



Научная статья

# Восстановление макрозообентоса после дноуглубительных работ на озере Манжерокском (Республика Алтай)

О.Н. Вдовина\*<sup>id</sup>, Д.М. Безматерных<sup>id</sup>, Е.Н. Крылова<sup>id</sup>

Институт водных и экологических проблем СО РАН, 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1

\*olgazhukova1984@yandex.ru

Поступила в редакцию: 23.03.2022

Доработана: 04.04.2022

Принята к печати: 05.04.2022

Опубликована онлайн: 18.05.2022

DOI: 10.23859/estr-220323

УДК 556.555.6 + 574.58

**Аннотация.** Дноуглубление – это деятельность по экскавации грунта и другим грунтовыми операциям, предназначенная для расширения и увеличения глубины водоемов. В условиях повышенного загрязнения дночерпательные работы могут наносить определенный ущерб как отдельным видам гидробионтов, так и водным экосистемам в целом. Нами проведен анализ изменений состава и структуры сообществ донных беспозвоночных озера Манжерокского в различные периоды исследования: до проведения дноуглубительных работ (2007 г.), спустя две недели (2018 г.) и через 3 года (2021 г.) после завершения работ. В 2021 г. отмечено увеличение видового разнообразия и количественных показателей развития донных сообществ по сравнению с периодом завершения гидротехнических работ. Полученные данные свидетельствуют о восстановлении макрозообентоса водоема, которое в дальнейшем может осуществиться в полной мере при условии повышения уровня воды в озере и значительного снижения техногенной нагрузки на донные сообщества.

**Ключевые слова:** гидротехнические работы, озера, качество воды, донные беспозвоночные.

*Для цитирования.* Вдовина, О.Н. и др., 2022. Восстановление макрозообентоса после дноуглубительных работ на озере Манжерокском (Республика Алтай). *Трансформация экосистем* 5 (2), 86–94. <https://doi.org/10.23859/estr-220323>

## Введение

Дноуглубительные работы оказывают сильное влияние на водные экосистемы и гидробионтов. В условиях повышенного загрязнения дночерпательные работы могут наносить определенный ущерб водным экосистемам и отдельным видам гидробионтов как при прямом захвате, так и в результате нарушения структуры биоценоза, влияния на донные организмы мутности и вторично-

го загрязнения водоемов (Шкодин и Сальников, 1996).

Оз. Манжерокское находится в предгорьях Алтая, располагается на террасе правого берега р. Катунь на высоте 373 м н.у.м., с 1978 г. является памятником природы регионального значения. Озеро активно используется в рекреационных целях; в последние десятилетия наблюдалось его заиливание и зарастание. В 2017–2018 гг. с целью замедления

зарастания и удаления илов с высоким содержанием органического вещества был реализован проект расчистки и дноуглубления чаши оз. Манжерокское. Проведенные мероприятия привели к увеличению глубины озера (максимальная глубина после выполнения проекта – 5.66 м, до выполнения – не более 3 м) и к увеличению объема воды в резервуаре (современный объем – 1.16 млн м<sup>3</sup>, ранее – 0.569 млн м<sup>3</sup>) (Безматерных и др., 2020).

Для решения проблем антропогенного воздействия на биоту естественных и искусственных водоемов необходимо проведение комплексных экологических исследований. Бентосные организмы являются наиболее удобным и показательным объектом, позволяющим оценить экологическое состояние водных объектов методами биоиндикации. Донные беспозвоночные встречаются повсеместно, имеют достаточно высокую численность, относительно крупные размеры и весьма продолжительный срок жизни, чтобы аккумулировать загрязняющие вещества за длительный период (Безматерных, 2007).

Цель исследования – выявление закономерностей изменений основных характеристик макрозообентоса оз. Манжерокского в период выполнения гидротехнических работ и после их завершения.

## Материалы и методы

Зообентос оз. Манжерокского обследован в августе 2018 г. (спустя две недели после завершения дноуглубительных работ), а также в апреле и июле 2021 г. Для выявления изменений в составе и структуре зообентоса были использованы данные д.б.н. Л.В. Яныгиной за март 2007 г. (Безматерных и др., 2019, 2020). В центральной части озера, где дноуглубительные работы проводились наиболее интенсивно, изменился тип грунта: вместо сапропеля отмечено преобладание грубого растительного детрита, который не очень благоприятен для развития бентоса. В связи с этим в июле 2021 г. количество станций для отбора проб было увеличено. Всего получено 40 количественных и 11 качественных проб макрозообентоса (Табл. 1). Материал для исследований собирали и обрабатывали по стандартным гидробиологическим методикам (Руководство..., 1992).

