

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСАЖДЕННОЙ ВЗВЕСИ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ РАКООБРАЗНЫХ

Сергеева О. В., Медянкина М. В., Самойлова Т. А., Кузьмина К. А.

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Москва, e-mail: frog_o@mail.ru

В работе приведены экспериментальные данные по исследованию влияния осажженной взвеси на морские организмы зообентоса (бокоплавы, вид *Gammarus aequicauda*). Эксперименты проведены в садках в природном водном объекте (Бугазский лиман Кизилташской группы лиманов в прибрежной части Черного моря), где были отловлены бокоплавы. Основным фактором воздействия на жизнедеятельность бокоплавов в эксперименте являлось механическое воздействие осадка. При засыпке организмов слоем взвеси 3,2 см наблюдалась гибель 17 % организмов, 8,5 см – 33,3 % организмов за 4 суток. Полученные экспериментальные данные соответствуют используемым в настоящее время критериям потерь зообентоса при осаждении взвеси при дноуглублении и дампинге грунта. В дальнейшем, при постановке экспериментов по осаждению взвеси на бентос (и при расчете ущерба биоресурсам) необходимо учитывать также время засыпки организмов бентоса, при котором отмечается их 100 % гибель.

Ключевые слова: гидротехническое строительство, дноуглубление, осаждение взвеси, зообентос, оценка воздействия.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE SUSPENDED AT SURVIVALSHIP OF CRUSTACEANS

Sergeeva O. V., Mediankina M. V., Samoylova T. A., Kyzmina K. A.

Russian Federal Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, e-mail: frog_o@mail.ru

This paper reports the results of experimental research of the influence of sediment settling on marine bottom dweller *Gammarus aequicauda* (Amphipoda). Experiments were carried out within cages in natural basin (Bugaz estuary of Kiziltash group of coastal estuaries in the Black Sea), where amphipods were collected. The crucial factor, influencing vital activity of crustaceans, was mechanical impact of sediments. When filling, at 3,2 cm sediment depth mortality of 17 % was observed, and 33,3 % of mortality – at 8,5 cm sediment depth up to 4 days. The experimental data are consistent with the currently used criteria for loss of zoobenthos in the deposition of suspended during dredging and dumping ground. From now forth on the deposition of suspended matter in the zoobenthos (and in the calculation of damage to biological resources), necessary to include the time of filling of the benthic organisms, in which their 100 % mortality is registering.

Key words: hydraulic engineering, dredging, sedimentation of suspended matter, zoobenthos, impact assessment.

Введение

Строительство гидротехнических сооружений в прибрежной зоне морей связано с проведением дноуглубительных работ. Дноуглубительные работы, образование отвалов при размещении донного грунта (дампинг) вызывают загрязнение минеральной взвесью (в составе которой преобладает илистая фракция) больших водных масс и осаждение взвеси на значительных площадях дна, что влечет за собой снижение биомассы, численности и видового разнообразия зообентоса [5] и, как следствие, снижение кормовой базы рыб-бентофагов.

По мнению Н. П. Моковой [10], при дампинге в стрессовых условиях значительная часть популяций бентоса гибнет. Если вертикальная миграция бентосных организмов и

возможна, то она успешно проходит только на периферии района сброса, где толщина слоя осевших частиц невелика.

Исследование изменений видового состава зообентоса в Черном море показало [1], что если до начала сброса грунта в районе обитало 123–128 таксонов беспозвоночных организмов, то через два – три года их число сократилось до 72, что составляет около 57 % первоначального уровня. Еще через несколько лет число видов сократилось до 29. Коэффициент общности Жаккара – Алехина стал равным нулю. Моллюски, обитатели чистых вод, вытесняются видами, предпочитающими заиленные грунты, поскольку, как правило, сбрасываемый грунт в местах подводных свалок и прилегающих к ним участков дна на 70 % представлен илами.

Данные литературы по влиянию дноуглубления и дампинга грунта на зообентосные организмы в акватории морей немногочисленны [2, 14]. В основном приводятся исследования видового состава, численности и биомассы зообентоса до начала производства гидротехнических работ в акватории и их изменения после завершения дампинга.

