

ДРУГИЕ ВОПРОСЫ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ

DOI: 10.24937/2542-2324-2022-3-401-145-151
УДК 622.341:622.271.5

Е.С. Балашова, А.И. Фрумен

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ РЕНТАБЕЛЬНОЙ РАЗРАБОТКИ И ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗОМАНГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ СО ДНА МИРОВОГО ОКЕАНА

Объект и цель научной работы. Исследование посвящено проблемам добычи железоманганцевых конкреций со дна Мирового океана. Эта добыча пока незначительна и составляет не более 2 % стоимости руд, добываемых на суше, однако ее потенциал несоизмеримо велик. Большой интерес представляет глубоководная зона разломов Кларифон-Клиппертон, где зарегистрировано одно из самых больших месторождений железоманганцевых конкреций. Многие годы разработку глубоководных месторождений таких конкреций считали малорентабельным и сложным процессом, однако в последнее время позиция исследователей меняется. Для повышения рентабельности требуется минимизировать число подъемов-спусков и, следовательно, иметь корпусные конструкции больших размеров.

Основные результаты. Для решения поставленной задачи предлагается конструкция корпуса подводного аппарата по типу т.н. поликорпуса. Основная его идея связана с тем, что для подкрепленных цилиндрических оболочек большого диаметра цилиндрическая форма корпуса не является эффективной из-за технологических (по толщине) и прочностных ограничений. Поликорпус, диаметр которого составляет от 20 м, содержит не менее 12 модулей диаметром 2–4 м. Модули соединяются двойными стрингерами, рамными шпангоутами и переходными тамбурами. Их функциональное назначение: энергетический модуль, прочная цистерна, жилой модуль, поплавки, обогащительное производство, склад и ремонтная база добывающей робототехники, спасательный модуль и т.п. Предлагаемые конструктивные решения можно также использовать для подъема крупногабаритных затонувших объектов.

Заключение. Исследования в этой области все больше становятся прерогативой государств, т.к. с одной стороны они требуют большого объема капитальных вложений, а с другой – обнаруженные в конкрециях металлы постоянно дорожают. Разработка новых технологий стимулирует технологическое развитие всей промышленности и открывает новые перспективы для экономической системы.

Ключевые слова: железоманганцевые конкреции, рентабельная разработка, дно Мирового океана, поликорпус, экология, риски, правовое обеспечение, несовершенство техники и технологий.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

MISCELLANEOUS

DOI: 10.24937/2542-2324-2022-3-401-145-151
UDC 622.341:622.271.5

E.S. Balashova, A.I. Frumen

St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

Для цитирования: Балашова Е.С., Фрумен А.И. Концептуальные проблемы организации рентабельной разработки и добычи железоманганцевых конкреций со дна Мирового океана. Труды Крыловского государственного научного центра. 2022; 3(401): 145–151.

For citations: Balashova E.S., Frumen A.I. Conceptual problems of the organization of cost-effective development and extraction of ferromanganese nodules from the bottom of the World Ocean. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2022; 3(401): 145–151 (in Russian).

CONCEPTUAL PROBLEMS OF THE ORGANIZATION OF COST-EFFECTIVE DEVELOPMENT AND EXTRACTION OF FERROMANGANESE NODULES FROM THE BOTTOM OF THE WORLD OCEAN

Object and purpose of research. The study is focused on problems of extraction of ferromanganese nodules from the bottom of the World Ocean. This extraction is still insignificant and amounts to no more than 2% of the value of ores mined on land, but its potential is disproportionately large. Of great interest is the deep-water zone of the Clarion-Clipperton faults, where one of the largest deposits of ferromanganese nodules has been registered. For many years, the development of deep-sea deposits of such nodules was considered a low-profit and complex process, but recently the position of researchers has been changing. To increase profitability, it is required to minimize the number of dives and, consequently, to have large-sized hull structures.