Количественные пробы отбирали дночерпателем Петерсона с площадью захвата 0.025 м<sup>2</sup>. Материал промывали через капроновый газ с размером ячеек 350×350 мкм и фиксировали 70% спиртом. После установления постоянного веса пробы зообентос сортировали по систематическим группам, затем пересчитывали и определяли массу путем взвешивания на торсионных весах ВТ-500. Определение материала проводили по «Определителю пресноводных беспозвоночных России» (1994–2004). В апреле 2021 г. в составе зообентоса учитывали личинок хаборид: осенью они спускаются в придонную область, закапываются в ил и зимуют на дне водоема, следовательно, в это время их можно рассматривать в качестве факультативных зообентонтов. Для оценки экологического состояния был рассчитан олигохетный индекс Гуднайта и Уитли (Goodnight and Whitley, 1961), а также индекс видового разнообразия по К. Шеннону (1963), рассчитанный по численности макрозообентоса. Отношение макрозообентоса к определенной трофической группе было определено по классификации О. Моог и А. Hartmann (2017), являющейся пересмотренной версией классификации К.В. Cummins (1973) для насекомых (Cummins et al., 2008). Кроме того, определен уровень трофности озера по шкале С.П. Китаева (2007).

## Результаты

Первые сведения о зообентосе оз. Манжерокского получены в подледный период 2007 г. В тот момент отмечался невысокий уровень развития донного сообщества, которое было представлено 4 видами гетеротопных животных: 2 видами хирономид, (*Chironomus* gr. *plumosus*, *Procladius* (*Holotanypus*) *ferrugineus* Kieffer, 1919), по 1 виду мокрецов (*Sphaeromias fasciatus* (Meigen, 1804) и хаборид (*Chaoborus* (*C.*) *flavicans* (Meigen, 1830)) (Безматерных и др., 2019, 2020). В 2007 г. в центральной части озера наблюдалась максимальная биомасса зообентоса – 2.5 г/м<sup>2</sup>. Этот показатель был связан с обнаружением единственного экземпляра *Chironomus* gr. *plumosus*. На остальных участках водоема биомасса донных организмов не превышала 0.7 г/м<sup>2</sup>, доминировали преиму-

Табл. 1. Количество отобранных проб зообентоса.

Год и месяц исследований	Число станций	Количественных проб	Качественных проб	Всего проб
август 2018	5	10	3	13
апрель 2021	4	8	–	8
июль 2021	11	22	8	30
Итого		40	11	51

щественно мотыль S. fasciatus. Распределение численности зообентоса по различным участкам озера имело плавный характер.

В августе 2018 г. после проведения дноуглубительных работ в оз. Манжерокском выявлено 7 видов донных беспозвоночных, принадлежащих к двум классам: Oligochaeta (1 вид) и Insecta (6 видов). Олигохеты были представлены *Limnodrilus* sp. indet., среди насекомых отмечены двукрылые (хинониды (*Cricotopus* gr. *tibialis*, *Glyptotendipes glaucus* (Meigen, 1818)) и мотыль (*Palpomyia* sp. indet.), жуки (имаго *Graphoderus* sp., личинка сем. Hydrophilidae sp. indet.), а также стрекозы (*Somatochlora* sp. indet.).

Численность зообентоса колебалась в пределах 0–1.48 тыс. экз./м<sup>2</sup>, биомасса варьировала от 0 до 1.56 г/м<sup>2</sup> (Табл. 2). Личинки хаборид и хинонид не обнаружены. Основу численности по всей акватории озера составляли *Limnodrilus* sp. и *Palpomyia* sp., доминирующей группой являлись олигохеты (отмечены в 50% проб). Остальные выделенные таксоны зообентоса выявлены (в качественных пробах) в прибрежных зарослях водной растительности. Максимальные значения пока-

зателей численности и биомассы зообентоса наблюдались на илистых грунтах (Т4 и Т5) (Рис. 1), а минимальные – на илистых грунтах с детритом.

Индекс видового разнообразия составлял 0–0.98 бит/экз., что, вероятно, характеризовало условия обитания как неблагоприятные. Значение олигохетного индекса в озере варьировало в широких пределах, на некоторых участках достигая 100% (V класс качества вод – экстремально грязные). Биомасса зообентоса была низкой, что формально соответствует олиготрофному типу водоема. Все отмеченные показатели, а также присутствие олигохет сем. Tubificidae свидетельствовали о неблагоприятных условиях для развития зообентоса.

