

ВАСИЛЬЕВ П. В., ЧИСТОВ С. В.
КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИХТИОФАУНЫ ПРЕСНЫХ ОЗЕР

Аннотация. В статье рассмотрены методические приемы картографического моделирования пространственно-временных особенностей формирования рыбопродуктивности пресных озер Российской Федерации на основе многолетних сезонных учетов и дешифрирования космических снимков.

Ключевые слова: биопродуктивность, ихтиофауна, картографическое моделирование, Псковское озеро.

VASILEV P. V., CHISTOV S. V.
CARTOGRAPHIC MODELING OF SPATIO-TEMPORAL FEATURES
OF DISTRIBUTION OF ICHTHYOFAUNA IN FRESH LAKES

Abstract. The article considers the results of cartographic modeling of spatio-temporal features of fish productivity in Russian fresh lakes on the basis of long-term seasonal trawl surveys and interpretation of space images.

Keywords: bioproductivity, ichthyofauna, cartographic modeling, Lake Pskov.

Ихтиофауна характеризуется рядом особенностей, которые определяют ее специфику как объекта картографирования. Во-первых, недоступность или существенная ограниченность непосредственного визуального наблюдения, совместно с невозможностью полного охвата исследованием всего рыбного населения водоема, предъявляют особые требования к методам получения первичных ихтиологических данных. Для рыбохозяйственных водоемов это происходит, главным образом, с помощью уловов – промышленных или, чаще всего, научно-исследовательских и контрольных, в частности – траловых съемок. На их основе в последующем определяются и картографируются промыслово-биологические параметры ихтиофауны [1].

Во-вторых, высокая подвижность, в том числе склонность к миграциям (нерестовым, нагульным, зимовальным), многих видов рыб, ограничивает как пространственную, так и временную точность карт ихтиофауны. Это связано с тем, что получение первичных ихтиологических данных всегда занимает некоторое время, зависящее от площади обследуемой акватории, программы наблюдений (съемки) и прочих природных и

человеческих факторов, и может варьироваться от нескольких часов до нескольких дней и даже недель. Соответственно, чем дольше продолжается съемка, и чем мобильнее те или иные виды рыб в данное время года, тем более условный характер имеет составленная по материалам этой съемки карта.

В-третьих, сезонные, годовые и многолетние колебания численности, обусловленные влиянием различных абиотических, биотических и антропогенных факторов, определяют необходимость проведения длительных наблюдений с обязательным учетом этих факторов для создания достоверных и обоснованных карт динамики ихтиофауны.

Рассмотренные особенности ограничивают развитие картографирования ихтиофауны, как в научно-методических, так и в прикладных аспектах. Особенно это касается картографирования ихтиофауны пресных водоемов, которые характеризуются меньшим видовым разнообразием и биомассой (уловами) по сравнению с морскими экосистемами, и которым, в связи с этим, уделяется меньше внимания со стороны ученых.

Анализ литературных и картографических источников позволяет сделать вывод о наличии определенного опыта по картографированию ихтиофауны пресных водоемов, что нашло отражение в ряде публикаций, в том числе и в атласах [2–7]. Их обзор позволил выделить три основных направления, соответствующих фундаментальным разделам тематической картографии: зоогеографическое, рыбохозяйственное и зооэкологическое (см. рис. 1).



Рис. 1. Основные направления картографирования ихтиофауны пресных водоемов.

В рамках зоогеографического направления картографирования ихтиофауна рассматривается как один из элементов животного мира, который, в свою очередь, является

одним из компонентов природных геосистем [8]. По сравнению с зоогеографическим картографированием млекопитающих и птиц, рассматриваемое направление развито в гораздо меньшей степени. На зоогеографических картах ихтиофауны отображается распространение определенных систематических таксонов на уровне семейств, родов, видов, их групп и комплексов, а также биологические особенности видов рыб [9].

В рыбохозяйственном картографировании ихтиофауна, как картографируемый объект, рассматривается в своем промыслово-экономическом значении – в виде рыбных ресурсов [10]. Ввиду высокой значимости рыбного хозяйства, активно ведущегося, в том числе на пресных водоемах, для населения и экономики это направление картографирования ихтиофауны получило гораздо большее развитие по сравнению с зоогеографическим.

