

Геоинформационная база данных для анализа пространственного распределения байкальских эндемичных амфипод в р. Енисей

А. В. Андрианова^{1,2}, О. Э. Якубайлик^{1,3,*}

¹Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, Россия

²НИИ экологии рыбохозяйственных водоемов, Красноярск, Россия

³Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

*Контактный e-mail: oleg@icm.krasn.ru

Рассматривается состояние эндемичных байкальских амфипод в р. Енисей, приводятся результаты экспедиционных исследований. Отмечается факт многократного увеличения количества амфипод в Енисее после зарегулирования плотиной Красноярской ГЭС. Данные гидробиологического мониторинга оформлены в виде геопространственной базы данных на геопортале, который предоставляет возможности визуализации результатов исследований в виде интерактивных тематических карт, прямого доступа к данным через картографические веб-сервисы из современных ГИС.

Ключевые слова: пространственное распределение, геоинформационная система, зообентос, амфиподы, *Gmelinoides fasciatus*, *Philolimnogammarus viridis*, геопортал, веб-картография, р. Енисей.

Введение

Строительство Красноярской ГЭС в 70-е годы прошлого века вызвало коренное изменение гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов р. Енисей. В нижнем бьефе ГЭС Енисей в зимнее время не замерзает на протяжении 100–300 км от плотины; влияние ГЭС на ледовый режим реки прослеживается до устья р. Подкаменная Тунгуска. Зарегулирование Енисея привело к глобальным перестройкам в гидробиологических сообществах. Произошли смена доминирующих форм фитопланктона, обогащение его видового состава и увеличение общей численности водорослей за счет стока из верхнего бьефа; резко возросло количество фитобентоса и фитоперифитона, ставшего даже помехой в работе водозаборов [1]. Изменение гидрологического режима оказало значительное воздействие на популяции осетровых и других ценных видов рыб, существенно нарушив их ареалы [2].

Зообентос (беспозвоночные животные, обитающие в водоемах на поверхности грунта и в его толще) Енисея в результате гидростроительства также претерпел масштабные перестройки, особенно в нижнем бьефе ГЭС. Из донной фауны практически исчезли веснянки и мошки, значительно уменьшились плотность и число видов ручейников

и поденок. Количественные характеристики зообентоса на участке от плотины Красноярской ГЭС до устья Ангары существенно возросли: численность увеличилась более чем в два раза, биомасса — в пять раз. Рост показателей обусловлен, прежде всего, распространением амфипод (ракообразных) из оз. Байкал через р. Ангару вверх по течению Енисея, при этом их доля в общей биомассе зообентоса увеличилась в 10 раз [3, 4].

В этом отношении особый интерес представляют пространственное распределение амфипод на всем протяжении р. Енисей и анализ динамики инвазивных процессов. Проблема инвазий чужеродных видов относится к одному из важных направлений фундаментальных и прикладных работ. Однако информационная составляющая подобного рода исследований в нашей стране до сих пор остается недостаточно развитой. В России наблюдается явный недостаток в Интернет-ресурсах, посвященных видам-вселенцам [5]. По экосистеме Енисея за многолетний период накоплен обширный массив разнообразных данных биотического и абиотического характера, которые являются ценным материалом для анализа. Использование новых методов обработки данных, таких как геоинформационное и картографическое моделирование, обеспечивает возможность получения дополнительной информации о пространственных особенностях распределения гидробионтов, помогает в поиске взаимосвязей с различными факторами природной среды.

1. Гидробиологические исследования

Представленные материалы являются результатами работ по изучению состояния кормовых ресурсов Енисея, начатых в начале 2000-х гг. [3, 4, 6]. На данном этапе получены современные сведения (2015 и 2016 гг.) о состоянии донной фауны в целом и в частности о распространении байкальских амфипод в реке от истока до дельты включительно. Пробы грунта отбирались у обоих берегов, преимущественно в прибрежной зоне на глубине до 1 м; лишь в дельте Енисея имелась возможность изъять грунт с глубин до 14 м. При сборе гидробиологического материала определялись глубина, температура и прозрачность воды, содержание растворенного кислорода, скорость течения, степень зарастания макрофитами, тип грунта. В рамках данного исследования в Енисее обработано и проанализировано 178 количественных проб донной фауны. Сбор и анализ материала проводился общепринятыми гидробиологическими методами.

