

- ya virtual'ny'h informacziorny'h modelej. Vladivostok: Dal'nauka, 2006, pp. 43–57 (in Russian).
14. Tihoplav T.S., Tihoplav V.Yu. Fizika very' [The physics of belief]. St-Petersburg: ID "Ves' ", 2002, 256 p. (in Russian).
  15. Turkov S.L. Osnovy' teorii upravleniya regional'ny'm prirodopol'zovaniem. [The basis of control for region natural resources use]. Vladivostok, Dal'nauka, 2003, 367 p.
  16. Turkov S.L. Igrы' s prirodoj. [Game against nature]. Prepr., No 136, Khabarovsk: VC DVO RAN, 2009, 19 p. (in Russian).
  17. Turkov S.L. Teoretiko-igrovaya interpretaciya teoremy' ob ekonomicheskom rajonirovanii [The game-theory interpretation of theorem of economic division into districts]. Informacionny'e tehnologii XXI veka: Mater. mezhdunar. nauch. konf. Khabarovsk: Izd-vo TOGU, 2013, pp. 298–303 (in Russian).
  18. Filosofskij slovar' [Philosophical dictionary]. Pod red. I.T. Frolova. 5-e izd., Moscow: Politizdat, 1987, 590 p. (in Russian).
  19. Haken G. Sinergetika [Synergetics]. Per. s angl. Pod red. Yu.L. Klimantovicza, S.M. Osovca. Moscow: Mir, 1980, 404 p. (in Russian).
  20. Hyozinga J. Chelovek igrayushchij [Homo ludens]. Per. s niderland. D. Sil'vestrova. St-Petersburg: Izd. Dom "Azбука-klassika", 2007, 384 p. (in Russian).
  21. Turkov S.L. The theorem of economic division into districts (the game-theory interpretation). Applied and Fundamental Studies: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Academic Conference. November 29–30, 2013. St. Louis, Missouri, USA, Vol. 2, Publishing House "Science and Innovation Center", Ltd. 2013, pp. 197–203.

---

УДК 681.518.:556(268.46)

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-130-142

**Н.Н. Филатов<sup>1</sup>**

## **ОПЫТ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕГИОНОВ СЕВЕРА РФ О СОСТОЯНИИ И ИЗМЕНЕНИЯХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ВОДОСБОРОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

### **АННОТАЦИЯ**

*В обзоре представлены результаты создания баз данных, геоинформационных и информационно-справочных систем, каталогов и экспертных систем и атласов Севера Европейской части России. Основные цели созданных ГИС-продуктов – систематизировать существующую информацию о водных ресурсах и водных объектах и обеспечивать официальной информацией о водных объектах всех субъектов водных отношений; прогнозировать текущее и перспективное планирование использования вод, а также обоснованно устанавливать плату за пользование водными объектами и ресурсами. Важным приложением выполненных в ИВПС работ является решение проблем, связанных с обеспечением экологической безопасности. Показан опыт разработки и технологии реализации ГИС-проектов «Водные ресурсы», «Водные объекты», информационно-справочных систем «Озёра, реки, гидротехнические сооружения», а также создания электронных атласов «Белого моря и водосбора» и географического атласа региона. Разработан электронный и бумажный варианты каталога озёр и рек Карелии, ГИС гидротехнических сооружений, ГИС подземных вод, источников техногенных воздействий на водные объекты. Создана бумажная и ГИС-*

---

<sup>1</sup> Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН; 185030, Россия, Петрозаводск, ул. А. Невского, 50;  
e-mail: nfilatov@rambler.ru

*версии атласа Онежского озера с блоками «гидрология», «гидрохимия», «гидробиология», «геология», «водное хозяйство». Были выполнены работы по общей оценке гидрографической структуры территории, количественных и качественных характеристик водных ресурсов; проведена инвентаризация озёр, рек, подземных вод по картам масштаба мельче 1:100 000, были присвоены кадастровые номера водным объектам; выполнена количественная оценка распределения озёр и рек по бассейнам Белого и Балтийского морей и основным речным водосборам; произведена классификация водоемов по размерам. Выполнены разработки экспертных систем для оценки качества вод, трофического статуса водных объектов с использованием баз данных, знаний на основе применения методов теории искусственного интеллекта.*

## **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

*каталоги, атласы, базы данных, экспертные системы, ГИС-технологии, моделирование, прогноз, природные ресурсы*