В рамках зооэкологического направления картографирования ихтиофауны пресных водоемов основное внимание уделяется отражению особенностей и закономерностей пространственно-временного распределения рыбного населения в озерах и водохранилищах в связи с условиями среды обитания и характером внутривидовых и межвидовых взаимосвязей внутри самого ихтиоценоза [11]. Из трех направлений картографирования зооэкологическое получило наименьшее развитие.

Псковским филиалом ВНИРО ежегодно, в среднем 2-3 раза в период с апреля по октябрь проводятся научно-исследовательские траловые съемки в акваториях Псковско-Чудской озерной системы [12]. Результаты траловых съемок включают сведения о географических координатах начальной и конечной точек траления; дате и времени его начала и окончания; температуре воды во время траления; вылове по отдельным видам рыб с указанием размеров экземпляров и масс пойманной рыбы в кг и др. Первичные промыслово-биологические параметры, характеризующие улов каждого трала, ограничены. Но, несмотря на это, наличие позиционной составляющей, представленной непосредственно координатами, делает ихтиологические данные, получаемые в ходе траловых (биоресурсных) съемок, наиболее подходящим источником для картографирования пространственно-временных особенностей распределения ихтиофауны пресных водоемов.

Помимо фиксации пространственно-временных особенностей распределения рыб по акваториям, существенная роль в зооэкологическом картографировании принадлежит картам, отражающим систему природных и антропогенных факторов, определяющих, в том числе, и условия обитания ихтиофауны. Настоящее исследование и посвящено результатам картографического моделирования пространственно-временных особенностей распределения преимущественно промысловых видов рыб на примере Псковско-Чудской

озерной системы. Методические особенности разработки серии карт опубликованы ранее [13], но в этой статье необходимо представить своеобразие технологий именно картографического моделирования на основе результатов траловых натурных работ.

На первых этапах исследования были проведены эксперименты по выбору метода картографического моделирования. В качестве тестовых источников опробованы данные по вылову плотвы в ходе траловой съемки, проводившейся на Псковском озере 25-26 октября 2008 г. Разными вариантами интерполяции, имеющимися в ГИС-пакете ArcGIS, было построено пять моделей пространственного распределения биопродуктивности плотвы в акватории озера (см. рис. 2) на основе методов обратно взвешенных расстояний (см. рис. 2, а); естественной окрестности (см. рис. 2, б); полиномиального тренда второй степени (см. рис. 2, в); полиномиального тренда третьей степени (см. рис. 2, г) и сплайнов с натяжением (см. рис. 2, д).

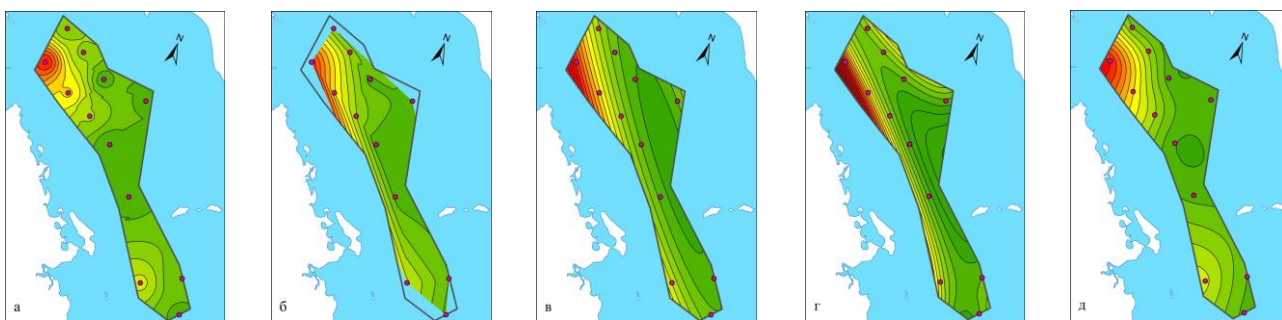


Рис. 2. Варианты интерполяции данных о биопродуктивности плотвы, полученных по материалам траловых работ в Псковском озере.

