

**А.К. КИРСАНОВ  
П.В. КАТЫШЕВ**

# **ГЛУБОКОВОДНАЯ ДОБЫЧА ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ОЦЕНКА ЕЁ ВОЗМОЖНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ**



**«Инфра-Инженерия»**

**А. К. Кирсанов, П. В. Катышев**

**ГЛУБОКОВОДНАЯ ДОБЫЧА  
ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ОЦЕНКА  
ЕЁ ВОЗМОЖНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ**

Монография

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2026

УДК 622.232

ББК 33.11

К43

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора  
ФГБУ ВНИИОкеангеология, профессор кафедры геологии месторождений полезных  
ископаемых СПбГУ, член юридической и технической комиссии Международного органа по  
морскому дну *Черкашён Георгий Александрович*;

доктор биологических наук, академик РАН, научный руководитель направления  
Экологии морей и океанов Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН  
*Флинт Михаил Владимирович*

**Кирсанов, А. К.**

**К43** Глубоководная добыча твёрдых полезных ископаемых и оценка её воз-  
можных экологических последствий : монография / А. К. Кирсанов,  
П. В. Катышев. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2026. – 236 с. : ил.,  
табл.

ISBN 978-5-9729-2815-6

Представляет собой всестороннее исследование перспектив развития глубоковод-  
ной добычи твёрдых полезных ископаемых, включая её экономические, технологиче-  
ские и экологические аспекты. Анализируются текущие мировые тенденции, экономи-  
ческие стимулы и правовые аспекты, связанные с подводной добычей. Особое внима-  
ние уделено потенциальным экологическим рискам и способам их минимизации.

Для научных сотрудников, инженеров, аспирантов и студентов, специализирую-  
щихся в области горного дела и экологии.

554589

УДК 622.232

ББК 33.11



ISBN 978-5-9729-2815-6

© Кирсанов А. К., Катышев П. В., 2026

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2026

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....  | 11 |
| <b>ГЛАВА 1. ОПЫТ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПОДВОДНЫМ СПОСОБОМ</b> .....            | 12 |
| 1.1. Краткая история развития отрасли .....  | 12 |
| 1.2. Вопросы правового регулирования подводной добычи полезных ископаемых.....                               | 14 |
| 1.3. Оборудование для подводной добычи твёрдых полезных ископаемых.....                                      | 20 |
| 1.4. Действующие предприятия по производству средств подводной добычи .....                                  | 24 |
| 1.4.1. Действующие предприятия в РФ .....  | 24 |
| 1.4.2. Действующие предприятия Северной Америки.....   | 29 |
| 1.4.3. Действующие предприятия Европы .....  | 32 |
| 1.4.4. Действующие предприятия Азиатско-Тихоокеанского региона .....   | 33 |
| 1.5. Действующие предприятия, осуществляющие разведку и разработку морского дна.....                         | 36 |
| 1.6. Обобщение выводов, постановка задач исследования .....  | 40 |
| <b>ГЛАВА 2. ОБЗОР ЭКОНОМИЧЕСКИХ СТИМУЛОВ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ</b> ..... | 42 |
| 2.1. Дефицит ресурсов и повышающийся спрос на них.....   | 43 |
| 2.1.1. Истощение минерально-сырьевой базы на суше.....   | 43 |
| 2.1.2. Увеличение спроса на определённые виды минерального сырья .....                                       | 46 |
| 2.1.2.1. Редкоземельные элементы .....   | 46 |
| 2.1.2.2. Литий и кобальт.....  | 51 |
| 2.1.2.3. Медь и алюминий .....   | 58 |
| 2.1.2.4. Драгоценные металлы .....   | 63 |
| 2.2. Стоимость полезных ископаемых.....  | 68 |
| 2.2.1. Динамика спроса и предложения .....   | 70 |
| 2.2.2. Рыночные условия.....   | 71 |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.3. Экологическое регулирование .....                    | 71 |
| 2.2.4. Качество сырья.....                                  | 72 |
| 2.3. Технологические достижения.....                        | 73 |
| 2.3.1. Геологоразведка и оценка ресурсов.....               | 73 |
| 2.3.2. Добыча и производство.....                           | 75 |
| 2.3.3. Переработка и извлечение полезных компонентов.....   | 77 |
| 2.3.4. Аналитика данных и автоматизация.....                | 78 |
| 2.3.5. Экологическая и энергетическая эффективность.....    | 79 |
| 2.4. Стратегическая ресурсная независимость.....            | 81 |
| 2.4.1. Важность стратегической ресурсной независимости..... | 81 |
| 2.4.2. Разработка собственной минерально-сырьевой базы..... | 83 |
| 2.4.3. Диверсификация источников поставок.....              | 84 |
| 2.5. Создание рабочих мест и экономическое развитие.....    | 85 |
| 2.5.1. Прямая занятость в горнодобывающем секторе .....     | 86 |
| 2.5.2. Косвенная занятость и экономические связи .....      | 87 |
| 2.6. Основные выводы.....                                   | 89 |