В Верхнем Енисее для сбора гидробиологического материала было намечено 15 станций, из которых две расположены в пределах Республики Тыва, три — ниже Саяно-Шушенского водохранилища от г. Саяногорска до г. Минусинска и 10 — на участке от плотины Красноярской ГЭС до устья р. Ангары. В Среднем Енисее исследовали участок от устья р. Ангары до пос. Сургутиха — 21 станция, в Нижнем Енисее зообентос собирали на 12 станциях — от г. Дудинка до дельты, включая Бреховские острова.

2. Результаты гидробиологических исследований

В Енисее обнаружено несколько видов амфипод, но на всем протяжении реки встречался лишь *Gmelinoides fasciatus* Stebb. В Верхнем Енисее это единственный и редкий представитель высших ракообразных. Ниже плотины Красноярской ГЭС видовой состав амфипод расширился за счет *Philolimnogammarus viridis* Dybowsky, *Gammarus* sp., *Ph. cyaneus* Dybowsky, *Pallasea cancelloides* Gerstfeldt, *Eulimnogammarus verrucosus* Gerstfeldt.

В Среднем Енисее после впадения Ангары данный комплекс амфипод сохранялся, но на смену *Gammarus sp.* пришел *Micruropus sp.* В Нижнем Енисее наибольший вес приобрела *Pontoporeia affinis* Lindstrom. Наибольшего количественного развития достигал *G. fasciatus*, субдоминантом являлся *Ph. viridis*.

Количественное преимущество на исследованных участках Енисея имели *G. fasciatus* и в меньшей степени *Ph. viridis*, в дельте их сменила *P. affinis*. Пространственная динамика количественных показателей доминирующих видов амфипод на всех исследованных участках Енисея отличалась крайней неоднородностью.

В Верхнем Енисее *G. fasciatus* максимальной плотности достигал в районе Саяногорска (3018 км от устья Енисея) и Минусинска (2901 км) — более 4 тыс. экз./м² и 7–8 г/м² (рис. 1). На данном участке реки велика степень зарастаемости русла погруженными и полупогруженными макрофитами, которые служат благоприятным биотопом для массового развития *G. fasciatus*. Еще один количественный всплеск *G. fasciatus* в Верхнем Енисее отмечен ниже Красноярска (пос. Кубеково, 2439 км) — 6.3 тыс. экз./м², биомасса — 9.3 г/м². Низкая плотность гмелиноидеса в Верхнем Енисее зарегистрирована ниже плотины Красноярской ГЭС (2500, 2482 км) и в районе устья правобережного притока р. Кан (2356 км) — менее 0.1 тыс. экз./м² при биомассе 0.2–0.8 г/м².

