

Перспективы использования новой конструкции трала для разработки полезных ископаемых Мирового океана

А.С. Каширский¹✉, М.Г. Рахутин², Ю.В. Кириченко², Е.А. Кузин³

¹ Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

² Горный институт НИТУ «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

³ Комитет государственного строительного надзора г. Москвы, г. Москва, Российская Федерация

✉ kashirsky@mail.ru

Резюме: Наиболее перспективным видом твердых полезных ископаемых дна Мирового океана являются железомарганцевые конкреции, имеющие размеры от миллиметров до десятков сантиметров. Наиболее изучены железомарганцевые конкреции рудоносной провинции Клариион-Клиппертон в Тихом океане, которые содержат такие полезные ископаемые, как железо, марганец, никель, медь и др. Освоению глубоководных месторождений, кроме природных условий, также препятствует отсутствие оборудования и эффективных технологий для крупномасштабного опробования, позволяющего оценить запасы, плотность залегания и, в конечном итоге, рентабельность разработок. Для решения данной проблемы разработан кассетный трал с самовсплывающими емкостями. Он предназначен для отбора крупнообъемных проб с целью установления на месторождении технологических типов и сортов руд и установления технологической и экономической возможности добычи железомарганцевых конкреций. В статье дается описание конструкции кассетного трала и принципы его работы, а также приводится анализ его сравнения с существующими способами и средствами оценки подводных месторождений.

Ключевые слова: трал, полезные ископаемые, Мировой океан, железомарганцевые конкреции, провинция Клариион-Клиппертон, железо, марганец, никель, медь

Для цитирования: Каширский А.С., Рахутин М.Г., Кириченко Ю.В., Кузин Е.А. Перспективы использования новой конструкции трала для разработки полезных ископаемых мирового океана. *Горная промышленность*. 2019;(6):123–127. DOI 10.30686/1609-9192-2019-6-148-123-127.

Prospective Use of New Sweeper Design to Mine Minerals from Seabed and Ocean Floor

A.S. Kashirsky¹✉, M.G. Rakhutin², Yu.V. Kirichenko², E.A. Kuzin³

¹ RF Ministry of Industry and Trade, Moscow, Russian Federation

² Mining Institute of National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

³ Committee for State Construction Supervision of the City of Moscow, Moscow, Russian Federation

✉ kashirsky@mail.ru

Abstract: The most promising type of solid minerals to be mined from the seabed and ocean floor are ferro-manganese nodules (FMN) which sizes can vary from a few millimetres to tens of centimetres. The most intensively studied FMN are deposited within the Clarion-Clipperton ore province in the Pacific Ocean and contain such minerals as iron, manganese, nickel, copper and others. Besides natural conditions, the development of deep-sea deposits is hampered by the lack of suitable equipment and efficient technologies for largescale sampling that would help to assess the reserves, nodule abundance and ultimately the commercial viability of mining. A cassette-type sweeper with self-surfacing containers has been developed to eliminate this bottleneck. It is designed for bulk sampling in order to define technological types and grades of ores available at the deposit and to determine technological and economic viability of FMN mining. The paper provides a design description of the cassette-type sweeper and principles of its operation as well as the results of its comparison with existing techniques and means to evaluate subsea deposits.

Keywords: mineral resources, World ocean, ferro-manganese nodules (FMN), geological prospecting operations, geological prospecting equipment and options, sampling, cassette-type sweeper, parameters, design, pass width, load-lifting meshed container

For citation: Kashirsky A.S., Rakhutin M.G., Kirichenko Yu.V., Kuzin E.A. Prospective Use of New Sweeper Design to Mine Minerals from Seabed and Ocean Floor *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2019;(6):123–127. (In Russ.) DOI 10.30686/1609-9192-2019-6-148-123-127.

Введение

Месторождения дна Мирового океана являются последним доступным источником полезных ископаемых для нашей цивилизации. Причем, если месторождения углеводородов (нефти и газа) в настоящее время активно осваиваются, то твердые полезные ископаемые (ТПИ) добываются эпизодически и в малых объемах. В то же время исследования глубоководных сульфидов (ГПС), в состав которых входят конкреции икорки, а также глубоководных илов свидетельствуют, что они содержат практически весь спектр полезных ископаемых в объемах, которые по многим полезным компонентам значительно превышают запасы континентальной суши [1].