## **ГЛАВА 3. ОБЗОР ОТРАСЛЕЙ И СТРАН, ВОВЛЕЧЁННЫХ В ПОДВОДНУЮ ДОБЫЧУ ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ..... 90**

|  |     |
|--|-----|
| 3.1. Вовлечённые в подводную отработку месторождений отрасли....   | 90  |
| 3.1.1. Сектор возобновляемых источников энергии.....               | 90  |
| 3.1.1.1. Морская ветроэнергетика .....                             | 90  |
| 3.1.1.2. Морские энергетические технологии .....                   | 92  |
| 3.1.1.3. Солнечная энергетика .....                                | 94  |
| 3.1.1.4. Цели устойчивого развития.....                            | 94  |
| 3.1.2. Сектор электроники и технологий.....                        | 96  |
| 3.1.2.1. Бытовая электроника .....                                 | 96  |
| 3.1.2.2. Сектор информационно-коммуникационных<br>технологий ..... | 98  |
| 3.1.2.3. Полупроводниковая промышленность.....                     | 100 |
| 3.1.2.4. Экологически безопасная электронная техника.....          | 102 |
| 3.1.2.5. Глобальный рынок и торговля .....                         | 104 |
| 3.1.2.6. Цифровая трансформация .....                              | 107 |
| 3.1.3. Аэрокосмическая и оборонная промышленность .....            | 108 |
| 3.1.4. Производственная и строительная отрасли .....               | 110 |
| 3.1.4.1. Производственный сектор .....                             | 110 |
| 3.1.4.2. Строительный сектор.....                                  | 110 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.2. Вовлечённые в подводную обработку месторождений страны .....                      | 111 |
| 3.2.1. Прибрежные государства .....  | 111 |
| 3.2.1.1. Прибрежные страны с протяжённой береговой линией .....                        | 111 |
| 3.2.1.2. Прибрежные государства с исключительными экономическими зонами .....          | 115 |
| 3.2.1.3. Развивающиеся прибрежные страны .....   | 117 |
| 3.2.1.4. Малые островные развивающиеся государства (МОРАГ) .....                       | 118 |
| 3.2.2. Технологически развитые государства .....                                       | 120 |
| 3.2.2.1. Технологическое лидерство .....   | 120 |
| 3.2.2.2. Глубоководная разведка и добыча .....   | 121 |
| 3.2.2.3. Горнодобывающее оборудование и системы .....                                  | 122 |
| 3.2.2.4. Экологический менеджмент .....  | 123 |
| 3.2.2.5. Обмен знаниями и наращивание потенциала .....                                 | 125 |
| 3.2.3. Ресурсозависимые государства .....  | 126 |
| 3.2.3.1. Экономическая зависимость .....   | 126 |
| 3.2.3.2. Управление ресурсами .....  | 127 |
| 3.2.3.3. Диверсификация экономики .....  | 129 |
| 3.2.4. Наименее развитые страны .....  | 130 |
| 3.2.4.1. Основные проблемы НРС, осложняющие развитие их горнодобывающего сектора ..... | 130 |
| 3.2.4.2. Возможности и перспективы развития горнодобывающей отрасли в НРС .....        | 134 |
| 3.3. Основные выводы .....   | 135 |

## **ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРИ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧЕ**

### **ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ .....**

|   |     |
|---|-----|
| 4.1. Неизбежные воздействия глубоководной добычи .....  | 138 |
| 4.1.1. Физическое разрушение участка дна акватории и утрата местообитаний для донных организмов ..... | 139 |
| 4.1.2. Образование осадочного шлейфа (плюма) .....  | 142 |
| 4.1.3. Высвобождение тяжёлых металлов и их вовлечение в пищевые цепи .....                            | 143 |
| 4.1.4. Свето-шумовое загрязнение .....  | 144 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.2. Действующая антропогенная нагрузка на морские экосистемы .....          | 144 |
| 4.2.1. Техногенные аварии .....  | 145 |
| 4.2.1.1. Техногенные аварии, допущенные из-за человеческих ошибок .....      | 145 |
| 4.2.1.2. Техногенные аварии, спровоцированные вооружёнными конфликтами ..... | 148 |
| 4.2.2. Проникновение пластика .....  | 151 |
| 4.2.3. Ошибки в создании и эксплуатации аквакультур.....                     | 153 |
| 4.3. Влияние на окружающую среду .....                                       | 154 |
| 4.3.1. Локальные вспышки мора .....  | 155 |
| 4.3.2. Накопление токсичных веществ в воде и живых существах .....           | 156 |
| 4.3.3. Снижение биологической продуктивности .....                           | 157 |
| 4.3.4. Прогрессирующая эвтрофикация .....                                    | 157 |
| 4.4. Основные выводы.....  | 157 |

