

Калинкина Н.М.¹, Коросов А.В.¹, Белкина Н.А.¹,
Теканова Е.В.¹, Сярки М.Т.¹, Коросов А.А.²

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «БИОРЕСУРСЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА»

АННОТАЦИЯ

Онежское озеро – один из крупнейших рыбохозяйственных водоемов высшей категории и стратегический источник чистой пресной воды в России. В настоящее время экосистема Онежского озера хорошо изучена. Достаточная обеспеченность данными позволила разработать ГИС-системы водных ресурсов Онежского озера, разработать термогидродинамические модели и прогнозировать допустимую биогенную нагрузку. В то же время практически не оцифрованными остаются биологические данные, хотя накоплен богатый материал по состоянию планктона и бентоса озера за период 1980–2017 гг. Целью настоящей работы стала разработка подходов к созданию ГИС, организующей физико-химические и биологические данные и объясняющей закономерности формирования биоресурсов Онежского озера. В результате была разработана геоинформационная система Онежского озера (ГИСО) для модельного описания зависимостей основных компонентов экосистемы (физико-химический состав воды и донных отложений, планктон и бентос). ГИСО создана на основе пакетов QGIS, MSAccess и языка программирования R. В ее основу положены карты Онежского озера, спутниковые снимки и данные полевых наблюдений, полученных за период 1980–2017 гг. ГИСО предназначена для хранения информации, для формирования выборок, количественной обработки и моделирования, выявления изменчивости пространственной структуры водных сообществ и визуализации результатов анализа. В статье предложены принципы создания ГИС, адаптированных для широкого круга специалистов, и вопросы оптимизации расположения точек отбора проб на основе ГИСО. На примере анализа состояния глубоководных бентосных сообществ с помощью ГИС-технологии было установлено значительное снижение их продукции в Онежском озере.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГИС, Онежское озеро, биоресурсы.

Nataliia M. Kalinkina³, Andrei V. Korosov³, Natalya A. Belkina³, Elena V. Tekanova³,
Maria T. Syarki³, Anton A. Korosov²

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM "BIOLOGICAL RESOURCES OF ONEGO LAKE"

ABSTRACT

Onego Lake is one of the largest fishery water bodies of the highest category and strategic source of clear fresh water in Russia. At present time, the ecosystem of Lake Onego has been well studied. Sufficient data has allowed to develop a GIS-system of Lake Onego water resources, to

¹ Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», 185003, Петрозаводск, пр. А. Невского, 50, e-mail: cerioda@mail.ru

² Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Bergen, Norway, e-mail: korosov@gmail.com

³ Northern Water Problems Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 185003, Petrozavodsk, Nevskogo str., 50, e-mail: cerioda@mail.ru

work out thermo-hydrodynamic models and to predict the permissible biogenic load. At the same time, biological data remains practically un-digitized, although there is a lot of material on the state of plankton and benthos of the lake for the period 1980–2017. The aim of this work was the working-out of approaches to the GIS, which organize physical-chemical and biological data to explain the regularities of Onego Lake biological resources formation. Onego Lake Geo-information System (GISO) was developed for modeling of interactions between the main ecosystem components including physical and chemical properties of water and bottom sediments, plankton and benthos. GISO used QGIS, MS Access and programming language R environments. It is based and incorporates Onego Lake vector maps, satellite images and field observation data collected during the period 1980–2017. GISO is designed for information storage, for spatial sampling of data for qualitative analysis and modeling, for identification of changes in the spatial structure of aquatic communities and for result visualization. The principles of developing GIS adapted for wide range of specialists and optimization of sampling points location are proposed. The significant decreasing of deep-water benthic communities production in Onego Lake was found were specified using of GIS technology.

KEYWORDS: GIS, Lake Onego, bioresources.

