

УДК 574.587

## ОЦЕНКА МЕТОДАМИ ГИС БИОТОПОВ РЕЧНОЙ ЧАСТИ ШЕКСНИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗООБЕНТОСОМ

© 2025 г. К. Н. Ивичева<sup>а, \*</sup>, И. В. Филоненко<sup>б</sup>, А. С. Комарова<sup>с</sup>

<sup>а</sup>Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Санкт-Петербург, 199053 Россия

<sup>б</sup>Вологодский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Вологда, 160014 Россия

<sup>с</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН, пос. Борок Некоузского р-на Ярославской обл., 152742 Россия  
\*e-mail: ksenya.ivicheva@gmail.com

Поступила в редакцию 26.02.2024 г.

После доработки 18.04.2024 г.

Принята к публикации 05.12.2024 г.

С помощью ГИС-технологий в речной части Шекснинского водохранилища установлены границы и площади глубоководной зоны, зарослей высшей водной растительности, зоны открытой воды с разными типами грунтов. Приведены количественные показатели и состав доминирующих видов зообентоса в каждом типе биотопа. В заливах биомасса зообентоса ниже, чем в аналогичных биотопах на проточных участках вдоль судового хода. Средневзвешенная биомасса зообентоса составляет 3.9 г/м<sup>2</sup>. По уровню развития зообентоса водоем относится к среднекормным.

*Ключевые слова:* геоинформационные системы, NDWI, зообентос, биомасса, Шекснинское водохранилище, Вологодская область.

DOI: 10.31857/S0321059625030034 EDN: SYVXYL

Зообентос – экологическая группа организмов, на протяжении большей части своей жизни связанная с дном. Видовое богатство и количественные показатели зообентоса зависят от субстрата, наличия и плотности зарослей, гидрологических особенностей местообитаний. Для рыбохозяйственной оценки водных объектов наиболее важны показатели численности и биомассы зообентоса как корма для рыб. По биомассе зообентоса оценивают кормность водоема [17]. Зачастую величину биомассы зообентоса в водоеме получают путем простого усреднения количественных показателей. Такой подход оправдан при малых размерах водоема или при большом количестве проб. При этом необходимо учитывать вклад отдельных биотопов – участков дна, характеризующихся сходными типами грунтов, глубиной и видом зарослей высшей водной растительности (или же их отсутствием). Чем больше протяженность береговой линии и ее изрезанность, тем сложнее учесть разноо-

бразие биотопов в водном объекте. Для оценки кормовых ресурсов крупных рыбохозяйственных водоемов предлагается рассматривать средневзвешенный показатель исходя из площадей различных биотопов [13]. Ранее проводились подобные исследования крупных озер Вологодской области, в том числе в озерной части Шекснинского водохранилища – оз. Белого [20].

Шекснинское водохранилище – один из крупнейших рыбопромысловых объектов Вологодской области. Речная часть Шекснинского водохранилища – наиболее сложный для изучения объект. До затопления в р. Шексне наблюдалась скорость течения 0.5–0.7 м/с, на реке было множество порогов, берега заболочены и покрыты лесом. Затопление водохранилища произошло в 1963–1964 гг. В настоящее время речная часть Шекснинского водохранилища имеет протяженность 120 км, узкие речные участки с быстрым течением сменяются мелководными разливами,

максимальная ширина которых составляет 18 км [12]. Средняя глубина водохранилища ~ 4 м, максимальные глубины на отрезке от устья Шексны до 7–8 шлюза достигают 20 м [1]. В настоящий момент речная часть Шекснинского водохранилища представляет собой чередование разливов и узких речных участков. Значительная доля донных субстратов сформировалась после создания водохранилища, представляя затопленные территории лесов, болот и участки, преобразованные хозяйственной деятельностью. Современная береговая линия речной части водохранилища очень извилистая. Колебания уровней воды подчинены в первую очередь функционированию Волго-Балтийского водного пути и характеризуются постоянным уровнем воды в летний период и сработкой уровня в зимний.

В первые два года существования Шекснинского водохранилища изучение донных сообществ осуществлялось Т.Л. Поддубной [18], которая описывает заморные явления в разливах. Спустя 10 лет О.В. Выголова [4] показала, что в разливах водохранилища количественные показатели зообентоса значительно ниже, чем на глубоководном участке вдоль фарватера. А.И. Баканов [3] подтвердил эти наблюдения данными 1995–1996 гг.

