

УДК 574.3

ВЛИЯНИЕ СОКРАЩЕНИЯ СТОКА ПРЕДГОРНОЙ РЕКИ НА ВИДОВОЙ СОСТАВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЫБ (РЕКА ИЗДРЕВАЯ, БАССЕЙН ВЕРХНЕЙ ОБИ)

© 2023 г. Е. Н. Ядренкина^а, *, Е. В. Книжник^б

^аИнститут систематики и экологии животных СО РАН, Россия 630091 Новосибирск, ул. Фрунзе, 11

^бООО “Айсберг”, Россия 630099 Новосибирск, ул. Серебренниковская, 37

*e-mail: Yadrenkina@ngs.ru

Поступила в редакцию 22.04.2022 г.

После доработки 16.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

Результаты обследования малой предгорной реки Салаирского горного кряжа (бассейн Верхней Оби) отражают сопряженность видового богатства, видового разнообразия и плотности населения рыб с гидрологическим режимом водотока на участках от истока к устью. Оценены особенности распределения рыб в русле реки при сокращении объема стока. Под влиянием изъятия воды для полива сельскохозяйственных земель на обмелевших участках низовьев реки снижаются численность и видовое богатство представителей бореального равнинного фаунистического комплекса рыб, но увеличивается доля представителей арктического комплекса.

Ключевые слова: ихтиофауна, видовое разнообразие, фаунистический комплекс, плотность рыб, Западная Сибирь

DOI: 10.31857/S0367059723020130, EDN: MZYQBF

Режимы стока рек изменяются под влиянием различных антропогенных воздействий, а климатические флуктуации создают дополнительные риски изменения биологического разнообразия гидробионтов и показателей продуктивности водных биоценозов [1]. Последствия изменений режимов стока на рыбные ресурсы могут быть негативны [2].

В России водотоки длиной менее 100 км составляют около 99% общего числа рек [3]. На Западно-Сибирской равнине общая протяженность более 2 тыс. малых рек превышает 250 тыс. км [4–6]. Из-за малой емкости водотоков сообщества гидробионтов уязвимы к антропогенным воздействиям [7]. Основная нагрузка на биотический комплекс приходится на период летней межени: на фоне сокращения объема осадков повсеместно осуществляют изъятие вод на бытовые нужды и полив сельскохозяйственных земель. Перечень сопутствующих факторов обширен: обмеление участков, пригодных для размножения рыб; изменение гидрологического, термического и гидрохимического режимов; увеличение концентрации биогенных и токсичных веществ, поступающих с площади водосбора и др. [8–11].

Изменения в режиме речного стока могут влиять на поведение немигрирующих рыб и распределение рыб в речном русле [12]. Оценки состояния населе-

ния гидробионтов от истока к устью необходимы для построения прогностических моделей реагирования биоты на меняющийся объем стока в сезонном и многолетнем аспектах [13–15].

Малые реки Западно-Сибирского региона в отношении населения рыб изучены мало. Это связано с трудностью применения стандартных методов оценки видового состава, ихтиомассы и рыбопродуктивности небольших водотоков из-за мозаичного распределения.

Цель данной работы – выявление закономерностей распределения рыб по руслу малой предгорной реки юга Западной Сибири, функционирующей в режиме сокращения общего объема стока.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Река Издревая протяженностью около 32 км относится к бассейну правобережного притока Верхней Оби – р. Иня, впадающей в р. Обь в 2965 км от устья. По критерию удаленности от устья и характеру уклона основное русло реки с питающими его водотоками условно разделили на три участка – “верхнее”, “среднее” и “нижнее” течение. Отлов рыб проведен на семи отрезках реки, в границах каждого из которых выделены и описаны биотопически разнотипные участки. Коорди-

наты мест сбора ихтиологического материала: 1 – 55°7′57.93″ с.ш./83°16′8.86″ в.д.; 2 – 55°6′24.99″ с.ш./83°16′28.53″ в.д.; 3 – 55°3′11.95″ с.ш./83°14′38.08″ в.д.; 4 – 55°2′09.10″ с.ш./83°15′17.45″ в.д.; 5 – 55°0′70.28″ с.ш./83°12′55.17″ в.д.; 6 – 54°59′58.39″ с.ш./83°12′53.34″ в.д.; 7 – 54°59′47.53″ с.ш./83°12′58.89″ в.д. В анализ включены данные маловодного 2012 г. (июль) и средневодного 2017 г. (август). Общий объем материала составили 38 проб рыб (960 экз.) и материалы фоторегистрации рыб на участках с глубинами менее 0.1 м (более 300 экз.).