ВВЕДЕНИЕ

Географические информационные системы Онежского озера создавались неоднократно и выполняют различные функции. К настоящему времени довольно хорошо разработаны ГИС-системы водноресурсного потенциала Онежского озера [Онежское озеро. Атлас, 2010; Богданова, Литвиненко, 2015; Филатов и др., 2016; Филатов, 2017; Филатов, Меншуткин, 2017]. На основе моделирования экосистемы Онежского озера разработаны прогнозы наступления основных гидрологических событий в водоеме, а также рассчитаны допустимые величины биогенной нагрузки на водоем [Ladoga and Onego..., 2010; Меншуткин и др., 2015; Лозовик и др., 2016]. С помощью ГИС-технологий реконструируется палелимнологическая история озера [Subetto et al., 2017, <http://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=47d76ba2004e463d96eba1d8a1825fe1>] и рельефа его дна [<http://docplayer.ru/36337534-Gis-modelirovanie-relefa-kotloviny-onezhskogo-ozera-i-ego-vodosbora-v-sovremennom-sostoyanii-i-retrospektive-zobkov-m-b-potahin-m-s-tarasov-a-yu.html>], создается представление о распределении химического качества вод в пространстве [Литвиненко и др., 2012; <http://www.krc.karelia.ru/section.php?plang=r&id=157>], разрабатываются методы рационального использования ресурсов озера [Литвиненко и др., 2016].

Пока отсутствуют основания для сведения всех вариантов ГИС Онежского озера в единую конструкцию; разные институты, отделы, лаборатории создают свои ГИС, ориентированные на решение задач определенного класса.

В частности, отсутствуют разработки по биоресурсному потенциалу этого водоема. Известно, что Онежское озеро является малопродуктивным. Тем не менее природные характеристики озера (холодноводность, высокое качество воды, особая кормовая база рыб) обуславливают обитание в нем ценных видов рыб: сиг, ряпушка, корюшка, лосось озерный, форель, паляя [Биоресурсы Онежского озера, 2008]. Не до конца изученными являются механизмы формирования биоресурсов, т. е. передача вещества и энергии по трофической сети в связи с низкой продукцией фитопланктона [Теканова, Тимакова, 2006].

В последнее время в лаборатории гидробиологии Института водных проблем Севера ФИЦ «Карельский научный центр РАН» ставится задача – создать модельное описание основных компонент экосистемы Онежского озера, определяющих его продуктивность. Поскольку водное тело озера далеко не статично, появилась потребность рассматривать отдельные части акватории, в которых происходят те или иные химические и биогенные

процессы, с точки зрения временного пребывания вод и их последующего перемещения в пространстве. Функциональный (экологический) подход, типичный для гидробиологии, становится необходимым дополнить пространственным (географическим). Объединить эти подходы призвана создаваемая в лаборатории гидробиологии географическая информационная система «Биоресурсы Онежского озера» (ГИСО). Цель сообщения – описать структуру и функции ГИС, необходимой для объединения полученных данных, и дать первую иллюстрацию работоспособности системы на конкретном примере.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Географическая основа ГИСО – топографические карты Онежского озера и спутниковые снимки разных лет (в рассмотренном примере для уточнения границ использовали снимок LT05_L1TP_182017_19960611_20180225_01_T1.tif – Landsat 5 TIRS дата съемки: 11.06.1996). В информационной основе ГИС лежат данные, полученные в Институте водных проблем Севера ФИЦ «Карельский научный центр РАН» за 1980–2017 гг. и организованные в базу данных (БДО). К настоящему моменту в нее включены пробы зоопланктона (597 проб, 21 поле), фитопланктона (1141 проба, 23 поля), бактериопланктона (1548 проб, 14 полей), зообентоса (2163 пробы, 52 поля), химического состава вод (1026 записей, 60 полей). Все эти данные сведены в таблицы среды Excel и Access. Для всех точек отбора проб по GPS приемнику определялись их географические координаты, которые вручную вносили в базу и затем при геокодировании автоматически создавали точки на отдельном слое.

Построение векторных карт ГИСО (береговая линия, горизонталы и отдельные значения глубин, всего 3 слоя) выполнено вручную в среде QGIS [<https://www.qgis.org/ru/site/>]. Для использования ГИСО в работе также необходимы программные среды MS Access, Excel (связь с атрибутивными данными) и R. Среда Excel удобна для ввода атрибутивной информации, записанной в журналах, которые заполняются при выполнении наблюдений, камеральной и аналитической обработке проб. К сожалению, средства базы данных, реализованные в среде QGIS, весьма ограничены; они позволяют лишь связать таблицы (слои) по атрибутивным или географическим критериям. Однако для создания более сложных запросов (сводная статистика, сводная таблица) приходится использовать более развитую среду Access. Подготовленные посредством ГИС и Access таблицы с данными обрабатываются в среде пакета R. Типична ситуация, когда данные сначала подготавливаются для дальнейшей обработки и только после этого выполняется статистическая обработка – оценка значимости различий, зависимостей и пр. – с помощью соответствующего пакета среды R.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проблематика создания ГИС имеет множество аспектов, которые мы разнесли по разным рубрикам.