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) широко используются для анализа зарастания водоемов в разных широтах [22, 24, 25]. В России, например, зарастание Цимлянского и Волгоградского водохранилищ исследовали путем анализа разных каналов с верификацией на местности [10, 11]. Посредством ДЗЗ дешифрируются поля зостеры в Японском море [6]; показано, что при идеальных условиях возможна дешифровка дна до глубины 10 м. Для анализа наземной растительности обычно применяется индекс NDVI. При помощи данного метода также возможна оценка площади зарастания гелофитов в пределах водных объектов [23, 28]. В России индекс NDVI применялся для оценки прибрежной полосы на примере Азовского моря [2], для Псковско-Чудского озера [5].

Цель данной работы заключалась в оценке биотопов Шекснинского водохранилища методами ГИС и возможности их использования

зообентосом. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: оценить амплитуду колебаний уровня воды в течение года; картировать распределение преобладающих донных субстратов; определить площадь зарастания водными растениями; получить показатель обилия зообентоса для речной части Шекснинского водохранилища в целом.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовали данные по зообентосу за период 2010–2020 гг. Пробы отбирали со всей акватории водохранилища. Отбор проб проводили ежегодно в мае и августе; с 2015 г. – дополнительно также в марте и ноябре. Разные сезоны сбора материала позволяли учитывать максимальное развитие зообентоса. Для отбора проб использовали гидробиологический скребок и дночерпатели: штанговый ГР-91 (площадь захвата 0.007 м<sup>2</sup>), Петерсона (0.025 м<sup>2</sup>) и Ван-Вина (0.025 м<sup>2</sup>). Грунт промывали через газ с ячейей 250 мкм, фиксировали 40%-м раствором формальдегида. Для каждой станции отбора проб определяли глубину и характер грунта. Камеральную обработку проб осуществляли в лабораторных условиях. Всего было отобрано и обработано 295 проб зообентоса. Схема отбора проб представлена на рис. 1.

Анализ данных ДЗЗ проводили в программе ArcGis10. Площадь водного зеркала речной части Шекснинского водохранилища при максимальном уровне воды получена по снимку Landsat 8 (LC08\_L1TP\_179018\_20200523) путем расчета индекса mNDWI [21, 29, 30]. Среднегодовалый уровень определяли по снимкам спутника Sentinel-2 за май 2018 г. (T37VDG\_20180510T084559 и T37VDF\_20180510T084559), а урез воды при минимальных уровнях – по снимкам за август 2018 г. (T37VDG\_20180801T090019 и T37VDF\_20180801T090019) с помощью индекса NDWI [26]. Эти же сцены за август использованы для вычисления зоны, занимаемой водной и прибрежно-водной растительностью, путем расчета индекса NDVI [27]. В качестве границ классификации растительности использована площадь водохранилища при максимальных отметках уровня 2020 г. Площадь глубоководной

зоны получена по Атласу Волго-Балтийского водного пути [1] по изобате 4 м. Площадь затопленных лесов рассчитана по оцифрованным в ГИС полигонам, полученным путем комбинирования данных топографических карт, отображающих местность до затопления водохранилища, и границ затопленной растительности из Атласа Волго-Балтийского водного пути [1]. Также в работе использовали данные гидропостов в г. Белозерске и с. Иванов Бор (даты установки ледяного покрова и освобождения ото льда, ежедневные показатели уровня воды).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

У с. Иванов Бор (проточный речной участок) наиболее ранняя дата освобождения ото льда – 11 марта, средняя – 26 апреля, поздняя – 16 мая. В разливах вдали от судового хода освобождение ото льда происходит позже и согласуется с датами освобождения Белого озера. По данным гидропоста в г. Белозерске, самая ранняя дата – 23 апреля, средняя – 3 мая, поздняя – 2 июня. Установление ледяного покрова на разных участках происходит также в разное время. У с. Иванов Бор самая ранняя дата – 26 октября, средняя – 18 ноября, поздняя – 6 января. Для г. Белозерска эти даты – 20 октября, 21 ноября и 14 декабря соответственно. Таким образом, в фенологическом отношении организмы зообентоса, зимовавшие в районе судового хода и в заливах, оказываются в разных условиях, поскольку на проточных речных участках освобождение ото льда происходит раньше.

Уровень Шекснинского водохранилища находится в районе одной проектной отметки – 112.8 мБс (метров Балтийской системы). Среднемноголетний уровень воды за период с 1 апреля по 31 октября по гидропосту в г. Белозерске составил 113.01 мБс, минимальные показатели – 112.54 мБс, средний многолетний максимум – 113.18 мБс. В 2020 г. отмечался экстремально высокий уровень воды, который в мае составил 113.6 м. Таким образом, амплитуда колебаний по посту в г. Белозерске в период 2008–2020 гг. составляет 1.24 мБс. Показатели водного зеркала рассчитаны по снимкам ДЗЗ на момент соответствующих показателей гидропостов (рис. 2а). Площадь речной части водохранилища при максимальном уровне в мае 2020 г. составила 382.8 км<sup>2</sup>. За период 2008–2020 гг. подобный высокий уровень отмечен впервые, и обычно такие значения редко достижимы. При среднемноголетнем уровне площадь акватории речной части водохранилища составила 334.5 км<sup>2</sup>, при минимальном уровне – 328.7 км<sup>2</sup>. Таким образом, разница площади водохранилища при максимальном и минимальном уровне составля-

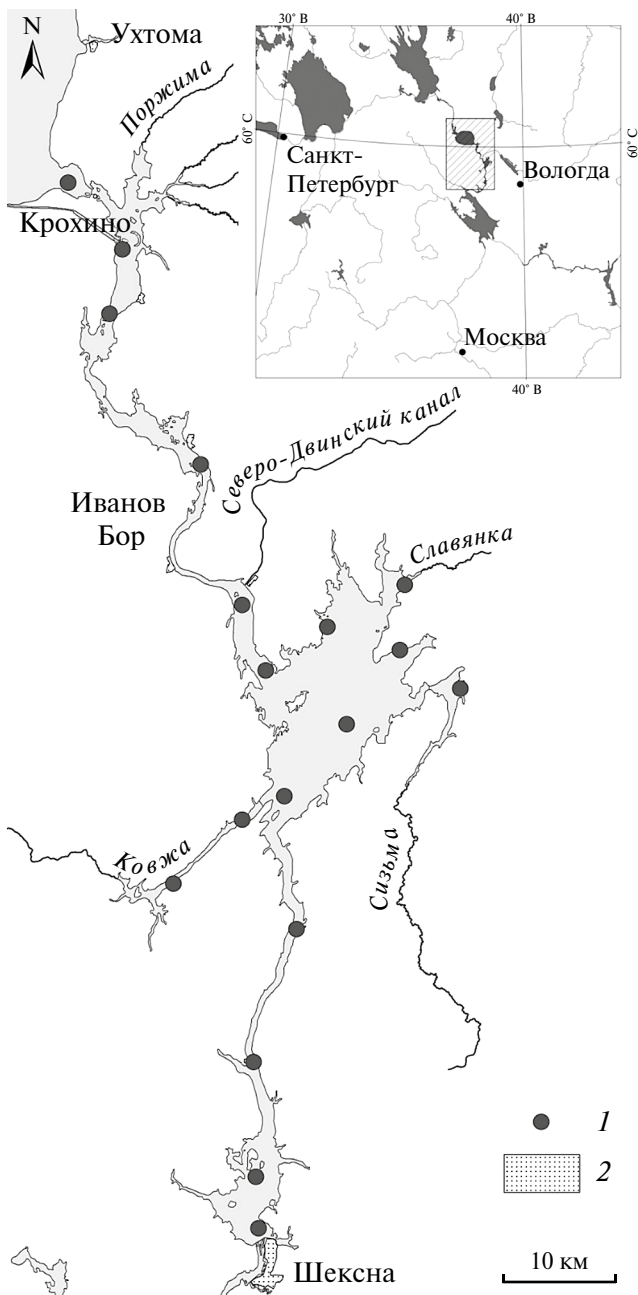
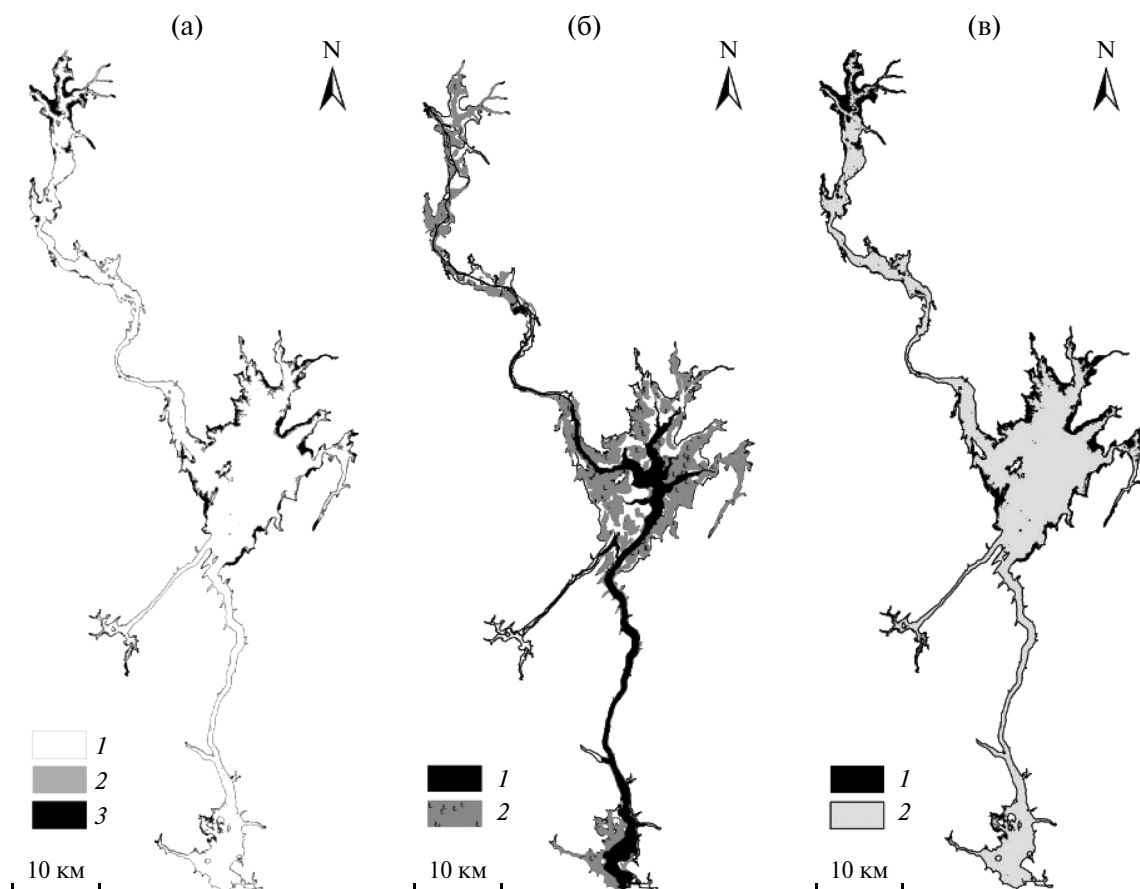


Рис. 1. Картограмма района исследований и станций отбора проб.



**Рис. 2.** Площадь акватории речной части Шекснинского водохранилища (а) при разных уровнях воды: минимальном (1), среднемноголетнем максимальном (2), максимальном 2020 г. (3); основные биотопы зообентоса (б) речной части Шекснинского водохранилища: глубоководная часть (1), участки затопленного леса (2); участки высшей водной растительности в границах максимального уровня воды (в): участки высшей водной растительности (1); максимальный уровень воды (2).

ет 14%. При отсутствии экстремального паводка разница между меженным и среднемноголетним уровнем  $\leq 2\%$ .

Зона водохранилища с глубинами более 4 м (глубоководная часть) расположена в пределах бывшего русла р. Шексны и впадающих в нее рек. Площадь данного участка составляет  $\sim 24\%$  общей площади водохранилища (рис. 2б). Судовой ход полностью попадает в эту зону. Грунты здесь представлены илами. Площадь участков затопленного леса составила 46% водохранилища, из них  $\sim 6\%$  находится на глубинах  $> 4$  м (рис. 2в). Грунты в зоне затопленных лесов зависят от подстилающих пород и представлены двумя типами: пески (в том числе заиленные пески, пески с примесью глины и щебня, пески,

покрытые растительными остатками) и детрит (торфяные отложения, растительные остатки с примесью илов). Ряд участков с глубинами  $< 4$  м не попал в категорию затопленных лесов, так как до затопления эти участки были лугами. Грунты здесь также представлены детритом.