Методы отлова рыб. При выборе используемых снастей учитывали гидроэкологические особенности облавливаемого участка (характер донных отложений, глубину и скорость течения):

На относительно глубоководных участках (более 0.4 м) использовали мальковый невод с размером ячеи 4 × 4 мм и длиной раскрытия крыльев 8 м. Во время протягивания снасти русло реки перекрывалось полностью. Выше по течению устанавливали ставную мелкочейную жаберную сеть с размером ячеи 10 × 10 мм, препятствующую “выходу” рыб из зоны облова.

Мелководные участки (глубиной 0.1–0.3 м) с относительно мягкими донными отложениями (ил, песок) облавливали мальковой волокушей, выполненной из капронового сита № 10, размер входного отверстия – 450 × 250 мм.

Каменистые участки (глубиной более 0.2 м) облавливали, перекрывая с двух сторон мелкочейными жаберными сетями, между ними трижды протягивали мальковый невод.

На мелководных прибрежных участках русла с глубинами менее 0.1 м в дневные часы плотность распределения рыб оценивали с использованием фотосъемки: определяли агрегацию мальков вдоль уреза воды с последующим перерасчетом плотности их распределения на единицу площади.

На каменистых участках русла с глубиной менее 0.2 м каждый камень, внешняя поверхность которого превышала 100 см², поднимали и учитывали всех находившихся под ними рыб. Большую часть рыб при этом удалось отловить с использованием сачков.

В местах перекрытия русла упавшими в воду деревьями и кустарниками оценку плотности распределения рыб проводили, опираясь на изображения фотосъемки в пересчете на единицу площади (1 м²).

В ночные часы с целью уточнения видового состава рыб, обитающих в границах исследуемого участка реки, русло перекрывали раколовкой длиной 4 м, входные отверстия которой направлены в обоих направлениях относительно речного потока. Кроме того, на биотопически разнотипных участках устанавливали ставные мелкочейные ловушки типа “морда” с помещенной внутрь приманкой.

чейные ловушки типа “морда” с помещенной внутрь приманкой.

Оценка объема годового стока реки. Расчет объема годового стока проведен по формуле: $V = FP\alpha_{\text{ср}}$, где F – площадь водосборного бассейна; P – средняя многолетняя годовая сумма осадков; $\alpha_{\text{ср}}$ – среднее значение коэффициента годового поверхностного стока с площади водосбора [16]. В качестве среднего значения коэффициента годового поверхностного стока с площади водосбора использовано справочное значение стока с естественных ландшафтов ландшафтно-климатической зоны юга Западной Сибири – 0.49 [17]. Согласно данным ФГБУ “Западно-Сибирское УГМС”, средняя многолетняя годовая сумма осадков (P) составляет 450 мм. Площади кластеров бассейна рассчитаны с использованием программы ArcView 3.2a на основе данных карты сельскохозяйственных угодий, предоставленных администрацией Новосибирского района Новосибирской области.

Оценка распределения разнотипных биотопов в русловой части реки. В основу выделения разных типов биотопов положено сочетание показателей скорости течения и глубины реки, характера донных отложений, степени зарастания высшими водными растениями.

При помощи полученных данных по распределению биотопов в русле реки и программы Google Earth-2017 проведено линейное интегрирование (объединение) биотопически разнотипных участков, что позволило оценить их абсолютную (м) и относительную (% от длины водотока) протяженность с учетом площади покрытия ими русла.

Изучение распределения рыб. Фиксация отловленных рыб и первичная обработка проведены в соответствии со стандартными методами [18]. Таксономический статус рыб установлен по Ю.С. Решетникову [19], выделение фаунистических комплексов – по Г.В. Никольскому и Ю.С. Решетникову [20, 21]. Численность рыб рассчитывали методом площадей [22, 23].