Отмечают, что толщина слоя засыпки зообентоса, при которой происходит их гибель [4, 7, 14], варьирует от нескольких миллиметров до десятков сантиметров (в зависимости от размера организмов, их морфологических особенностей и приспособления к жизни на донном субстрате). По данным Лесникова [7], гибель организмов пресноводного бентоса, погребенного под слоем донных осадков, происходит при его толщине, превышающей вертикальные размеры бентосных организмов и при скорости осадконакопления более 0,5 мм/сут. Предложено также считать, что для мелких организмов зообентоса критическим является слой толщиной 2 см [5].

По другим сведениям, многие формы бентоса, в особенности роющие организмы инфауны (подвижные двустворчатые моллюски-детритофаги, брюхоногие моллюски, большинство видов полихет, голотурии и др.), способны выходить на поверхность грунта после погребения их слоем донных осадков при дампинге грунта. Скорость рытья зависит от размеров организмов и состава грунта, а время откапывания при разной толщине осадков составляет для разных видов животных от нескольких часов до нескольких суток. Наибольшее препятствие для откапывания организмов представляет плотный песчаный грунт средней и большой крупности частиц, и, в частности, тяжелые пески могут препятствовать раскрытию створок раковин двустворчатых моллюсков. Так, в условиях эксперимента [14] разные виды роющих раковинных моллюсков с длиной тела от 0,3–1,3 см (*Nucula proxima* Say) до 1,5–2,0 см (*Mercenaria mercenaria* Schumacher) и 2,5–3,5 см (*Ilyanassa obsoleta* Say) были способны выходить на поверхность из-под слоя донного осадка толщиной от 4–8 до 28–32 см через 1–8 суток.

При этом смертность мерценарии, наиболее быстро роющего моллюска, летом при толщине песка 32 см достигала 10 % через 1 сутки и 17 % – через 8 суток. Смертность при толщине осадка 36 см при летних температурах варьировала для разных типов осадка от 55–69,5 % через 8 суток эксперимента до 47,3–91,7 % через 15 суток.

У мелкого вида – нукулы, некоторое число особей могло откапываться из-под слоя илисто-песчаных осадков толщиной до 8–16 см: ее смертность через 8 суток при этом составляла 40,6 % при толщине осадка 8 см, 52,5 % – при толщине осадка 16 см, 80 % – при толщине осадка 32 см. С песчаным грунтом более 8 суток эксперименты по выживаемости нукулы не проводили. По всей вероятности, через 15 суток под слоем песка смертность могла бы достигнуть 100 % и при толщине осадка порядка 10 см [14].

Для довольно крупной гастроподы илианассы смертность под слоем песчаного грунта толщиной 20 и 32 см составила через 8 суток 62 % и 80,9 % соответственно. Эксперимент большей продолжительности не проводили. Вероятно, через 15 суток могла бы фиксироваться значительно бóльшая величина смертности и при меньшей толщине захоронения. Для малоподвижных и мелких форм бентоса, обитающих на поверхности грунта, а также молодых видов инфауны, губительным может быть слой осадка значительно меньшей толщины [14].

Основная масса исследований проведена авторами цитируемых работ в лабораторных условиях. Поэтому представляет интерес экспериментальное исследование влияния осажденной взвеси на бентосные организмы в естественных условиях.

Целью исследования являлось определение гибели гаммарусов под слоем переотложенного осадка.

Материалы и методы исследований

Для постановки модельного эксперимента была выбрана акватория Бугазского лимана, где за счет малых глубин практически отсутствует стратификация и среда однородна. Во время проведения опыта волнения, способного существенно влиять на распространение взвесей, не происходило. Расположен Бугазский лиман в южной части Таманского полуострова, недалеко от ст. Веселовка Краснодарского края и относится к Кизилташской группе лиманов. Площадь лимана – порядка 30 км². Лиман тянется вдоль Черного моря с юго-востока на северо-запад, от моря его отделяет узкая и невысокая песчаная коса. С другой стороны лимана коса Голенькая, более низкая, отделяет Бугазский лиман от Кизилташского.

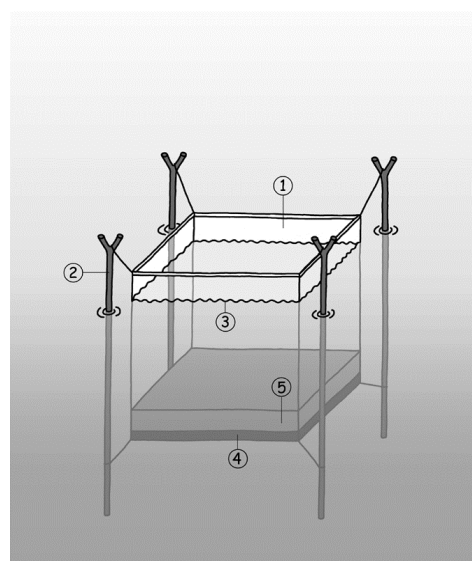
Объектом исследования были выбраны высшие ракообразные, представители бокоплавов – гаммарусы (*Gammarus aequicauda*). Эксперимент проводили летом 2012 г. в прилегающей к песчаной косе части Бугазского лимана.