Несмотря на некоторые различия картографических результатов, на картах-моделях (см. рис. 2) относительно четко фиксируются участки акватории, где наблюдаются максимальные скопления рыб (ареалы красного цвета). Наиболее правдоподобным является результат моделирования, полученный с использованием метода сплайнов с натяжением (см. рис. 2, д). В этом случае строится модель со значениями исключительно в пределах исходного диапазона величин интерполируемого показателя, что позволяет избежать возможного получения не соответствующих действительности максимумов и минимумов в модели [14]. Поэтому именно этот метод был выбран в рамках настоящей работы в качестве метода интерполяции исходных данных траловых съемок. По таким же методам получены карты температур (рис. 3) и глубин акватории за все сезоны лет натурных траловых исследований.

Для создания зооэкологических карт параллельно этому проводилось дешифрирование космических снимков на предмет исследования возможностей их

использования для оценки экологических факторов обитания ихтиофауны.

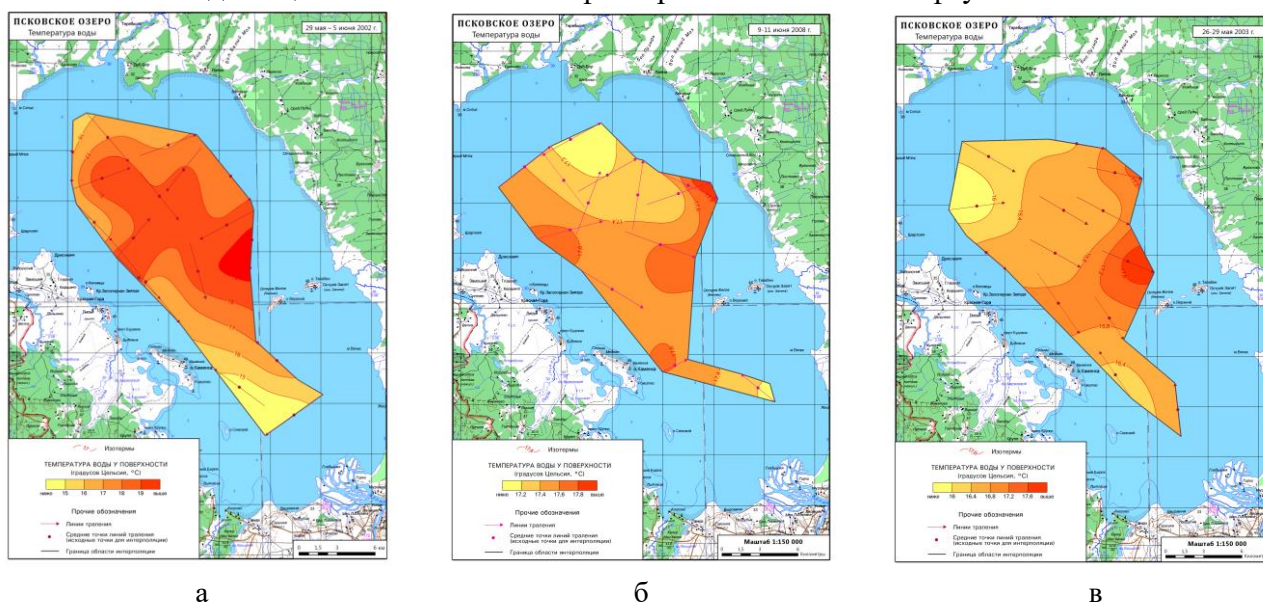


Рис. 3. Температура воды у поверхности за период траления (на конец весны – начала лета 2002, 2006, 2008 гг. соответственно).

Отработка алгоритма дешифрирования снимков акваторий модельной озерной системы проведена для космического снимка Landsat 7/ETM+ от 31.05.2002 г., выполненного в условиях безоблачного неба и синхронизированного по времени с проведением траловой съемки. Анализ проводился в среде *Erdas Imagine*. На рис. 4 представлен синтезированный фрагмент акватории Псковского озера и ближайшей суши.

На первом этапе работ на снимке в пределах акватории озера выделены три полигона (в северной, юго-западной и южной частях озера), наиболее существенно отличающихся друг от друга по спектральной яркости. Каждому из этих полигонов задан условный цвет, в данном случае: красный, синий и зеленый – от самого «светлого» до самого «темного». Серым цветом выделена область суши. Дальнейшая обработка цифрового аналога космического снимка проводилась на основе процедур контролируемой классификации. Результатом реализации этой процедуры выступает предварительный вариант дешифрирования, на котором для каждого пикселя (в границах акватории) определена принадлежность к одному из трех классов и присвоен соответствующий конкретному классу цвет (см. рис. 4). На преобразованном таким образом фрагменте снимка хорошо выделяются три участка акватории, которые существенно отличаются друг от друга по спектральным характеристикам верхнего горизонта вод. Заметим, что полученный предварительный вывод сделан лишь на основе использования каналов съемки в видимом диапазоне спектра. Задача последующих работ заключается в сравнительном анализе полученного результата с

существующими данными о термических и иных особенностях вод на период съемки (на конец мая 2002 г.).

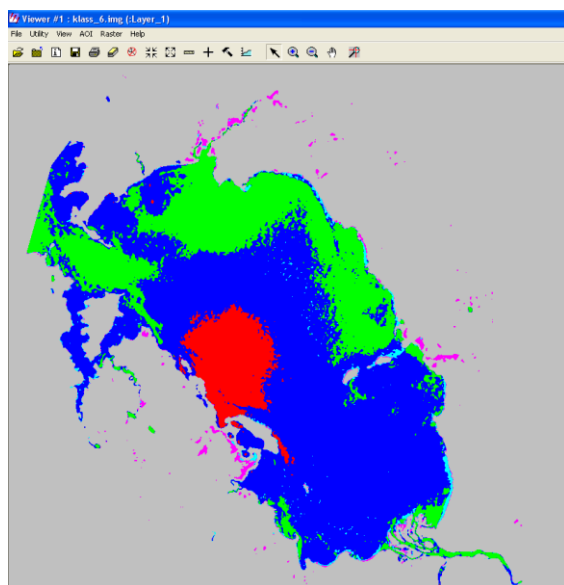


Рис. 4. Фрагмент снимка Landsat 7/ETM+ от 31.05.2002 на акваторию Псковского озера с тремя эталонными участками и прилегающую сушу.

В результате обработки снимка в пределах акватории Псковского озера отчетливо выделяются в виде отдельных ареалов три зоны, различающиеся составом вод. В северной части Псковского озера по космическому снимку особо выделен участок акватории вблизи устья р. Чёрной, имеющей небольшой по площади водосборный бассейн. На протяжении 15-17 км от устья река дренирует низинные болота в пределах плоских и слабовыпуклых заболоченных равнин, а еще выше по течению – верховые и переходные болота, местами покрытые влажными лесами равнин озерно-ледникового генезиса. Лишь истоки реки и ее притоков берут начало на Лужской возвышенности. Бассейн реки мало затронут антропогенными воздействиями, что сказалось и на особом качестве вод, поступающих в Псковское озеро.

Близкая к этому, подобная картина характерна практически для всего восточного побережья озера. Здесь расположены плоские и слабовыпуклые равнины, покрытые низинными болотами, простирающимися вдоль берега в виде относительно узкой (3-5 км) полосы. Это способствует тому, что в прибрежных водах также отмечается полоса, схожая по спектральным особенностям с приустьевыми зонами р. Чёрная. Сказанное может свидетельствовать о важной роли низинных болот в формировании качества вод Псковского озера. На юге, юго-востоке и юго-западе озера, у дельты р. Великой и практически по всей центральной части акватории сформирована основная масса воды с отличающимися спектральными особенностями (синий цвет на рис. 4). Большинство траловых учетов за анализируемый период проводилось именно в этой зоне озера. Южная часть озера находится

под влиянием стока р. Великая, в бассейне которой сосредоточено множество объектов промышленности, сельхозпредприятий, населенных пунктов, что создает своеобразную водную массу в приустьевой акватории. На майском снимке 2002 г. она довольно четко фиксируется на значительной акватории, составляющей не менее 1/3 поверхности озера, располагаясь к югу от о. Каменка, у его западного берега, и у восточного берега о. Залита. Вдольбереговые течения перемещают часть приустьевой водной массы в северо-восточном направлении. Другая ее часть относительно узкой полосой поднимается к северу вдоль фарватера, что хорошо заметно на анализируемом космоснимке.

Относительно компактно у западных берегов озера на снимках фиксируется акватория, выделенная красным цветом. Заметим, что в ее границах и недалеко от них на картографических моделях распределения рыб весной часто фиксируются повышенные концентрации различных видов, что может свидетельствовать об особых условиях, складывающихся в этой части озера в определенные сезоны года.

