УДК 504.4.054:622.3

Шихбалаева Азиза Сахибовна, студент
Ионина Анна Валерьевна, доцент, к.т.н.
(СибГИУ, г. Новокузнецк)
Shikhbalaeva Aziza Sakhibovna, student
Ionina Anna Valeryevna, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences
(SibGIU, Novokuznetsk)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АНТРОПОГЕННОГО ЗАИЛЕНИЯ: ВЛИЯНИЕ ОСАДОЧНЫХ ОБЛАКОВ НА ПЕЛАГИЧЕСКИЕ И БЕНТОСНЫЕ СООБЩЕСТВА АБИССАЛИ

ECOLOGICAL CONSEQUENCES OF ANTHROPOGENIC SILTATION: THE IMPACT OF SEDIMENT PLUMES ON PELAGIC AND BENTHIC COMMUNITIES OF THE ABYSSAL ZONE

Аннотация: рассмотрены экологические последствия антропогенного заиления в абиссали при глубоководной добыче. Особое внимание уделено мелким частицам (<10 мкм) как главному фактору дальнего переноса и длительного воздействия.

Annotation: the ecological consequences of anthropogenic siltation in the abyssal zone during deep-sea mining are considered. Special attention is paid to fine particles (<10 μm) as the main factor of long-distance transport and long-term impact.

Антропогенное заиление – явление, при котором в результате человеческой деятельности в воде возрастает количество взвешенных частиц. В абиссальной зоне (на глубинах от 3000 до 6000 метров) эта проблема тесно связана с разработкой глубоководных месторождений полезных ископаемых. Экосистемы абиссали формировались на протяжении миллионов лет в относительно стабильных условиях, и они крайне уязвимы к внезапным изменениям.

В связи с растущим спросом на металлы, необходимые для перехода к «зелёным» технологиям, вопрос приобретает особую остроту. При этом мы до сих пор мало знаем о том, что будет с океаном в долгосрочной перспективе из-за глубоководной добычи. Данных о жизни пелагических сообществ не хватает, а роль флокуляции толком не изучена. К тому же нет единых методов, чтобы измерять шлейфы осадочных материалов [1].

Цель работы – понять, какую роль играют мелкие фракции осадка в том, какие зоны попадают под воздействие глубоководной добычи. И заодно уточнить, как подходить к нормированию их содержания.

В соответствии с поставленной целью будем решить следующие задачи:

1) описать образование и распространение осадочных облаков;

2) оценить их влияние на бентосные и пелагические сообщества;

3) систематизировать по регулированию пороговые значения и позиции;

4) обосновать, почему нужно обязательно учитывать мелкие частицы при разработке критериев безопасности.

Рассмотрим, как выглядит процесс заиления. По дну снимается верхний слой осадка с конкрециями при движении коллектора, около 5 см. Поднятые с дна частицы формируют придонный шлейф, который проходит через три этапа. Первый этап – направленная струя. Второй – всплывающий шлейф, обусловленный силой плавучести. Третий – пассивный перенос с помощью течений. На то, как ведёт себя шлейф, влияет несколько главных факторов: размер частиц, скорость их оседания, скорость придонных течений и высота, с которой происходит сброс. Чем мельче частицы, тем дольше они держатся в воде во взвешенном состоянии. А значит, тем дальше их могут унести потоки воды [2].

Частицы более 30 мкм оседают достаточно быстро – до нескольких сотен метров от места, куда их сбросили. Частицы, которые имеют размер меньше 10 мкм могут долго оставаться во взвеси. Течения переносят их на расстояния до 4,5 км, а порой и дальше. При этом большую роль играет флокуляция, то есть мелкие частицы слипаются в более крупные агрегаты и оседают быстрее. Однако, механизмы этого процесса ещё нужно дополнительно изучать. За несколько часов после сброса оседает основная масса осадка. А вот шлейф из самых мелких фракций может держаться до трёх суток. В итоге образуется слой переотложенного осадка толщиной до 3–4 сантиметров, который постепенно истончается по мере удаления от источника рядом с местами добычи [3].