Бокоплавы широко распространены в разных донных биоценозах Черного моря, в том числе в Кизилташских лиманах, играют важную роль в биоценозе, так как являются утилизаторами первичной и отчасти вторичной продукции; трансформируют и обогащают донные осадки органическим веществом и, что наиболее важно, служат ценным кормом для бентосоядных рыб [6]. Влияние осажженной взвеси на жизнедеятельность ракообразных мало изучено.

Эксперимент проводили в трех повторностях в 9 садках: по 3 садка для контроля и для двух вариантов опыта (рис. 1). Садки представляли собой "мешки" из синтетического газа № 100, размером 60*60*60 см, укрепленные на вертикальных стойках так, что верхний край садка находился над поверхностью воды, нижний – располагался на дне акватории.



а



б

Рис. 1. Устройство садков: а. – садки в лимане, б. – схема садка. Цифрами обозначены: 1 – мешок из синтетического газа, 2 – вертикальные стойки, 3 – поверхность воды, 4 – слой ракушечника, 5 – слой осадка

Постановка экспериментальных садков происходила в прибойной части Бугазского лимана на глубине менее 1 м. После установки всех садков на дно садков был положен слой ракушечника ($h=5\text{ см}$, $m=30\text{ кг}$) для устойчивости садков.

На акватории исследования были отобраны бокоплавы размером: от 6,4 мм до 9,3 мм которых помещали в экспериментальные садки по 15 экз. Рачки, помещенные в садки, свободно перемещались в придонном слое воды, периодически закапываясь в верхний слой ракушечника.

Донные отложения (далее, взвесь, осадок), которые использовали в эксперименте по осаждению взвеси на дно садков (и на гаммарусов), отбирали в районе Витязевского лимана (фракция меньше 0,1 мм) на источниках лечебных грязей. Качество данной взвеси оценивали методом биотестирования.

Взвесь получали следующим образом: донные отложения, отобранные на источниках лечебных грязей, разводили в воде в пропорции 1:1, перемешивали и вносили в садки в каждую повторность – в опыт № 1 по 10,8 дм³, в опыт № 2 – по 27 дм³. Данные объемы рассчитывались таким образом, чтобы к окончанию эксперимента (после завершения осаждения взвеси) в опыте № 1 толщина осадка находилась в пределах 1–5 см, в опыте № 2 – в пределах 5–10 см. В контрольные садки взвесь не вносили. Каждый экспериментальный садок постепенно, на протяжении порядка 30 минут, «заливали» взвесью, создавая эффект распространения взвеси при дноуглублении.

На протяжении эксперимента из-за небольшого волнения осадок взмучивался. После полного осаждения взвеси (на 4-е сутки) эксперимент завершили и произвели подсчет живых гаммарусов. В каждом варианте опыта подсчитывалось суммарное количество гаммарусов в трех повторностях.

До начала эксперимента, далее ежедневно и перед завершением эксперимента, два раза в сутки (утром и вечером) измеряли содержание кислорода, температуру и pH (около садков, в контроле, в опыте № 1 и опыте № 2). Использовали анализатор растворенного кислорода и температуры воды «Самара-2Б» и портативный pH-метр (PICCOLO 2 ATC).

В течение всего эксперимента каждый день отбирали пробы воды для определения гидрохимических показателей – содержания фосфатов, аммонийного азота, нитратов и нитритов в соответствии с РД 52.10.243-92 [«Руководство по химическому анализу морских вод»].

Содержание органического углерода в экспериментальном осадке определяли на экспресс-анализаторе АН-7529 согласно руководству к прибору.

Гранулометрический состав экспериментального взвеси для «засыпки» гаммарусов определяли согласно Блиновой Е. И. и др. [3].

В течение экспозиции из садков отбирали пробы воды, а также после окончания эксперимента – пробы взвеси, для исследования их токсичности методом биотестирования. Биотестирование проводили на стандартных тест-объектах – зоопланктонных ракообразных *Artemia salina* L. в соответствии с Руководством [13].

