

УДК 622.271.5

Архипов Алексей Борисович

инженер,

Институт горного дела Дальневосточного
отделения Российской академии наук,
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева 51
e-mail: aleksevarhipov97@icloud.com

**ПОДВОДНАЯ ДОБЫЧА ТВЕРДЫХ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ:
ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ
ИХ РАЗВИТИЯ***Аннотация:*

В настоящее время наряду с добычей полезных ископаемых на материках весьма перспективной становится добыча их со дна континентального шельфа. В связи с этим актуальной становится тема подводной разработки, что требует создания новых технологий и инструментов, обеспечивающих безопасную, эффективную и надежную работу. Обоснована необходимость развития морской горнодобывающей отрасли в России.

В статье показано, что богатым природным потенциалом обладают прибрежные зоны морей Дальнего Востока России и одним из основных ресурсов являются месторождения прибрежно-морских ильменит-титаномагнетитовых песков в качестве сырья для получения железа и титана, которые необходимо вовлечь в разработку. Важным направлением считается разработка россыпей, например, добыча морского песка, так как она сопровождается образованием значительных объемов пустой породы.

Проведен анализ существующих современных методов подводной добычи полезных ископаемых. Разработка месторождений на дне морей и океанов имеет свои особенности и требует применения специальных способов освоения и использования ряда типов горных машин и оборудования. Показано, что перспективным оборудованием для подводной добычи полезных ископаемых, сконцентрированных в залежах малой мощности, являются самоходные дистанционно управляемые выемочные агрегаты, посредством которых может вестись разработка конкреций или песков. В свою очередь, конструкция самоходного выемочного агрегата, оснащенная сортировочным устройством для отделения из горной массы непродуктивной фракции, позволит уменьшить энергоемкость процесса добычи и подъема полезного ископаемого на поверхность и увеличить рентабельность ведения работ.

Ключевые слова: подводная добыча, полезные ископаемые, методы подводной добычи.

DOI:

Arkhipov Aleksey B.

Engineer,

Institute of Mining of the Far Eastern Branch RAS,
MI FEB RAS,
51 Turgenev Str., 680000 Khabarovsk,
e-mail: aleksevarhipov97@icloud.com

**UNDERWATER MINING OF SOLID
MINERALS: TECHNOLOGIES AND THEIR
DEVELOPMENT PROSPECTS***Abstract:*

Currently, along with mining on the continents, minerals extraction from the bottom of the continental shelf is becoming very promising. In this regard, the topic of underwater mining becomes relevant, which requires the creation of new technologies and tools that ensure safe, efficient and reliable operation. The necessity of developing the offshore mining industry in Russia is substantiated.

The article shows that the coastal zones of the seas of the Russian Far East have rich natural potential and ones of the main resources are the deposits of coastal-marine ilmenite-titanomagnetite sands as raw materials for the production of iron and titanium, which must be involved in development. The development of placers, such as the extraction of sea sand, is considered an important area, since it is accompanied by the formation of significant volumes of waste rock.

The analysis of existing modern methods of underwater mining is carried out. The development of deposits at the bottom of the seas and oceans has its own characteristics and requires the use of special methods for the development and use of a number of types of mining machinery and equipment. It is shown that promising equipment for underwater mining of minerals concentrated in low-power deposits are self-propelled remotely controlled dredging units, through which nodules or sands can be developed. In turn, the design of a self-propelled dredging unit equipped with a sorting device for separating unproductive fractions from the rock mass will reduce the energy intensity for the extraction process and for the lifting minerals to the surface and will increase the profitability of work.

Key words: underwater mining, minerals, methods of underwater mining.

