.htm> (дата обращения: 04.01.2014).

Статья поступила в редакцию 27 января 2014 г.

#### Контактная информация

Опекунов Анатолий Юрьевич — доктор геолого-минералогических наук, профессор;  
a\_orekunov@mail.ru

Смирнов Александр Николаевич — доктор геолого-минералогических наук; smirnov@vniio.ru  
Янишевская Юлия Михайловна — студентка; yanyul@rambler.ru

Opekunov A. Y. — Doctor of Geological and Mineralogical Science, Professor;  
a\_orekunov@mail.ru

Smirnov A. N. — Doctor of Geological and Mineralogical Science; smirnov@vniio.ru  
Ianishevskaya Ju. M. — student; yanyul@rambler.ru