Результаты и обсуждение

За сутки, до начала постановки эксперимента, температура воды в Бугазском лимане колебалась от 26,5 °С до 27,3 °С, среднее содержание растворенного кислорода и pH находились в пределах нормы (O₂ – 7,3 мг/л, pH – 6,78). В день постановки эксперимента содержание кислорода в контрольных садках и около садков достигало 14 мг/л (рис. 2).

Во время эксперимента температура воды колебалась в пределах от 24,5 °С до 29 °С. Наблюдались небольшие волнения водной массы на 3 сутки эксперимента, поэтому эксперимент оставляли еще на одни сутки, до полного осаждения взвеси в садках.

Содержание кислорода в контрольных садках и около садков на протяжении опыта практически не отличалось, поэтому при обсуждении результатов за контрольные значения принимали значения, измеренные в контрольных садках. В садках, после засыпки взвеси, наблюдалось понижение содержания кислорода по сравнению с контролем тем больше, чем больше толщина слоя засыпки (см. рис. 2). По мере оседания взвеси содержание кислорода в подопытных садках приближалось к контрольным значениям. За все время наблюдения минимальное содержание кислорода составило 6,87 мг/л, однако это соответствует общим требованиям к составу и свойствам воды водных объектов рыбохозяйственного значения [9]. Содержание кислорода было минимально в садках опыта № 2, где слой осевшей взвеси к окончанию эксперимента составил 8,5 см (рис. 2).

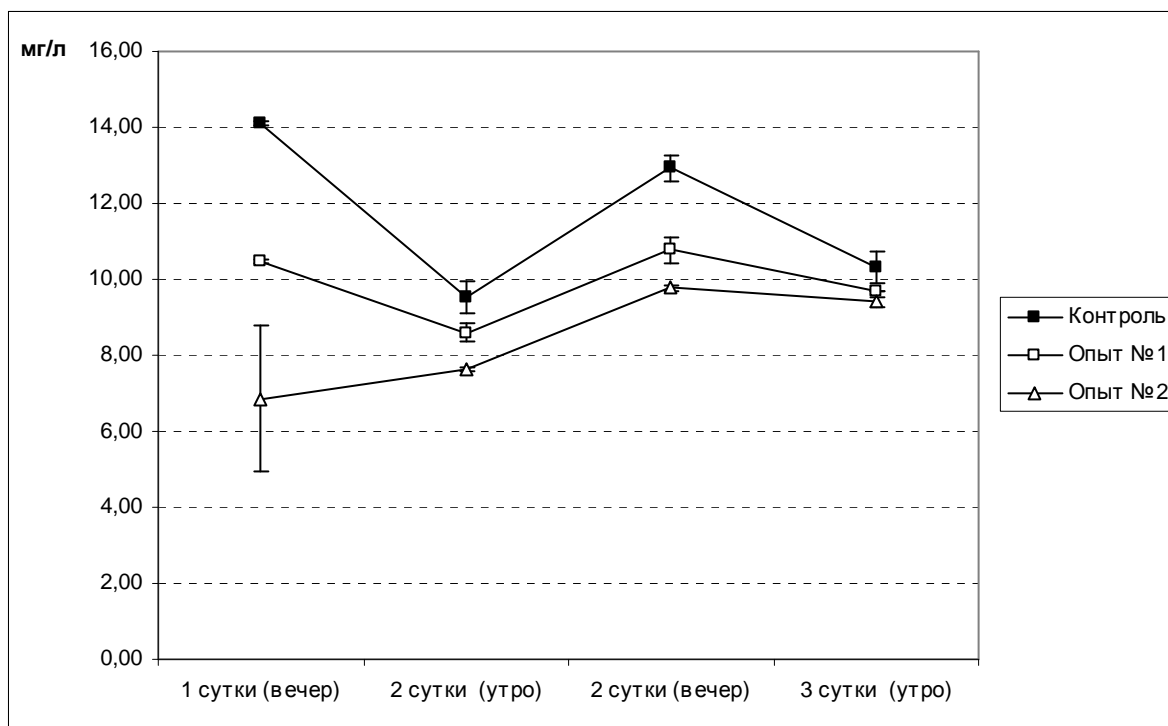


Рис. 2. Динамика содержания кислорода в воде на протяжении эксперимента в течение 3 суток

В течение эксперимента значение рН находилось в пределах нормы, что соответствовало общим требованиям к составу и свойствам воды водных объектов рыбохозяйственного значения [9] (рис. 3). Суточные колебания рН в контроле и опыте были незначительны (не превышали 1,09).