Высшая водная растительность речной части Шекснинского водохранилища развита, главным образом, в заливах и устьях рек. Вдоль основного русла, где сильно выражено волновое воздействие, макрофиты развиваются фрагментарно, узкими полосами или отсутствуют вовсе [14]. По данным ДЗЗ учитываются только площади, занятые гелофитами (камыш, тростник). Площадь водных растений в границах периода максимального уровня воды 2020 г. составила

17% общей площади водохранилища (рис. 2в). В период снижения уровня воды часть растительности оказывается на суше. На растения, находящиеся постоянно в обводненном состоянии, приходится ~3% акватории. Вдоль судового хода на узких речных участках заросли высшей водной растительности представлены слабо и концентрируются в заливах. Наибольшая плотность зарослей отмечена в разливах водохранилища.

В глубоководной части водохранилища наблюдаются наименьшие численность и биомасса зообентоса среди всех изученных биотопов (табл. 1). Сообщества беспозвоночных здесь представлены крупными олигохетами-тубицидами и хирономидами. На проточных речных участках наблюдаются максимальные количественные показатели. Так, наибольшая биомасса отмечена на грунтах, где основным компонентом является песок, и составляет 7.6 г/м<sup>2</sup>. Максимальная численность – в зарослях высшей водной растительности (2.9 тыс. экз/м<sup>2</sup>). В заливах в тех же биотопах количественные показатели зообентоса в 1.5–2 раза ниже, чем в открытой воде.

Во всех литоральных биотопах в сообществах зообентоса доминирует комплекс двустворчатые моллюски – олигохеты – хирономиды. В заливах встречаются участки с торфяными грунтами, где отмечаются единичные особи хирономид. Рачок *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) входит в число доминирующих видов в зарослях макрофитов и на песчаном грунте в открытой воде. Моллюск *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) входит в состав доминирующего комплекса только на песчаных и каменистых грунтах на открытых проточных участках, что обусловлено большей проточностью данных биотопов.

С учетом площади разных зон, оцененных в ГИС, средневзвешенная количественная численность зообентоса Шекснинского водохранилища составляет 1574 экз/м<sup>2</sup>, биомасса – 3.9 г/м<sup>2</sup>.

## ОБСУЖДЕНИЕ

По количественным показателям развития зообентоса речная часть Шекснинского водохранилища относится к водоемам средней кормности [17]. Биомасса зообентоса речной ча-

**Таблица 1.** Количественные показатели и состав доминирующих видов зообентоса речной части Шекснинского водохранилища

Участок водохранилища	Биотоп	Численность, экз/м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	Доминирующие виды
Глубоководная зона	Русловая часть с глубинами более 4 м – ил	622.5±100.8	2.1±0.46	<i>Tubifex tubifex</i> , <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Procladius</i> sp., <i>Microchironomus tener</i>
	Открытая вода – пески	2257.7±296.11	7.6±2.03	<i>Bivalvia</i> gen. sp., <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Lumbriculus variegatus</i> , <i>Dreissena polymorpha</i> , <i>Gmelinoides fasciatus</i> , <i>Stictochironomus crassiforceps</i> , <i>Cladotanytarsus mancus</i>
Речные участки	Открытая вода – детрит	1426.7±439.19	6.5±2.76	<i>Bivalvia</i> gen. sp., <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Lumbriculus variegatus</i> , <i>Cryptochironomus defectus</i>
	Заросли высшей водной растительности	2917.6±669.52	6.6±1.64	<i>Bivalvia</i> gen. sp., <i>Tubifex newaensis</i> , <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Gmelinoides fasciatus</i> , <i>Cladotanytarsus mancus</i> , <i>Glyptotendipes gripekoveni</i>
Заливы	Открытая вода – пески	2246.4±743.47	3.5±1.01	<i>Bivalvia</i> gen. sp., <i>Tubifex newaensis</i> , <i>Gmelinoides fasciatus</i> , <i>Cladotanytarsus mancus</i> , <i>Stictochironomus crassiforceps</i>
	Открытая вода – детрит	1235.2±320.98	3.2±0.65	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Cladotanytarsus mancus</i> , <i>Glyptotendipes gripekoveni</i>
	Заросли высшей водной растительности	1777.2±325.49	4.2±1.14	<i>Bivalvia</i> gen. sp., <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Lumbriculus variegatus</i> , <i>Gmelinoides fasciatus</i> , <i>Cricotopus</i> sp.

сти Шекснинского водохранилища ниже, чем озерной [20]. Наблюдается снижение биомассы зообентоса с юга на север в ряду Рыбинское водохранилище – Шекснинское водохранилище – водохранилища Вытегорского гидроузла [7, 15]. Все они – части Волго-Балтийского водного пути, расположены друг за другом и вытянуты в меридиональном направлении.

Доли субстратов разных участков водохранилища обуславливают значительные отличия в количественных показателях зообентоса. Так, на речных участках количественные показатели выше, чем в заливах или в глубоководной части. Численность и биомасса зообентоса проточных участков выше, чем в заливах, что описывалось ранее О.В. Выголовой [4]. В первые годы существования Шекснинского водохранилища Т.Л. Поддубная [18] наблюдала заморные явления в разливах Шекснинского водохранилища, связанные с большим количеством органических веществ. Площадь акватории с затопленной древесной растительностью на речных участках достигает 28%. Торфянистые субстраты чередуются здесь с наносами ила и песка. Гелофиты развиты на 18% акватории речных участков. В основном они приурочены к песчаным субстратам. Близкое положение к участкам судового хода не позволяет формироваться крупным массивам зарослей. Постоянное воздействие волн и колебание уровня воды негативно сказываются на условиях обитания зообентоса. В целом более высокие количественные показатели зообентоса на открытых речных участках обусловлены их большей проточностью и, как следствие, благоприятным кислородным режимом. Положительным фактором для обитания зообентоса является сочетание различных компонентов в субстрате – песка, ила и детрита, что особенно заметно в районе свала к фарватеру.

В заливах до сих пор отмечаются затопленные участки леса, грунты здесь представлены торфянистыми субстратами, на которых организмы зообентоса практически отсутствуют. Доля участков с затопленной древесной растительностью в заливах > 70%. В зарослях макрофитов количество бентосных организмов выше, но они часто представлены фитофильными видами из соответствующих зоофитосов. Степень зарастания, оцененная по ГИС, для заливов составляет 23%. Как

правило, это мелководные участки, в значительной степени обсыхающие в меженный период. Как следствие, количество зообентоса сильно меняется в зависимости от амплитуды уровня воды.

В отличие от Волжских водохранилищ, в профундали речной части Шекснинского водохранилища отсутствуют скопления моллюска *Dreissena polymorpha*. Благодаря этому биомасса бентоса в профундали в речной части Шекснинского водохранилища в 10 раз ниже, чем в Рыбинском [15, 16]. Данный вид давно обитает в Шекснинском водохранилище, но никогда не занимал доминирующего положения [4]. В Шекснинском водохранилище наблюдаются скопления крупных *Dreissena polymorpha* на корягах и камнях, мелкие особи часто обитают на стеблях высокотравных гелофитов (тростник, камыш). Для северных водоемов в целом характерно отсутствие субстрата, благоприятного для развития данного вида [19].

Другим важным инвазионным видом, попавшим в Шекснинское водохранилище в конце XX в., является рачок *Gmelinoides fasciatus* [8]. Обитает он исключительно в литорали, на глубине не до 3 м. В число доминирующих видов входит исключительно на песчаных субстратах (как в открытой воде, так и в зарослях). Обитает как в заливах, так и в открытой проточной части. С 2021 г. фиксируем в Шекснинском водохранилище другой инвазионный вид – олигохету *Branchiura sowerbyi* [9]. Этот вид буквально через несколько лет после вселения стал доминировать в нижнем течении р. Дон. Массовое его расселение также вероятно в Шекснинском водохранилище.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Средневзвешенная биомасса зообентоса речной части Шекснинского водохранилища составляет 3.9 г/м<sup>2</sup>. По уровню развития зообентоса водохранилище относится к водоемам средней кормности. Глубоководные участки характеризуются наименьшими количественными показателями зообентоса. На проточных участках численность и биомасса зообентоса в 1.5–2 раза выше, чем в заливах. Площадь заливов значительно выше, чем площадь открытых русловых участков. В зарослях высшей водной раститель-