## **ГЛАВА 5. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ ГОСУДАРСТВ, КОМПАНИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ ПРИ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧЕ ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ .....**

**160**

|  |     |
|--|-----|
| 5.1. Коммерческие компании.....                    | 161 |
| 5.1.1. Разведка перспективных зон .....            | 164 |
| 5.1.2. Лоббирование интересов.....                 | 164 |
| 5.1.3. Инвестирование в наукоёмкие разработки..... | 165 |
| 5.2. Экологические организации .....               | 166 |
| 5.2.1. Лоббирование интересов.....                 | 167 |
| 5.2.2. Проведение информационных кампаний .....    | 168 |
| 5.3. Государства.....                              | 170 |
| 5.4. Столкновение интересов .....                  | 174 |

## **ГЛАВА 6. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ НАПРАВЛЕНИЙ БУДУЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ .....**

**177**

|  |     |
|--|-----|
| 6.1. Предложения и рекомендации для коммерческих компаний .....    | 178 |
| 6.2. Предложения и рекомендации для государств .....               | 180 |
| 6.3. Предложения и рекомендации для международных организаций..... | 183 |
| 6.4. Основные выводы.....  | 185 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>   | <b>187</b> |
| <b>БЛАГОДАРНОСТИ .....</b>                                       | <b>189</b> |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>                                   | <b>190</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОРГАН<br/>ПО МОРСКОМУ ДНУ .....</b> | <b>225</b> |



## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

---

**АЭС** – атомная электростанция

*Электростанция, использующая ядерную реакцию для производства электроэнергии.*

**БПЛА** – беспилотные летательные аппараты

*Летательный аппарат, не имеющий пилота на борту, который может управляться дистанционно оператором или работать автономно по заранее запрограммированным маршрутам или задачам с использованием систем управления и навигации.*

**ВЭС** – ветряная электростанция

*Электростанция, использующая энергию ветра для выработки электричества с помощью ветрогенераторов.*

**ВВП** – валовой внутренний продукт

*Экономический показатель, представляющий собой общую рыночную стоимость всех товаров и услуг, произведённых на территории страны за определённый период времени (обычно за год или квартал).*

**ГИС** – географические информационные системы

*Системы для анализа и отображения географических данных.*

**ДРК** – Демократическая Республика Конго

*Государство в Центральной Африке.*

**ЕС** – Европейский Союз

*Экономический и политический союз 27 европейских государств.*

**ИЭЗ** – исключительная экономическая зона

*Морские районы, в которых государство имеет право на разработку ресурсов.*

**ИКТ** – информационно-коммуникационные технологии

*Технологии, используемые для обработки, передачи и хранения информации.*

**ИИ** – искусственный интеллект

*Технологии, способные имитировать когнитивные функции человека, такие как обучение и решение задач.*

**КНР** – Китайская Народная Республика

*Государство в Восточной Азии.*

**МПП** – металлы платиновой группы

*Группа благородных металлов, включающая платину, палладий и другие металлы с похожими свойствами.*

**МАГАТЭ** – Международное агентство по атомной энергии

*Международная организация, контролирующая использование атомной энергии в мирных целях.*

**МСОП** – Международный союз охраны природы

*Организация, занимающаяся сохранением природы и природных ресурсов.*

**МОРАГ** – малые островные развивающиеся государства

*Группа стран, которые являются малыми островными странами с уникальными экономическими и экологическими проблемами.*

**НРС** – наименее развитые страны

*Категория стран, определяемых ООН, которые характеризуются низким уровнем доходов, человеческим развитием и экономической уязвимостью.*

**НИОКР** – научные исследования и опытно-конструкторские разработки

*Процесс создания новых знаний и технологий.*

**ОАЭ** – Объединённые Арабские Эмираты

*Государство в Персидском заливе.*

**ОВОС** – оценка воздействия на окружающую среду

*Процедура анализа потенциальных экологических последствий проектных решений.*

**ООН** – Организация Объединённых Наций

*Международная организация, созданная для поддержания мира и безопасности, а также для развития международного сотрудничества.*