К сожалению, отсутствие данных регулярных гидрологических наблюдений не позволяет высказать каких-либо обоснованных предположений о причинах развития в этой акватории столь специфичных водных масс. Результат дешифрирования космического снимка представляет собой своего рода «априорную» классификацию, при которой не известны гидрологические, гидрохимические, гидробиологические и прочие особенности водных масс, но фиксируется особый спектральный образ отражения электромагнитных волн различной длины, приходящих от Солнца.

Примечательно, что основные скопления рыб в этот период (см. рис. 5) регистрируются именно в северной части озера, в зонах поступления водных масс с северных, северо-восточных и восточных прибрежных участков, не испытывающих значительного антропогенного воздействия. Это способствует формированию здесь относительно чистых вод, поступающих в озеро в период половодья. В южной части водоема, примыкающей к дельте р. Великая, плотность рыбных скоплений минимальна, что особенно характерно для таких видов как лещ, судак и щука. Скопления окуня и плотвы располагаются в северо-западной зоне акватории и тяготеют к чистым водам, сформированным во время половодья в бассейне р. Чёрной и других малых водотоках.

В ходе траления обычно проводятся измерения температуры воды, что позволяет составить и. картографические модели термического поля (см. рис. 3, а). Так, например, сопоставление этой модели с картами распределения плотности различных видов рыб позволяет в первом приближении ответить и на вопрос о формировании участков особо

плотных скоплений леща, судака, щуки и частично плотвы в центральной части озера. Именно там отмечаются наиболее высокие температуры поверхности воды (+18–19 °С).

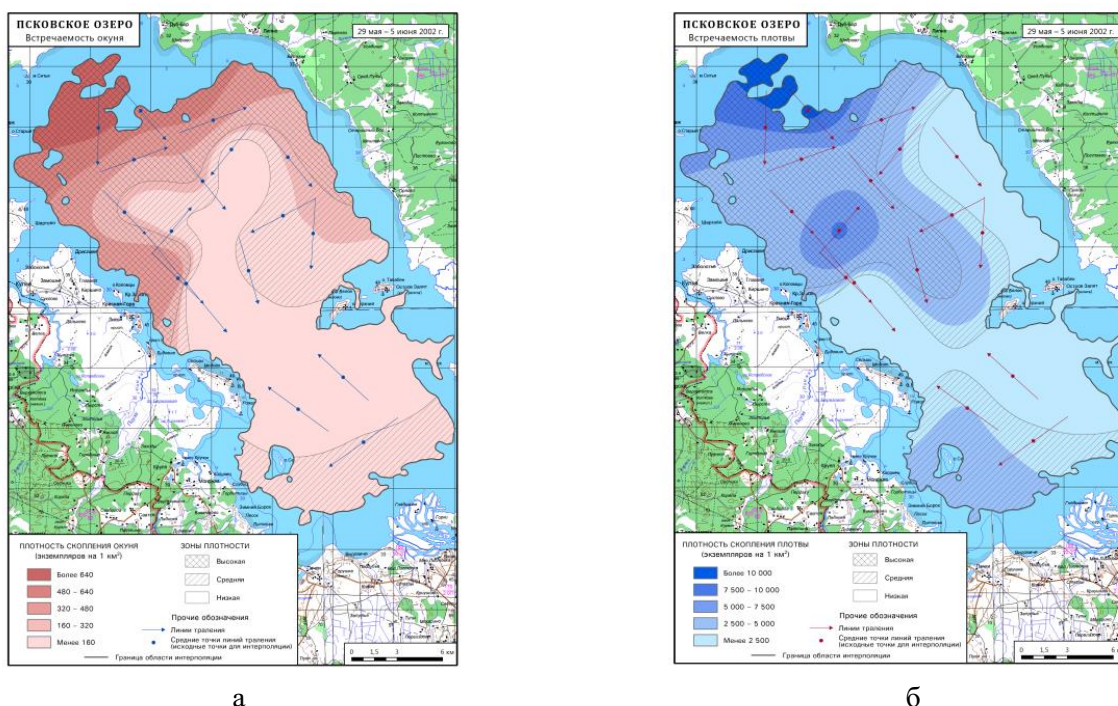


Рис. 5. Плотность скопления различных видов рыб в Псковском озере

по результатам траловых учетов в конце мая – начале июня 2002 г (а – окунь; б – плотва).