Введение

По прогнозам специалистов, в ближайшие полвека потребление железной руды, меди, цинка, алюминия возрастет в 1,2 – 1,7 раза, а никеля – в 2–3 раза [8]. Уменьшение континентальных запасов этих полезных ископаемых и вовлечение в разработку все более бедных по содержанию месторождений полезных ископаемых со сложными горно-геологическими и гидрологическими условиями, освоение месторождений в отдаленных и необжитых районах с неблагоприятными климатическими и метеорологическими условиями [1–7] заставляет думать о богатствах Мирового океана. Мировой океан является потенциальным источником для получения многих видов полезных ископаемых. Такими являются железомарганцевые конкреции, кобальт-марганцевые корки, глубоководные сульфиды, россыпи золота и титана, строительные материалы и др. [8 – 10]. Подводные запасы некоторых полезных ископаемых весьма значительны и экономически привлекательны для освоения, что позволяет планировать различные проекты их разработки. Подводная добыча полезных ископаемых ведется в США, Канаде, ФРГ, Франции, Великобритании, Италии, Швеции, Дании, Японии и некоторых других странах.

Одним из примеров является Япония, целиком окруженная морями, одним из которых является Японское море. Японское море – тектонически активный регион со множеством подводных вулканов, что обуславливает формирование богатых месторождений полезных ископаемых, например, фосфоритов, марганца, барита. При добыче полезных ископаемых в Японии разрабатываются прибрежно-морские россыпи, содержащие в своем составе магнетит, титаномагнетит, ильменит. Содержание диоксида титана в концентратах тяжелой фракции из этих россыпей достигает 12 %, железа – 23 – 60 %.

Образование аллювиальных отложений титаномагнетитовых песков в прибрежной части связано с формированием продуктов разрушения вулканических пород. Запасы титаномагнетитовых песков в Японии оцениваются от 160 млн до 1 млрд т, эти пески используются для производства стали, титана, ванадия. В металлургическом производстве титаномагнетитовые пески используются для усреднения шихты. Во избежание разрушения собственных островов, японская промышленность использует импортные строительные материалы различного состава, в том числе песчано-гравийные смеси. Металлургическое производство, использующее ресурсы прибрежно-морских отложений, обогащенных минералами железа и титана, имеется в Новой Зеландии.

Богатым природным потенциалом обладают прибрежные зоны морей Дальнего Востока России. Одним из основных ресурсов являются месторождения прибрежно-морских ильменит-титаномагнетитовых песков в качестве сырья для получения железа и титана. Выделены районы их сосредоточения: Южно-Курильский, Халактырский и Озерновский (южная часть Камчатки), Южно-Сахалинский и Совгаванский [11].

Халактырский район простирается на 300 км вдоль восточного побережья Камчатки и включает месторождения Халактырское, Жупановское, Кроноцкое и др. На самом крупном Халактырском месторождении выполнена детальная разведка, по результатам которой определены запасы песка 78,7 млн т. Из него может быть получено 5,85 млн т титаномагнетитового концентрата и 0,96 млн т железа растворимого. Имеются перспективы увеличения запасов песка на 25 – 30 млн т.

Наибольшее число россыпей находится в Южно-Курильском районе: месторождения Ручарское, Рейдовское, Зеркальный Пляж, Ветровое и более 20 рудопроявлений.

На острове Итуруп находится десять прибрежно-морских ильменит-магнетитовых россыпей, на острове Уруп – семь, на шельфе острова Кунашир – шесть. Прогнозные ресурсы металлов в подводных россыпях составляют: ванадий – более 1 млн т, титан – 39 млн т, железо – 315 млн т.

Запасы титаномагнетитовых песков по категории С₂ для Рейдовского и Ручарского месторождений определены в 11,8 млн т, для Ветрового – в 3,5 млн т. Концен-

траты из песков содержат около 0,5 % пентоксида ванадия. Из ценных попутных примесей отмечались платина, золото, серебро, индий, скандий, палладий и галлий. Прогнозные ресурсы песка для месторождения Зеркальный Пляж оценены в 22,8 млн т, для Рейдовского и Ручарского – в несколько десятков миллионов тонн. Прогнозные ресурсы металлов 15 россыпей оцениваются в 13,1 млн т железа, 1,65 млн т диоксида.

По оценкам специалистов разработка россыпей может быть экономически оправдана при условии получения концентрата на месте. Возможно строительство завода по производству окатышей в одном из портов Сахалинской области, там есть необходимые для этого энергетические ресурсы. Также концентраты пригодны как сырье для получения пигментного диоксида титана.