Особую ценность представляют месторождения полиметаллических сульфидов, которые распространены во всех океанах и внутренних морях и даже водоемах и водотоках [2–6].

Наиболее изучены конкреции Тихого океана из рудной провинции Кларифон-Клиппертон. Глубоководные железомарганцевые конкреции (ЖМК) представляют собой, в основном, округлые стяжения черного и буровато-черного цвета с шероховатой поверхностью. Средний их размер составляет 3–8 см, хотя встречаются экземпляры диаметром до 20 см и более. Принято подразделять конкреции по размерам на два класса [4–6]:

- а) микроконкреции;
- б) собственно конкреции, которые в свою очередь делятся на весьма мелкие (2–4), мелкие (4–6), средние (6–8), крупные (8–12) и весьма крупные (12–20) см.

Микроконкреции обычно рассеяны в толще осадков, их диаметр около 1 см, они имеют шероховатую поверхность и черный цвет. Их доля в различного вида осадках может достигать 10–25% от общей массы, что позволяет с технологической точки зрения обрабатывать участки распространения микроконкреций, как металлоносные песчаные отложения. Они образуют, в основном, одиночные стяжения, но встречаются и столбчатые или гроздевидные сростания. В восточной части северной приэкваториальной зоны Тихого океана в бескарбонатных пелагических глинах концентрация микроконкреций в среднем составляет не менее 10–20%.

Химический состав конкреций весьма разнообразен, для ЖМК Мирового океана содержания колеблются (%): железо – 0,3–50,0; марганец – 0,07–50,3; никель – 0,08–2,48; медь – 0,003–1,9; кобальт – 0,001–2,53; цинк – 0,01–9,0; свинец – 0,01–0,75. Средний состав конкреций Тихого океана (%): марганец – 24; железо – 14; кремний – 9,4; алюминий – 2,9; натрий – 2,6; калий – 1,9; магний – 1,7; никель – 0,99; кальций – 0,18; титан – 0,67; медь – 0,52; кобальт – 0,35; барий – 0,18; свинец – 0,09; стронций – 0,081; цирконий – 0,063; ванадий – 0,054; молибден – 0,052 [1–8].

Кроме железомарганцевых конкреций известны и фосфоритовые конкреции, общие запасы которых оцениваются в 3–10¹¹ т.

Комплекс для разработки донных залежей конкреций

Основным препятствием освоения подводных месторождений является их труднодоступность вследствие глубоководного залегания. Отсюда возникают сложности их обнаружения, оценки и промышленной разработки. Причем, если в настоящее время имеется множество открытых месторождений глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС), железомарганцевых конкреций (ЖМК),

кобальтомарганцевых корок (КМК), полиметаллических илов (ПМИ) и т.д. в Тихом, Индийском, Атлантическом и Северном Ледовитом океанах, то степень их разведанности (запасы, условия залегания и т.п.) достаточно низка. Это вызвано отсутствием надежного и технологичного оборудования для крупнообъемного опробования и систем подводной ориентации и привязки [4–6].

Повышение эффективности крупнообъемного опробования нами предлагается осуществлять с использованием разработанной конструкции касетного трала, новизна которого подтверждена патентом России № 2562304 РФ, МПК E21C50/00 [9].

Он предназначен для технологического изучения залежей железомарганцевых образований с целью:

- ведения на месторождениях технологических типов и сортов руд;
- установления принципиальной возможности промышленного использования каждого технологического типа минерального образования;
- разработки оптимальной технологической схемы, обеспечивающей высокие технико-экономические показатели переработки руд за счет извлечения основных и попутных компонентов;
- определения показателей переработки технологических типов руд.