Уровень сходства видового богатства рыб на сравниваемых участках русла оценивали с использованием кластерного анализа, в основу матрицы показателей сходства положен индекс Жаккара (I_j).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Площадь водосборного бассейна реки составляет 188 км². Поверхностный сток р. Издревой используют для орошения. Поливные земли занимают 16% общей площади водосбора (около 190 км²). Из-за водопотребления объем стока в низовьях реки в период открытой воды сокращается на 11%.

В качестве мест обитания рыб выделены 5 типов биотопов (участки I – V):

I. Участки русла глубиной более 0.4 м, с заиленным дном, частично заросшие высшей водной растительностью.

II. Проточные участки русла с заиленным дном глубиной до 0.5 м, характеризующиеся скоплением остатков древесной растительности: затонувших стволов и ветвей деревьев и др.

III. Глубоководные участки русла с омутами и заиленным дном глубиной 0.4–2.5 м.

IV. Глубоководные участки русла с каменистым дном глубиной до 2.5 м.

V. Мелководные участки русла с каменистым дном глубиной до 0.3 м.

На русловых отрезках верхнего и среднего течения преобладают участки с заиленным дном, частично заросшие высшей водной растительностью (I). Доля “закоряженных” участков (II) увеличивается в среднем и нижнем течении. Немногочисленные омуты с заиленным дном (III) распределены относительно равномерно вдоль речного русла, а с каменистым дном (IV) отмечены только на участках среднего и нижнего течения. В нижнем течении из-за ненормируемого изъятия воды основную часть речных биотопов представляют каменистые мелководные участки русла (V). Общая протяженность участков русла, характеризующихся как биотоп I, составляет около 71% от общей длины реки, II – 16%, III – 2%, IV – менее 1%, V – 10%.

В летний период при сокращении стока обнаруживаются протяженные отрезки русловой части реки, покрытые щебнем и гравием. В результате сокращаются площади биотопов I, II и IV типов. В период межени под влиянием изъятия воды снижаются средние показатели глубины: на участках верхнего и среднего течения высота водного столба не превышает 0.40–0.60 м, в нижнем течении – не более 0.25 м.

Ихтиофауну р. Издревой слагают типичные обитатели предгорных рек юга Западной Сибири. Всего зарегистрировано 11 видов, относящихся к шести отрядам (Cypriniformes, Esociformes, Salmoniformes, Scorpaeniformes, Perciformes, Gadiformes) и семи семействам (Cyprinidae, Balitoridae, Balitoridae, Thymallidae, Cottidae, Percidae, Percidae). В пределах этого водотока на протяжении всего года обитают девять видов: щука *Esox lucius*, елец *Leuciscus leuciscus*, пескарь *Gobio gobio*, плотва *Rutilus rutilus*, обыкновенный голянь *Phoxinus phoxinus*, сибирский голец-усач *Barbatula toni*, хариус *Thymallus arcticus*, сибирский подкаменщик *Cottus sibiricus*, речной окунь *Perca fluviatilis*. В периоды паводка в низовья Издревой из р. Иня заходят язь *Leuciscus idus* и налим *Lota lota*.

Ихтиокомплексы разных биотопов различаются. В границах участков с заиленным дном по численности доминируют пескарь и обыкновенный голянь, на мелководьях с каменистым дном – сибирский подкаменщик и сибирский голец-усач, в омутах – сибирский хариус, на приустьевых участках встречаются плотва, елец и речной окунь (рис. 1).

Видовые составы рыб верхнего и среднего течения на уровне сходства $I_i \approx 0.2$ объединяются в один кластер, но существенно отличаются от состава рыб нижнего течения и приустьевых участков ($I_i \approx 0.4$) (рис. 2). Тем самым по составу в направлении от истока к устью население рыб можно разделить на три группы (комплекса).