Добыча морского песка. Разработка перечисленных месторождений будет сопровождаться образованием значительных объемов пустой породы – песка как строительного материала. Песок в своем составе имеет твердые минералы, преимущественно кварц и полевые шпаты. Получение морского песка производится намывным способом. Песок имеет высокую степень чистоты, поскольку не имеет в своем составе органических примесей. Достигается такая чистота промыванием на этапах добычи. Первый этап чистки – при погрузке на баржи, второй этап чистки – при выгрузке на склады. Таким образом, действует принцип двойной фильтрации, механическая фильтрация производится на месте добычи, гидромеханическая фильтрация – на оборудовании производства. Песок классифицируется на глинистый, пылевидный, крупнозернистый. Путем фракционирования состав песка освобождают от примесей глины и пыли. Сырье имеет стойкость к выветриванию, прочность и химическую инертность, благодаря преобладанию в составе кварца. Это преимущество дает возможность использовать песок в любых строительных работах.

Применение морского песка в производстве. Спрос на песок достаточно велик, строительному производству нужен данный материал. Применяется морской песок для изготовления бетона, тротуарных плиток, колодцев для канализации, лакокрасочных изделий, дренажных установок, а также для создания ландшафтного дизайна. Ключевым фактором ценообразования любого полезного ископаемого является сложность его добычи.

Разработка месторождений на дне морей и океанов имеет свои особенности и требует применения специальных способов освоения и использования ряда типов горных машин и оборудования. Так, различают скреперный, землесосный, дражный [9] и другие способы разработки подводных месторождений твердых полезных ископаемых.

Скреперным способом разрабатывают россыпные месторождения золота, железомарганцевых конкреций, строительных материалов (песок, гравий, ракушечник, кораллы) залегающих вблизи берегов на глубинах до 5 м. Канатно-скреперные установки, размещаемые на берегу, состоят из скреперного ковша, лебедки, приводной силовой станции и комплекта тросов и блоков. Для обеспечения работы канатно-скреперных установок в створе траншеи устанавливаются головная или хвостовая опоры. Во время рабочего хода при протягивании по дну происходит загрузка ковша с последующей выгрузкой грунта на берегу, после чего ковш выполняет холостой ход в начальное положение посредством хвостовой лебедки [6, 14]. Применяемые скреперные ковши имеют вместимость от 0,75 до 3,5 м³, ширину 1 – 2 м и длину хода до 150 м.

Землесосным способом выполняют добычные, дноуглубительные и гидротехнические работы: на глубинах до 20 м – землесосами общего назначения; на глубинах до 70 м – землесосами специального назначения. По условиям эксплуатации земснаряды могут разделяться на надводные, выносные и подводные, по типу транспортировки породы – на земснаряды с грунтовым насосом, эрлифтные, эжекторные и комбинированные, а по способу передвижения – самоходные и несамоходные. Земснаряды состоят из следующих основных узлов: понтона; породозаборного устройства (всасывающей трубы), которое служит для разрушения и забора породы; устройства для транспортирова-

ния породы; папильонажной системы для осуществления рабочих перемещений породозаборного устройства и всего земснаряда [15].

Дражный способ получил распространение при разработке подводных россыпных месторождений полезных ископаемых. Драга представляет собой комплекс машин и механизмов, смонтированных на плавсредстве [15]. Драга оснащается рабочим органом в виде многочерпаковой цепи на раме для добычи песков из-под воды, промывочно-обогащительными агрегатами для их обогащения, извлечения ценных минералов и транспортно-отвальным оборудованием для укладки пустых пород в отвал. Морские драги обычно монтируются на килевых судах, обеспечивающих их нормальную плавучесть и эксплуатацию в открытом море. Для разработки глубинных морских россыпей многочерпаковые драги не применяют, наиболее целесообразным в этом случае является использование одночерпаковых драг.