Комплекс для разработки донных залежей конкреций (касетный трал) состоит из буксируемого ковша-черпака, оборудованного всплывающими тралами (сетчатыми емкостями), буксирного судна с лебедкой и комплектов тралов-кассет, буксирного троса и судна-сборщика (рис. 1).

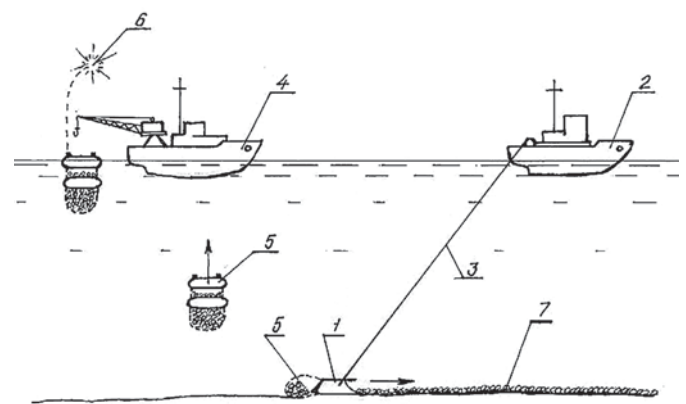


Рис. 1
Принципиальная схема разработки месторождений ЖМК касетным тралом:
1 – касетный трал (ковш-черпак);
2 – буксирное судно;
3 – буксирный трос;
4 – судно-сборщик;
5 – всплывающие тралы (сетчатые емкости);
6 – сигнальное устройство;
7 – залежь конкреций

Fig. 1
General layout of FMN mining with a cassette-type sweeper:
1 – cassette-type sweeper (scoop);
2 – towing vessel;
3 – tow rope;
4 – collecting vessel;
5 – self-surfacing sweeper (meshed containers);
6 – signalling device;
7 – nodule deposit

Касетный трал состоит из нескольких частей (рис. 2): передней рабочей части-отвала с узлом для крепления противовеса-заглубителя, который непосредственно разрабатывает залежь конкреций и направляет их в приемную емкость из высокопрочной сети, качающейся плиты, шарнирно прикрепленной к отвалу, и кассеты с комплектом тралов (ёмкостей). Противовес-заглубитель служит

для создания оптимального угла наклона буксирного троса относительно дна и способствует лучшему сцеплению передней (рабочей) части с забоем. Он может устанавливаться с опережением до 100 м. Основной буксирный трос изготавливается из полимеров или углеродистых нанонитей и имеет нейтральную плавучесть. Трал оснащается следящими и контролирующими устройствами, а также гибким фартуком сзади для ограничения распространения мути (эти узлы на рисунках не показаны). При сцеплении параллельно нескольких тралов роль утяжелителя выполняет соединительная балка.

Комплекс работает следующим образом: кассетный трал ковшами-черпаками, изготовленный в виде четырех-угольной призмы без оснований, опускается лебедкой с буксирного судна на дно так, чтобы отвал находился перед залежью конкреций (рис. 1 и 2). При этом кассета укомплектована тралами из высокопрочной сети с ячейками менее диаметра добываемых ЖМК, закрепленной на гибком каркасе прямоугольной формы с двумя разно-великими парами катков-держателей по углам. На (рис. 2) показана одна правая по ходу движения половина каркаса с катками-держателями, причем катки трала (сетчатой емкости) в рабочем положении затушеваны. Качающаяся плита, закрепленная на шарнире в нижней части ковша, находится в крайнем верхнем положении I. Это положение обеспечивается пружинной тягой и задним скосом под углом 5–9° (рис. 2а). Верхние рабочие катки фиксируются в горизонтальной (основной) части кассеты жестко закрепленными на тягах упорами и пружинными защелками, а нижние катки в наклонной (подающей) части, (жестко закрепленной на бортах отвала), фиксируются поверхностью плиты (рис. 2а).