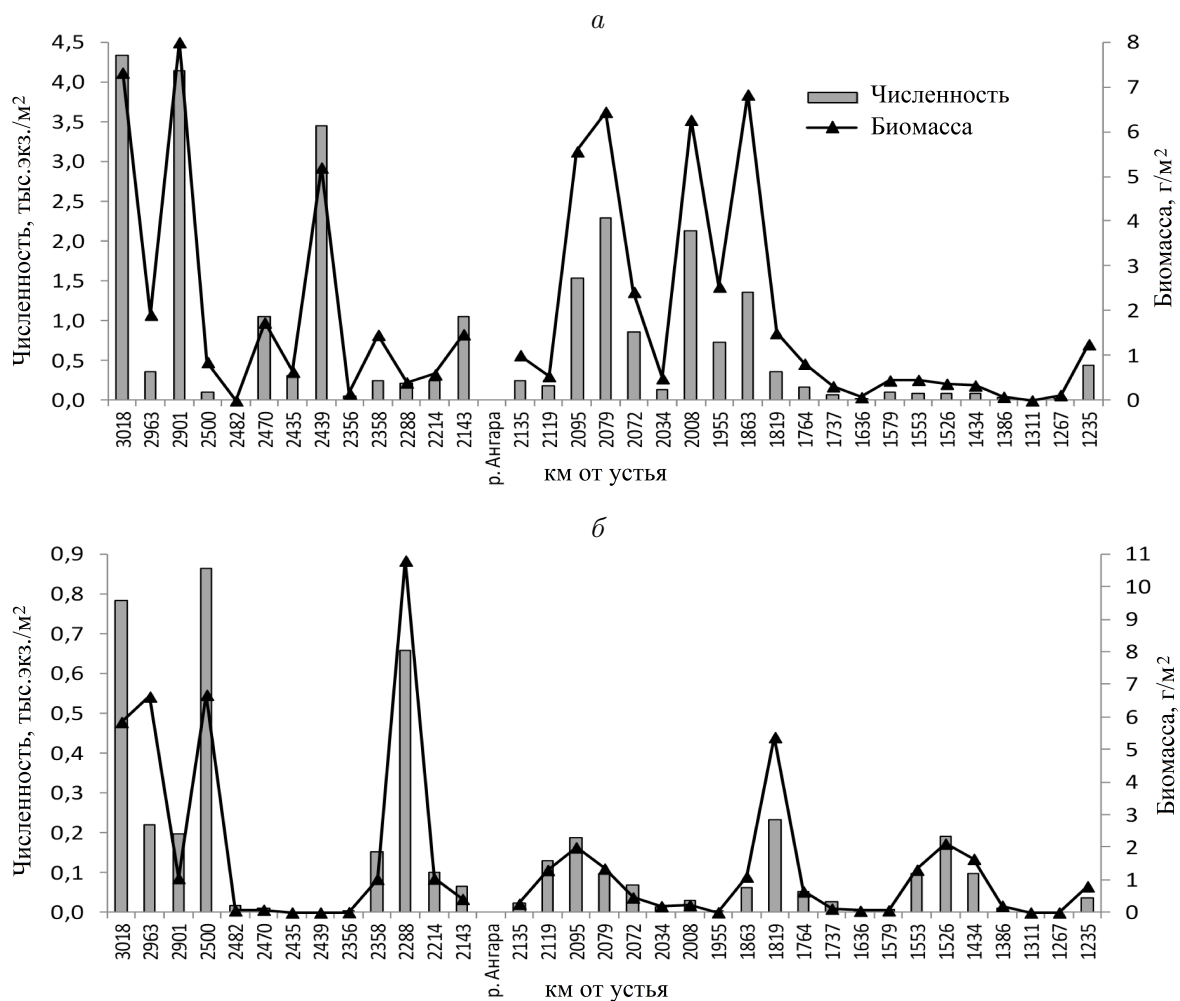


Рис. 1. Пространственная динамика численности и биомассы *G. fasciatus* (а) и *Ph. viridis* (б) в Верхнем (выше впадения р. Ангары) и Среднем (ниже впадения р. Ангары) Енисее

В Среднем Енисее (после впадения Ангары) высокое обилие *G. fasciatus* отмечалось на нескольких станциях в пределах 2095 — 1863 км от устья (рис. 1). Максимальные скопления выявлены в Баженовской курье (2008 км) и протоке Еловая (1863 км) — до 4.2 тыс. экз./м² и 17.0 г/м². После впадения левобережного притока р. Кас (1819 км от устья) плотность гмелиноидеса в Енисее резко снизилась и не превышала 0.8 тыс. экз./м² и 3.0 г/м² (в протоке Касовской). Резкое снижение плотности амфипод на нижнем плесе Среднего Енисея объясняется, вероятно, гидрологическими особенностями этого участка, поскольку после впадения р. Подкаменной Тунгуски вдвое уменьшается уклон русла, что приводит к понижению скорости течения и накоплению иловых отложений [7].

Минимальные показатели *G. fasciatus* (0.01 тыс. экз./м² при биомассе 0.07 г/м²) отмечены в районе Вороговского многоостровья (1636 км), которое имеет важное значение для развития и нагула молоди осетровых, поскольку здесь расположены их нерестилища. Участок отличается большим количеством островов, протоков, заводей, значительной площадью мелководий, здесь особенно распространены илистые грунты. В нижнем течении ветры большой силы, особенно осенью, вызывают частые штормы и резкие колебания уровня воды. Сильное прибойное действие волн отрицательно отражается на обитателях прибрежной зоны, обычно слагающейся здесь из легкоразмываемых грунтов. Плотность *G. fasciatus* в низовье Енисея резко упала по сравнению с верхними участками.