Каждый из перечисленных способов имеет свои преимущества и недостатки. Так, в скреперном способе обеспечивается совмещение процессов погрузки и транспортирования груза, его перемещение в горизонтальном и наклонных (вверх и вниз) направлениях, надежность работы в сложных условиях, простое изменение дальности доставки, невысокая стоимость, простота монтажа, однако для этого способа характерны малая производительность, ограниченная дальность транспортирования, быстрый износ канатов, высокая энергоемкость. К достоинствам землесосного и дражного способов можно отнести непрерывность технологического процесса извлечения и транспортирования грунта, высокий уровень комплексной механизации и возможность автоматизации управления, высокую производительность труда, а к недостаткам – сложность работы на связных грунтах [16 – 17].

Перспективным оборудованием для подводной добычи полезных ископаемых, сконцентрированных в залежах малой мощности, являются самоходные дистанционно управляемые выемочные агрегаты, посредством которых может вестись разработка конкреций или песков. Данные агрегаты в основном представляют собой гусеничное шасси, на котором размещено рабочее оборудование, обеспечивающее выемку полезного ископаемого и подъем по трубопроводу на дневную поверхность. Одним из реализованных проектов подобных агрегатов является подводный бульдозер, предназначенный для освоения прибрежных россыпей и планировки дна при строительных работах, конструкции «ЦНИИС-1» (СССР), который может работать на глубине до 16 м [6]. В Японии подводные бульдозеры выпускаются фирмами "Komatsu" и "Hitachi", так, бульдозер Д-155-1 фирмы "Komatsu" обеспечивает работу на глубине до 20 м, управляется оператором, находящимся на глубине, или дистанционно, для точного позиционирования установки на дне применяется акустическая система [15, 18, 19].

Недостатком выемочных агрегатов является валовая выемка и подъем грунта, включающего в себя как продуктивную фракцию, так и некондиционную (пустые породы). В связи с этим предлагается оснастить подобные выемочные агрегаты сортировочными устройствами для отделения некондиционной фракции на месте добычи (под водой) и подъема на поверхность лишь продуктивной фракции, что позволит уменьшить массу и размеры пульпопровода, а также снизит энергоемкость транспортировки.

Заключение

В связи с истощением запасов ряда полезных ископаемых на суше, все больше проявляется тенденция к росту добычи полезных ископаемых со дна морей. Выемка полезных ископаемых ведется преимущественно с помощью драг, землесосов, скреперных установок и другого оборудования. Перспективным оборудованием является конструкция самоходного выемочного агрегата, оснащенная сортировочным устройством для отделения из горной массы непродуктивной фракции, что позволит уменьшить энергоемкость процесса добычи и подъема полезного ископаемого на поверхность и увеличить рентабельность ведения работ.