Main results. To solve this problem, the design of the hull of the underwater vehicle according to the type of the so-called polyhull is proposed. Its main idea is related to the fact that for reinforced cylindrical shells of large diameter, the cylindrical shape of the body is not effective due to technological (in thickness) and strength limitations. The polyhull, whose diameter is not less than 20 m, contains at least 12 modules with a diameter of 2–4 m. The modules are connected by double stringers, web frames and transitional airlocks. The modules are intended to serve as an energy module, a high-pressure tank, an accommodation module, floats, a preparation and processing plant, a warehouse and a repair base for mining robotics, a rescue module, etc. The proposed design solutions can also be used to lift large-sized sunken objects.

Conclusion. Research in this area is increasingly becoming the prerogative of governments, because, on the one hand, they require a large amount of capital investment, and, on the other hand, metals found in nodules are constantly becoming more expensive. The development of new technologies stimulates the technological development of the entire industry and opens up new prospects for the economic system.

Keywords: ferromanganese nodules, cost-effective development, the bottom of the World Ocean, semi-hull, ecology, risks, legal support, imperfection of equipment and technologies.

The authors declare no conflicts of interest.

Введение

Introduction

Россия является активным участником процесса подготовки к освоению ресурсов дна Мирового океана.

Достаточно долго океан рассматривался как глобальная сеть морских грузоперевозок и неиссякаемый источник продуктов питания. Последние десятилетия развития мировой экономической системы сделали актуальным еще один аспект исследования Мирового океана – разработку, добычу и использование ресурсов, содержащихся на морском дне. Безусловно, этому способствует ежегодное увеличение потребления минерального сырья, общемировой расход которого увеличивается в среднем на 4,8 %.

Большинство передовых стран, включая Россию, подняли программы разведки и разработки полезных ископаемых морского дна до уровня общенациональных и государственных программ. По мнению многих исследователей и ученых, особый интерес представляют скопления железомарганцевых конкреций. Их добыча в мировом масштабе пока незначительна и составляет не более 2 % стоимости руд, добываемых на суше, однако потенциал добычи несоизмеримо велик.

Актуальность исследования

Актуальность исследования

Urgency of the study

Морские полезные ископаемые в ближайшие годы могут серьезно изменить мировые сырьевые рынки. Речь идет о добыче полезных ископаемых, залегающих на больших глубинах в Мировом океане.

Железомарганцевые конкреции на дне Тихого океана открыли более 100 лет назад английские ученые, работавшие на судне «Челленджер». Конкреции по праву считаются подлинной сокровищницей минерального сырья. Внешне напоминая клубни картофеля, они содержат, по разным оценкам, миллиарды тонн марганца, тонны железа, никеля, меди и кобальта. Кроме того, в них присутствуют остродефицитные редкоземельные металлы, крайне востребованные электронной промышлен-

ностью, такие как лантан, теллур, иттрий. Стоит отметить, что значимость последних настолько велика, что железомарганцевые конкреции все чаще именуется полиметаллическими.

Интерес к месторождениям железомарганцевых конкреций горнодобывающие компании впервые проявили в середине 1960-х гг., это произошло вследствие стремительного роста мировых цен на медь, никель и кобальт. Однако кризисы мировой экономической системы, в частности нефтяные, повлияли на экономическую привлекательность этих процессов. Не последнюю роль сыграло открытие новых рудных месторождений, разработка которых не требовала инновационных решений.

Изменения мировых рынков, наблюдаемые в последние десятилетия, привели к изменению позиции ученых по данному вопросу. Китай, Япония и Россия проявляют большую активность в зоне разломов Кларифон-Клиппертон, где зарегистрировано одно из самых больших месторождений железомарганцевых конкреций. Разведку морского дна проводят и компании Южной Кореи, Франции, Великобритании. Все больше и больше стран пытаются получить от Международного органа по морскому дну (International Seabed Authority) лицензии на разведку и разработку морского дна Мирового океана.

По мнению заместителя директора ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», профессора СПбГУ Г.А. Черкашова, железомарганцевые конкреции, как носители минимум пяти главных металлов (кобальта, никеля, марганца, железа и молибдена), являются стратегическими полезными ископаемыми. Их добыча способна полностью изменить мировые экономические рынки. К настоящему моменту открыто пять типов железомарганцевых образований: конкреции, микроконкреции, корки, корковые конкреционные образования и низкотемпературные гидротермальные отложения. В свою очередь, конкреции представлены тремя разновидностями: диагенетическими, седиментационными и седиментационно-диагенетическими. Запасы железомарганцевых конкреций на дне Мирового океана составляют не менее 300 млрд т., при этом большая их часть залегает на глубинах 3600–4500 м.