При движении буксирного судна отвал также приходит в движение, конкреции поступают на качающуюся плиту и затем наполняют сетчатую емкость. По мере заполнения и увеличения массы конкреций в емкости, под их весом плита, удлиняя пружинную тягу, начинает отклоняться на шарнире вниз до положения II (рис. 2в). При этом упор совместно с тягой также отклоняется вниз, открывая отверстие в основной кассете и освобождая верхние катки, имеющие положительную плавучесть. Катки всплывают, создавая приемную способность сетчатой емкости за счет гибкого каркаса, и одновременно выдергивают упругой тросовой тягой-фалом следующую сетчатую емкость в рабочее положение (рис. 2б). Первая пара катков, имеющая положительную плавучесть и больший диаметр, не позволяющие ей попасть в наклонную (подающую) часть кассеты, смещается в крайнее заднее положение и удерживается в нем пружинной защелкой. Связанная с ней вторая пара катков с отрицательной плавучестью имеет меньший диаметр и начинает смещаться по наклонной части вниз, раскрывая приемное сечение трала-емкости. Во время движения ковша-черпака происходит наполнение конкрециями двух тралов, масса их возрастает, а, следовательно, возрастает давление на качающуюся плиту (рис. 2).

Следующим этапом добычи конкреций является освобождение нижней пары катков в результате отклонения плиты в крайнее нижнее положение, вследствие чего освобождается закрываемая ею прорезь в наклонной части кассеты (рис. 2б, в). Наполненная сетчатая емкость за счет силы трения о дно залежи сползает с плиты, уменьшая давление на нее, чем позволяет пружинной тяге вернуть плиту в верхнее положение, перекрыв прорезь в

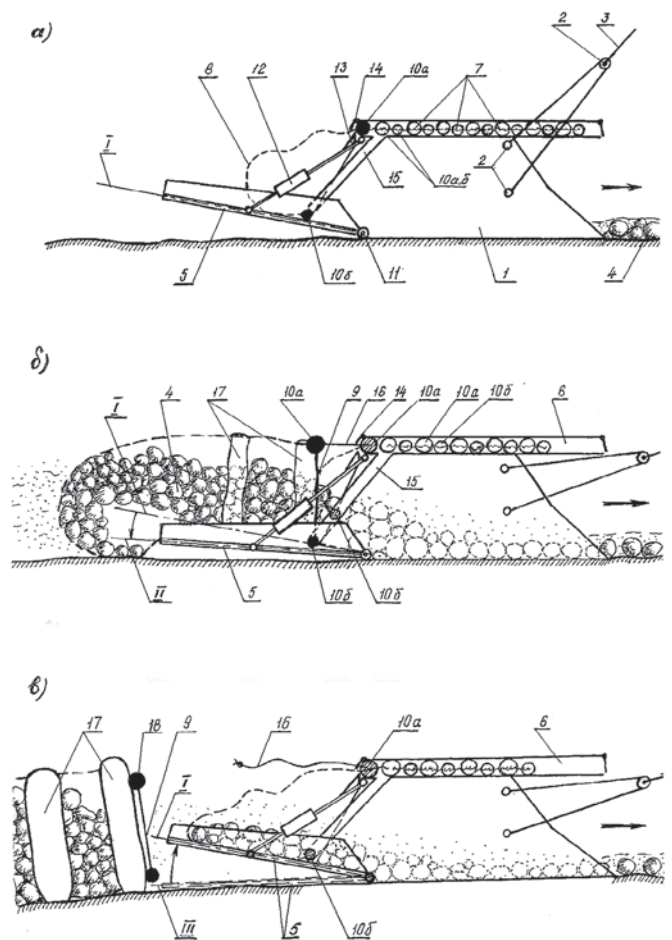


Рис. 2
Схема работы кассетного трала:
 а – спускание в забой (начало работы);
 б – разработка залежи;
 в – смена заполненного конкрециями трала и подготовка к всплытию;
 1 – ковш-черпак (отвал);
 2 – узел крепления буксирного троса с противовесом заглубителем;
 3 – буксирный трос;
 4 – конкреции;
 5 – качающаяся плита;
 6 – кассета (основная горизонтальная часть);
 7 – тралы (приемные емкости);
 8 – высокопрочная сеть трала;
 9 – гибкий каркас проходного сечения трала;
 10а – верхний каток-держатель с баллоном сжатого воздуха;
 10б – нижний каток-держатель;
 11 – шарнир качающейся плиты;
 12 – пружинная тяга;
 13 – жесткий упор-держатель;
 14 – пружинная защелка;
 15 – наклонная (подающая) часть кассеты;
 16 – упругая тросовая тяга-фал,
 17 – подъемные баллоны-емкости;
 18 – баллоны со сжатым воздухом;
 I – рабочее положение плиты;
 II – разгрузочное положение плиты