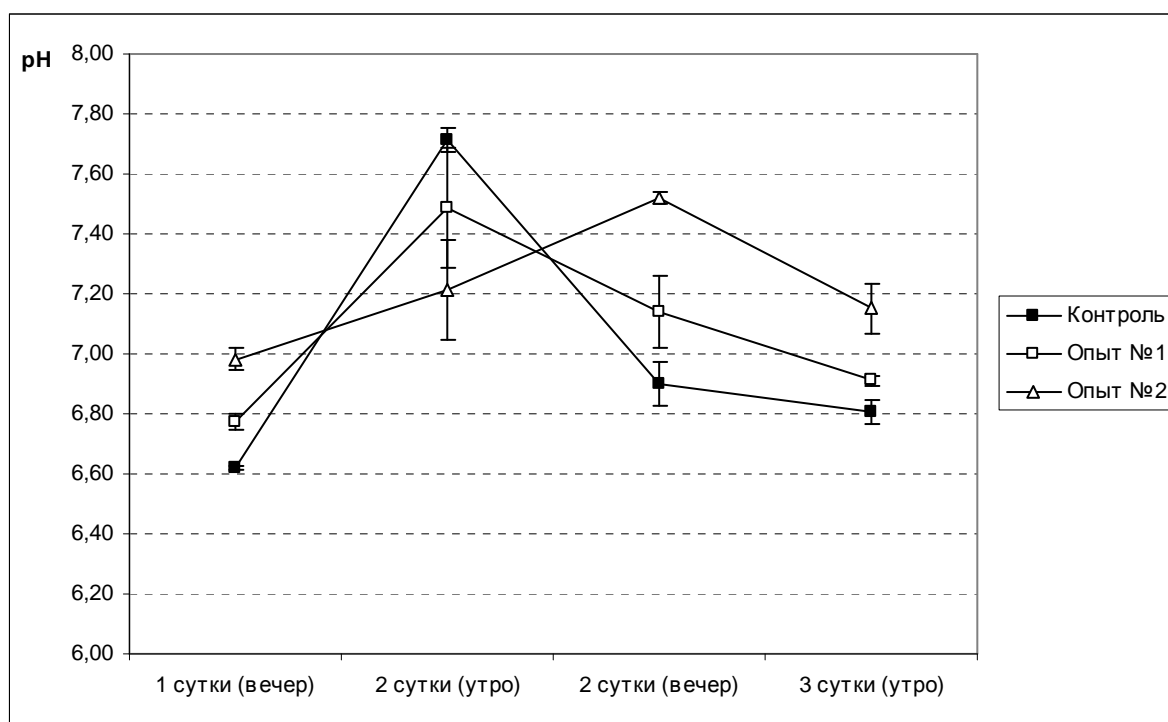


Рис. 3. Динамика pH воды на протяжении эксперимента в течение 3 суток

Содержание в воде фосфатов, нитратов, нитритов, аммонийного азота несколько снижалось в опытных садках к концу эксперимента (рис. 4).

За время эксперимента содержание фосфатов изменялось от 0,006 до 0,011 мг/л, что было даже ниже ПДК (0,15 мг/л), среднее значение составило 0,007 мг/л. Максимальное содержание фосфатов отмечалось в опыте № 2 в конце эксперимента. В контрольных и опытных садках содержание фосфатов отличалось незначительно (рис. 4).

На всем протяжении эксперимента содержание нитритного азота (NO_2) не превышало норм ПДК для воды водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей – 0,08 мг/л. Содержание нитритов снизилось к концу опыта.

Азот нитратов (NO_3) был отмечен в количествах от 0,001 до 0,0015 мг/л, среднее значение 0,005 мг/л и не превышало величины ПДК в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей – 40 мг/л.

Содержание аммонийного азота (NH_3) в садках составило 0,012-0,041 мг/л, что не превышало норм для водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей – 2,9 мг/л. Содержание аммонийного азота за время эксперимента снизилось более чем в 2 раза. При этом величины в опыте незначительно отличались от контрольных.