Предгорным рекам свойственно постепенное снижение скорости течения от истоков к устьевой части по мере выравнивания ландшафта, а также возрастание объема стока с площади водосбора [17, 24, 25]. Поскольку в р. Издревая обитают представители трех фаунистических комплексов рыб, мы предполагали, что в верховьях реки должна быть высока доля арктобореального и бореального предгорных комплексов, а доля рыб бореального равнинного комплекса должна увеличиваться по мере снижения скорости потока в соответствии с представлениями Г.В. Никольского [20]. Однако результаты не подтвердили это предположение (табл. 1). Согласно Г.В. Никольскому и Ю.С. Решетникову [21, 26], фауну верхнего течения реки слагают виды-реофилы арктобореального и бореального предгорных комплексов, требовательные к проточности и концентрации растворенного в воде кислорода. В среднем течении, характеризующимся увеличением глубин из-за частичного перекрытия потока плотинами водозаборов и снижением скорости течения, относительно высока доля представителей бореальных комплексов (равнинного и предгорного). Однако в низовьях р. Издревая из-за сокращения стока наблюдаются обмеление, частичное обнажение каменистого речного ложа и увеличение скорости течения по сравнению с вышерасположенными участками русла. В этой зоне доля видов литофилов-реофилов, относящихся к арктобореальному и бореальному предгорным комплексам, вновь увеличивается.

Таким образом, в условиях интенсивного потребления воды для полива экологическая емкость реки в направлении “исток → устье” снижается. Поэтому в русловой части водотока меняются закономерности распределения рыб, характерные для предгорных рек: на участках среднего течения по численности и биомассе преобладают типичные представители равнинного комплекса (обыкновенный голянь и пескарь), а на обмелевших участках нижнего течения –