Fig. 2
Cassette-type sweeper workflow:
 а – lowering to the working face (start of operation); б – mining of nodules;
 в – replacement of the sweeper filled with nodules and preparation for surfacing;
 1 – scoop (mouldboard);
 2 – tow rope fixing assembly with a penetrating counterbalance;
 3 – tow rope;
 4 – nodules;
 5 – swing-ing plate;
 6 – cassette (main horizontal part);
 7 – sweepers (intake vessels);
 8 – extra strong sweep-er net;
 9 – flexible frame of the sweepers' internal cross section;
 10а – top holding roller with a com-pressed air bottle;
 10б – bottom holding roller;
 11 – swinging plate hinge;
 12 – spring link;
 13 – rigid supporting rod;
 14 – spring latch;
 15 – inclined (feeding) part of the cassette;
 16 – elastic pulling rope;
 17 – cylinders for surfacing;
 18 – compressed air bottles;
 I – operational position of the plate;
 II – unloading position of the plate

наклонной части кассеты своей поверхностью. При этом жестко закрепленные на тросах упоры надежно фиксируют в рабочем положении верхние катки. Дальнейшее движение отвала растягивает упругую тросовую тягуфал, которая соединяет емкости, до расчетной длины жесткой составляющей. Жесткая часть тяги выдергивает запорный клапан баллонов со сжатым воздухом и те начинают наполнять подъемные емкости из высокопрочной специальной воздухопроницаемой ткани, соединенных между собой воздушной связью, пока трал не начинает всплывать. Давление воздуха в емкостях рассчитано таким образом, чтобы оно превышало на 0,01 МПа давление воды, а его объем позволял поднять на поверхность трал с конкрециями. Емкости оборудованы предохранительными клапанами, рассчитанными на превышение внутреннего (в емкостях) давления над забортным на 0,01 МПа. Эти клапаны позволяют стравливать лишний воздух по мере подъема емкости и уменьшения давления водной толщи.

После всплытия срабатывает сигнальное устройство и производится подъем трала с конкрециями на судноборщик (см. рис. 1). Также возможно оборудование тралов радиомаяком, что значительно облегчит поиск тралов с ЖМК в открытом море.

При небольших глубинах разработки (до 200–300 м), как в условиях Российской Арктики, на Черном и Каспийском морях, целесообразно оборудовать тралы не баллонами со сжатым воздухом, а всплывающими саморазматывающимися катушками-барабанами с высокопрочными нанотрубочными тросами (по образцу минрепа), за который и будет подниматься трал с конкрециями на судноборщик. Такая конструкция значительно повысит полезную вместимость трала и, следовательно, производительность комплекса, а также упростит саму его конструкцию и удешевит изготовление. Сетчатая емкость тралов позволяет освободить конкреции от иловых осадков еще в природной части, что значительно уменьшает негативное воздействие добычных работ на экосистему океана.

Комплекс в зависимости от назначения, инженерно-геологических свойств вмещающих донных отложений и глубины разработки может изготавливаться в различных вариантах с использованием во всех до 90% основных составляющих (узлов):

- при небольших глубинах разработки (до 1000 м) и слабых мягких (от жидкотекучих до мягкопластичных) глинистых вмещающих и подстилающих донных осадках к буксирному тросу прикреплен один трал (ковш-черпак

с комплектом кассет, смена которого происходит при заходе буксирного судна на следующую заходку;