Многие годы разработку глубоководных месторождений железомарганцевых конкреций считали малорентабельным и сложным процессом, однако в последнее время позиция исследователей по этому вопросу меняется.

Проблематика вопроса

Agenda of the issue

Поисково-разведочные работы на дне Мирового океана должны привести к последующей добыче конкреций с целью их использования в самых разных отраслях промышленности. Однако уже сейчас, до начала масштабной добычи, исследователи отмечают ряд проблем, связанных с этой темой. Рассмотрим каждую из них предметно.

Прежде всего, стоит отметить *экологическую проблематику*. В настоящий момент единой, общепризнанной технологии добычи конкреций со дна моря не существует. Международный орган по морскому дну предполагает, что неважно, какая технология станет основной – она все равно неминуемо нанесет ущерб экологии моря. В 1978 г. проводилась экспериментальная добыча конкреций, которая оставила следы в донных осадках, при этом особо тревожит факт, что залежи конкреций расположены в тех районах морского дна, где скорость осадконакопления минимальна, а следы выглядят так, будто добыча была совсем недавно.

Доктор геолого-минералогических наук М.Ф. Пилипчук считает, что крупномасштабная добыча полиметаллических конкреций без обоснованного применения природоохранных мероприятий может вызвать нарушения экологического равновесия в океане и иметь трудно предсказуемые краткие и долговременные последствия. В их числе – нарушение физико-химических процессов в океане, изменение естественного природного седиментационного потока, разрушение среды обитания и связи питания морских организмов, снижение уровня биологической активности водных масс, нарушение взаимодействия океана и атмосферы.

Технологической проблемой, не позволяющей начать масштабную разработку железомарганцевых конкреций, является несовершенство техники и технологий. Для добычи полезных ископаемых в крупных объемах с больших глубин требуется конструкция подводного аппарата (ПА) с большими габаритами относительно любых других ПА: для обеспечения долгого времянахождения под водой с малой частотой всплытия, а также размещения экипажа, добывающих машин, роботов и автоматизированных установок для предварительной обработки ископаемых. Страны, заинтересованные в решении данных проблем, ведут независимые исследования, пытаясь опередить конкурентов, т.к. достигнутая цель приведет к революционным изменениям на мировых рынках.

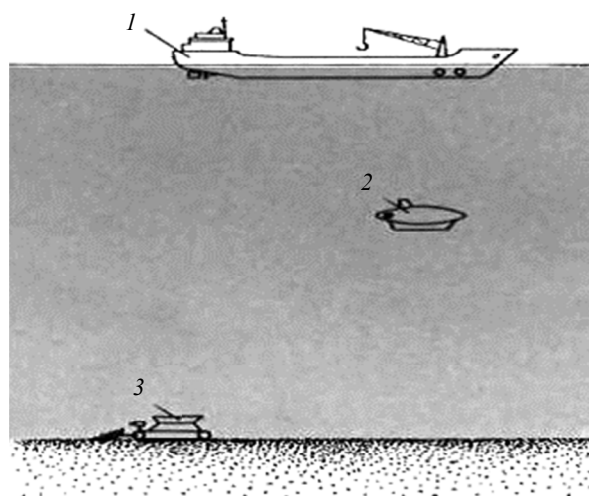


Рис. 1. Схема комплекса глубоководной добычи. Тип установки – автономная: 1 – судно обеспечения; 2 – установка подъема; 3 – агрегат сбора

Fig. 1. Scheme of the deep-sea mining complex. Installation type – independent: 1 – support ship; 2 – lifting rig; 3 – nodule miner

Организация добычи и переработки твердых полезных ископаемых с морского дна связана с четырьмя типами операций, осуществляемых комплексом машин и механизмов, размещенных на плавсредстве или непосредственно в водной среде:

1. отрыв или отделение твердых полезных ископаемых от массива месторождения;
2. подъем и транспортировка ископаемых от грунтозаборного механизма до плавающего или стационарного средства (спецсудна, платформы и т.п.) для подготовки к первичной обработке;
3. первичная обработка добытых ископаемых (грохочение, сепарирование, промывка, флотация и т.п.);
4. складирование, хранение или транспортировка специальными судами до перерабатывающего наземного предприятия.

Несмотря на то, что на данный момент как отечественные, так и зарубежные специалисты разработали множество комплексов для добычи полезных ископаемых с поверхности морского дна, они не могут считаться приемлемыми, т.к. не в полной мере отвечают современным требованиям к надежности, не обладают достаточной производительностью, не могут работать при сложном рельефе дна, в неблагоприятных погодных условиях и не обеспечивают необходимые показатели экологической чистоты. Проблема создания комплекса, отвечаю-

щего всем вышеупомянутым требованиям, по-прежнему является актуальной научно-технической задачей.

Для подъема конкреций и других рудных отложений (кобальтовые корки, металлосодержащие илы и т.п.) используются гидравлические, механические, а также автономные установки и их комбинации. Подъем водной смеси гидравлическими установками производится прокачкой воздуха (эрлифтные установки); перекачивающими насосами, последовательно размещенными по длине трубопровода (землесосные установки); перемещением загруженных контейнеров по трубопроводам; заполнением заглубленного полового элемента пульпой (разделяющейся на жидкую и твердую фазы).

Основными осложняющими факторами глубоководной добычи являются: высокое гидростатическое давление; влияние подводных течений и погодных условий. Возникают дополнительные нагрузки на систему подъема конкреций (трубопроводную, канатно-скиповую, или камерную) из-за подводных течений, динамического крена и дифферента.

Автономная схема подъема (рис. 1) использует аппарат переменной плавучести, что уменьшает воздействие осложняющих факторов, хотя требует присутствия надводного судна обеспечения из-за ограничений по грузоподъемности аппарата переменной плавучести. Заметим, что возможен и вахтовый режим работы агрегата сбора. В этом случае он раз в 4–6 недель всплывает сам (установка подъема 2 не требуется) для смены экипажа и передачи добытого и, желательно, обогащенного сырья на судно обеспечения.

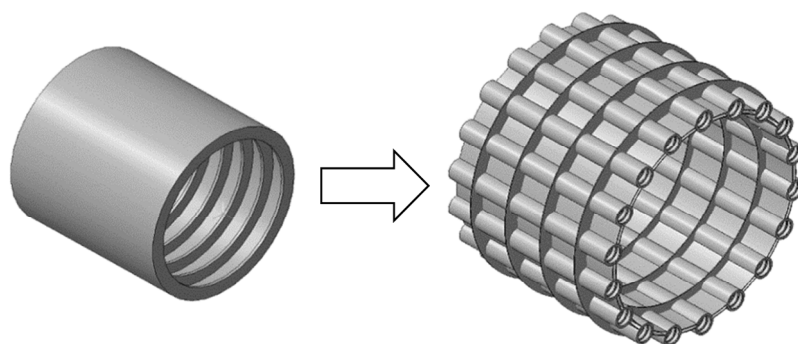
Испытания и анализ различных систем привели к доминированию трубопроводного способа подъема твердых полезных ископаемых. В этой связи особую важность приобретают разработки в области подводных конструкций с большими размерами. Для решения поставленной задачи российские ученые разрабатывают конструкцию корпуса подводного аппарата по типу «Поликорпус».

Основная идея поликорпуса заключается в том, что для подкрепленных цилиндрических оболочек большого диаметра, как показано в работах [4, 12], цилиндрическая форма корпуса не является эффективной из-за технологических (по толщине) и прочностных ограничений.

Параметры u и β (1), балки-полоски, лежащей на сплошном упругом основании и подкрепленной

Рис. 2. Схемы прочных корпусов глубоководного аппарата

Fig. 2. Schemes of pressure hulls of the deep-sea submersible



упругими опорами (круговыми шпангоутами), становятся существенно меньше единицы.

$$u = 0,642 \frac{l}{\sqrt{(r \cdot \delta)}}, \quad \beta = \frac{l \cdot \delta}{F_{\text{шп}}}, \quad (1)$$

где r и δ – радиус и толщина цилиндрической оболочки, l – шпация, а $F_{\text{шп}}$ – площадь поперечного сечения шпангоута.

Расчетными напряжениями вместо σ_{20} в окружном направлении в центре шпации становятся напряжения σ_1' у шпангоута. Поэтому для уменьшения напряжений σ_1' необходимо увеличить площадь поперечного сечения и жесткость оболочки на продольный изгиб. Как следствие, получаем переход от традиционной цилиндрической формы к поликорпусной (рис. 2). Диаметр модулей составляет 2–4 м, а диаметр поликорпуса – 20 м и более.

Модули соединяются между собой двойными стрингерами, рамными шпангоутами и переходными тамбурами. Их функциональное назначение: энергетический модуль, прочная цистерна, жилой модуль, поплавки, обоганительное производство, склад и ремонтная база добывающей робототехники, спасательный модуль и т.п.

Предлагаемая концепция глубоководной добычи и конструктивные решения позволят использовать поликорпусную конструкцию и для подъема крупногабаритных затонувших объектов (рис. 3).

Рассматривая *юридический аспект проблемы* разработки залежей железомарганцевых конкреций на дне Мирового океана, следует отметить, что на настоящий момент не решены важнейшие организационные вопросы развития морской добычи и определение субъекта и нормативное правовое обеспечение его деятельности в Международном органе морского дна, а также организация и финансирование работ по разработке технологий и оборудования глубоководной добычи.

Основные правовые аспекты данной деятельности регулируются Конвенцией ООН по морскому праву и соглашением от 1994 г. «Об осуществлении части XI Конвенции ООН по морскому праву». На настоящий момент разработаны и утверждены правила поиска и разведки трех видов ресурсов, включая железомарганцевые конкреции. Добычной кодекс (проект правил добычи в районах Мирового океана за пределами национальных юрисдикций) находится в стадии разработки, начиная с 2015 г. Россия активно участвует в вопросах подготовки к освоению ресурсов дна Мирового океана. Соответствующие обязательства возложены на Минприроды РФ, для их выполнения заключено несколько контрактов с Международным органом по морскому дну, в т.ч. контракт на разведку железомарганцевых конкреций в районе Тихого океана сроком до 28 марта 2021 г.

И напоследок обсудим *экономические проблемы* при добыче железомарганцевых конкреций. В общем виде технико-экономическое обоснование

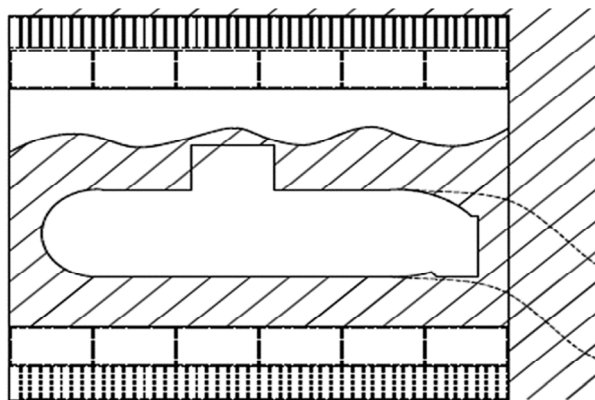


Рис. 3. Вариант использования – глубоководный док

Fig. 3. Use option – deep-water dock

целесообразности добычи полезных ископаемых с морского дна представляет собой документацию, содержащую информацию о целесообразности начала проведения работ, включая анализ затрат и результатов проекта.

В разработке залежей конкреций на дне Мирового океана остается слишком много вопросов, не позволяющих однозначно дать оценку потенциальной инвестиционной привлекательности этого проекта. На одной чаше весов – несомненная ценность добычи миллиардов тонн редких и ценных металлов, в которых остро нуждается мировая промышленность. На другой – сложность и дороговизна технологических процессов, их принципиальное несовершенство, риск экологической катастрофы в Мировом океане. Глубокий анализ предстоящего комплекса работ должен включать в себя разработку планов, графиков, укрупненный сметно-финансовый расчет. Однако эти работы имеют ярко выраженный вероятностный характер, поэтому учет риска и прогноза уровня неопределенности ставит под сомнение плановые показатели рентабельности и инвестиционной привлекательности.

Следует отметить, что в последние годы интерес к разработке конкреций со стороны частного капитала упал. Это связано с тем, что при нынешней мировой экономической конъюнктуре эксплуатация залежей конкреций даст не более 8–12% прибыли на вложенный капитал, что не полностью оправдывает экономические, технологические и экологические риски. Исследования в области обозначенного вопроса все больше и больше становятся прерогативой государств, поскольку с одной стороны они требуют большого объема капитальных вложений на стадии проектирования, а с другой – металлы, обнаруженные в конкрециях, постоянно дорожают. По терминологии американских исследователей, их относят к разряду «стратегических материалов», а этот фактор может оказаться решающим в сравнении с локальной экономической рентабельностью.

Заключение

Conclusion

Разработка новых технологий может сделать экономически эффективными морские месторождения, которые ранее считались нерентабельными. Это, в свою очередь, стимулирует технологическое развитие всей промышленности и откроет новые перспективы для мировой экономической системы.

Список использованной литературы

1. *Безруков П.Л.* Распределение железо-марганцевых конкреций на дне Индийского океана // *Океанология*. 1962. Т. 2, № 6. С. 1014–1019.
2. *Бреслав Л.Б.* Технично-экономическое обоснование средств освоения Мирового океана. Ленинград : Судостроение, 1982. 239 с.
3. *Бунин П.Г.* Экономика Мирового океана. Ресурсы, их освоение, экология, право. Москва : Наука, 1977. 208 с.
4. *Фрумен А.И., Медников К.М.* Вопросы проектирования подводного полкорпусного судна // *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2020. Спец. вып. 2. С. 266–271. DOI: 10.24937/2542-2324-2020-2-S-I-266-271.
5. Геология будущего. Освоение ресурсов мирового океана // Фонд Росконгресс : [сайт]. 2019. URL: <https://roscongress.org/materials/geologiya-budushchego-osvoenie-resursov-mirovogo-okeana> (дата обращения: 26.05.2022).
6. *Добрецов В.Б.* Освоение минеральных ресурсов шельфа. Ленинград : Недра, 1980. 272 с.
7. Особенности морской добычи нефти и газа: детальный взгляд на вопрос // *Нефтянка* : [сайт]. Москва, [б.г.]. URL: <https://oilyug.ru/dobycha/v-chem-osobennosti-morskoy-dobychi.html> (дата обращения: 26.05.2022).
8. *Пилипчук М.Ф.* Теоретические основы, методика и практика геоэкологического обеспечения разведочных и добычных работ на глубоководных месторождениях полиметаллических конкреций в Мировом океане : автореф. дис. ... д-ра г.-м. наук : 25.00.36 / М.Ф. Пилипчук; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. Москва, 2003. 46 с.
9. Ресурсы океана. Железомарганцевые конкреции // Глеб Фомин : [сайт]. 2018. URL: https://gfom.ru/resursi_okeana_zhelezomargantsevie_konkretsii_reemit.php (дата обращения: 26.05.2022).
10. *Смолдырев А.Е.* Транспорт конкреций с морских глубин // *Итоги науки и техники*. Москва, 1986. С. 71–100. (Разработка месторождений твердых полезных ископаемых ; № 33).
11. *Шалыгин А.В.* Обоснование параметров подводной машины для добычи твердых полезных ископаемых с поверхности морского дна : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.06 / А.В. Шалыгин; Санкт-Петерб. гос. горн. ин-т. Санкт-Петербург, 2007. 48 с.
12. *Караев Р.Н., Разуваев В.Н., Фрумен А.И.* Техника и технология подводного обслуживания морских нефтегазовых сооружений : учебник для вузов. Санкт-Петербург : Моринтех, 2012. 352 с.

References

1. *Bezrukov P.L.* Distribution of the ferromanganese nodules at the bottom of the Indian Ocean // *Okeanologiya*. 1962. T. 2, No. 6. P. 1014–1019 (*in Russian*).
2. *Breslav L.B.* Technical and economic justification of the means of development of the World Ocean, Leningrad : Sudostroenie, 1982. 239 p. (*in Russian*).
3. *Bunich P.G.* The economy of the World Ocean. Resources, their development, ecology, law. Moscow : Nauka, 1977. 208 p. (*in Russian*).
4. *Frumen A.I., Mednikov K.M.* Issues of design of underwater polyhull ship // *Transactions of Krylov State Research Centre*. 2020. Special Edition 2. P. 266–271. DOI: 10.24937/2542-2324-2020-2-S-I-266-271 (*in Russian*).
5. Geology of the future. Development of the resources of the world ocean // *Fond Roscongress* : [site]. 2019. URL: <https://roscongress.org/materials/geologiya-budushchego-osvoenie-resursov-mirovogo-okeana> (Accessed on 26.05.2022) (*in Russian*).
6. *Dobretsov V.B.* Development of mineral resources of the shelf. Leningrad : Nedra, 1980. 272 p. (*in Russian*).
7. Features of offshore oil and gas production: a detailed look at the issue // *Neftyanika* : [site]. Moscow. URL: <https://oilyug.ru/dobycha/v-chem-osobennosti-morskoy-dobychi.html> (Accessed on 26.05.2022) (*in Russian*).
8. *Pilipchuk M.F.* Theoretical foundations, methods and practice of geoecological support for exploration and production operations at deep-water deposits of polymetallic nodules in the World Ocean : Author's Dr. Sci. (G.&M.) abstract : 25.00.36 / *M.F. Pilipchuk*; Moscow State University. Moscow, 2003. 46 p.
9. Ocean resources. Ferromanganese nodules // *Gleb Fomin* : [site]. 2018. URL: https://gfom.ru/resursi_okeana_zhelezomargantsevie_konkretsii_reemit.php (Accessed on 26.05.2022) (*in Russian*).
10. *Smoldyrev A.E.* Transport of nodules from the sea depths // *Results of science and technology*. Moscow, 1986. No. 33. P. 71–100 (*in Russian*).
11. *Shalygin A.V.* Substantiation of the parameters of an underwater vehicle for the extraction of solid minerals from the surface of the sea floor : Author's Cand. Sci. (Eng.) abstract : 05.05.06 / *A.V. Shalygin*; St. Petersburg State Mining Institute. St. Petersburg, 2007. 48 p. (*in Russian*).
12. *Karaev R.N., Razuvayev V.N., Frumen A.I.* Technology and underwater maintenance technology for offshore oil and gas facilities. A textbook for universities. St. Petersburg : Morinteh, 2012. 352 p. (*in Russian*).

Сведения об авторах

Балашова Елена Сергеевна, д.э.н., доцент, декан инженерно-экономического факультета, заведующая кафедрой «Инновационная экономика» Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. Адрес: 190121, Россия, Санкт-Петербург, Лощманская ул., д. 3. E-mail: elenabalashova@mail.ru.

Фрумен Александр Исаакович, к.т.н., доцент, профессор кафедры «Строительная механика корабля» Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. Адрес: 190121, Россия, Санкт-Петербург, Лощманская ул., д. 3. E-mail: grossfrum7@mail.ru.

About the authors

Elena S. Balashova, Dr. Sci. (Economics), Associate Professor, Dean of the Faculty of Engineering and Economics, Head of the Department “Innovative Economics”, State Marine Technical University. Address: 3, Lotsmanskaya st., St. Petersburg, Russia, post code 190121. E-mail: elenabalashova@mail.ru.

Alexander I. Frumen, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Ship Construction Mechanics, State Marine Technical University. Address: 3, Lotsmanskaya st., St. Petersburg, Russia, post code 190121. E-mail: grossfrum7@mail.ru.

Поступила / Received: 16.05.22
Принята в печать / Accepted: 04.07.22
© Балашова Е.С., Фрумен А.И., 2022