На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что *Ph. viridis* является стабильным субдоминантом среди амфипод, за исключением Нижнего Енисея, где его сменяет *P. affinis*. В Верхнем Енисее в Тыве *Ph. viridis* отсутствовал в пробах, но ниже по течению на участке Саяногорск — Минусинск достигал максимальных количественных показателей (рис. 1), особенно в зарослях макрофитов в районе г. Саяногорска (3018 км от устья) — до 3.9 тыс. экз./м² при биомассе 29 г/м². Еще два пика плотности *Ph. viridis* также приурочены к нижнему плесу Верхнего Енисея — в нижнем бьефе Красноярской ГЭС (2500 км от устья) и ниже г. Красноярска, в районе д. Российка (2288 км). Менее всего заселен виридисом участок от д. Овсянка (выше г. Красноярска, 2482 км от устья) до впадения правобережного притока р. Кан (ниже г. Красноярска, 2356 км от устья). Здесь его численность не превышала 0.02 тыс. экз./м², а биомасса — 0.2 г/м². В Среднем Енисее ниже устья Ангары динамика плотности *Ph. viridis* характеризовалась несколькими плавными подъемами, которые, однако, были существенно ниже, чем в Верхнем Енисее. Первый подъем приурочен к району г. Лесосибирска (2095 км от устья), второй — к устью р. Кас (1819 км), третий — отмечен на участке от пос. Бор (ниже устья р. Подкаменной Тунгуски) до пос. Бахта (1553–1434 км) (рис. 1). Максимальные показатели численности и биомассы рачка (0.5 тыс. экз./м² и 11.7 г/м²) выявлены в районе о. Касовский на галечном грунте (1819 км). В Нижнем Енисее был обнаружен лишь единственный экземпляр *Ph. viridis*.

3. Геоинформационная база данных

Выполненные в рамках настоящей работы исследования и разработки в области геоинформационного обеспечения задач гидробиологического мониторинга являются продолжением работ, начатых в 2015 г. [8]. В основе создаваемого информационного обеспечения — размещенная на геопортале ИВМ СО РАН геопространственная база данных, которая была актуализирована, дополнена новыми результатами исследований. Геопор-

тал предоставляет средства для визуализации и обработки геоданных, доступа к ним из сторонних прикладных программ на основе картографических веб-сервисов [9].

В рамках рассматриваемого этапа исследований значительное внимание было уделено актуализации, систематизации и структурированию информации по гидрографии бассейна р. Енисей. Целесообразность и значимость этой работы обусловлена перспективами комплексного гидробиологического и гидрографического моделирования, использования методов пространственного анализа в геоинформационных системах. Геопозиционированная гидробиологическая информация может быть сопоставлена с другими элементами природной среды — растительным покровом, типами почв, данными государственного экологического мониторинга по загрязнению территории и пр. Речной бассейн в этом контексте становится системообразующим фактором. Изучение различных характеристик экосистемы на основе бассейнового принципа увязывает в одно целое разнообразные проявления биологической жизни на территории.

С помощью программных средств геоинформационных систем (ГИС) подготовлен набор мультимасштабных цифровых картографических данных по речной сети в ГИС-формате. Разработанные гидрографические данные — это не только слои с водными объектами (реки, озера, и т. д.), но и геопространственная информация специального типа — базы данных и слои ГИС, которые позволяют проводить разнообразный анализ и моделирование, визуализацию информации. Исходными данными стали сведения Государственного водного кадастра (водного реестра), разнообразные таблицы и справочники по характеристикам водных объектов из публично доступных открытых ресурсов, российские и зарубежные разномасштабные цифровые картографические данные по речной сети и водосборным территориям из различных источников.

Была сформирована топологическая база данных, элементами которой стали сегменты речной сети бассейна р. Енисей, содержащая для каждого водного объекта информацию о связях его с другими водными объектами — граф речной сети. Также разработаны и реализованы в виде веб-сервисов алгоритмы “движения по речной сети” — аналог построения кратчайшего маршрута на дорожном графе. Таким образом, созданная топологическая база данных обеспечивает возможность моделирования перемещения/распространения зообентоса по рекам бассейна.

Подготовлен перечень основных рек бассейна р. Енисей, обладающих наиболее крупными водосборными территориями, с площадью не менее 5 тыс. км² (всего — 193 шт.). Сформированный на его основе слой водных объектов содержит всю информацию из Государственного водного кадастра, в том числе код и тип водного объекта, наименования бассейнового округа, речного бассейна и подбассейна, водохозяйственного участка, а также ряд характеристик: длина водотока, водосборная площадь, местоположение (указывается километр по реке, в которую впадает водоток). В дополнение к бассейну р. Енисей подготовлены слои ГИС с системообразующими реками соседних бассейнов (Обь, Лена), бассейны рек Карского моря и моря Лаптевых. Данные охватывают не только российскую, но и зарубежную часть бассейнов. На рис. 2 представлены речные бассейны и основные реки, подготовленные в рамках исследований; выделена р. Енисей, на которой точками отмечены станции гидробиологического мониторинга, на которых проводился отбор проб донной фауны. В бассейне р. Енисей на этом рисунке отображены 193 реки.

Начаты работы по формированию полигонального слоя водосборных бассейнов рек бассейна р. Енисей. Разработана иерархическая модель вложенных бассейнов, в рамках которой на данном этапе создано 35 подбассейнов первого порядка наиболее круп-

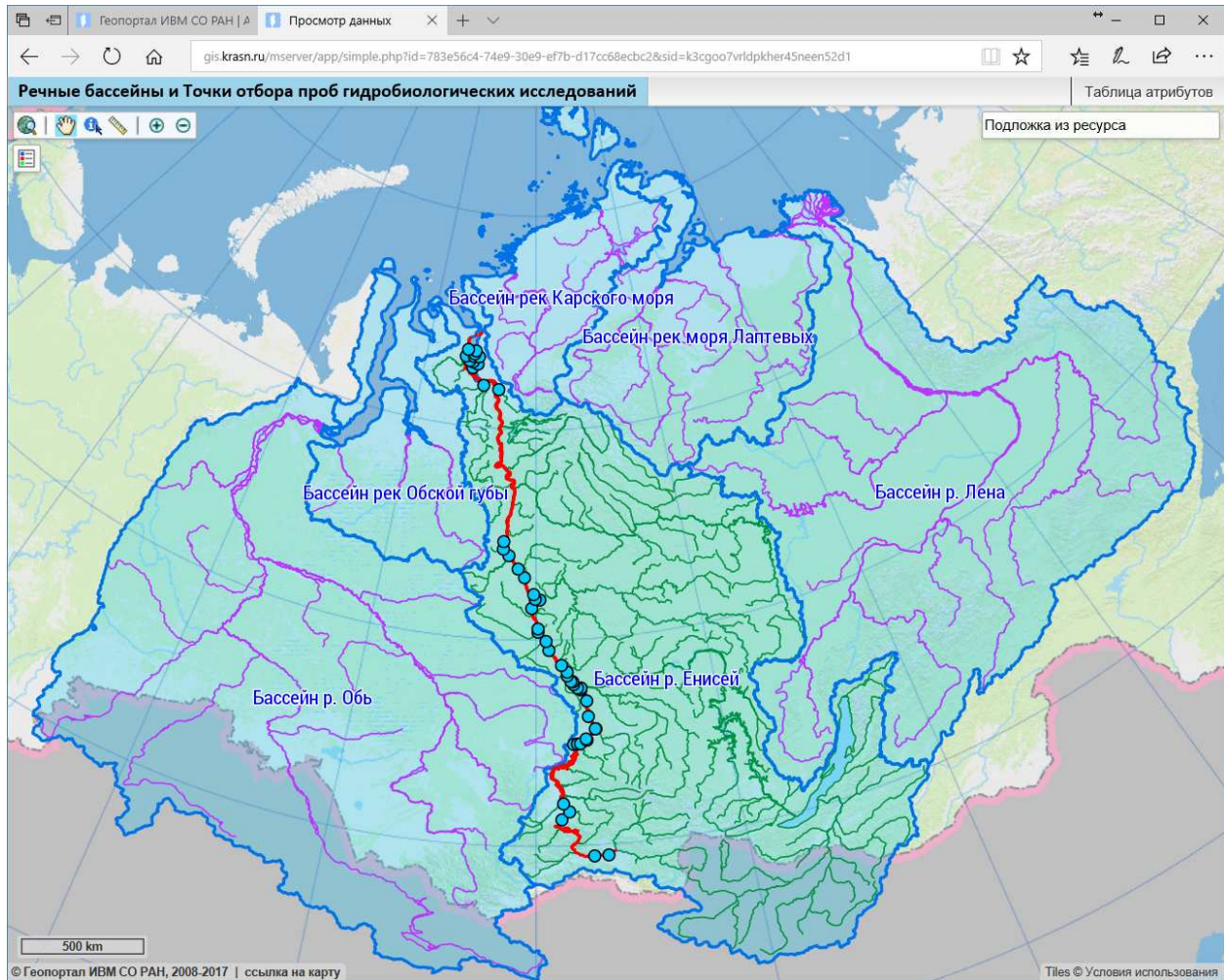


Рис. 2. Карта сформированных речных бассейнов с основными реками, обладающими наиболее крупными водосборными территориями. Точками на р. Енисей обозначены станции отбора проб гидробиологического мониторинга

ных рек, впадающих в р. Енисей; ведется создание подбассейнов второго и последующих порядков. Для территории южнее 60° с. ш. используются данные цифровой модели рельефа SRTM с пространственным разрешением 1 угловая секунда (около 30 м/пиксел) [10], для остальной северной территории — данные модели GMTED2010 [11], уровень детализации которой составляет 7.5 угловых секунд. Недостаточный уровень точности GMTED2010 компенсировался редактированием границ водосборов в ручном режиме на основе цифровой топоосновы масштабов 1:100 000 и 1:1 000 000.

Для территории южных и центральных районов Красноярского края с помощью программы GRASS *r.watershed* на основе цифровой модели рельефа SRTM вычислено около 500 подбассейнов с площадью в среднем порядка 2–5 тыс. км² каждый. Алгоритм определения водосборного бассейна состоит из нескольких последовательно выполняемых этапов:

- подготовка фрагмента данных цифровой модели рельефа SRTM на заданную территорию (склейка нескольких файлов с исходными данными или извлечение из них необходимого фрагмента);

- заполнение локальных понижений в исходном рельефе для удаления всех небольших ошибок и неточностей, присущих данным;
- вычисление матрицы (сетки) направлений стока — для каждой ячейки сетки определяется направление потока (в какую сторону из нее направлено течение), которое кодируется 8-битным кодом, по румбам;
- вычисление матрицы (сетки) кумулятивного (суммарного) стока как взвешенной суммы всех ячеек, сток из которых направлен в каждую ячейку вниз по склону;
- определение сети водотоков (линий тока) и идентификация водотоков, основанная на их взаимосвязях;
- выделение водосборных бассейнов по сети водотоков и другим ранее вычисленным характеристикам.

Многочисленные эксперименты с обработкой данных SRTM с помощью программы GRASS *r.watershed*, запускаемой из программной оболочки QGIS, показали, что качество этой модели рельефа достаточно хорошее, ее можно рекомендовать для автоматизированного выделения водосборных территорий рек, отображаемых на топографической карте масштаба 1:100 000.

В процессе подготовки данных предложена оригинальная система нумерации иерархически вложенных подбассейнов речной сети. В отличие от системы идентификации Государственного водного кадастра России, разработанная система учитывает вложенность объектов, благодаря чему с помощью элементарной операции в ГИС обеспечивается возможность объединения полигонов по заданному условию — для оперативного создания производных генерализованных слоев ГИС с бассейнами заданного порядка.

На основе подготовленных геопространственных данных и дополнительной информации, в том числе карт-лоций, выполнена геопривязка точек наблюдений гидробиологического мониторинга к километровым отметкам вдоль фарватера р. Енисей — сформирована «система координат реки». Использование такой системы координат дает возможность оценки различных параметров по течению реки [12].

Разработанная геоинформационная база данных с результатами гидробиологического мониторинга доступна через стандартные программные веб-сервисы геопортала. Благодаря этим интерфейсам пользователям предоставляется возможность аналитической обработки и презентации данных гидробиологического мониторинга, экспорта в программы типа Microsoft Excel для дальнейшего анализа.

Также был предложен и реализован новый механизм для отображения контекстной информации о выбранных объектах на карте — на основе шаблонов. Шаблоны позволяют гибко настраивать дизайн и содержание информационного всплывающего окна с данными о выбранном объекте карты: менять стилевое оформление (цвет, параметры шрифтов и т. д.), размещать фотографии и интерактивные элементы (меню, селекторы и пр.), запускать внешние скрипты для запросов к сторонним данным [13].

Заключение

В настоящей работе основное внимание уделялось информационным и вычислительным технологиям обработки и анализа результатов масштабных экспедиционных исследований Енисея, осуществленных в 2015 и 2016 гг. В качестве содержательного наполнения использованы сведения о количественном распределении зообентоса (животных, населяющих дно водоемов), в частности эндемичных байкальских амфипод, в р. Енисей от истока до дельты включительно. Выявлено, что амфиподы, являющиеся эндемиками

Байкала, распространились далеко за его пределы не только вниз, но и вверх по течению Енисея. После ввода в эксплуатацию Красноярской ГЭС их доля в общей биомассе зообентоса увеличилась в 10 раз. Особенно активен эврибионтный рачок *Gmelinoides fasciatus*, массово заселивший участок Верхнего Енисея ниже Саяно-Шушенского водохранилища. За последние 15 лет возросли плотность и доля рачков в зообентосе на участке Ангара — Подкаменная Тунгуска.

Создание геопространственной базы данных с результатами многолетних экспедиционных наблюдений и связанного с ней специального программно-технологического обеспечения геоинформационной веб-системы для информационно-аналитического обеспечения гидробиологического мониторинга значительно расширяет возможности в анализе и представлении геоданных, формирует основу междисциплинарных исследований.

Список литературы / References

- [1] **Пономарева Ю.А., Иванова Е.А.** Соотношение живых и мертвых клеток и размерная структура фитопланктона р. Енисей в нижнем бьефе Красноярской ГЭС // Сиб. эколог. журн. 2016. Т. 23, № 5. С. 708–717.
Ponomareva, Yu.A., Ivanova, E.A. Ratio between living and dead cells and the size structure of the Yenisei River phytoplankton downstream of the Krasnoyarsk Hydroelectric Power Station // Contemporary Probl. of Ecology. 2016. Vol. 9, No. 5. P. 582–589.
- [2] **Заделенов В.А.** Современное состояние популяций осетровых рыб (Acipenseridae) и их кормовой базы в бассейне Енисея // Сиб. эколог. журн. 2000. Т. 7, вып. 3. С. 287–291.
Zadelenov, V.A. Modern state of sturgeon fish (Acipenseridae) populations and their nutrition base in the Yenisei basin // Contemporary Probl. of Ecology. 2000. Vol. 7, iss. 3. P. 287–291. (In Russ.)
- [3] **Гладышев М.И., Москвичева А.В.** Байкальские вселенцы заняли доминирующее положение в бентофауне верхнего Енисея // Докл. АН. 2002. Т. 383, № 4. С. 568–570.
Gladyshev, M.I., Moskvicheva, A.V. Baikal invaders have become dominant in the upper Yenisei benthofauna // Doklady Biological Sci. 2002. Vol. 383, No. 1-6. P. 138–140.
- [4] **Андрианова А.В.** Динамика развития енисейского зообентоса в нижнем бьефе Красноярской ГЭС // Вестн. ТГУ. Биология. 2013. № 1(21). С. 74–88.
Andrianova, A.V. The dynamics of the Yenisei zoobenthos downstream of Krasnoyarsk HPP // Tomsk State Univ. J. of Biology. 2013. No. 1(21). P. 74–88. (In Russ.)
- [5] **Дгебуадзе Ю.Ю., Петросян В.Г., Бессонов С.А. и др.** Общая концепция создания проблемно-ориентированного интернет-портала по инвазиям чужеродных видов в Российской Федерации // Рос. журн. биологических инвазий. 2008. № 2. С. 9–21.
Dgebuadze, Yu.Yu., Petrosyan, V.G., Bessonov, S.A. et al. General concept of development of a problem-oriented internet portal on alien species invasion on the Russian Federation territory // Russ. J. of Biological Invasions. 2008. No. 2. P. 9–21. (In Russ.)
- [6] **Андрианова А.В., Якубайлик О.Э., Шулепина С.П.** Использование ГИС-технологий в анализе пространственно-временной динамики байкальских амфипод в р. Енисей // Матер. XI съезда гидробиологического общества при РАН. Красноярск: СФУ, 2014. С. 17–18.
Andrianova, A.V., Yakubailik, O.E., Shulepina, S.P. The usage of GIS technologies for the analysis of spatio-temporal dynamics of the Baikal amphipods in the Yenisei river // Proc. of the XI Congress of Hydrobiolog. Soc. at RAS. Krasnoyarsk: Sib. Federal Univ., 2014. P. 17–18. (In Russ.)