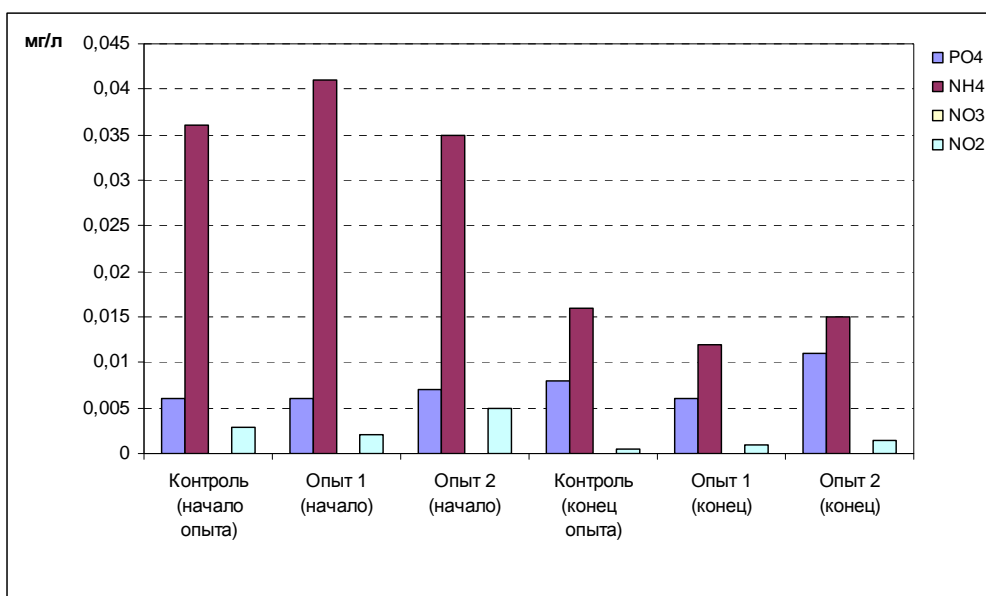


Рис. 4. Гидрохимические показатели воды в начале и в конце эксперимента

Содержание органического углерода в экспериментальных осадках было выше, чем в контроле, а в опыте № 2 достоверно отличалось (рис. 5).

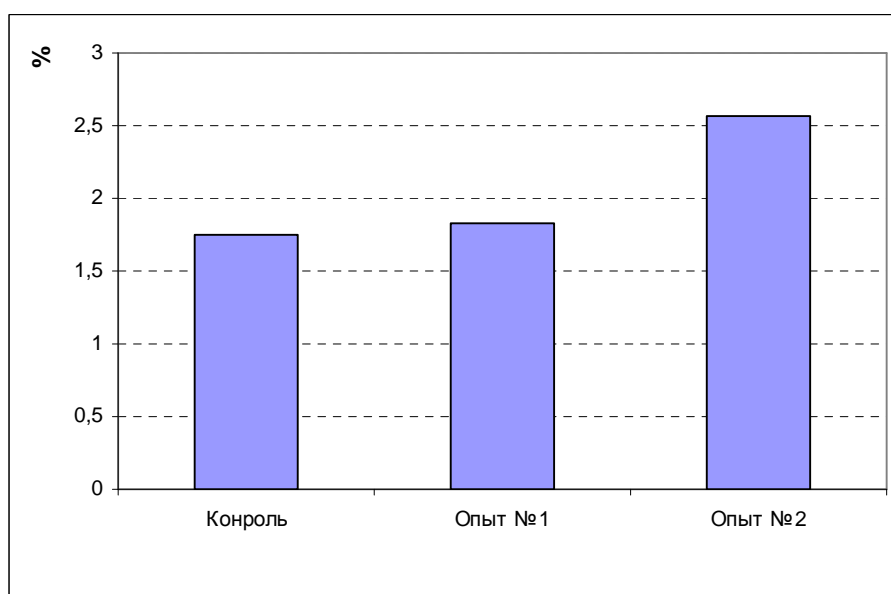


Рис. 5. Содержание органического углерода в экспериментальных осадках

Гранулометрический анализ экспериментального осадка показал, что в его составе преобладали фракции диаметром менее 0,001 мм. По типу донных отложений (экспериментального осадка) – илы глинистые и алеврито-глинистые (таблица 1).