- при значительных глубинах разработки и слабых и мягких донных осадках, вмещающих ЖМК, и большой протяженности залежи, а также при сгущении разведочной сети с целью сокращения непроизводительных простоев буксируемый трос изготавливается в виде бесконечной петли с закрепленными на нем через определенные промежутки тралами, которые попеременно заводятся в забойное пространство (этот вариант на рис. 1 не показан);

- в случае, если вмещающие и подстилающие железомарганцевые конкреции донные осадки представлены глинистыми, кремнисто-глинистыми и карбонатно-глинистыми породами, ковш-черпак оборудуется разработанным нами плужно-барабанным рыхлителем с гравитационным грохотом валкового типа;

- для увеличения производительности кассетные тралы специальным устройством (балкой) скрепляются вместе и увеличение общей ширины заходки кратно количеству используемых тралов;

- возможно соединение кассетных тралов уступом – ступенчато друг другу, формой «журавлиный клин» и т.п.

Заключение

Основными преимуществами разработанного кассетного трала в сравнении с ковшовым тралом Масуда (Япония), драгой-волокушей, дночерпателем грейдерного типа, самовсплывающей драгой и другими подобными предложениями являются:

- минимизация потерь полезного ископаемого в забое за счет исключения холостых проходов ковшей над залежью ЖМК или при их смене;

- более высокая наполняемость сетчатых приемных емкостей за счет контроля заполнения по массе добываемых ЖМК вне зависимости от плотности их залегания в заходке;

- независимость работы судна-буксировщика и транспортных судов, что позволяет более гибко планировать и увязывать горные и транспортные работы;

- наличие качающейся плиты исключает зацепление сетчатых емкостей о неровности дна.

Для обоснования работоспособности кассетного трала были произведены расчеты параметров и подъемного оборудования трала и параметры его работы по отбору проб и разработки залежи.

Список литературы

1. Безруков П.Л. (ред.) *Железомарганцевые конкреции Тихого океана*. М.: Недра; 1976.
2. Андреев С.И. (ред.) *Минеральные ресурсы Мирового океана: концепция изучения и освоения (на период до 2020 г.)*. СПб.: ВНИИ Океангеология; 2007.
3. Козловский Е.А., Малютин Ю.С. Мировой океан как резерв минерального сырья в XXI веке. В: *Мировая горная промышленность 2004–2005: история, достижения, перспективы*. М.: Горное дело; 2005. Т. 1. С. 165–179.
4. Гальперин А.М., Кириченко Ю.В., Щекина М.В., Каширский А.С., Якупов И.И. Оценка возможности вовлечения железомарганцевых месторождений морского дна в разработку. Ч. 1. Минерально-сырьевые ресурсы мирового океана. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2014;(5):134–142.
5. Гальперин А.М., Кириченко Ю.В., Щекина М.В., Каширский А.С., Якупов И.И. Оценка возможностей вовлечения железомарганцевых месторождений морского дна в разработку. Ч. 2. Перспективы разработки глубоководных месторождений твердого минерального сырья. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2014;(6):361–368.
6. Kirichenko U.V., Kashirsky A.S. Development of underwater fields of firm minerals for a solution of the problem of deficiency of the mineral raw materials. In: *Scientific Reports on Resource Issues*. Vol. 1: Innovations in Mineral Resource Value Chains: Geology,

Mining, Processing, Economics, Safety, and Environmental Management. Freiberg: Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg; 2014. P. 239–247.

7. Задорнов М.М., Романчук А.И., Болотов Л.А. *Минеральное сырье. Железомарганцевые образования*. М.: Геоинформмарк; 1998.

8. Мурдман И.О., Скорнякова Н.С. (ред.) *Железомарганцевые конкреции центральной части Тихого океана*. М.: Наука; 1986.

8. Кириченко Ю.В., Щекина М.В. *Наука о Земле. Ч. 2*. М.: Горная книга; 2009.

9. Кириченко Ю.В., Каширский А.С., Иващенко Г.С., Якупов И.И. *Способ добычи железомарганцевых конкреций из илистых донных отложений и устройство для его осуществления*. Патент РФ на изобретение № 2562304 от 11.08.2015.