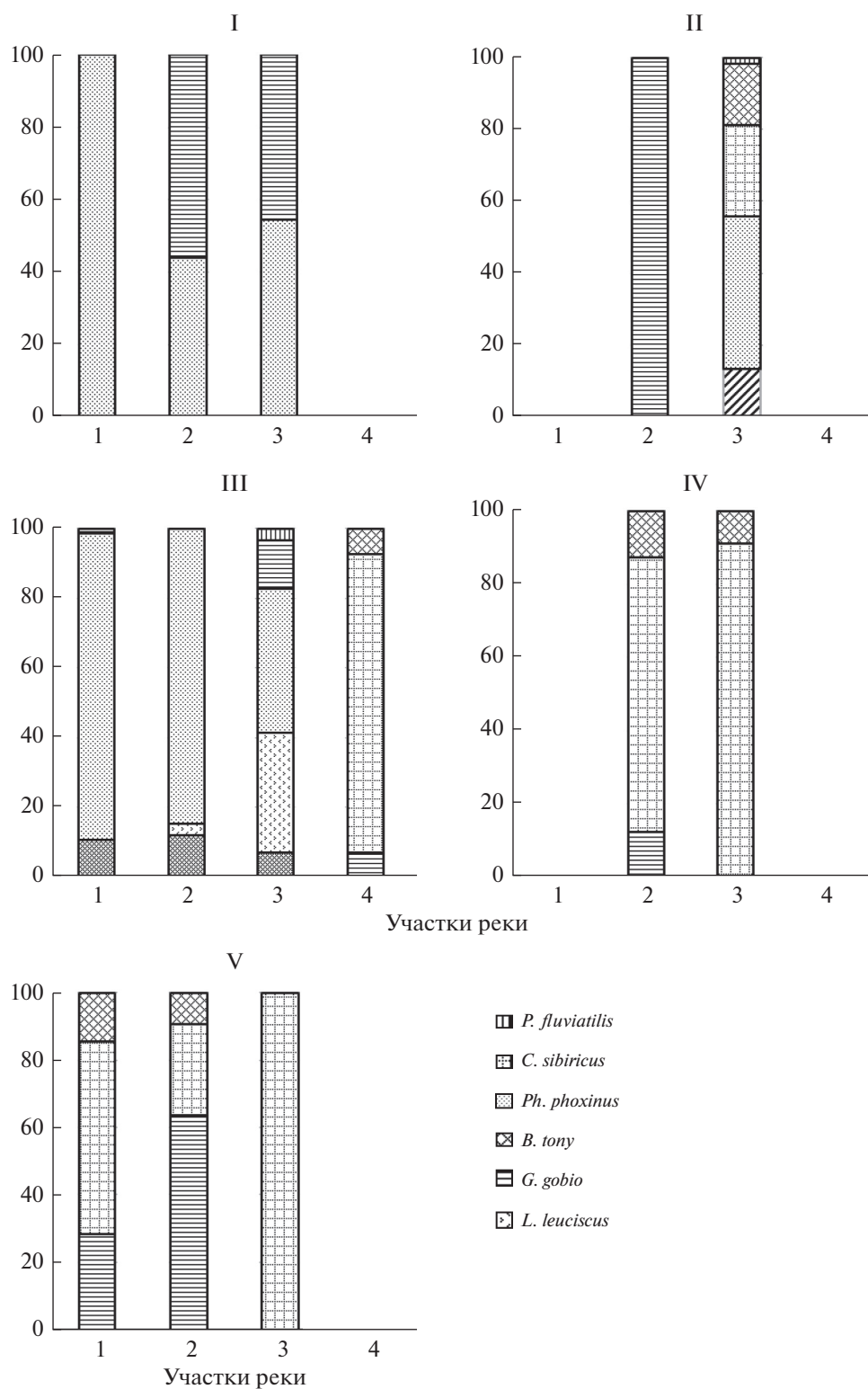


Рис. 1. Видовой состав рыб на разнотипных биотопах р. Издревая (I–V, % от общей численности) в верхнем (1), среднем (2) и нижнем (3) течении и в устье реки (4). Отсутствующий столбец гистограммы свидетельствует о том, что данный тип биотопа не характерен для соответствующего отрезка русла реки.

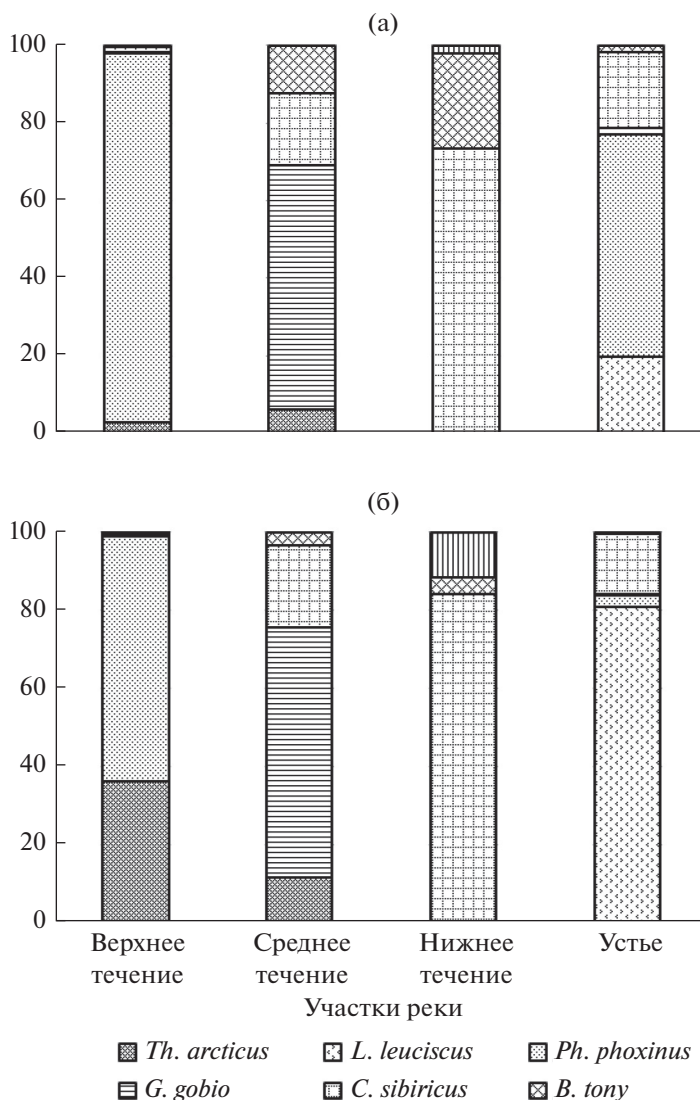


Рис. 2. Видовой состав рыб в зонах верхнего, среднего и нижнего течения реки: а – % от общей численности, б – % от общей биомассы.

обитатели горных рек (сибирский подкаменщик и сибирский голец-усач).