Таблица 1. Гранулометрический состав экспериментального осадка

Параметр	Контроль	Опыт №1	Опыт №2
	%		
1-0,5	1.99	0.61	-
0,5-0,25	0.43	0.61	4.98
0,25-0,1	1.65	0.61	3.17
0,1-0,05 (менее 0,1)	11.01	3.42	16.3

мм	Параметр	Контроль	Опыт №1	Опыт №2
		%		
	0,05-0,01	12.06	3.54	6.64
	0,01-0,005	6.72	12.68	5.60
	0,005-0,001	17.44	22.64	10.42
	менее 0,001	48.7	55.89	52.89
Влажность, %		57.6	66.63	47.46

Биотестирование проб воды из контрольных и опытных садков на *Artemia salina* L. показало отсутствие токсичности. Следовательно, гибель гаммарусов при засыпке осадком при оседании взвеси не связано ни с токсичностью воды, ни с токсичностью осадка. Незначительные изменения состояния среды по гидрохимическим показателям также не могли повлечь за собой гибель гаммарусов.

На 4-е сутки эксперимента, когда произошло полное осаждение взвеси в садках и опыт был завершен, оказалось, что (рис. 6) при средней толщине слоя засыпки 3,2 см (опыт № 1) была отмечена гибель 17 % организмов; при средней толщине слоя засыпки 8,5 см (опыте № 2) – 33,3 % организмов.

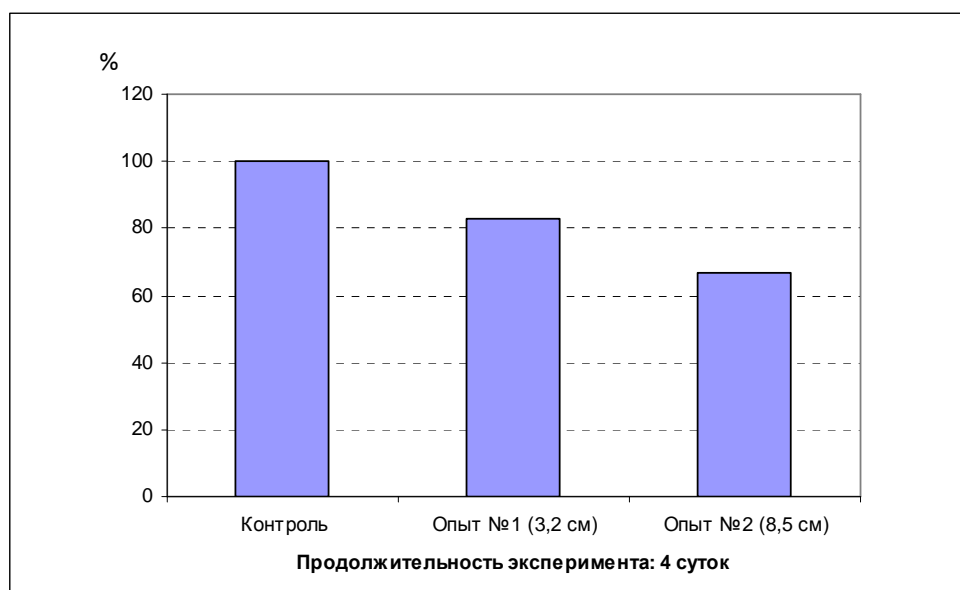


Рис. 6. Выживаемость гаммарусов при различной толщине слоя засыпки на 4-е сутки экспозиции

Заключение

Экспериментальные исследования по влиянию осевшей взвеси на ракообразных в большем количестве были проведены в пресноводных экосистемах [5, 7], в меньшем – в морских [14]. Имеются данные, полученные в лабораторных условиях при толщине осадка 10 см, когда моллюски, полихеты способны выдерживать воздействие засыпкой слоями грунта до 14 суток [4]. В литературе также представлены сведения о влиянии дноуглубления и дампинга на донные сообщества без указания гибели конкретных видов при осаждении взвеси [1, 2]. Экспериментальные исследования, как было отмечено выше, также невелики,

что делает проведенный нами модельный эксперимент в природных условиях актуальным, расширяет знания по оценке гибели бентосных организмов от оседания взвеси при проведении гидротехнических работ на водоеме и дампинге грунта.

Поскольку мы не наблюдали существенных изменений гидрохимических параметров в ходе постановки эксперимента, исследование воды и экспериментального осадка на токсичность показало ее отсутствие, было определено, что основным фактором воздействия на жизнедеятельность гаммарусов служило механическое воздействие осадка.