Исследования, проведенные в апреле 2021 г., также продемонстрировали низкие количественные показатели и упрощенную структуру сообществ зообентоса оз. Манжерокского: было выявлено 5 видов донных беспозвоночных из 2 классов (Oligochaeta (2 вида) и Insecta (3 вида)). Найдены все таксоны, отмеченные в марте 2007 г., за исключением *Chironomus* gr. *plumosus* (обнаружены только головные капсулы).

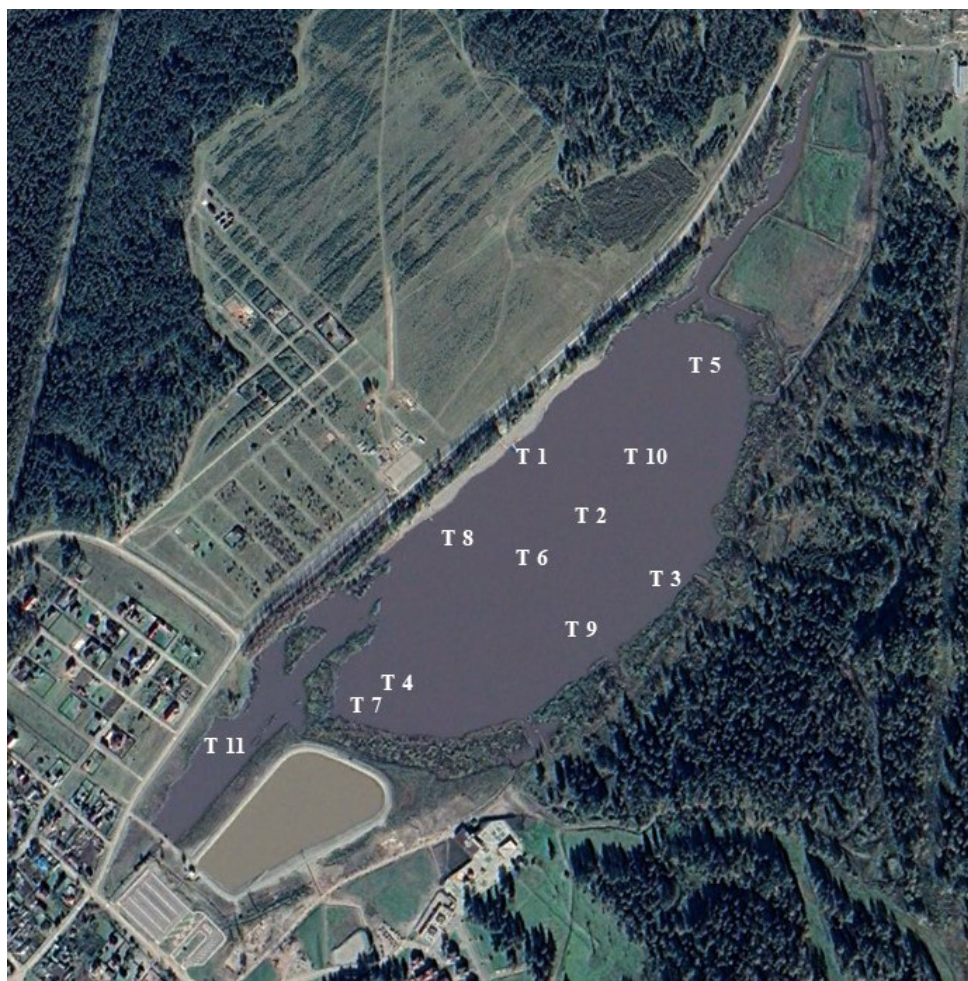


Рис. 1. Расположение станций отбора проб на оз. Манжерокское.

Табл. 2. Основные характеристики и биоиндикационные индексы зообентоса оз. Манжерокского в августе 2018 г. Н – индекс Шеннона, рассчитанный по численности; Ко – олигохетный индекс Гуднайтта и Уитли; класс качества воды: I – условно чистая; II – слабо загрязненная; III – загрязненная; IV – грязная; V – экстремально грязная.