Аппроксимация степенной функции отражает не типичную для предгорных рек ситуацию: плотность населения рыб на участках нижнего течения в границах биотопа I в 1.7 раза ниже по срав-

нению с русловой частью среднего течения и в 2.5 раза – относительно верхнего течения. В границах биотопа III в нижнем течении плотность населения рыб в 4.7 раза меньше, чем на участках верхнего течения, и в 0.5 раза – относительно среднего течения. Эти результаты свидетельству-

Таблица 1. Соотношение представителей разных фаунистических комплексов рыб в русле р. Издревая, % от общей численности

Фаунистический комплекс	Участок русла			
	верхнее течение	среднее течение	нижнее течение	устье
Арктобореальный	1	18	72	10
Бореальный предгорный	99	17	27	79
Бореальный равнинный	0	65	1	21

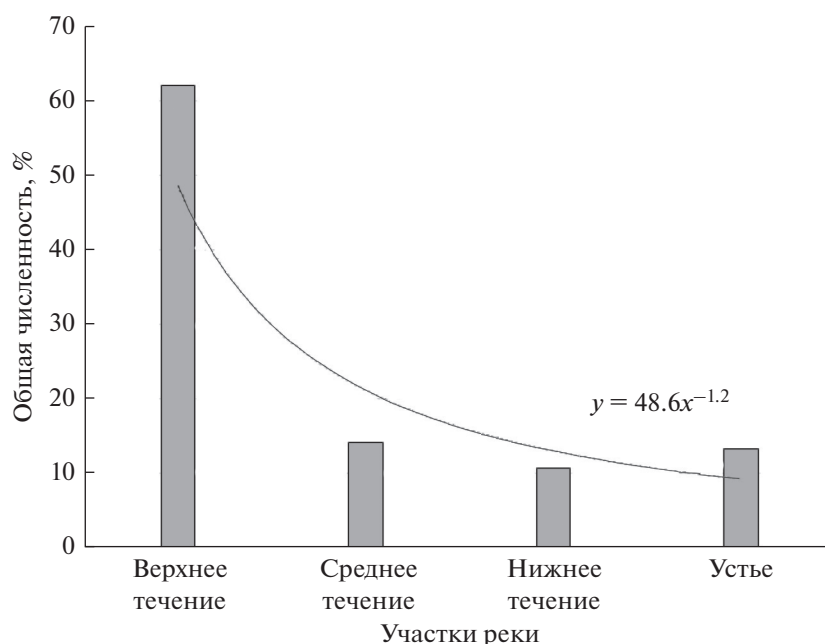


Рис. 3. Динамики численности рыб в направлении от истока к устью и графическое отображение степенной полиномиальной функции аппроксимации.

ют о том, что на обмелевшем отрезке русла низовьев реки сокращаются как видовое богатство, так и численность рыб (см. рис. 2, 3).

Основной сток горных и предгорных рек определяет уровень атмосферных осадков. Выявленные закономерности трансформации ихтиофауны при снижении экологической емкости водотока (в данном случае — по причине изъятия воды в хозяйственных целях) можно рассматривать в качестве модели реагирования биотического комплекса на возможные изменения климата (в том числе аридизацию) на юге Западной Сибири. Выявленные в р. Издревая особенности пространственного распределения рыб могут быть общими для других предгорных водотоков Салаирского горного кряжа.

Авторы выражают признательность координатору инициативной группы “Поможем реке Издревая” Ю.Ю. Колеватовой и сотруднику ООО “Сибэкоцентр” А.А. Томиленко за организацию и проведение обследования реки, сотруднику ИСиЭЖ СО РАН А.В. Мишакину — за участие в сборе материала в 2017 г., заведующему лабораторией зоомониторинга ИСиЭЖ СО РАН, д.б.н., проф. Ю.С. Равкину — за консультативную помощь при написании публикации.

Исследование поддержано Программой фундаментальных научных исследований (ФНИ) Российской академии наук на 2021–2025 гг. “Экологические основы организации, функционирования и динамики сообществ животных Северной Евразии” (проект № FWGS-2021-0002).