Принципы

В основе созданной ГИС положены следующие принципы.

ГИС должна быть построена на основе современных средств программирования и использовать доступные ресурсы Интернета. С этих позиций сделан выбор в пользу QGIS, которая интегрирована со многими картографическими ресурсами.

ГИС должна использоваться всеми научными сотрудниками (работающими по данной теме), а не только ответственным за базу данных и ГИСО. Практика показывает, что если применение информационной системы зависит от одного человека, любая случайность приводит к утрате ее функциональности. С этих позиций многие процедуры обработки данных, которые можно было написать на языке программирования R (используя картографические пакеты), реализуются в среде QGIS и Access, более доступных для применения, чем в R.

ГИС должна иметь универсальный характер и быть готовой к выполнению еще не запланированных поисковых задач. Иногда кажется привлекательным создать цельную программную конструкцию (в одной среде программирования), выполняющую определенные заданные функции. Однако такой подход приводит к сложности программного продукта, к обслуживанию ограниченным кругом лиц, а главное – к ограниченности вариантов использования. В этом смысле мы пошли по пути создания гораздо более «рыхлого» образования – организации не программного, но алгоритмического синтеза базы данных (в среде Access) и ГИС (в среде QGIS). Это позволит создать какие-либо новые интеграции, помимо описанных ниже, а также использовать эти конгломераты данных порознь.

Предназначение

Созданная ГИСО призвана выполнять следующие функции.

ГИС хранит информацию в виде векторных слоев, снабженных некой атрибутивной информацией, необходимой для связи между данными (ключи) и выражающей свойства обозначенных объектов.

ГИС порождает новую информацию. Во-первых, среда QGIS позволяет выполнять анализ спутниковых снимков и формировать массивы картографической (контуры) и атрибутивной (классы) информации. Во-вторых, средства пространственного анализа позволяют получать пространственные характеристики объектов (площади, дистанции...), отображенных на карте.

На основе ГИС выполняется формирование выборок для количественной обработки и моделирования. ГИСО поставляет географическую информацию (список идентификаторов) для извлечения из внешней базы данных (среды Access) группы географически близких объектов с последующим анализом их свойств. Фактически эту функцию и призвана описать наша публикация.

Помимо этого, ГИС может выполнять иллюстративную функцию, когда в качестве результата анализа ситуации строится картограмма того или иного типа.

Структура

Картографической основой ГИС служат векторные слои с контурами береговой линии Онежского озера, построенными по топографической карте (М 1 : 100 000). В перспективе планируется дополнить эти данные контурами озера в отдельные периоды прошлого. Карта рельефа дна содержит точечные данные о глубинах и слои с линиями глубинных горизонталей и полигонами глубин [http://www.etomesto.ru/map-genshtab_p36/].

Содержательной основой ГИСО являются слои с точками отбора гидробиологических и гидрохимических проб. На слой по отдельности нанесена локализация каждой **пробы**, даже если они брались в одном месте. Тем самым достигается географическая привязка каждого числа, помещенного в предметную базу данных (среды Access). В таблице атрибутов (среда QGIS) каждая точка снабжается своим номером (No), уникальным для каждого года (Ye); на этой основе формируется целочисленный составной ключ (YeNo), однозначно идентифицирующий точку в базах данных.

Важнейшей частью функционирования ГИСО являются слои районирования акватории, на основе которых выполняются выборки данных из атрибутивной БДО. Слои районирования составляются исследователем каждый раз в контексте поставленных задач и составлены из группы площадных объектов (областей, регионов). Области строятся таким образом, чтобы сформировались отдельные выборки из точек, подпадающих под эти области.

Пробы (точки), попавшие под заданные области акватории, формируют список (географический индексный файл), в котором каждая проба получает индекс (номер) той области, где они отбирались. Формат файла для обмена с БДО – книга Excel.

ГИСО будет наполняться и внешней информацией из мировой сети [<http://www.esa-sst-cci.org/>, <https://www.oceancolour.org/portal/>], и в результате анализа спутниковых снимков

[<https://landsatlook.usgs.gov/viewer.html>]. Для моделирования сезонных процессов актуально составление карт ледовых полей, карт распределения температуры в поверхностном слое и др.

Связь между ГИСО и БДО

Поток информации от БДО – к ГИСО. Слои с точками проб в ГИСО создаются на основе данных из БДО. Внесенные в среду Access новые записи, содержащие уникальное обозначение типа данных: номер, дату отбора, расчетный составной ключ и координаты точек отбора, импортируются в среду QGIS и привязываются по координатам к карте.

Поток информации от ГИСО – к БДО. Выборки данных из БДО формируются на основе географического индексного файла, который представляет собой список индексов проб и номера выборки (области акватории), к которой данная проба отнесена. В среде Access эта таблица служит критерием для отбора проб и разнесения их по выборкам. В результате формируется запрос (виртуальная таблица), которая импортируется из среды Access и анализируется с помощью программы количественной обработки, например, R. Так дело обстоит, если отобраны пробы одного типа данных (например, по зообентосу). Однако для анализа интересны выборки, содержащие данные разного типа (например, состояние биоты и уровень загрязнения). В этом случае с использованием общего слоя областей готовятся два индексных файла – отдельно для каждого типа данных и в среде Access строятся два запроса, причем обычно в одной области акватории число проб разного типа различается. Здесь приходится решать задачу корректного объединения данных разных типов, попавших в границы общей области акватории; однако эта проблема к ГИС уже не имеет отношения.

Пример

Один из последних примеров использования ГИСО – публикация о зависимости зообентоса от химических особенностей среды [Калинкина, Белкина, в печати]. Цель работы состояла в отслеживании изменения продуктивности глубоководного зообентоса на протяжении двух последних десятилетий. В этом контексте использование ГИС состояло в том, чтобы указать на те области акватории, из которых выборки для разных лет наблюдений. Были построены три области с подобластями, всего 13 регионов (слой *zon05*) (рис. 1). Каждая подобласть получила свой индекс, включающий индекс области и номер подобласти: Петрозаводская губа (P2, P3, P5), Кондопожская губа (K3–K7), «Большое Онего» (B1, B2), «Центральное Онего» (C1–C4).

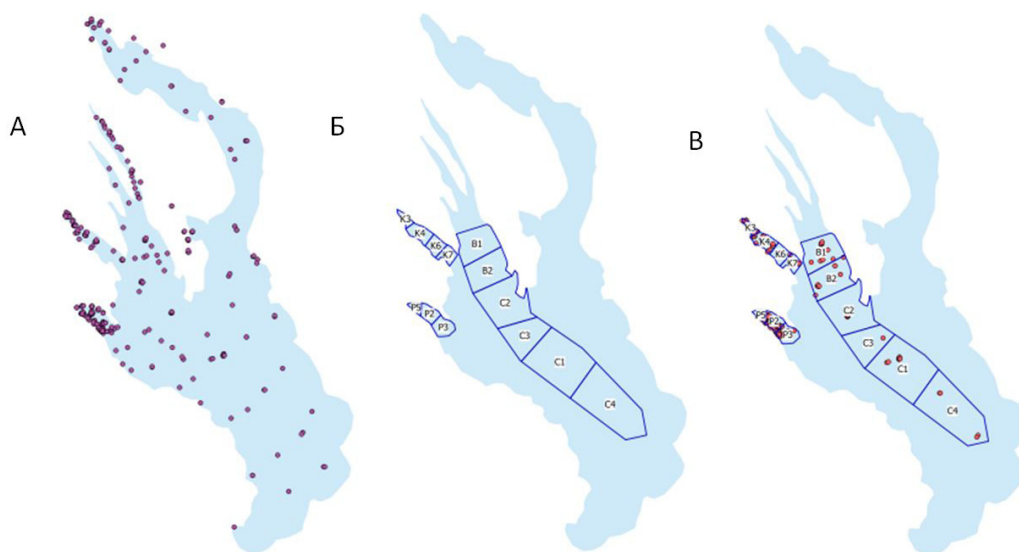


Рис. 1. Размещение точек отбора проб (А) и выделение областей (Б) для извлечения выборок (В)

Fig. 1. Place sampling points (A) and select areas (B) to extract samples (B)

Далее с помощью процедуры оверлея в таблицу слоя точек отбора проб по зообентосу (ZOOBENTHOS) было добавлено поле со значением индекса подобласти (zone), под которые они попали. После чего этот файл (ZPzon05) был экспортирован в формате csv и импортирован в среду Access.

В среде БДО, во-первых, была организована связь между индексным файлом и базой по зообентосу по полям YeNo. Во-вторых, был построен запрос, извлекающий только те записи из базы зообентоса, которые попали в соответствующие области акватории (рис. 2, А). В-третьих, в итоговый запрос включили значения биомассы зообентоса, разнесенные по полям Подобласть (sReg), Год (Ye), в качестве характеристик взяли средние, минимальные и максимальные значения (рис. 2, Б). Для более компактного представления данные были обобщены по пятилеткам.

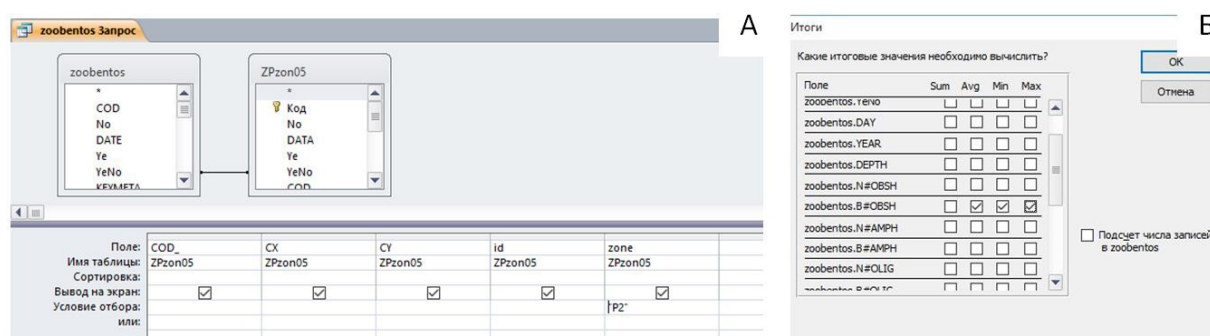


Рис. 2. Форматы запросов для извлечения (А) и обобщения (Б) данных по зообентосу

Fig. 2. Request formats for extracting (A) and generalizing (B) data of zoobenthos

Результаты обработки показали, что в последнее время продукция зообентоса существенно снизилась (рис. 3). Использование данной ГИС-технологии (построение индексного файла с помощью оверлея) позволило существенно ускорить обработку данных и уточнить границы зон, различающихся по структуре бентосных сообществ.

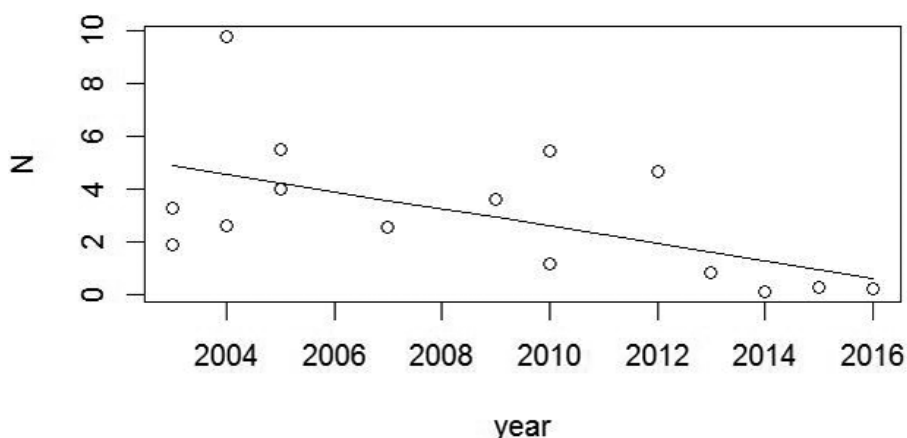


Рис. 3. Динамика численности зообентоса (тыс. экз./м²) в зоне P5

Fig. 3. Dynamics of the number of zoobenthos (thous ex./m²) in the P5 zone

Важно обсудить технические детали создания индексного файла. Традиционным для многих полевых биологических (в том числе гидробиологических) исследований является отбор проб в «стандартных» точках, которые получают «вечные» номера. Однако

практика показывает, что с течением времени часть таких точек теряет актуальность (далеко), часть фактически дублирует показатели соседних точек, часть резко меняет статус (застройка), часть пространственно смещается (невозможно взять две гидробиологические пробы из одного и того же места на открытой акватории), частично вводятся новые (расширение научных интересов).

От года к году число и расположение точек отбора проб не совпадает, значит, стандартная нумерация точек пробоотбора бессмысленна. Пока не было технологии ГИС, традиция была жива. В настоящее время смысл обретает только идентификация принадлежности пробы к той или иной области территории (в нашем случае – акватории). ГИС призвана заменить ненадежный «стандартный» номер, примерно позиционирующий пробу, на индекс области акватории, в которую проба попадает. При этом проба не привязана намертво к региону, но в зависимости от задач исследования может входить в объединение с разными пробами. Эта идеология позволила ввести в качестве идентификатора нужной информации индекс региона, вовсе отказавшись от номера точки отбора проб.

Другое традиционное заблуждение состоит в приверженности к сплошной нумерации проб. К сожалению, это построение рухнет или усложняется (вводятся индексы у номеров), если обнаруживаются дополнительные пробы, собранные за прошедшие годы, например, другой группой исследователей. В рамках базы данных по Онежскому озеру мы от нее отказались, заменив этот ненадежный критерий составным ключом (YeNo), образованным из года (Ye) отбора пробы и номера (No) этой пробы в рамках сезонного отбора. Ключ YeNo надежно идентифицирует пробы и служит для связи точек отбора проб на слое в среде ГИСО с записями биологических данных в среде БДО.

Конструкция ГИСО + БДО получилась несколько громоздкой. Спрашивается, не проще ли организовать (в целом не очень большую) базу по озеру прямо в среде QGIS или даже в среде R (C++, Python, Java)? По нашему убеждению, чтобы обеспечить постоянное функционирование базы данных (БДО) и геоинформационной системы (ГИСО), их необходимо сделать доступными для использования многими исследователями. Для биологов освоение языков программирования высокого уровня в определенной мере противоречит их научным интересам. Программы же QGIS и Access имеют достаточно дружелюбные интерфейсы, чтобы ими пользовались все заинтересованные сотрудники.

ВЫВОДЫ

Построена географическая информационная система, которая обслуживает потребность получать выборки биологических данных по разным группам организмов, обитающих в Онежском озере. Ключевое предназначение ГИСО состоит в том, что в ней в оперативном режиме строятся области, служащие в качестве пространственных критериев для извлечения информации из предметной базы данных. Полученные выборки предназначены для статистической обработки данных и моделирования. Информационная система построена с использованием общедоступных программных средств, имеющих «дружелюбные» интерфейсы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института водных проблем Севера КарНЦ РАН.

ACKNOWLEDGMENTS

The work was carried out within the framework of the State task of Northern Water Problems Institute KarRC RAS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биоресурсы Онежского озера / Ред. А.А. Лукин, В.И. Кухарев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 272 с.
2. Богданова М.С., Литвиненко А.В. ГИС «Водные объекты Республика Карелия и их использование» // Крупнейшие озера-водохранилища северо-запада Европейской территории России: современное состояние и изменение экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 20–21.
3. Калинин Н.М., Белкина Н.А. Динамика состояния бентосных сообществ и химического состава донных отложений Онежского озера в условиях действия антропогенных и природных факторов // Принципы экологии. 2018 (в печати).
4. Литвиненко А.В., Богданова М.С., Литвинова И.А. Хозяйственное использование водных ресурсов в прибрежной зоне Онежского озера: современное состояние и динамика // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 9. С. 27–32. DOI: 10.17076/lim317.
5. Литвиненко А.В., Богданова М.С., Карпечко В.А., Литвинова И.А. Оценка состояния водных ресурсов бассейна Онежского озера с использованием ГИС-технологий // Изв. Русского географического общества. 2012. Т. 144, № 2. С. 69а–80.
6. Лозовик П.А., Бородулина Г.С., Карпечко Ю.В. и др. Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натурных наблюдений // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 5. С. 35–52.
7. Менишуткин В.В., Руховец Л.А., Филатов Н.Н., Баклагин В.Н. Моделирование экосистемы Онежского озера // Крупнейшие озера-водохранилища северо-запада Европейской территории России: современное состояние и изменение экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 175–185.
8. Онежское озеро. Атлас / Отв. ред. Н.Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 151 с.
9. Теканова Е.В., Тимакова Т.М. Первичная продукция и деструкция органического вещества в Онежском озере // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. С. 60–70.
10. Филатов Н.Н. Опыт информационного обеспечения регионов Севера РФ о состоянии и изменениях водных объектов и водосборов под влиянием климатических и антропогенных факторов // ИнтерКарто/ИнтерГИС. 2017. Т. 23, № 1. С. 130–142.
11. Филатов Н.Н., Менишуткин В.В. Проблемы оценки изменений экосистем крупных стратифицированных водоемов под влиянием климата и антропогенных факторов // Учен. зап. Российского государственного гидрометеорологического университета. 2017. № 48. С. 120–147.
12. Филатов Н.Н., Литвиненко А.В., Богданова М.С. Водные ресурсы северного экономического района России: состояние и использование // Водные ресурсы. 2016. Т. 43, № 5. С. 502–514.
13. Ladoga and Onego – great European Lakes. Observations and Modeling / L. Rukhovets, N. Filatov (eds.). Chichester, UK: Springer, 2010. 302 p.
14. Subetto D., Zobkov M., Potakhin M., Tarasov A. From past to present – Late Pleistocene, last deglaciation and modern glaciers in the centre of northern Fennoscandia. Rovaniemi: Geological Survey of Finland, 2017. С. 158–159.

REFERENCES

1. Bioresources of Lake Onego / Ed. A.A. Lukin, V.I. Kukharev. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2008. 272 p. (in Russian).

2. *Bogdanova M.S., Litvinenko A.V.* GIS "Water bodies of the Republic of Karelia and their use" // The largest lakes-reservoirs of the north-west of the European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2015. P. 20–21 (in Russian).
3. *Filatov N.N.* An experience of information support for regions of the north of Russian Federation on the status and changes of water objects and drains under influence of climatic and anthropogenic factors. *InterCarto/InterGIS*. 2017. V. 23, No 1. P. 130–142 (in Russian).
4. *Filatov N.N., Litvinenko A.V., Bogdanova M.S.* Water resources on the northern economic region of Russia: the state and use. *Water Resources*. 2016. V. 43, No 5. P. 502–514 (in Russian).
5. *Filatov N.N., Menshutkin V.V.* Problems of estimation of influence climate and antropogenic factors on to gydrothermodynamics and ecosystems of large stratified inland waters. *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*. 2017. No 48. P. 120–147 (in Russian).
6. *Kalinkina N.M., Belkina N.A.* Dynamics of the state of benthic communities and the chemical composition of bottom sediments of the Onega Lake under conditions of anthropogenic and natural factors. *Principy ekologii*. 2018 (v pechati).
7. Ladoga and Onego – great European Lakes. Observations and Modeling / L. Rukhovets, N. Filatov (eds.). Chichester, UK: Springer, 2010. 302 p.
8. *Litvinenko A.V., Bogdanova M.S., Karpechko V.A., Litvinova I.A.* Assessment of the state of water resources in the Lake of Onega with the use of GIS technologies. *Izvestiya russkogo geograficheskogo obschestva*. 2012. T. 144, No 2. P. 69a–80 (in Russian).
9. *Litvinenko A.V., Bogdanova M.S., Litvinova I.A.* Economic use of water resources in the coastal zone of Lake Onega: current state and dynamics. *Transactions of the Karelian Research Centre of RAS*. 2016. No 9. P. 27–32. DOI: 10.17076/lim317.
10. *Lozovik P.A., Borodulina G.S., Karpechko Yu.V. et al.* Nutrient load on Lake Onego according to field data. *Transactions of the Karelian Research Centre of RAS*. 2016. No 5. P. 35–52 (in Russian).
11. *Menshutkin V.V., Rukhovets L.A., Filatov N.N., Baklagin V.N.* Modeling the ecosystem of Lake Onega. The largest lakes-reservoirs of the north-west of the European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2015. P. 175–185 (in Russian).
12. Onego Lake. Atlas / Ed. N.N. Filatov. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2010. 151 p. (in Russian).
13. *Subetto D., Zobkov M., Potakhin M., Tarasov A.* From past to present – Late Pleistocene, last deglaciation and modern glaciers in the centre of northern Fennoscandia. Rovaniemi: Geological Survey of Finland, 2017. C. 158–159.
14. *Tekanova E.V., Timakova T.M.* Primary production and destruction of organic matter in Lake Onego. The state and problems of production hydrobiology. M.: The Partnership of Scientific Publications KMK, 2006. P. 60–70 (in Russian).