Очевидно, что чистота и температура вод – лишь немногие из причин, оказывающих влияние на пространственное распределение рыб. Не менее важная роль может принадлежать поведенческим механизмам, трофическим, гидрологическим и другим факторам. В этом смысле отмеченные результаты сопоставлений носят предварительный характер и нуждаются, по крайней мере, в хорошем статистическом обосновании. Именно в этом состоит главная задача последующего анализа.

Таким образом, разработана и на примере Псковского озера апробирована для эталонных (характерных) лет методика картографического анализа и оценки пространственно-временных особенностей формирования биопродуктивности озерной экосистемы. Она позволила выявить важные особенности в формировании зон с высокой продуктивностью ихтиофауны в данном водоеме, которые связаны, прежде всего, с гидрологическими условиями. Это подтверждает распространенное среди специалистов-ихтиологов мнение о необходимости использования при оценке продуктивности ихтиофауны данных гидрологических наблюдений за температурой, уровнем воды и ледовым режимом водных объектов.

Полученные результаты подтверждают высокую перспективность применения

картографического метода исследования в изучении пространственно-временных особенностей формирования биопродуктивности экосистем внутренних водоемов. Дополнительное привлечение данных натуральных измерений, мониторинговых наблюдений и аэрокосмических исследований (как дополнительных источников информации о состоянии водной среды) позволит существенно расширить возможности комплексного изучения динамических режимов как отдельных компонентов экосистемы водоема (в частности, ихтиоценоза), так и его биотического сообщества в целом. Данный подход будет способствовать решению не только вышеупомянутой научной проблемы, но также и важных задач прикладного характера, таких как, например, оптимизация промыслового режима биологических ресурсов Псковско-Чудского озера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шибаев С. В. Теоретические основы применения системного подхода в рыбохозяйственных исследованиях и информационном обеспечении управления водными биоресурсами внутренних водоемов: дис. ... докт. биол. наук. – Калининград, 2002. – 430 с.
2. Рыбопромысловый атлас Рыбинского водохранилища. – Ярославль: Институт биологии внутренних вод АН СССР, 1963. – 69 с.
3. Атлас озера Хубсугул. – М.: ГУГК, 1989. – 118 с.
4. Байкал. Атлас. – М.: Роскартография, 1993. – 160 с.
5. Едский Б. Л. Научные и методические основы комплексного рыбохозяйственного картографирования России: дис. ... докт. геогр. наук в форме науч. докл. – М., 1997. – 41 с.
6. Рыбохозяйственный атлас озера Ханка. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2014. – 205 с.
7. Ладожское озеро и достопримечательности его побережья. Атлас. – СПб.: Нестор-История, 2015. – 200 с.
8. Географическое картографирование: карты природы / Под ред. Е. А. Божилиной. – М.: ИД «КДУ», 2016. – 316 с.
9. Емельянова Л. Г., Огуреева Г. Н. Биогеографическое картографирование. – М.: Юрайт, 2017. – 134 с.
10. Прохорова Е. А. Социально-экономические карты. – М.: ИД «КДУ»; «Добросвет», 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bookonline.ru/product/socialno-ekonomicheskie-karty> (дата обращения 18.11.2022).

11. Огуреева Г. Н., Котова Т. В., Емельянова Л. Г. Экологическое картографирование. – М.: Юрайт, 2018. – 162 с.
12. Материалы, обосновывающие общие допустимые уловы водных биологических ресурсов в Чудско-Псковском озере и малых водоемах Псковской области на 2017 год (с оценкой воздействия на окружающую среду). – Псков: Псковское отделение ГосНИОРХ, 2016. – 36 с.
13. Криксунов Е. А., Чистов С. В., Васильев П. В., Бурменский В. А., Бобырев А. Е., Мельник М. М. Пространственно-временная динамика рыб Псковского озера // Журнал общей биологии. – 2020. – Т. 81, № 1. – С. 3–19.
14. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. – М.: ИД «КДУ», 2016. – 424 с.
15. Fish Atlas / Illinois-Indiana Sea Grant. – 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fishatlas.org>. (дата обращения 18.11.2022).