Станция	Тип грунта	Число видов в пробе	Выявленные таксоны	Численность, экз./м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	Н, бит/экз.	Ко, %
T. 1	илистый с детритом и дресвой	0–1	<i>Limnodrilus</i> sp.	0–40	0–0.04	0	0–100 (VI)
T. 2	илистый с детритом	0–1	<i>Palpomyia</i> sp.	0–40	0–0.04	0	–
T. 3	илистый с детритом	0–1	<i>Limnodrilus</i> sp.	0–40	0–0.16	0	0–100 (VI)
T. 4	илистый	0–1	<i>Palpomyia</i> sp.	0–520	0–0.48	0	–
T. 5	илистый	0–2	<i>Limnodrilus</i> sp. <i>Palpomyia</i> sp.	1240–1480	1.44–1.56	0.98	43–58 (III–IV)
<b>Среднее по озеру</b>	<b>илистый с детритом</b>	<b>0.80 ± 0.25</b>	<b>–</b>	<b>336.00 ± 178.70</b>	<b>0.30 ± 0.19</b>	<b>0.19 ± 0.13</b>	<b>30 (I)</b>

Табл. 3. Основные характеристики и биоиндикационные индексы зообентоса оз. Манжерокского в апреле 2021 г. Обозначения как в Табл. 2.

Станция	Тип грунта	Число видов в пробе	Выявленные таксоны	Численность, экз./м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	Н, бит/экз.	Ко, %
T. 1	илистый с детритом	0–3	<i>S. fasciatus</i> , <i>P. (H.) ferrugineus</i> <i>Ch. (C.) flavicans</i>	0–160	0–0.24	0–1.50	0
T. 2	илистый с детритом	1–2	<i>L. hoffmeisteri</i> <i>S. fasciatus</i>	200–240	0.36–0.44	0–0.91	66.6–100 (III–V)
T. 3	илистый с детритом	0–2	<i>S. fasciatus</i> <i>P. (H.) ferrugineus</i>	0–80	0–0.06	0–1.0	0
T. 4	илистый с детритом	0–2	<i>N. variabilis</i> <i>S. fasciatus</i>	0–80	0–0.04	0–1.0	0–50 (I–II)
<b>Среднее по озеру</b>	<b>илистый с детритом</b>	<b>1.4 ± 0.46</b>	<b>–</b>	<b>95.00 ± 34.00</b>	<b>0.14 ± 0.06</b>	<b>0.55 ± 0.21</b>	<b>27 (I)</b>

Табл. 4. Основные характеристики и биоиндикационные индексы зообентоса оз. Манжерокского в июле 2021 г. Обозначения как в Табл. 2.

Станция	Тип грунта	Число видов в пробе	Выявленные таксоны	Численность, экз./м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	H, бит/экз.	Ко, %
T. 1	темно-бурый ил с бурым наилком (мелкий детрит)	2–4	<i>D. dorsalis</i> , <i>N. variabilis</i> , <i>Cryptochironomus</i> sp., <i>P. (H.) ferrugineus</i>	840	0.16–0.24	0.45–1.45	61.90–90.40 (III–V)
T. 2	бурый ил, детрит	1–2	<i>N. variabilis</i> , <i>S. fasciatus</i>	80–120	0.06–0.024	0–0.50	0–50 (I–II)
T. 3	темно-бурый ил, детрит	1	<i>S. fasciatus</i>	40–240	0.02–0.10	0	0 (I)
T. 4	жидкий темно-бурый ил (мелкий детрит)	2–5	<i>D. dorsalis</i> , <i>D. stagnalis</i> , <i>N. variabilis</i> , <i>S. fasciatus</i> , <i>Cryptochironomus</i> sp.	200–3400	0.08–0.68	0.97–1.42	40–94.1 (II–V)
T. 5	жидкий темно-бурый ил, детрит	3–4	<i>D. dorsalis</i> , <i>L. hoffmeisteri</i> , <i>S. fasciatus</i> , <i>Cryptochironomus</i> sp., <i>P. (H.) ferrugineus</i>	760–1320	1.40–3.50	0.93–1.19	73.60–78.80 (IV)
T. 6	бурый ил, детрит	1–5	<i>N. variabilis</i> , <i>S. fasciatus</i> , <i>P. (H.) ferrugineus</i>	40–200	0.02–0.068	0–1.52	0–40 (I–II)
T. 7	жидкий серый ил, детрит	2–5	<i>D. dorsalis</i> , <i>D. stagnalis</i> , <i>L. hoffmeisteri</i> , <i>N. variabilis</i> , <i>S. fasciatus</i>	280–1560	0.18–1.06	0.86–1.79	71.7–97.4 (IV–V)
T. 8	серый ил с бурым наилком, крупный детрит	0–2	<i>S. fasciatus</i> , <i>P. (H.) ferrugineus</i>	0–120	0–0.06	0–0.91	0 (I)
T. 9	темно-бурый ил с бурым наилком (мелкий детрит)	3	<i>D. dorsalis</i> , <i>N. variabilis</i> , <i>S. fasciatus</i> , <i>P. (H.) ferrugineus</i>	280–1240	0.11–0.22	1.14–1.37	28.5–96.7 (I–V)
T. 10	жидкий темно-бурый ил (мелкий детрит)	5–7	<i>D. dorsalis</i> , <i>D. stagnalis</i> , <i>L. hoffmeisteri</i> , <i>N. variabilis</i> , <i>T. tubifex</i> , <i>S. fasciatus</i> , <i>Cryptochironomus</i> sp., <i>P. (H.) ferrugineus</i>	720–3120	0.7–1.54	1.38–2.02	83.3–96.1 (IV–V)
T. 11	плотный черный ил (песок, детрит)	2–5	<i>D. stagnalis</i> , <i>P. (H.) ferrugineus</i> , <i>Ch. (C.) flavicans</i> , <i>Sigara</i> sp., <i>V. cristata</i> , <i>S. fasciatus</i>	1200–1320	0.18–0.48	0.19–1.4	0–13.3 (I)
<b>Среднее по озеру</b>	<b>илистый с детритом</b>	<b>2.95 ± 1.38</b>	<b>–</b>	<b>814.50 ± 199.71</b>	<b>0.49 ± 0.17</b>	<b>0.88 ± 0.13</b>	<b>46 (II)</b>