Бентосные организмы подвергаются прямому негативному воздействию заиления: происходит деградация их естественных местообитаний, а сами животные рискуют оказаться погребенными под слоем осадка. Наиболее уязвимы к этому процессу губки, кораллы, полихеты, двустворчатые моллюски и представители мейофауны. Например, поры губок имеют диаметр около 200 мкм, и частицы размером от 10 до 100 мкм могут забивать их систему фильтрации и нарушать питание. Частицы менее 60 мкм особенно опасны, так как они дольше остаются во взвеси и распространяются на большие расстояния и, тем самым, увеличивают зону негативного воздействия. А восстановление таких сообществ может занять столетия и даже больше [4].

Также страдают от осадочных облаков и пелагические организмы, населяющие толщу воды. Из-за повышенной мутности затрудняется их питание, коммуникация и поиск партнёров. Особенно уязвимы планктонофаги и фильтраторы. Так, например, медузы, при увеличении концентрации

взвеси, испытывают стресс. Кроме того, поднятые со дна осадки могут содержать токсичные вещества и тяжёлые металлы, которые попадают в воду и накапливаются в живых организмах. Шлейфы могут подниматься в верхние слои воды и переноситься на большие расстояния. Так зона влияния расширяется далеко за пределы района добычи [2].

Для оценки экологических рисков используют два основных параметра: мутность и толщину слоя переотложенного осадка. Безопасным для придонных видов рыб считается порог мутности 10 мг на литр. Для холодноводных кораллов рекомендуют, чтобы слой переотложения не превышал 10 мм. Есть и классификация воздействия по толщине слоя: 0–1 мм – слабое, 1–3 мм – умеренное, 3–10 мм – значительное, а больше 10 мм – сильное.

Рядом с местами добычи мутность может доходить до 58–76 миллиграммов на литр, а это заметно выше фоновых значений. Через трое суток после остановки добычи показатель падает до 0,23–0,49 миллиграмма на литр, но шлейф при этом исчезает не сразу [2, с. 10].

Глубоководную добычу регулирует Международный орган по морскому дну, созданный в соответствии с Конвенцией ООН по морскому праву. Но единых обязательных правил пока нет, и мнения стран на этот счёт расходятся. Основные подходы к регулированию и позиции сторон собраны в таблице 1.

Таблица 1. Позиции по регулированию глубоководной добычи

Подход	**Страны и организации**	**Основные требования**
Мораторий	Бразилия, Франция, Чили, Европейская академия наук, Европарламент	Приостановить добычу до прояснения воздействия на экосистемы [1]
Скорейшее начало	Китай, Япония, крупные добывающие компании	Принять правила и начать промышленную добычу [1]
Поэтапное регулирование	Норвегия, Россия, ряд стран	Развивать технологии и вводить правила по мере накопления данных [1]

Осадочные облака – серьёзная экологическая угроза, которую несёт с собой глубоководная добыча. Влияние этих облаков выходит за пределы районов добычи, а частицы менее 10 мкм – это основной фактор масштабного и долгосрочного воздействия. Стоит обращать особое внимание при разработке пороговых значений безопасности именно на эти частицы. Нужна система наблюдения в режиме реального времени, чтобы эффективно контролировать ситуацию. Для оценки параметров шлейфов и гибкие механизмы управления, которые учитывают уникальность каждой экосистемы также нужны единые международные критерии. Полностью отказаться от добычи, скорее всего, не получится, так как растёт потребность в

металлических ресурсах. Но вести её надо на научной основе и под строгим контролем, чтобы как можно меньше навредить глубоководным биологическим сообществам [4, с. 3].

Список литературы

1. Гриняев, С. Н. Глубоководная добыча полезных ископаемых: мировые тенденции / С. Н. Гриняев // Современная Европа. – 2025. – № 3. – С. 79-89.
2. Wang, X. Assessing the Environmental Impact of Deep-Sea Mining Plumes: A Study on the Influence of Particle Size on Dispersion and Settlement Using CFD and Experiments / X. Wang, Z. Chen, J. Xia // Journal of Marine Science and Engineering. – 2025. – Vol. 13, № 10. – Art. 1987. – DOI: 10.3390/jmse13101987.
3. New Study Examines the Spread of Deep-Sea Mining Sediment Plumes // Ocean News & Technology. – 2025. – 6 March. – URL: https://www.oceannews.com (дата обращения: 22.09.2026).
4. Кирсанов, А. К. Глубоководная добыча твёрдых полезных ископаемых и оценка её возможных экологических последствий / А. К. Кирсанов, П. В. Катышев. – Москва Вологда: Инфра-Инженерия, 2026. – 236 с. – ISBN 978-5-9729-2815-6.