## **ВВЕДЕНИЕ**

В связи с активизацией освоения ресурсов Арктики, Арктической зоны РФ существенно возрастает роль геоинформационного обеспечения, что отмечалось на заседании Совета безопасности РФ в 2014 г. [<http://www.kremlin.ru/news/45856>]. Важными задачами является: совершенствование количественного и качественного учёта природных ресурсов для повышения уровня комплексного использования и охраны ресурсов. Для этих целей для региона были разработаны атласы, в которых представлены оперативно обновляемая комплексная эколого-социо-экономическая информация для её использования при принятии управленческих решений, проектирования, разработки научных рекомендаций рационального использования, управления. В связи с существенной динамикой преобразования природной среды Севера РФ из-за регулирования гидрологического режима водных объектов, добычи минеральных ресурсов, вырубки лесов, загрязнения, закисления и эвтрофирования водных объектов, а также заметным влиянием изменений климата требуется постоянное обновление информационных баз данных. В связи со сказанным, весьма актуальной является проблема гармонизации системы управления ресурсами в рамках субъектов федерации и бассейновых управлений. Это требует создания единой информационно-справочной системы как инструмента управления.

В связи с изменением социально-экономических условий с 1991 г. в России были поставлены неотложные задачи инвентаризации, разработки реестров, кадастров, каталогов природных ресурсов Севера Европейской части России для решения актуальных проблем регионов. Для успешного решения проблем водного хозяйства необходимо проведение целого комплекса исследований, однако на первом этапе необходимо выполнение надёжных инвентаризационных работ, позволяющих оценить водоресурсный потенциал региона, выполненных на базе современной компьютерной техники и информационных технологий. Разрабатываемые информационные системы должны позволять [Филатов и др., 2014]:

- систематизировать существующую информацию о водных ресурсах и водных объектах;
- обеспечивать официальной информацией о водных объектах всех субъектов водных отношений;
- производить объективную оценку состояния водных объектов по качественным и количественным показателям;
- разрабатывать математические модели водных объектов для прогноза изменения их состояния;
- моделировать текущее и перспективное планирование использования вод;
- обоснованно устанавливать плату за пользование водными объектами.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для региона создана ГИС-версия каталога водных объектов, которая позволяет совмещать, сопоставлять, проводить сопряжённый анализ различных видов географически привязанной тематической и статистической информации и периодически оперативно обновлять и дополнять базу данных. Электронная версия каталога озёр и рек Карелии является законченным информационно-технологическим продуктом, представляющим широкие возможности по накоплению, визуализации, обновлению, анализу и моделированию пространственно определенной информации в прикладных и познавательных целях.

Были выполнены работы по:

- общей оценке гидрографической структуры территории, количественных и качественных характеристик водных ресурсов;
- инвентаризации всех озёр и рек на территории Республики Карелии, имеющих на карте масштаба 1:1 000 000, присвоение им кадастровых (идентификационных) номеров и включение в электронную базу данных, созданную средствами ГИС;
- оценке распределения озёр и рек по бассейнам морей (Белого и Балтийского) и основным речным водосборам;
- классификации озёр и рек по размерам, определение общей численности всех озёр и рек по картам масштаба 1:1 000 000 и расчёт для каждого из внесённых в реестр водных объектов их основных морфометрических характеристик.

Каталог в бумажной и цифровой форме создан на основе распространённых пакетов программ ГИС, таких как ArcView GIS, MapInfo, ArcAvenu, ArcView Spatial Analysis, MapObjects, ERDAS с использованием лицензионной цифровой карты масштаба 1: 1 000 000 ГП Севзапаэрогеодезия (Роскартография).

Так как в большинстве министерств и ведомств и регионов нет единообразия в применении лицензионных программных средств ГИС, нет достаточного числа подготовленных специалистов-пользователей ГИС, нами – ИВПС и ИПМИ КарНЦ РАН – была разработана информационно-справочная система (ИСС) для широкого круга пользователей. В ИСС заложены многие возможности геоинформационной системы, но с простым, дружественным интерфейсом. Система основана на векторной карте масштаба 1:1 000 000, созданной в Росгеоинформ. Для обеспечения информацией государственных органов республики (Министерство природных ресурсов, Управление по экологии, МЧС и др.) созданы прикладные системы с элементами ГИС-технологий [Филатов, Лебедев, 2001].

Обновление карт, их актуализация, контроль состояния водоемов и водосборов выполняются по данным дистанционных методов и полевых работ.

Собранная и обновляемая информация систематизируется на основе структуры знаний о предметной области, которая отображает отношения между понятиями и представляется ациклическим графом общего вида (не деревом), что обеспечивает удобный доступ к фрагментам знаний, как по их названиям, так и по ключевым словам. Основу информационного наполнения системы, кроме векторных карт и баз данных, составляют иерархический каталог баз данных, тематических карт и пояснительных текстов, списки названий объектов на карте и серия оконных меню интерфейса с пользователем. Базы данных, содержащие пространственно распределённые данные, связаны через шейп-файлы с соответствующими тематическими слоями.

Работа по формированию ГИС «Водные объекты РК» проводилась на основе цифровой топографической карты Республики Карелии (масштаб составления 1:1 000 000), используемой в ЕГИС РК.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Разработка общегеографического атласа

Важной задачей для РФ после изменения форм собственности после 1991 г. является создание электронной базы данных и географической информационной системы по гидротехническим сооружениям (ГТС), которые оказались в ряде ведомств без надлежащего контроля и обслуживания. В ИВПС КарНЦ РАН по заданию Минприроды РК выполнена инвентаризация 210 ГТС, создана БД и ИСС. Привязка объектов выполнялась по картам масштабов 1:1 00000 и 1:200 000. База данных организована следующим образом: в атрибутивные таблицы тем введены краткие данные о каждом объекте, основная информация содержится в одноименных dbf-файлах и связывается с атрибутивной таблицей по условному номеру объекта.

Для решения практических задач Севера, Арктической зоны РФ была создана информационно-справочная система «Белое море и водосбор» [Филатов и др., 2014], данные можно загружать с помощью ГИС-сервера, формировать запрос на поиск данных и их пополнение, редактировать базы метаданных. ГИС-сервер включает в себя хранилище данных, базу метаданных и Web-сервер с сайтами администратора. Хранилище данных содержит файлы тематических слоёв карт (файлы с расширением .shp и тематические базы данных), графические файлы и тексты. Разработанный специальный ГИС-браузер, состоящий из нескольких блоков: инсталляции, приёма данных, декодирования данных, пользовательских функций – обеспечивает приём на клиентской стороне затребованных файлов геопроектов и последующую их обработку в автономном режиме [Филатов, Лебедев, 2001].

При разработке атласов, ГИС, БД были учтены разработки, представленные в [Капранов, Кошкарев, Тикунов, 2004]. При создании электронных атласов Белого моря и водосбора и Карелии мы ориентировались на технологии создания электронного атласа России, разработанного в МИИГАИКе [<http://www.softlabirint.ru/2014/08/13/>]. Атлас Карелии был разработан по гранту РГО [<http://water.krc.karelia.ru/project.php?id=734&plang=r>], имеет простую программную оболочку, позволяет открывать и просматривать страницы атласа и отдельные карты, увеличивать и уменьшать изображения карт и снимков, осуществлять поиск географических объектов по названиям с демонстрацией их на карте, распечатывать необходимую информацию. Страницы электронного атласа представлены в формате .html, а карты и другие изображения представлены в растровом формате .tiff. и .jpg. Для создания первой версии электронного географического атласа Карелии в качестве исходных материалов использовались ранее созданные атласы региона, монографии и справочные издания, например, Озёра Карелии [2013] и другие источники общегеографической информации [Богданова и др., 2014].

Масштабы картосхем для атласа определялись размерами территории и её географическими особенностями. Учитывая то, что площадь территории Карелии порядка 172 тыс. км<sup>2</sup>, достаточно использование карт в масштабах 1:1 000 000–1:6 000 000. Содержание, технические условия определялись кругом пользователей для обучения школьников и студентов Карелии. Основные требования к программной оболочке, как и в электронном Атласе России [<http://www.softlabirint.ru/2014/08/13/>] – обеспечение следующих возможностей:

- ввода разнообразной информации (карт, текстов) в растровом формате;
- сохранения, обработки и вывода информации на монитор, диски;
- работы на экране одновременно с разнообразными материалами в режиме гипертекста.