В указанный период исследований в озере были наиболее распространены мокрецы *S. fasciatus* (отмечены в 50% проб); в 25% проб встречались олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, 1862 и хирономиды *P. (H.) ferrugineus*; минимальная частота встречаемости характерна для хаборид (*C. (C.) flavicans*) и олигохет (*Nais variabilis* Pignet, 1906) – по 12.5%. Численность колебалась в пределах 0–240 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 0–0.44 г/м<sup>2</sup> (Табл. 3). Уровень развития донных зооценозов соответствовал ультраолиготрофному типу водоемов. По численности и биомассе доминировали олигохеты, субдоминировали мокрецы. Средние значения численности и биомассы зообентоса в апреле 2021 г. (95 экз./м<sup>2</sup>, 0.14 г/м<sup>2</sup>) были ниже соответствующих показателей 2007 г. (300 экз./м<sup>2</sup>, 0.9 г/м<sup>2</sup>).

Количество видов зообентоса варьировало от 0 до 3 в пробе и в среднем составляло 1.4. Индекс видового разнообразия колебался в пределах 0–1.5 бит/экз., что могло указывать на неблагоприятные условия. Олигохетный индекс Гуднайта и Уитли на некоторых участках доходил до 100% (V класс качества вод – экстремально грязная), однако в среднем по озеру этот показатель составлял 27%, что соответствует I классу качества и характеризует воду как условно чистую.

В июле 2021 г. в составе зообентоса оз. Манжерокского выявлено 11 видов донных беспозвоночных из 4 классов: Nematoda (1 вид), Oligochaeta (4 вида), Gastropoda (1 вид) и Insecta (5 видов). Из нематод отмечен *Dorylaimus stagnalis* Dujardin, 1845. Олигохеты были представлены *Dero dorsalis* Ferroniere, 1899, *L. hoffmeisteri*, *N. variabilis* и *Tubifex tubifex* (O.F. Müller, 1773). Брюхоногие моллюски представлены одним видом *Valvata cristata* O.F. Müller, 1774. Среди насекомых отмечены личинки клопов (1 вид – *Sigara* sp.) и двукрылых (4 вида). Фауну двукрылых составляли семейства Chironomidae (*P. (H.) ferrugineus* и *Cryptochironomus* sp.), Ceratopogonidae (*S. fasciatus*) и Chaoboridae (*Ch. (C.) flavicans*). В период исследований в озере были наиболее распространены мокрецы *S. fasciatus* (отмечены в 68% проб) и хирономиды *P. (H.) ferrugineus* (45.5%); из олигохет чаще других отмечены *D. dorsalis* (41%), *N. variabilis* (41%), *L. hoffmeisteri* (27%); встречаемость остальных таксонов не превышала 22%.