ности количественные показатели зообентоса отличаются от таковых на открытых участках незначительно. Моллюск *Dreissena polymorpha* встречается единично и не входит в число доминантов, что обусловлено отсутствием подходящих для него субстратов. Рачок *Gmelinoides fasciatus* широко расселился по всей литорали водохранилища. В ближайшие годы вероятно также распространение олигохеты *Branchiura sowerbyi*.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ. Т. 3. Ч. 2. Волго-Балтийский водный путь. От Онежского озера до Рыбинского водохранилища. М.: Росречфлот, 2004. 14 с. 53 л.
2. *Архипова О.Е.* Изменение NDVI как индикатор экологического состояния ландшафтов прибрежной зоны Азовского моря // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2023. Т. 2. № 8. С. 42–47. DOI 10.23885/2500-123X-2023-2-8-42-47
3. *Баканов А.И.* Зообентос // Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2002. С. 165–180.
4. *Выголова О.В.* Макрозообентос Череповецкого водохранилища, его продукция и потребление рыбами. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л.: ГосНИОРХ, 1979. 28 с.
5. *Евдокимов С.И., Михалач С.Г.* Определение физического смысла комбинаций каналов снимка LANDSAT для мониторинга состояния наземных и водных экосистем // Вестн. Псковского гос. ун-та “Естественные и физико-математические науки”. 2015. № 7. С. 21–32.
6. *Жариков В.В., Базаров К.Ю., Егидарев Е.Г.* Использование данных дистанционного зондирования при картографировании подводных ландшафтов бухты Средней (залив Петра Великого, Японское море) // География и природ. ресурсы. 2017. № 2. С. 190–198. DOI 10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(190-198)
7. *Ивичева К.Н., Филоненко И.В.* Зообентос малых водохранилищ северного склона балтийско-каспийского водораздела Волго-Балтийского водного пути // Биология внутр. вод. 2023. №2. С. 224–232. DOI: 10.31857/S0320965223020109
8. *Ивичева К.Н., Филоненко И.В.* Инвазионные виды зообентоса на территории Вологодской области // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: материалы X междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. М.: Изд-во ВНИРО, 2022. С. 172–174.
9. *Ивичева К.Н., Филоненко И.В.* Первая находка *Branchiura sowerbyi* Beddard, 1892 (Oligochaeta) в Шекснинском водохранилище (Верхняя Волга) // Рос. журн. биол. инвазий. 2023. Т. 16. № 1. С. 42–46. DOI: 10.35885/1996-1499-16-1-42-46
10. *Кочеткова А.И., Брызгалина Е.С., Калюжная И.Ю., Сиротина С., Самотеева В.В., Ракшенко Е.П.* Динамика зарастания Цимлянского водохранилища // Принципы экологии. 2018. № 1. С. 60–72. DOI: 10.15393/j1.art.2018.7202
11. *Кочеткова А.И., Брызгалина Е.С., Филиппов О.В., Баранова М.С.* Динамика зарастания Волгоградского водохранилища (1972–2018 гг.) // Принципы экологии. 2022. № 1. С. 68–73. DOI: 10.15393/j1.art.2022.10002
12. *Литвинов А.С.* Общие сведения о водохранилище. Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2002. С. 5–9.
13. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. Л., 1983. 52 с.
14. *Папченков В.Г., Козловская О.И.* Особенности зарастания водохранилища. Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2002. С. 199–210.
15. *Перова С.Н.* Таксономический состав и обилие макрозообентоса Рыбинского водохранилища в начале XXI века // Биология внутр. вод. 2012. № 2. С. 45–54. DOI: 10.1134/S1995082912020125
16. *Перова С.Н., Пряничникова Е.Г., Жгарева Н.Н., Зубишина А.А.* Таксономический состав и обилие макрозообентоса волжских водохранилищ // Тр. Ин-та биологии внутр. вод РАН. 2018. Вып. 82 (85). С. 52–66. DOI 10.24411/0320-3557-2018-10012
17. *Пидгайко М.Л., Александров Б.М., Иоффе Ц.И., Максимова Л.П., Петров В.В., Саватеева Е.Б., Салзкин А.А.* Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов Северо-Запада СССР // Изв. ГосНИОРХ. 1968. Т. 67. С. 205–228.
18. *Поддубная Л.* О донной фауне Череповецкого водохранилища в первые два года его существования // Тр. Ин-та биол. внутр. вод АН СССР. 1966.

- Вып. 12 (15). Планктон и бентос внутренних водоемов. С. 21–33.
19. Травина О.В., Беспалая Ю.В., Аксёнова О.В., Шевченко А.Р., Соколова С.Е., Кошелева А.Е., Овчинников Д.В. Распространение и плотность популяции *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) в периферийной части ареала // Рос. журн. биол. инвазий. 2020. Т. 13. № 1. С. 61–71.
  20. Филоненко И.В., Комарова А.С., Ивичева К.Н. Анализ факторов, значимых для зообентоса озера Белое Вологодской области // Принципы экологии. 2021. № 3. С. 74–86. DOI: 10.15393/j1.art.2021.11902
  21. Allrivers.info – уровни рек онлайн. <https://allrivers.info> (дата обращения: 15.02.2020)
  22. Chen Q., Yu R., Hao Y., Wu L., Zhang W., Zhang Q., Bu X. A New Method for Mapping Aquatic Vegetation Especially Underwater Vegetation in Lake Ulansuhai Using GF-1 Satellite Data // Remote Sens. 2018. V. 10. DOI:10.3390/rs10081279
  23. Cho H.J., Kirui P., Natarajan H. Test of Multi-spectral Vegetation Index for Floating and Canopy-forming Submerged Vegetation // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2008. V. 5. P. 477–483.
  24. Espel D., Courty S., Auda Y., Sheeren D., Elger A. Submerged macrophyte assessment in rivers: An automatic mapping method using Pléiades imagery// Water Res. 2020. V. 186. 116353 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116353>
  25. Luo J., Ma R., Duan H., Hu W., Zhu J., Huang W., Lin C. A New Method for Modifying Thresholds in the Classification of Tree Models for Mapping Aquatic Vegetation in Taihu Lake with Satellite Images // Remote Sens. 2014. V. 6. P. 7442–7462. DOI: 10.3390/rs6087442
  26. McFeeters S.K. The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // Int. J. Remote Sensing. 1996. V. 17. Is. 7. P. 1425–1432. DOI: 10.1080/01431169608948714
  27. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third ERTS Symposium. NASA SP-351. 1973. V. 1. P. 309–317.
  28. Tian Y.Q., Yu Q., Zimmerman M.J., Flint S., Waldron M.C. Differentiating aquatic plant communities in a eutrophic river using hyperspectral and multispectral remote sensing // Freshwater Biol. 2010. V. 55. P. 1658–1673. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2010.02400.x
  29. USGS Global Visualization Viewer. <http://glovis.usgs.gov> (дата обращения: 15.02.2020)
  30. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // Int. J. Remote Sensing. 2006. V. 27. Is. 14. P. 3025–3033. DOI: 10.1080/01431160600589179

## GIS assessment of biotopes of the river part of the Sheksninsky reservoir and their use by zoobenthos

K. N. Ivicheva<sup>a, \*</sup>, I. V. Filonenko<sup>b</sup>, A. S. Komarova<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Sankt-Petersburg branch of Federal Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Sankt-Petersburg, Makarova emb., 26

<sup>b</sup>Vologda branch of Federal Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Vologda, Levicheva str., 5

<sup>c</sup>Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast

\*e-mail: ksenya.ivicheva@gmail.com

With the help of GIS technologies, the boundaries and areas of the deep-water zone, thickets of higher aquatic vegetation, and open water zones with different types of soils have been established in the river part of the Sheksninsky reservoir. Quantitative indicators and the composition of the dominant species of zoobenthos in each type of biotope are given. In the bays, the biomass of zoobenthos is lower than in similar biotopes in flowing areas along the ship's passage. The weighted average biomass of zoobenthos is 3.9 g/m<sup>2</sup>. According to the level of development of zoobenthos, the reservoir belongs to the medium-sized.

**Keywords:** geoinformation systems, NDWI, zoobenthos, biomass, Sheksninsky reservoir, Vologda region.