

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 *Черкашёв 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 возможных 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 глубоководной добычи твёрдых полезных ископаемых, включая её экономические, технологические и экологические аспекты. Анализируются текущие мировые тенденции, экономические стимулы и правовые аспекты, связанные с подводной добычей. Особое внимание уделено потенциальным экологическим рискам и способам их минимизации.

Для научных сотрудников, инженеров, аспирантов и студентов, специализирующихся в области горного дела и экологии.

554589

УДК 622.232

ББК 33.11

БИБЛИОТЕКА

ФГАОУ ВО

Сибирский федеральный

© Кирсанов А. К., Катышев П. В., 2026

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2026

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2026

ISBN 978-5-9729-2815-6

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
ГЛАВА 1. ОПЫТ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПОДВОДНЫМ СПОСОБОМ	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
ГЛАВА 2. ОБЗОР ЭКОНОМИЧЕСКИХ СТИМУЛОВ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	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 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 отработку 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	136
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 научные 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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	187
БЛАГОДАРНОСТИ	189
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	190
ПРИЛОЖЕНИЕ. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОРГАН ПО МОРСКОМУ ДНУ	225

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.

МПГ – металлы платиновой группы

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

МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии

Междуннародная 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

Междунородная 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.

РЭ – 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.