- [7] **Грезе В.Н.** Кормовые ресурсы рыб реки Енисей и их использование. М.: Пищепромиздат, 1957. Т. 41. 236 с.
Greze, V.N. Feed resources for fish of the Yenisei River and their use. Moscow: Pischepromizdat, 1957. Vol. 41. 236 p. (In Russ.)
- [8] **Андрианова А.В., Якубайлик О.Э.** Геоинформационная веб-система для обеспечения гидробиологического мониторинга на примере зообентоса р. Енисей // Вычисл. технологии. 2016. Т. 21, № 1. С. 5–14.
Andrianova, A.V., Yakubailik, O.E. Geographic information web system providing the hydrobiological monitoring on the example of Yenisei river zoobenthos // Comput. Technologies. 2016. Vol. 21, No. 1. P. 5–14. (In Russ.)
- [9] **Yakubailik, O., Kadochnikov, A., Tokarev, A.** Applied software tools and services for rapid Web GIS development // Intern. Multidisciplinary Sci. GeoConf. Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2015. Vol. 1. P. 487–494. DOI: 10.5593/SGEM2015/B21/S8.060.
- [10] Shuttle radar topography mission (SRTM) 1 arc-second global: U.S. Geological Survey. Available at: <http://1ta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>
- [11] **Danielson, J.J., Gesch, D.B.** Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010): U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1073. 26 p. Available at: <http://pubs.usgs.gov/of/2011/1073/>
- [12] **Andrianova, A., Shaparev, N., Yakubailik, O.** Geoinformation support and web technologies for problems of hydrobiological monitoring of Yenisei river // MATEC Web of Conf. 79, 01056 (2016). DOI: 10.1051/mateconf/20167901056.
- [13] **Кадочников А.А., Якубайлик О.Э.** Сервис-ориентированные веб-системы для обработки геопространственных данных // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Сер.: Информ. технологии. 2015. Т. 13, № 1. С. 37–45.
Kadochnikov, A.A., Yakubailik, O.E. Service-oriented web applications for spatial data processing // Novosibirsk State Univ. J. of Inform. Technologies. 2015. Vol. 13, No. 1. P. 37–45. (In Russ.)

*Поступила в редакцию 15 января 2018 г.,
с доработки — 14 февраля 2018 г.*

Geographic information database for the analysis of spatial distribution of the Baikal endemic amphipods in Yenisei river

ANDRIANOVA, ANNA V.^{1,2}, YAKUBAILIK, OLEG E.^{1,3,*}

¹Institute of Computational Modelling SB RAS, Krasnoyarsk, 660036, Russia

²Scientific Research Institute of Ecology of Fishery Reservoirs, Krasnoyarsk, 660097, Russia

³Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660097, Russia

*Corresponding author: Yakubailik, Oleg E., e-mail: oleg@icm.krasn.ru

The purpose. The purpose of the work is the theoretical and practical studies of the possibilities for using the geoinformation web-system modern technologies for improving the efficiency of hydrobiological monitoring, and design of software tools of data presentation and analysis for field research.

Methods. The technologies for development of distributed information systems in multi-tier architecture, along with software interfaces and protocols, information exchange standards are considered. The possibilities for using of geoinformation and cartographic modelling methods for searching the relationship between the spatial distributions of Baikal amphipods in the Yenisei river with different environmental factors are investigated.

Results. The technologies and related software are developed for the considered problem. The geospatial database is generated and filled with the results of own long-term hydrobiological field studies, it has become an integral part of the geoportal of ICM SB RAS, which was formed by the separate thematic section. The focus is on the results of extensive field studies of the Yenisei implemented in 2015 and 2016. As to database content, the information about the quantitative distribution of zoobenthos (animals inhabiting the ponds bottom), in particular endemic Baikal amphipods, in the area from Yenisei river headwaters to its delta was used. It was revealed that the amphipods — the endemics of the Baikal lake — spread far beyond its limits not only downward, but also upstream the Yenisei river. After the commissioning of the Krasnoyarsk hydroelectric power station, their share in the total zoobenthos biomass is increased by 10 times. *Gmelinoides fasciatus* crustacean is especially active; it has massively populated the area of the Upper Yenisei river below the Sayano-Shushensky reservoir. The density and the fraction of crustaceans in the zoobenthos in the area of the Angara — Podkamennaya Tunguska has increased over the last 15 years.

Conclusions. Creation of a geospatial database alongside with the results of expeditionary research and the introduction of a GIS web-system for information-analytical support of hydrobiological monitoring significantly expands opportunities for the analysis and presentation of geodata, forms the basis for interdisciplinary research.

Keywords: spatial distribution, geographic information system, geoportal, web mapping, *Gmelinoides fasciatus*, *Philolimnogammarus viridis*, Yenisei, zoobenthos, amphipods.

Received 15 January 2018

Received in revised form 14 February 2018