Модельный эксперимент показал следующую тенденцию: за 4 суток при слое засыпки 3,2 см наблюдалась гибель 17 %, при 8,5 см – 33,3 % бокоплавов. Полученные величины о толщине слоя засыпки, при которой происходит гибель ракообразных, можно использовать при проведении прогнозной оценки воздействия гидротехнических работ на морские организмы зообентоса.

В настоящее время для расчета ущерба водным биоресурсам от потерь организмов зообентоса используются следующие ориентировочные критерии: для мелких организмов кормового зообентоса – 50 % гибель при слое осадка толщиной 1–5 см и 100 % гибель – при более 5 см осадка; для крупных организмов зообентоса, включая представителей промысловых видов – 50 % гибель при толщине слоя 5–10 см и 100 % гибель – при более 10 см [8].

Таким образом, можно отметить, что полученные экспериментальные данные в Бугазском лимане не противоречат используемым в настоящее время критериям потерь зообентоса от осадения взвеси при дноуглублении или дампинге грунта.

Необходимо в дальнейшем, при постановке экспериментов по осадению взвеси на бентос, учитывать также время засыпки организмов, при котором отмечается 100 % гибель организмов.

Список литературы

1. Айбулатов Н. А. Деятельность в прибрежной зоне моря и проблемы экологии. – М.: Наука, 2005. – 368 с.
2. Базелян В. Л., Касилов Ю. И., Коломийченко Г. Ю. Общая характеристика влияния дампинга на гидробионты, <http://www.eco-mir.net/show/536/>, 2001 г.
3. Блинова Е. И., Вилкова О. Ю., Милютин Д. М., Пронина О. А., Штрик В. А. Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки // Методы ландшафтных исследований и оценки запасов донных беспозвоночных и водорослей морской прибрежной зоны. Вып. 3. – М.: Изд-во ВНИРО, 2005. – С 38.

4. Ващенко П. С. Изучение влияния засыпки грунтом на выживаемость зообентосных организмов Кольского залива // Материалы XXVIII Конференции молодых ученых, посвященной 100-летию со дня рождения М. М. Камшилова, «Гидробиологические и экосистемные исследования морей европейского Севера». – Мурманск, 2010. – С. 23-39.
5. Иванова В. В. Экспериментальное моделирование заваливания зообентоса при дампинге грунтов // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ, 1988. – Вып. 285. – С. 107-113.
6. Кудренко С. А. Амфиподы некоторых лиманов северо-западного Причерноморья // <http://www.ecologylife.ru>. Конференции и доклады. Проблемы экологии окружающей среды и способы их решения. – 2002. – № 25; Одесский филиал Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины.
7. Лесников Л. А. Влияние перемещения грунтов на рыбохозяйственные водоемы // Тр. ГосНИОРХ. – 1986. – Вып. 255. – С. 11–17.
8. Медянкина М. В., Соколова С. А., Морщинина Н. В., Зеленихина Г. С. Влияние перемещения донного грунта на зообентос при гидротехнических работах (обзор) // I научно-практическая конференция молодых ученых «Современные проблемы и перспективы изучения Мирового Океана», Москва, ВНИРО, 18-19 ноября 2010 года.
9. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектах рыбохозяйственного значения / Под ред. канд. биол. наук С. А. Соколовой. – М.: Изд-во ВНИРО, 2011. – 201 с.
10. Мокеева Н. П. Отклик морских биоценозов на сброс грунта // Итоги исследований в связи со сбросом отходов в море / Под ред. И. А. Шлыгина и Е. В. Борисова. – М.: Изд-во Гидрометеиздат, 1988. – 216 с.
11. РД 52.10.243-92 «Руководство по химическому анализу морских вод», 226 с.
12. Руководство по определению органического углерода на экспресс-анализаторе АН-7529.
13. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов (утверждено МПР России, 27 апреля 2001 г.), изд. РЭФИ, НИА-Природа. – М., 2002. – 117 с.
14. Maurer D., Keck R. T., Jeffrey, Tinsman C., Wayne A. Leathem, Wethe C., Lord C. and Church Thomas M. Vertical migration and mortality of marine benthos in dredged material: A synthesis // Int. Revue ges. Hydrobiol. – V. 71. – 1986. – № 1. – P. 49-63.

Рецензенты:

Микодина Е. В., д-р биол. наук, профессор, гл. н. с. лаборатории эколога-токсикологических исследований ФГУП «ВНИРО», г. Москва.

Филенко О. Ф., д-р биол. наук, профессор кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва.