

RAW MATERIALS SHORTAGE AND METAL OUTPUT FROM SEA WATER

G. V. LISICHKIN

The article deals with the possible routes of overcoming of the deficiency of rare metals. The possibilities of extraction of the metals from sea water are considered. Scientific, technical and ecological difficulties of the large-scale of such processes are analyzed.

Рассмотрена потенциальная возможность преодоления дефицита редких металлов за счет извлечения их из морской воды. Проанализированы научные, технические и экологические трудности, стоящие на пути реализации крупномасштабных проектов получения редкометаллического сырья из океанических ресурсов.

© Лисичкин Г.В., 1998

СЫРЬЕВОЙ КРИЗИС И ПРОБЛЕМЫ ДОБЫЧИ МЕТАЛЛОВ ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ

Г. В. ЛИСИЧКИН

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

Специалисты утверждают, что в последние десятилетия объемы добычи и переработки полезных ископаемых стали сопоставимы с их запасами в земной коре. Поэтому нет ничего удивительного в том, что разведанные запасы многих видов сырья постепенно сокращаются. Особенно пессимистичны прогнозы геологов¹ в отношении таких металлов, как серебро, олово, кобальт, медь, ртуть.

Интересно, что причина сырьевого кризиса часто кроется не столько в том, что запасы того или иного металла подошли к концу, сколько в стремлении производителей разрабатывать в первую очередь богатые месторождения. Однако по мере расходования богатых руд переработке начинают подвергаться все более бедные, что приводит к усложнению технологии и удорожанию добычи металлов и, следовательно, к росту их цен на мировом рынке. Кроме того, из-за увеличения объемов перерабатываемого сырья, а также вследствие сильных различий в химическом составе обедненных сырьевых источников возникают сложнейшие экологические задачи. Но даже с учетом забалансового сырья проблему исчерпания ресурсов решить трудно.

Как преодолеть создавшуюся кризисную ситуацию? Понятно, что необходимо экономить цветные и редкие металлы и по мере возможности заменять их другими, желательно синтетическими материалами. Но это удастся далеко не всегда.

Еще один путь борьбы с сырьевым кризисом — сбор вторичного сырья, который в нашей стране приобрел уродливые формы, что косвенно свидетельствует об интенсивности кризиса. Но поскольку 100%-ный возврат металлов в оборот в принципе невозможен, использование вторсырья может только несколько отодвинуть сроки израсходования дефицитных металлов. Читатели, знакомые с горным делом, должны помнить о том, что земная кора еще очень мало исследована, а почти все рудники и шахты достигают глубин, не превышающих 2 км. Может быть, на глубинах 10 или 20 км имеются еще

¹ Напомним, что геология — наука естественная, но не точная. Поэтому прогнозы геологов следует рассматривать как оценку, не придавая слишком большого значения конкретным срокам исчерпания запасов. Однако в любом случае металлические руды являются невозобновляемым сырьем.

неоткрытые богатые месторождения металлических руд? Отрицать такую возможность нельзя, но современный уровень развития техники не позволяет рассчитывать на разработку глубинных месторождений.

МИРОВОЙ ОКЕАН КАК ИСТОЧНИК МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Наибольшие надежды в противодействии глобальному сырьевому кризису предоставляет Мировой океан. Океан занимает 71% поверхности Земли, а объем его водных масс в 18 раз превышает расположенный выше уровня моря объем материков. В океане имеются все известные на Земле минералы — в растворенном состоянии, во взвеси или в виде донных отложений. Минеральные запасы океана непрерывно растут, так как реки и водные потоки несут в моря тысячи тонн обломочного материала. Подсчитано, что в результате эрозии земной поверхности в океан ежегодно попадает 3,3 млрд т твердого вещества. Не менее 4 млн т в год составляют осадки космогенного происхождения. Одним словом, запасы минеральных веществ увеличиваются в объеме больше, чем современный объем добычи полезных ископаемых. В морской воде в растворенном и коллоидном состояниях находятся почти все элементы Периодической таблицы. Каждый килограмм морской воды содержит 35 г растворенных минеральных веществ. Содержание некоторых элементов в морской воде приведено в табл. 1.

Легко подсчитать, что если извлечь из Мирового океана все растворенные соли, то ими можно покрыть земную сушу слоем толщиной около 200 м, а если полностью извлечь содержащееся в морской воде золото, то, несмотря на его исчезающе малую концентрацию, на каждого жителя нашей планеты придется по 1,2 кг, а натрия — 4 млн т на человека. Таким образом, сырьевой кризис, во всяком случае применительно к металлическому сырью, человечеству не угрожает.

Морская вода как металлургическое сырье имеет много достоинств. Приблизительное постоянство состава морской воды обуславливает возмож-

Таблица 1. Содержание некоторых элементов в морской воде [1]

| Элемент | Среднее содержание, г/л | Общее* содержание, млн т |
|----------|-------------------------|--------------------------|
| Натрий | 11,05 | $17,46 \cdot 10^9$ |
| Магний | 1,326 | $1,77 \cdot 10^9$ |
| Кальций | 0,422 | $5,64 \cdot 10^8$ |
| Калий | 0,416 | $5,56 \cdot 10^8$ |
| Бром | 0,068 | $9,08 \cdot 10^7$ |
| Бор | 0,0045 | $6,01 \cdot 10^6$ |
| Литий | $1,8 \cdot 10^{-4}$ | $2,40 \cdot 10^5$ |
| Иод | $6,0 \cdot 10^{-5}$ | $8,02 \cdot 10^4$ |
| Молибден | $1,0 \cdot 10^{-5}$ | $1,34 \cdot 10^4$ |
| Медь | $3,0 \cdot 10^{-6}$ | $4,01 \cdot 10^3$ |
| Уран | $3,3 \cdot 10^{-6}$ | $4,41 \cdot 10^3$ |
| Ванадий | $1,5 \cdot 10^{-6}$ | $2,00 \cdot 10^3$ |
| Цинк | $5,0 \cdot 10^{-6}$ | $6,68 \cdot 10^3$ |
| Вольфрам | $1,2 \cdot 10^{-7}$ | $1,60 \cdot 10^2$ |
| Хром | $6,0 \cdot 10^{-7}$ | $8,02 \cdot 10^2$ |
| Серебро | $1,0 \cdot 10^{-7}$ | $1,34 \cdot 10^2$ |
| Кобальт | $8,0 \cdot 10^{-8}$ | $1,07 \cdot 10^2$ |
| Германий | $6,0 \cdot 10^{-8}$ | 80,20 |
| Золото | $5,0 \cdot 10^{-9}$ | 6,68 |

* Общий объем океанов и морей составляет $1,336 \cdot 10^9$ км³.

ность применения одной и той же технологии извлечения из нее ценных компонентов в различных районах Мирового океана. Благодаря огромной протяженности береговой линии “морские” месторождения широко доступны. Отсутствует необходимость в поисковых и геологоразведочных работах, которые дороги, трудоемки и требуют больших затрат времени. Наконец, морское сырье уже подготовлено для гидрометаллургической переработки — сложной и экологически опасной операции вскрытия руды не требуется.

Морская вода как сырье имеет и весьма серьезные недостатки. Так, чрезвычайно богатый состав

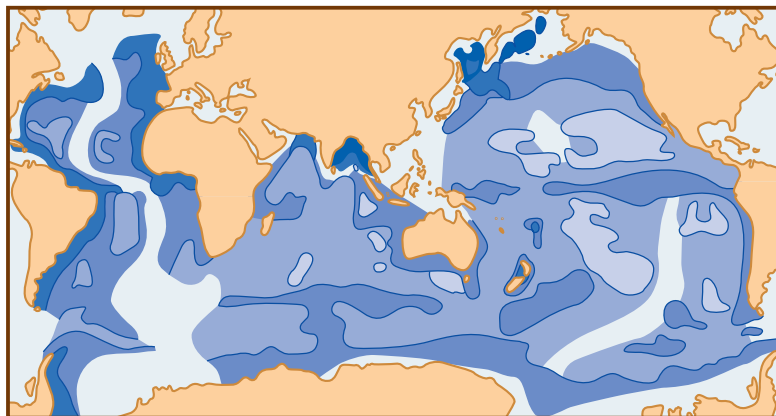
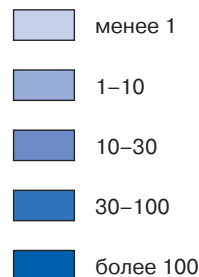


Рис. 1. Скорости современного осадконакопления в океане (по А.П. Лисицыну), мм за 1 тыс. лет



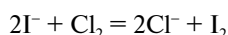
определяет большую сложность технологии выделения отдельных веществ из морской воды. Очень низкая концентрация микроэлементов влечет за собой необходимость переработки колоссальных объемов воды. Микроорганизмы, живущие в воде, вызывают биологическую коррозию применяемых материалов, а взвешенные в воде твердые частицы постепенно засоряют коммуникации.

Каково же современное состояние использования минеральных богатств океана? Несмотря на постоянный рост во всем мире капиталовложений в разработку океанского сырья, сейчас в промышленном масштабе из морской воды извлекают почти исключительно макрокомпоненты, прежде всего пресную воду. В засушливых районах вблизи крупных источников энергии (главным образом атомных электростанций) морскую воду подвергают дистилляции. Этим способом на всей планете получают около 5 млн м³ пресной воды в сутки. В СССР таким путем была решена проблема водоснабжения г. Шевченко (Ақтау) — одного из наиболее озелененных городов Казахстана.

Вторым по масштабу производства является получение из морской воды поваренной соли. Жители морских побережий издревле использовали мелководья для выпаривания соли из воды. Естественно, что такой процесс может быть реализован лишь в субтропических и тропических зонах, где велика интенсивность солнечной радиации. Жители северных районов с древних времен используют для получения соли мороз: в результате вымораживания в природных условиях можно получить высококонцентрированные рассолы. В настоящее время суммарное производство хлорида натрия из морской воды достигает 6 млн т в год, что составляет около трети общей мировой добычи.

Существенный вклад вносит Мировой океан в ежегодную добычу магния. В общей сложности из морской воды добывают около 200 тыс. т этого металла — почти половину мировой добычи. При получении магния морскую воду сначала подщелачивают для осаждения основных карбонатов магния и кальция, осадок обрабатывают соляной кислотой, а затем полученные хлориды упаривают и высушивают для получения смеси безводных солей. Электролизом расплава хлоридов при температуре 720–750°C получают металлический магний.

Следует упомянуть также о производстве иода, содержание которого в морской воде мало, но который концентрируется водорослями. Высушенные водоросли сжигают, золу выщелачивают водой, и свободный иод из полученного рассола выделяют действием хлора:



Разработаны процессы и для извлечения из морской воды брома. Так, в США производят около 40 тыс. т “морского” брома в год.

Все перечисленные компоненты морской воды (кроме иода) содержатся в ней в относительно высоких концентрациях, поэтому их извлечение — проблема не слишком сложная. Иначе обстоит дело с микрокомпонентами.

В принципе для концентрирования микрокомпонентов из морской воды можно применять различные методы: химическое и электрохимическое осаждение, экстракцию растворителями, флотацию, сорбцию, мембранное и биологическое концентрирование и т.д. Однако на практике при работе с большими объемами воды приходится сразу же отказаться от всех тех методов, которые влекут за собой использование растворов каких-либо реагентов из-за потребности в их гигантских количествах. Следовательно, такие процессы, как осаждение, экстракция, флотация, требующие предварительной водоподготовки или введения в воду новых, не содержащихся в ней веществ, должны быть сразу отброшены.

Отказ от промышленного использования мембранных процессов концентрирования микроэлементов из морской воды связан с малой скоростью их протекания. В этих процессах исходная вода не загрязняется, однако диффузия воды через осмотические мембраны происходит слишком медленно.

Концентрирование микроэлементов с помощью водорослей, моллюсков, планктона или других гидробионтов тоже медленный процесс. Тем не менее если будет обнаружен в природе либо выведен методами селекции или генной инженерии организм, способный избирательно обогащаться микроэлементами, то его культивирование (марикультура) может стать эффективным способом добычи сырья. Исследования в этом направлении интенсивно развиваются [2].

Однако главным направлением в области концентрирования микроэлементов из морской воды является сорбция. Это обусловлено простотой технологии — контактированием легко разделяющихся фаз воды и твердого нерастворимого сорбента, наличием широкого круга минеральных и органических сорбентов, их регулируемой селективностью по отношению к различным элементам. Существенно и то, что в гидрометаллургии и водоподготовке накоплен большой опыт использования крупномасштабных сорбционных процессов.

ЗАДАЧА ПОДБОРА СОРБЕНТА

Перечислим основные требования, которые предъявляются к сорбентам для извлечения микроэлементов из морской воды. Во-первых, это хорошие сорбционные характеристики: селективность — способность извлекать необходимое и “оставаться равнодушным” к ненужным в данном случае макрокомпонентам; максимальная емкость по отношению к сорбируемым соединениям; высокая скорость поглощения сорбата. Во-вторых, регенерация

сорбента должна происходить в мягких условиях, при этом сорбент должен выдерживать без снижения качества многие десятки циклов сорбция–регенерация. В-третьих, сорбент должен быть механически прочен, иначе под действием струй воды и трения между частицами он превратится в пыль и будет унесен потоком воды. В-четвертых, сорбент должен быть абсолютно нерастворим в воде и стабилен по отношению к ней. В-пятых, сорбент должен быть устойчив к действию морских микроорганизмов. Это означает, что в его состав нельзя вводить био-генные элементы, такие, как, например, фосфор, либо надо добавлять в сорбционную композицию бактерицидные добавки. Кроме того, сорбент должен быть дешев и получаться из недефицитного сырья. Каждое из упомянутых требований чрезвычайно важно, поскольку тем или иным образом влияет на рентабельность процесса извлечения. Американские ученые подсчитали, что потери сорбента за счет любых химических или физических воздействий в циклах сорбция–регенерация не должны превышать 5% в год при стоимости 0,2 долл./кг.

Понятно, что подобрать отвечающий перечисленным требованиям эффективный сорбент методом тыка никогда не удастся, это можно сделать только на основе глубокого понимания существа сорбционных процессов, имея развитую фундаментальную науку. Поэтому неудивительно, что наибольшие успехи в рассматриваемой области достигнуты в таких странах, как Япония, ФРГ, СССР, США. Существенно, что основные усилия специалистов этих стран были направлены на разработку методов сорбционного выделения из морской воды урана – стратегического сырья. Интерес к таким исследованиям военно-промышленного комплекса обусловил довольно щедрое их финансирование.

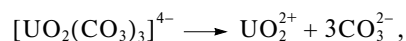
Для реализации научного подхода к проблеме подбора эффективных сорбентов необходимо знать еще один важный параметр: в какой химической форме находится микроэлемент в морской воде. Это отнюдь не праздный вопрос. Конечно, если для щелочных металлов форма нахождения достаточно ясна заранее (с очень высокой вероятностью можно ожидать, что они находятся в виде гидратированных однозарядных ионов), то для переходных элементов исследование формы их нахождения составляет отдельную и далеко не простую задачу [3]. Морские гидрохимики приложили немало усилий, чтобы получить такие, например, сведения: хром находится в морской воде в трех- и шестивалентном виде, причем Cr^{3+} на 85% в виде комплекса $\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$, а на 15% в виде хромит-иона CrO_2^- , тогда как Cr^{6+} на 98% представлен хромат-ионом CrO_4^{2-} . Понятно, что без этих сведений нельзя подобрать сорбент, эффективно связывающий хром. А интересующий нас уран находится в море в виде сложного уранил-карбонатного иона $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$.

В результате продолжительных исследований для извлечения микроэлементов из морской воды

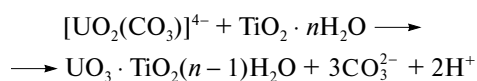
были предложены три основных типа сорбентов: минеральные, органополимерные и гибридные. Первый тип представляет собой неорганические пористые тела с развитой поверхностью. Примером таких материалов является специальным образом приготовленный гидратированный диоксид титана. Достоинства минеральных сорбентов заключаются в их дешевизне, механической прочности, ненабухаемости в морской воде. Сорбенты на основе органических полимеров существенно дороже. Их преимущество состоит в очень высокой селективности, которая обеспечивается привитыми к основной цепи полимера функциональными группами, специфически взаимодействующими с извлекаемым ионом. Пример таких сорбентов – полиакрилонитрил с привитыми амидоксимными группами. Третий тип сорбентов – гибридные – представляет собой минеральную матрицу, на поверхности которой закреплены органические функциональные группы. Такие материалы сочетают в себе достоинства минеральных и органических сорбентов. Они прочны, имеют высокую удельную поверхность (100–300 м²/г), отличаются высокими скоростями установления сорбционного равновесия. Они весьма селективны, что обусловлено возможностью закрепления на поверхности минеральных матриц любых функциональных групп [4]. Недостаток гибридных сорбентов – относительно высокая стоимость.

Экономические оценки процессов извлечения показывают, что при разработке сорбентов следует стремиться не к 100%-ной, а к так называемой групповой селективности, когда разработанный преимущественно для урана сорбент с высокой эффективностью извлекает из морской воды также медь, хром, молибден, кобальт, ванадий. Это способствует снижению себестоимости извлекаемого урана.

Рассмотрим теперь на примере урана, как происходит его сорбция на диоксиде титана. Гидратированный диоксид титана является слабой кислотой, поэтому вблизи поверхности сорбента вода имеет pH около 6. В этих условиях происходит диссоциация основной формы существования урана в морской воде – трикарбонатуранильного комплексного аниона



устойчивого при характерном для морской воды pH = 8. Образовавшиеся уранил-ионы подвергаются гидролизу и осаждаются на поверхности сорбента в виде гидратированного оксида шестивалентного урана. По мере накопления в поверхностном слое этого оксида происходит топомимическая (твердо-фазная) реакция между гидратированными оксидами титана и урана с образованием титаната уранила



Сконцентрированный таким образом уран можно

смыть с поверхности сорбента малым количеством кислоты с получением раствора, пригодного для гидрометаллургической переработки. А сорбент оказывается готовым к дальнейшему использованию.

Аналогичным образом можно написать схемы химического взаимодействия между поверхностными активными группами других типов сорбентов и анионным комплексом урана.

Итак, можно считать, что проблема разработки достаточно эффективных сорбентов для концентрирования микроэлементов из морской воды на принципиальном уровне решена, хотя, разумеется, работы в этом направлении продолжаются и можно надеяться, что в недалеком будущем будут созданы еще более эффективные и, что важно, более дешевые сорбционные системы.

Означает ли сказанное, что можно приступать к строительству промышленных предприятий по извлечению металлов из морской воды? Нет. Разработка сорбентов является только одной и даже не самой сложной задачей в решении всей проблемы.

ЗАДАЧА МАССОПЕРЕНОСА

Как видно из табл. 1, концентрация металлов, которые можно добывать из морской воды, составляет величину порядка 10^{-6} г/л. Следовательно, для добычи 1 т металла придется прокачать через наполненные сорбентом трубы 10^9 м³, то есть 1 км³ воды. Это при условии 100%-ного извлечения металла. Реально же вряд ли можно надеяться на степень извлечения, большую 50%, и, если строить завод производительностью 1000 т металла в год, необходимо предусмотреть энергетические затраты, обеспечивающие прокачивание через трубы с сорбентом не менее 2000 км³ морской воды. Заметим, что эта величина примерно равна сумме годовых стоков Волги, Оби, Енисея, Лены и Амура. Понятно, что стоимость потребной электроэнергии (даже если изыскать свободные энергоресурсы) многократно превысит все разумные пределы. К тому же надо учесть, что современные сорбционные промышленные фильтры обрабатывают водные растворы со скоростью, не превышающей 100 м³/ч на 1 м² площади фильтра. Получается, что для обработки 5 км³ воды в сутки потребуются сорбционные установки общей площадью фильтров около 5 км². Даже весьма приблизительный расчет показывает, что предприятие подобной мощности займет сотню квадратных километров прибрежной зоны и потребует колоссальных капиталовложений.

А нельзя ли для прокачивания воды через сорбент воспользоваться естественными процессами перемещения океанской воды? Ведь вода в океанах и морях находится в непрерывном движении. Это и течения, и приливно-отливные явления, и, наконец, обычное волнение. Если бы удалось изыскать способ бесплатного массопереноса воды через сорбент, проблема извлечения металлов существенно продвинулась бы вперед.

К настоящему времени разработаны несколько десятков проектов заводов, использующих природный массоперенос морской воды, некоторые из них поражают воображение масштабностью и оригинальностью. Рассмотрим несколько таких идей. Шведские ученые предложили проект подводного комплекса в шельфовой зоне, основу которого составляет построенная на глубине 200 м подводная плотина, перегораживающая океанское течение. В теле плотины предусмотрены отверстия для труб с сорбентом. Автоматическая система заменяет сорбционные массы по мере их насыщения металлом на свежие. Переработка и регенерация сорбента осуществляются на поверхности моря. В Японии и Италии выдвигались проекты подводных установок с рабочими элементами в виде сетей, изготовленных из полимеров, поглощающих микроэлементы. Если такие сети установить в проливах с достаточно интенсивным течением, обеспечить непрерывное движение закольцованных сетчатых полотен через надводный регенератор и организовать гидрометаллургический передел концентрата, то, по мнению автора проекта, проблема извлечения металлов принципиально была бы решена. В соответствии еще с одним проектом предлагается заранее подготовленное дно мелководного пролива (несколько десятков квадратных километров) с течением средней интенсивности засыпать слоем гранулированного сорбента. По акватории пролива должны были бы передвигаться напоминающие драгу плавучие установки для подъема и регенерации сорбента. Полученный концентрат транспортировался бы на сушу для переработки.

Одной из наиболее проработанных идей является проект использования для сорбции микроэлементов плотин приливно-отливных электростанций. В теле такой плотины размещаются съемные фильтрующие сорбционные секции, которые по мере насыщения заменяются свежими. После регенерации фильтрующие секции используются вновь. Предварительные оценки показывают, что для фильтрации 1,5 км³ воды в сутки необходимо перегородить плотиной морской залив в районе с высокими приливами, причем протяженность плотины должна составить примерно 50 км. Понятно, что, хотя энергию на массоперенос тратить не придется, капитальные затраты на строительство упомянутой плотины будут весьма основательными, они составят несколько десятков миллиардов долларов США. Отметим также, что инженерный опыт строительства плотин в морских глубинах в условиях сильных течений практически отсутствует. Тем не менее препятствия, связанные с высокой стоимостью и технической сложностью добывающих предприятий, могут быть преодолены и наиболее продвинутые проекты могут быть реализованы. Однако на пути их реализации имеется еще одно серьезное препятствие — экологические последствия

промышленной добычи микроэлементов из морской воды непредсказуемы.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Прежде всего необходимо вспомнить, что Мировой океан чрезвычайно важен, а для некоторых стран основной источник пищевых продуктов. Океан – регулятор климата практически на всей поверхности нашей планеты. Наконец, океан – колыбель жизни на Земле. Человечество пока сделало лишь первые шаги в освоении океана и его ресурсов, но уже ясно, что пренебрежение экологическими требованиями приводит к катастрофическим последствиям.

Все океанические процессы, начиная от молекулярного уровня и кончая планетарными, такими, как течения и циклоны, связаны единой иерархической системой. В соответствии с законами экологии любое вмешательство на низшем молекулярном уровне может сказаться в больших масштабах. При этом из-за ограниченности наших знаний последствия вмешательства на молекулярном уровне могут оказаться непредсказуемыми на планетарном. Казалось бы, общий объем Мирового океана равен $1,336 \cdot 10^9 \text{ км}^3$, а для нужд металлургии будет использоваться только 10^4 км^3 (0,001%). Возможны ли в этом случае какие-либо крупномасштабные последствия? Ответ на этот вопрос, к сожалению, положительный: да, нельзя исключить возможности серьезных и даже катастрофических последствий [5].

Действительно, предприятия по извлечению микроэлементов должны располагаться вдоль береговой линии, там, где имеются достаточно мощные течения для обновления отработанной воды. Таким образом, отработанная морская вода, лишенная значительной части микроэлементов и отчасти дегазированная, попадает в прибрежную шельфовую зону, то есть в зону интенсивного рыболовства. Именно на шельфе Мирового океана сосредоточена основная масса его биологических ресурсов. Как отреагируют гидробионты на большие объемы слегка измененной морской воды, пока неясно. Работы в этом направлении проводятся в настоящее время во многих странах.

Следует отметить, что морская вода не единственный источник океанического металлургического сырья. Еще один источник минеральных богатств Мирового океана – это так называемые железомарганцевые конкреции. Обнаружено, что в некоторых районах дно океана практически полностью покрыто слоем конкреций – твердых сферических образований диаметром от единиц до нескольких десятков сантиметров. Состоят конкреции из смеси оксидов железа и марганца с довольно значительными примесями оксидов молибдена, кобальта, хрома, никеля и других металлов. Конкреции залегают непосредственно на поверхности дна на глубинах 2–5 км. Иногда толщина слоя конкреций достигает нескольких метров.

Происхождение конкреций точно не установлено. Интересно, что если сделать поперечный срез конкреции, то в ее центре часто можно найти зародыш, например мелкий камешек или зуб акулы.

Запасы железомарганцевых конкреций в Мировом океане оцениваются сотнями миллиардов тонн. Это означает, что они представляют собой важное перспективное сырье для цветной и черной металлургии. Однако на пути разработки этого сырья стоят серьезные трудности. В первую очередь это большая глубина залегания. Для обеспечения нужд металлургии потребуется добывать миллионы тонн конкреций в год. Следовательно, предстоит изыскать новые инженерные решения, так как современная технология подъема конкреций на поверхность океана с помощью лебедок и драг очень трудоемка и непроизводительна. Исследователи и инженеры промышленно развитых стран разрабатывают проекты крупных надводных добывающих комплексов, а также подводные робототехнические системы, которые могли бы без участия человека производить поиск, добычу и транспортировку конкреций на плавучие базы. Важно отметить, что добыча конкреций не имеет таких опасных экологических последствий, как извлечение микроэлементов из морской воды. Поэтому можно полагать, что промышленная добыча конкреций опередит концентрирование микроэлементов из морской воды и в ближайшие десятилетия станет реальностью.

В заключение необходимо отметить, что рассмотренные в статье вопросы имеют по большей части прикладной инженерно-технологический характер. Тем не менее их решение возможно только на основе использования достижений фундаментальных естественных наук.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Попов Н.И., Федоров К.И., Орлов В.М. Морская вода. М.: Наука, 1979. 328 с.
2. Риффо К. Будущее – океан. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 272 с.
3. Алевин О.А., Ляхин Ю.И. Химия океана. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 344 с.
4. Лисичкин Г.В. Химическое модифицирование поверхности минеральных веществ // Соросовский Образовательный Журнал. 1996. № 4. С. 52.
5. Лисичкин Г.В., Комаревский В.М. // Химия в школе. 1987. № 2. С. 7.

* * *

Георгий Васильевич Лисичкин, профессор, доктор химических наук, зав. лабораторией органического катализа кафедры химии нефти и органического катализа химического факультета МГУ. Лауреат Ломоносовской премии, награжден медалью С.И.Вавилова, премией Совета Министров СССР. Главный редактор “Российского химического журнала”. Область научных интересов – химия привитых поверхностей соединений. Вместе с учениками и сотрудниками опубликовал около 350 статей, автор шести книг и 70 изобретений.