Численность колебалась в пределах 0–3400 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 0–3.5 г/м<sup>2</sup> (Табл. 4). В целом по озеру уровень развития донных зооценозов соответствовал ультраолиготрофному – бета-олиготрофному типам водоемов, за исключением Т5, где за счет массового развития *L. hoffmeisteri* биомасса зообентоса соответствовала альфа-мезотрофному типу водоема.

По численности и биомассе доминировали олигохеты, субдоминировали мокрецы. Наблю-

далось увеличение количества видов зообентоса (от 0 до 7 в пробе, в среднем 2.95). Индекс видового разнообразия изменялся в пределах от 0 до 2.02 бит/экз., в среднем по озеру он составлял 0.88 ± 0.13. Значение олигохетного индекса Гуднайта и Уитли в озере варьировало от 0 до 97.4% (до V класса качества вод – экстремально грязная); в среднем по озеру его значение равнялось 46%, что соответствует II классу и характеризует воду как слабо загрязненную.

Наиболее богатым был видовой состав фитофильного бентоса, обнаруженного в прибрежных зарослях макрофитов оз. Манжерокского. Здесь отмечено 33 вида беспозвоночных, большинство из которых относится к классу насекомых (17 видов). Среди них преобладают двукрылые из двух семейств: Chironomidae (7 видов) и Ceratopogonidae (1 вид). Кроме того, среди насекомых отмечены 3 вида клопов и по 2 вида поденок, стрекоз и жуков. Среди других классов беспозвоночных отмечены Oligochaeta (9 видов), Hydracarina (4), Bivalvia (1), Gastropoda (2).

## Обсуждение результатов

В июле 2021 г. в составе и структуре зообентоса оз. Манжерокского наблюдались существенные изменения по сравнению с результатами исследований, проведенных непосредственно после выполнения дноуглубительных работ (08.08.2018). Зафиксировано увеличение числа видов донных беспозвоночных с 2 до 11 по акватории и с 5 до 33 – в зарослях макрофитов. Возросло количество видов в пробе с 1.4 ± 0.46 до 2.95 ± 1.38, а также индекс Шеннона: в августе 2018 г. его среднее значение составляло 0.19 бит/экз., а в июле 2021 г. – 0.88 бит/экз. Кроме того, происходило постепенное увеличение количественных показателей макрозообентоса. Так, например, средние значения биомассы возросли с 0.3 г/м<sup>2</sup> (2018 г.) до 0.49 г/м<sup>2</sup> (июль 2021 г.). Доминирующие таксоны не изменились: основу численности и биомассы по всей акватории озера составляют олигохеты и мокрецы.

Отмеченное в июле 2021 г. увеличение видового разнообразия и количественных показателей донных беспозвоночных (по сравнению с 2018 г.) позволяет сделать предположение о том, что со снижением техногенной нагрузки может происходить восстановление зооценозов. В первую очередь восстановление бентосных сообществ проявилось в повышении числа видов, а в дальнейшем – и в постепенном увеличении обилия олигохет. Аналогичная тенденция отмечена при восстановлении зообентоса Невской губы (Суслопарова и др., 2013).

По сравнению с исследованиями, проводившимися в апреле 2021 г., в июле того же года в более глубоководных точках, расположенных на участке дноуглубительных работ, снизился процент проб, в котором донные беспозвоночные отсутствовали;

кроме того, помимо личинок двукрылых были отмечены олигохеты. По численности и биомассе в этих точках преобладали хищные личинки двукрылых. Доминирование хищников на указанных участках озера, вероятнее всего, связано со сравнительно высокой устойчивостью обнаруженных таксонов, ранее отмечавшейся для некоторых из них (Яковлев, 2005). Олигохеты преобладают на литоральных участках с небольшой глубиной, не затронутых дноуглубительными работами. По способу питания они относятся к группе собирателей-детритофагов; данная группа обычно доминирует на литорали малых озер там, где преобладает оседание детрита на грунт. Аналогичная тенденция отмечается в результатах исследований, проведенных в августе 2018 г. (Безматерных и др., 2019, 2020).