Список литературы

1. Юматов Б.П., Валатка З.И., Секисов А.Г., Зыков Н.В., 1984. Управление рудопотоками на карьерах с использованием ЭВМ. *Горный журнал*, № 12, С. 33 – 41.
2. Секисов А.Г., Шевченко Ю.С., Лавров А.Ю., 2012. Взрывоинъекционная подготовка руд к выщелачиванию. *Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды*. Екатеринбург: Институт горного дела УрО РАН, С. 125 –132.
3. Чебан А.Ю., 2019. Совершенствование циклично-поточных технологий ведения горных работ с применением карьерных комбайнов. *Маркшейдерия и недропользование*, № 1, С. 20 – 22.
4. Frank U., 2014. Multi-perspective enterprise modeling: foundational concepts, prospects and future research challenges. *Software & Systems Modeling*. Vol. 13, No. 3, P. 941 - 962.
5. Чебан А.Ю., 2019. Технология разработки крутопадающих рудных тел с применением дистанционно управляемого горного оборудования. *Маркшейдерский вестник*, № 2, С. 56 – 60.
6. Ялтанец И.М., Бессонов Е.А., 1989. *Технология разработки обводненных месторождений в условиях Крайнего Севера*. Москва: Центральное правление Всесоюзного научно-технического горного общества, 98 с.
7. Секисов Г.В., Чебан А.Ю., 2021. Малоотходная технология освоения сложно-структурных месторождений с применением комбинированных схем выемки и переработки руд. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, № 6, С. 110-118.
8. Кириченко Ю.В., Каширский А.С., 2015. История и перспективы развития глубоководной добычи полезных ископаемых. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 11, С. 114 –122.
9. Кисляков В.Е., Катышев П.В., Шкаруба Н.А., Елизарьев В.С., Башкатова Я.П., 2021. Добыча полезных ископаемых со дна континентального шельфа автономным подводным комплексом. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3-1, С. 318 – 329.
10. Чебан А.Ю., 2016. Гидромеханизированная добыча строительных горных пород в бассейне реки Амур. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. С.О. Макарова*, № 2 (36), С. 73 – 78.
11. Архипов Г.И., Кулиш Е.А., Кулиш Л.И., Меркурьев К.М., Фрумкин И.М., 1985. *Железные и марганцевые руды Дальнего Востока*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 296 с.
12. Хрунина Н.П., Чебан А.Ю., 2015. Оценка влияния водонасыщения на дезинтеграцию высокоглинистых песков при разработке россыпей благородных металлов. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*, № 4 (52), С. 50 – 55.
13. Чебан А.Ю., 2015. Комплекс для перегрузки насыпных строительных материалов в средства водного транспорта. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*, № 5 (33), С. 43 – 47.
14. Добрецов В.Б., Опрышко Д.С., 2006. Канатно-скреперная разработка малых континентальных и прибрежно-морских россыпей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 10, С. 229 – 239.
15. Бруякин Ю.В., Бубис Ю.В., Молочников Л.Н., Нурок Г.А., Яблоков К.В., 1979. *Технология добычи полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов*. Москва: Недра, 381 с.
16. Кириченко Ю.В., Каширский А.С., Иващенко Г.С., 2019. Анализ экологического воздействия разработок подводных месторождений твердых полезных ископаемых. *Горная промышленность*, №3 (145), С. 92 – 97.

17. Кириченко Ю.В., Каширский А.С., 2016. Геоэкологические аспекты рационального использования океанических месторождений твердых полезных ископаемых. *Экология и промышленность России*, № 7, С. 36 – 41.

18. *Бульдозеры для подводных работ*. URL: <https://t-magazine.ru/pages/zb/> (дата обращения: 10.10.2022).

19. *Рытье траншей для подводных трубопроводов*. URL: <http://www.transportsense.ru/transens-712-4.html> (дата обращения: 10.10.2022).

References

1. Yumatov B.P., Valatka Z.I., Sekisov A.G., Zykov N.V., 1984. Upravlenie rudopotokami na kar'erakh s ispol'zovaniem EVM [Management of ore flows in quarries using computers]. *Gornyi zhurnal*, № 12, P. 33 – 41.

2. Sekisov A.G., Shevchenko Yu.S., Lavrov A.Yu., 2012. Vzryvoiv"ektsionnaya podgotovka rud k vyshchelachivaniyu . [Explosive preparation of ores for leaching]. *Fundamental'nye problemy formirovaniya tekhnogennoi geosredy*. Ekaterinburg: Institut gornogo dela UrO RAN, P. 125 –132.

3. Cheban A.Yu., 2019. Sovershenstvovanie tsiklichno-potochnykh tekhnologii vedeniya gornykh rabot s primeneniem kar'ernykh kombainov [Improvement of cyclic-flow technologies of mining operations with the use of quarry combines]. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*, № 1, P. 20 – 22.

4. Frank U., 2014. Multi-perspective enterprise modeling: foundational concepts, prospects and future research challenges. *Software & Systems Modeling*. Vol. 13, No. 3, P. 941 - 962.

5. Cheban A.Yu., 2019. Tekhnologiya razrabotki krutopadayushchikh rudnykh tel s primeneniem distantsionno upravlyaemogo gornogo oborudovaniya [Technology for the development of steeply falling ore bodies using remotely controlled mining equipment]. *Marksheiderskii vestnik*, № 2, P. 56 – 60.

6. Yaltanets I.M., Bessonov E.A., 1989. Tekhnologiya razrabotki obvodnennykh mestorozhdenii v usloviyakh Krainego Severa [Technology of development of irrigated deposits in the conditions of the Far North]. Moscow: Tsentral'noe pravlenie Vsesoyuznogo nauchno-tekhnicheskogo gornogo obshchestva, 98 p.

7. Sekisov G.V., Cheban A.Yu., 2021. Malootkhodnaya tekhnologiya osvoeniya slozhnostrukturnykh mestorozhdenii s primeneniem kombinirovannykh skhem vyemki i pererabotki rud [Low-waste technology for the development of complex-structured deposits using combined schemes of ore extraction and processing]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, № 6, P. 110-118.

8. Kirichenko Yu.V., Kashirskii A.S., 2015. Istoriya i perspektivy razvitiya glubokovodnoi dobychi poleznykh iskopaemykh [History and prospects of the development of deep-sea mining]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 11, P. 114 –122.

9. Kislyakov V.E., Katyshev P.V., Shkaruba N.A., Elizar'ev V.S., Bashkatova Ya.P., 2021. Dobycha poleznykh iskopaemykh so dna kontinental'nogo shel'fa avtonomnym podvodnym kompleksom [Extraction of minerals from the bottom of the continental shelf by an autonomous underwater complex]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3-1, P. 318 – 329.

10. Cheban A.Yu., 2016. Gidromekhanizirovannaya dobycha stroitel'nykh gornykh porod v basseine reki Amur [Hydro-mechanized mining of construction rocks in the Amur River basin]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. S.O. Makarova*, № 2 (36), P. 73 – 78.

11. Arkhipov G.I., Kulish E.A., Kulish L.I., Merkur'ev K.M., Frumkin I.M., 1985. Zheleznye i margantsevye rudy Dal'nego Vostoka [Iron and manganese ores of the Far East]. Vladivostok: DVNTs AN SSSR. 296 s.

12. Khrunina N.P., Cheban A.Yu., 2015. Otsenka vliyaniya vodonasyshcheniya na dezintegratsiyu vysokoglinistykh peskov pri razrabotke rossypei blagorodnykh metallov . [Influence assessment of water saturation on the disintegration of high-clay sands during development of placers of precious metals]. Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova, № 4 (52), P. 50 – 55.

13. Cheban A.Yu., 2015. Kompleks dlya peregruzki nasypnykh stroitel'nykh materialov v sredstva vodnogo transporta [A complex for transshipment of bulk construction materials into water transport vehicles]. Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova, № 5 (33), P. 43 – 47.

14. Dobretsov V.B., Opryshko D.S., 2006. Kanatno-skrepernaya razrabotka malykh kontinental'nykh i pribrezhno-morskikh rossypei [Rope-scraper development of small continental and coastal-marine placers]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 10, P. 229 – 239.

15. Bruyakin Yu.V., Bubis Yu.V., Molochnikov L.N., Nurok G.A., Yablokov K.V., 1979. Tekhnologiya dobychi poleznykh iskopaemykh so dna ozer, morei i okeanov [Technology of mining from the bottom of lakes, seas and oceans]. Moscow: Nedra, 381 p.

16. Kirichenko Yu.V., Kashirskii A.S., Ivashchenko G.S., 2019. Analiz ekologicheskogo vozdeistviya razrabotok podvodnykh mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh [Analysis of the environmental impact of the development of underwater deposits of solid minerals]. Gornaya promyshlennost', №3 (145), P. 92 – 97.

17. Kirichenko Yu.V., Kashirskii A.S., 2016. Geoekologicheskie aspekty ratsional'nogo ispol'zovaniya okeanicheskikh mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh [Geoecological aspects of the rational use of oceanic deposits of solid minerals]. Ekologiya i promyshlennost' Rossii, № 7, P. 36 – 41.

18. Bul'dozery dlya podvodnykh rabot [Bulldozers for underwater work]. URL: <https://t-magazine.ru/pages/zb/> (data obrashcheniya: 10.10.2022).

19. Ryt'e transhei dlya podvodnykh truboprovodov [Digging trenches for underwater pipelines]. URL: <http://www.transportsense.ru/transens-712-4.html> (data obrashcheniya: 10.10.2022).