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов авторских прав и соблюдение этических норм и стандартов при обращении с выловленными объектами исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролова Н.Л. Гидрология рек. Антропогенные изменения речного стока. М.: Юрайт, 2019. 115 с.
2. Rytwinski T., Harper M., Taylor J.J. et al. What are the effects of flow-regime changes on fish productivity in temperate regions? A systematic map // *Environmental Evidence*. 2020. V. 9. № 7. <https://doi.org/10.1186/s13750-020-00190-z>
3. Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ, 2002. 114 с.
4. Кузин П.С. Классификация рек и гидрологическое районирование СССР. Л.: ГМИ, 1960. 187 с.
5. Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И. Физическая география СССР. Азиатская часть. Изд. 3-е, исправленное и дополненное. М.: “Мысль”, 1978. 512 с.
6. Макунина Г.С. Западно-Сибирская равнина // Большая российская энциклопедия. 2017. Электронная версия. <https://bigenc.ru/geography/text/4138680>
7. Крылов А.В., Бобров А.А., Папченков В.Г. и др. Экосистема малой реки в изменяющихся условиях среды М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2007. 368 с.
8. Калинин В.М., Ларин С.И., Романова И.М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 1998. 218 с.
9. Lake P.S. Flow-generated disturbances and ecological responses: floods and draughts // *Hydroecology and ecohy-*

- drology: Past, Present and Future. Eds. Wood P.J., Hannah D.M., Sadler J.M. Wiley, Chichester, 2007. P. 75–92.
10. *Клеуш В.О., Ким Л.В.* Ущерб, наносимый рыбному хозяйству Красноярского края от работы разнотипных водозаборов тепловых электростанций // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2011. № 10. С. 19–25.
 11. *Thompson J., Pelc C.E., Brogan W.R., Jordan T.E.* The multiscale effects of stream restoration on water quality // *Ecological Engineering*. 2018. V. 124. P. 7–18. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng>
 12. *Taylor M.K., Cooke S.J.* Meta-analyses of the effects of river flow on fish movement and activity // *Environmental Reviews*. 2012. V. 20. № 4. P. 211–219. <https://doi.org/10.1139/a2012-009>
 13. *Bunn S.E., Arthington A.H.* Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity // *Environmental Management*. 2002. V. 30. P. 492–507. <https://doi.org/10.1007/S00267-002-2737-0>
 14. *Van Vliet M.T.H., Ludwig F., Kabat P.* et al. Global river temperatures and sensitivity to atmospheric warming and changes in river flow // *Water Resources Research*. 2011. V. 47. № 2. W02544. <https://doi.org/10.1029/2010WR009198>
 15. *Walton S.E., Nunn A.D., Bolland J.D.* et al. Do fish go with the flow? the effects of periodic and episodic flow pulses on 0+ fish biomass in a constrained lowland river // *Ecohydrology*. 2017. V. 10. № 1. <https://doi.org/10.1002/eco.1777>
 16. *Сельский С.В.* (ред.) Методика расчета гидрологических характеристик техногенно-нагруженных территорий. СПб.: Изд-во ОАО “ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева”, 2010. 113 с.
 17. *Евстигнеев В.М.* Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во МГУ, 1990. 303 с.
 18. *Правдин И.Ф.* Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
 19. *Решетников Ю.С.* (ред.) Рыбы в заповедниках России. Т. 1. Пресноводные рыбы. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2010. 627 с.
 20. *Никольский Г.В.* О биологической специфике фаунистических комплексов и значении ее анализа для зоогеографии // *Очерки по общим вопросам ихтиологии* / Под ред. Линдберга Г.У. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 65–76.
 21. *Решетников Ю.С.* Идеи Г.В. Никольского о фаунистических комплексах и их современное развитие // *Современные идеи ихтиологии*. М.: Наука, 1981. С. 75–96.
 22. *Рикер У.Е.* Методы оценки и интерпретации биологических показателей популяций рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1979. 408 с.
 23. *Максименко В.П.* Количественные методы оценки рыбных запасов. М.: ФГУП “Национальные рыбные ресурсы”, 2004. 256 с.
 24. *Воскресенский К.П.* Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 51 с.
 25. *Кучмент Л.С., Демидов В.Н., Мотовилов Ю.Г.* Формирование речного стока. М.: Наука, 1983. 216 с.
 26. *Никольский Г.В.* Теория динамики стада рыб как биологическая основа рациональной эксплуатации и воспроизводства рыбных ресурсов. М.: Пищ. пром-сть, 1974. 448 с.