Изменения в различных сообществах гидробионтов под воздействием техногенных факторов во многом сходны: снижение общего числа видов, численности и биомассы, смена доминантов, нарушение сезонного хода динамики численности и биомассы сообщества (Царькова, 2016). Для макрозообентоса оз. Манжерокского после проведения дноуглубительных работ в 2018 г. наблюдались аналогичные трансформации. Восстановление донных сообществ происходит медленно, с потерей части видов и снижением биомассы бентоса до 60% от исходной величины (Жигульский и др., 2013, 2014а, б; Кудерский и Лаврентьева, 1996; Сулопарова и Терешенкова, 2010). Формирование и заселение нового биотопа на поврежденном участке дна обычно занимает несколько лет (от 3 до 8, в среднем – 5, однако в некоторых случаях может растягиваться до 25 лет) (Лесников, 1986). Поскольку на оз. Манжерокском по прошествии трех лет после проведения работ отмечено повышение видового разнообразия и увеличение средних количественных показателей донных беспозвоночных, можно сделать вывод о начале восстановления бентосных сообществ в водоеме. В полной мере данный процесс может быть осуществлен условия значительного снижения техногенной нагрузки (Безматерных и др., 2021).

## Выводы

Через три года после проведения дноуглубительных работ на оз. Манжерокском отмечен рост числа видов донных беспозвоночных с 2 до 11 по акватории озера. Кроме того, в несколько раз вырос индекс видового разнообразия по Шеннону. Увеличение видового разнообразия проявилось в повышении числа видов и постепенном нарастании обилия олигохет.

В 2021 г. наблюдалось увеличение средних количественных показателей развития сообществ донных беспозвоночных по сравнению с анало-

гичным периодом 2018 г. По всей акватории озера доминирующими по численности и биомассе таксонами остались олигохеты и мокрецы.

Отмеченное в июле 2021 г. увеличение видового разнообразия и количественных показателей донных сообществ по сравнению с 2018 г. в целом свидетельствуют о восстановлении зообентоса оз. Манжерокского.

## Благодарности

Выражаем благодарность сотрудникам ИВЭП СО РАН к.б.н. В.В. Кириллову и к.б.н. М.И. Ковешникову за помощь в отборе проб, а также д.б.н. Л.В. Яныгиной, предоставившей данные за 2007 г.

## Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-20134.

## ORCID

О.Н. Вдовина [id 0000-0002-2479-3338](https://orcid.org/0000-0002-2479-3338)

Д.М. Безматерных [id 0000-0002-7747-4939](https://orcid.org/0000-0002-7747-4939)

Е.Н. Крылова [id 0000-0002-9796-4310](https://orcid.org/0000-0002-9796-4310)

## Список литературы

Безматерных, Д.М., 2007. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири (Серия аналитических обзоров мировой литературы «Экология». Т. 85). ГПНТБ, Новосибирск, Россия, 86 с.

Безматерных, Д.М., Вдовина, О.Н., Яныгина, Л.В., Крылова, Е.Н., Ковешников, М.И., 2021. Влияние дноуглубительных работ на состав и структуру макрозообентоса озера Манжерокского (Республика Алтай). *Тезисы докладов Всероссийской конференции, посвященной 65-летию ИБВВ РАН «Биология водных экосистем в XXI веке: факты, гипотезы, тенденции»*. Борок, Россия, 20.

Безматерных, Д.М., Кириллов, В.В., Ермолаева, Н.И., Киприянова, Л.М., Яныгина, Л.В. и др., 2019. Влияние дноуглубительных работ на экосистему Манжерокского озера (Республика Алтай). *Тезисы докладов XII Съезда Гидробиологического общества при Российской академии наук*. Петрозаводск, Россия, 39–40.

Безматерных, Д.М., Кириллов, В.В., Ермолаева, Н.И., Киприянова, Л.М., Яныгина, Л.В. и др., 2020. Влияние дноуглубительных работ на санитарно-микробиологические и гидробиологические