**ООПТ** – особо охраняемые природные территории

*Участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, где располагаются природные комплексы и объекты, которые имеют особое природоохранное, научное, культурное и т. д. значение.*

**РЗЭ** – редкоземельные элементы

*Группа химических элементов, которые используются в производстве высокотехнологичных устройств и электроники.*

**РФ** – Российская Федерация

*Государство в Восточной Европе и Северной Азии.*

**СМИ** – средства массовой информации

*Организации или платформы, занимающиеся распространением информации и новостей для широкой аудитории.*

**СССР** – Союз Советских Социалистических Республик

*Бывшее государство, существовавшее с 1922 по 1991 г., состоявшее из республик в Евразии.*

**США** – Соединённые Штаты Америки

*Государство в Северной Америке.*

**ЦУР** – Цели устойчивого развития ООН

*Глобальные цели, определённые ООН для улучшения благосостояния людей и охраны планеты.*

**ЮНЕСКО** – Организация Объединённых Наций по вопросам образования, науки и культуры

*Специализированное агентство ООН, занимающееся вопросами образования, науки и культуры.*

**ЮАР** – Южно-Африканская Республика

*Государство на юге Африки.*

**COVID-19** – коронавирусная болезнь 2019 г.

*Инфекционное заболевание, вызванное вирусом SARS-CoV-2, впервые выявленным в декабре 2019 г. в Ухане, Китай.*

**EMEC** – European Marine Energy Center (Европейский центр морской энергии)

*Организация, занимающаяся исследованием и развитием морских энергетических технологий.*

**ETF** – Exchange-Traded Fund (Биржевой фонд)

*Инвестиционный фонд, торгуемый на бирже, представляющий собой портфель активов.*

**ICP-MS** – Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой)

*Метод для анализа химического состава, использующий индуктивно-связанную плазму и масс-спектрометрию.*

**ISA** – International Seabed Authority (Международный орган по морскому дну)

*Организация, регулирующая деятельность по разведке и использованию минеральных ресурсов морского дна за пределами национальных юрисдикций.*

**IoT** – Internet of Things (Интернет вещей)

*Концепция сети устройств, связанных между собой и обменивающихся данными через интернет.*

**JOGMEC** – Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

*Японская национальная корпорация по нефти, газу и металлам.*

**OTEC** – Ocean Thermal Energy Conversion (Океанская тепловая энергия)

*Технология преобразования тепловой энергии океана в электроэнергию.*

**USGS** – United States Geological Survey (Геологическая служба США)

*Научное агентство правительства США, занимающееся исследованиями природных ресурсов и природных опасностей.*

**VR** – Virtual Reality (виртуальная реальность)

*Технология, создающая иммерсивную среду, имитирующую физическое присутствие.*

**WWF** – World Wildlife Fund (Всемирный фонд дикой природы)

*Международная неправительственная организация, основанная в 1961 г., работающая в области охраны природы и устойчивого развития.*

**XRF** – X-ray fluorescence (рентгеновская флуоресценция)

*Метод анализа материалов с использованием рентгеновских лучей для определения их состава.*

## ВВЕДЕНИЕ

---

Подводная добыча – это растущая отрасль, которая включает в себя добычу металлов и полезных ископаемых со дна океана. Данные полезные ископаемые находятся в богатых залежах на глубине до 6000 метров и включают в себя драгоценные металлы, такие как золото, серебро, кобальт, никель и марганец, а также редкоземельные элементы, используемые в электронике и других высокотехнологичных отраслях промышленности [1–7]. По мере истощения наземных месторождений полезных ископаемых компании всё чаще обращаются к океанам, чтобы удовлетворить растущий спрос на эти ресурсы.

Практика подводной добычи полезных ископаемых не нова. Фактически, она существует с 1960-х годов, но в последнее время интерес к ней возрос в связи с развитием технологий и ростом мирового спроса на металлы и минералы. Однако, как и любая добывающая промышленность, подводная добыча имеет значительные негативные экологические последствия, которые необходимо тщательно оценивать и контролировать.

В данной работе мы рассмотрим экологические последствия подводной добычи твёрдых полезных ископаемых, изучим возможное влияние на морское биоразнообразие и экосистемы, экономические факторы отрасли, а также действующие в настоящее время нормы и методы управления подводной добычей для смягчения экологических последствий. Мы также обсудим будущие направления и рекомендации по улучшению управления подводной добычей твёрдых полезных ископаемых, чтобы минимизировать её воздействие на океаническую среду.