References

1. Ferro-Manganese Nodules of Pacific Ocean. Under the editorship of Bezrukov P.L. – Proceedings of Institute of Oceanology of the Academy of Sciences of USSR. Vol. 109. – Moscow: Nedra, 1976. – 301 p.

2. Mineral Resources of World Ocean: Investigation and Development Concepts (for period un-til 2020). / Chief Editor Andreyev S.I. St.Petersburg, VNI Okeangeologia, 2007. – 97 p.

3. Kozlovskiy E.A., Malyutin Yu.S. World Ocean as Source of Minerals in 21 Century / World Mining Industry 2004-2005. – Vol.1. – p. 165–179.

4. Galperin A.M., Kirichenko Yu.V, Schekina M.V., Kashirskiy A.S., Yakupov I.I. Assessment of Possibilities to Develop Seafloor Deposits of Ferro-Manganese Nodules, Part I. Mineral and Raw Material Resources of the World Ocean. – Moscow: Mining Book. – 2014. GIAB – No.5, – p. 134–142.

5. Galperin A.M., Kirichenko Yu.V, Schekina M.V., Kashirskiy A.S., Yakupov I.I. Assessment of Possibilities to Develop Sea-Floor Deposits of Ferro-Manganese Nodules, Part II. Development Prospects of Deep-Sea Deposits of Solid Minerals. - Moscow: Mining Book. – 2014. GIAB – No.6. p. 361-368.

6. Kirichenko U.V., Kashirsky A.S. Development of underwater fields of firm minerals for a solution of the problem of deficiency of the mineral raw materials. I scientific Reports on Resource Issues 2014, vol.1, innovations in Mineral Resource Value Chains. – 2014, supported by the IVR Partner Universities, p. 239–247.

7. Zadornov M.M., Romanchuk A.I., Bolotov L.A. Mineral Raw Materials. Ferro-Manganese Formations. / Reference Book. – Moscow: CJSC «Geoinformmark», 1998. – 46 p.

8. Ferro-Manganese Nodules of Central Pacific. Under the editorship of Murdman I.O., Skornyakova N.S. – Proceedings of Institute of Oceanology of the Academy of Sciences of USSR. P. 122. – Moscow: Nauka, 1986. – 344 p.

8. Kirichenko Yu.V., Schekina M.V. Earth Science, Part 2. – Moscow: Mining Book. 2009. – 227 p.

9. Method to Mine Ferro-Manganese Nodules from Silty Bottom Sediments and Equipment for its Implementation. RF Patent of Invention No. 2562304 dated 11.08.2015 / Kirichenko Yu. V., Kashirskiy A.S., Ivaschenko G.S., Yakupov I. I.

Информация об авторах

Каширский Алексей Сергеевич – эксперт Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация.

Рахутин Максим Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горных машины Горного института НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: rahutin.mg@misis.ru.

Кириченко Юрий Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры геологии и маркшейдерского дела Горного института НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация.

Кузин Евгений Александрович – начальник Управления по контролю и надзору за объектами метрополитена Комитета государственного строительного надзора г. Москвы, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: KuzinEA@mos.ru.

Information about the authors

Alexey S. Kashirskiy – Expert, RF Ministry of Industry and Trade, Moscow, Russian Federation.

Maxim G. Rakhutin – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Mining Machines at the Mining Institute of the MISiS National Research Technological University, Moscow, Russian Federation, e-mail: rahutin.mg@misis.ru

Yuriy V. Kirichenko – Doctor of Engineering, Professor, Department of Geology and Mine Surveying at the Mining Institute of the MISiS National Research Technological University, Moscow, Russian Federation.

Yevgeniy A. Kuzin – Head of Department for Monitoring and Supervision of Underground Railway Facilities, Committee for State Construction Supervision of the City of Moscow, Moscow, Russian Federation, e-mail: KuzinEA@mos.ru.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.10.2019

Поступила после рецензирования: 25.11.2019

Принята к публикации: 05.12.2019

Article info

Received: 15.10.2019

Revised: 25.11.2019

Accepted: 05.12.2019