- характеристики озера Манжерокского (Республика Алтай). *Водное хозяйство России* **3**, 106–127. <http://www.doi.org/10.35567/1999-4508-2020-3-8>
- Жигульский, В.А., Былина, Т.С., Царькова, Н.С., Лавров, Я.Б., Соловей, Н.А., Шуйский, В.Ф., 2013. Некоторые результаты экологического мониторинга и оценки воздействия строящихся объектов морского торгового порта «Усть-Луга» на экосистему Лужской губы. *Экология урбанизированных территорий* **3**, 6–14.
- Жигульский, В.А., Илюхин, В.С., Царькова, Н.С., Маслов, П.А., 2014а. Оценка концентрации взвешенных частиц в водоемах по результатам измерений прозрачности воды с использованием диска Секки. *Проблемы региональной экологии* **1**, 138–144.
- Жигульский, В.А., Шуйский, В.Ф., Царькова, Н.С., Соловей, Н.А., Максимова, Е.Ю., 2014б. Реакция макрозообентоса водотоков бассейна восточной части Финского залива на многофакторные антропогенные воздействия. *Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета* **35**, 178–185.
- Китаев, С.П., 2007. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия, 395 с.
- Кудерский, Л.А., Лаврентьева, Г.М., 1996. Оценка ущерба рыбохозяйственным водоемам от свалки грунтовых масс (применительно к восточной части Финского залива). ГосНИОРХ, Санкт-Петербург, Россия, 41 с.
- Лесников, Л.А., 1986. Влияние перемещения грунтов на рыбохозяйственные водоемы. *Сборник научных трудов ГосНИОРХ* **255**, 3–9.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. В 6 томах, 1994–2004. Цалолыхин, С.Я. (ред.). Наука, Санкт-Петербург, Россия.
- Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем, 1992. Абакумов, В.А. (ред.). Гидрометеиздат, Санкт-Петербург, Россия, 318 с.
- Сулопарова, О.Н., Терешенкова, Т.В., 2010. Влияние дноуглубительных работ на планктонные сообщества. *Материалы XXIII Международной береговой конференции «Учение о развитии морских берегов: вековые традиции и идеи современности»*. РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия, 257–259.
- Сулопарова, О.Н., Шурухин, А.С., Мицкевич, О.И., Терешенкова, Т.В., Хозяйкин, А.А., Митковец, В.Н., 2013. Оценка влияния интенсивных гидротехнических работ, проводимых в последнее десятилетие в прибрежных районах Невской губы на ее биоту. *Ученые записки РГГМУ* **28**, 110–120.
- Царькова, Н.С., 2016. Геоэкологический мониторинг дноуглубительных работ в морском торговом порту Усть-Луга. *Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук*. Санкт-Петербург, Россия, 263 с.
- Шеннон, К., 1963. Работы по теории информации и кибернетики. Иностранная литература, Москва, СССР, 860 с.
- Шкодин, Н.В., Сальников, Н.Е., 1996. Влияние гидромеханизированных работ на гидробионтов и экосистемы рыбохозяйственных водоемов. *Материалы 7-го съезда Гидробиологического общества РАН*. Казань, Россия, 105–108.
- Яковлев, В.А., 2005. Пресноводный зообентос северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика). Кольский НЦ РАН, Апатиты, Россия, 145 с.
- Cummins, K.W., 1973. Trophic relation in aquatic insects. *Annual Review of Entomology* **8**, 183–206.
- Cummins, K.W., Merritt, R.W., Berg, M.B., 2008. Ecology and distribution of aquatic insects. In: Cummins, K.W., Merritt, R.W., Berg, M.B. (eds.), *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall Hunt Publication, Dubuque, USA, 105–122.
- Goodnight, C.J., Whitley, L.S., 1961. Oligochetes as indicators of pollution. *Proceedings of the 15-th Industrial Waste Conference. Engineering Extension Service Bulletin Series No. 106*. Purdue University, West Lafayette, USA, 139–142.
- Moog, O., Hartmann, A., 2017. Fauna Aquatica Austriaca, 3. Edition 2017. Интернет-ресурс. URL: <http://www.ecoprof.at/index.php/faunaaquaticaaustriaca.html> (дата обращения: 20.02.2022).

*Article*

## **Restoration of macrozoobenthos after dredging on Lake Manzherokskoe (Republic of Altai, Russia)**

Olga N. Vdovina\*<sup></sup>, Dmitry M. Bezmaternykh<sup></sup>,  
Evgeniya N. Krylova<sup></sup>

*Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of Russian Academy of Science, ul. Molodezhnaya 1, Barnaul, Altai Krai, 656038 Russia*

\*[olgazhukova1984@yandex.ru](mailto:olgazhukova1984@yandex.ru)

*Abstract.* Dredging is the activity of excavating soil and performing other soil operations in order to expand and increase the depth of water bodies. Under conditions of increased pollution, dredging operations may cause certain damage to aquatic ecosystems in general and to particular aquatic species. The changes in the composition and structure of benthic invertebrate communities have been studied in Lake Manzherokskoe in different periods: before dredging (2007), two weeks after the dredging has been started (2018), and 3 years after the dredging activities have been finished (2021). In 2021, there was an increase in species diversity and quantitative indicators of the development of benthic communities comparing to the period of dredging completion. Our data indicated the restoration of macrozoobenthos community in the lake to a certain extent. Later, this process may end in complete restoring with an increase in the water level in the lake and a significant decrease in the technogenic load on bottom communities.

*Keywords:* hydrotechnical works, lakes, water quality, benthic invertebrates.