*Рисунок 1. Начальная страница атласа Карелии  
(<http://water.krc.karelia.ru/project.php?id=734&plang=r>)  
Figure 1. Home page of the Atlas of Karelia*

В качестве программных продуктов, обеспечивающих создание ГИС-версии Атласа, использовались ArcView, ArcGIS, MapInfo, открытые ГИС, графические редакторы и издательские системы. Для дальнейшего использования данных атласа в Интернете – Arc IMS и технологии создания геопорталов. В электронной версии атласа в HTML можно выполнить зуммирование, определение координат в десятичных градусах, а также в прямоугольной системе координат, поиск местоположения географического объекта по его названию, измерение расстояний, площадей; зуммирование, работу со слоями для создания тематических карт, просмотр космических снимков, вывод на печать карт или фрагмента, изменение цветов слоев, поиск, оформление картосхем и, наконец, создание новых тематических карт. Электронные карты для масштаба 1:1 000 000 представлены в равноугольной поперечноцилиндрической проекции Гаусса-Крюгера, а в меньших масштабах – в проекции Ламберта. Пространственные данные сопровождаются атрибутивными текстами, таблицами, графиками, которые включают описательную информацию о географических объектах. Атрибутивные таблицы содержат цифровые и текстовые характеристики. Возможен ввод легенд, описаний к ряду карт, которые не могут быть выведены на экран монитора в полном объеме. С помощью гипертекста можно найти сведения, описание разделов, карт, изображений, пояснений, словарь географических названий, что представляет несомненные преимущества электронного варианта перед традиционным бумажным. В атласе даны ссылки на интернет-ресурсы, в которых можно найти дополнительную информацию, например на электронный атлас России [<http://www.softlabirint.ru/2014/08/13/>], GoogleEarth [<https://www.google.com/earth/>] и др. источники. На рисунке 1 представлена начальная страница атласа Карелии.

#### **Разработка электронного атласа Белого моря и водосбора**

Важным средством, используемым для решения разнообразных практических задач, принятия управленческих решений являются комплексные атласы. Для Беломорья и ряда других районов Арктической зоны разработано более 10 тематических атласов и справочных изданий, в которых представлены определенные сведения о ресурсах региона, однако обобщаю-

щих произведений в виде ГИС, комплексных атласов, в особенности электронных, которые могут оперативно обновляться, – подобных атласов, необходимых для проектирования, принятия управленческих решений при освоении ресурсов Арктической зоны, до сих пор создано не было. В связи с этим ИВПС КарНЦ РАН была поставлена задача создания нового комплексного электронного Атласа Белого моря и водосбора. В основу этой работы положены исследования и данные как ИВПС КарНЦ РАН последних двадцати лет, так и работы ряда организаций России (ИО РАН, ММБИ РАН, ААНИИ, ИЭ КарНЦ РАН, ИБ КарНЦ РАН, ВНИИ Охраны природы и др.).

Для Белого моря и его водосбора в разное время было создано несколько тематических атласов и информационно-справочных систем [Atlas NESDIS 69, U.S.Gov.Printing, Wash., D.C., 250p]; «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана», [[http://www.esimo.ru/atlas/Beloe/1\\_1.html](http://www.esimo.ru/atlas/Beloe/1_1.html)], [White Sea, 2005].

При создании нового атласа «Белое море и водосбор» авторы исходили из того, что основное его отличие от ранее изданных в том, что в новом атласе представлена оперативно обновляемая комплексная эколого-социо-экономическая информация о море и его водосборе. Основная цель создания нового электронного атласа – многоцелевое, широкое и разнообразное его использование при принятии управленческих решений, проектировании, разработке научных рекомендаций рационального использования, управления и охраны ресурсами моря и его водосбора, часть которого входит непосредственно в Арктическую зону.

При создании атласа Беломорья (рисунок 2) использован опыт разработки системы поддержки принятия решений, который имеется в ИВПС КарНЦ РАН по созданию ГИС «Водные объекты Республики Карелия» [Богданова и др., 2014].

В атласе представлены карты-схемы течений, температуры воды, солёности для разного комплекса гидрометеорологических условий, полученные не только по данным измерений, но и по результатам расчётов на современных трёхмерных математических моделях, разработанных для Северного Ледовитого океана в ИВМ РАН, которая была адаптирована сотрудниками для Белого моря [Чернов, Толстикова, Яковлев, 2016]. Расчёты течений на моделях для разного комплекса условий существенно дополняют ранее полученные сведения об измеренных течениях, а также районов моря, для которых такие измерения были единичными или вообще не проводились. Будут даны прогностические оценки изменения экосистемы моря и экосистем водосбора, полученные по результатам расчетов на математических моделях. Разработанный многоцелевой электронный атлас найдет применение в задачах рационального использования ресурсов моря и водосбора, прогнозе состояния моря при разнообразных природных климатических и антропогенных сценариях, а также при возможных чрезвычайных ситуациях, когда требуется оперативный прогноз и принятие управленческих решений.

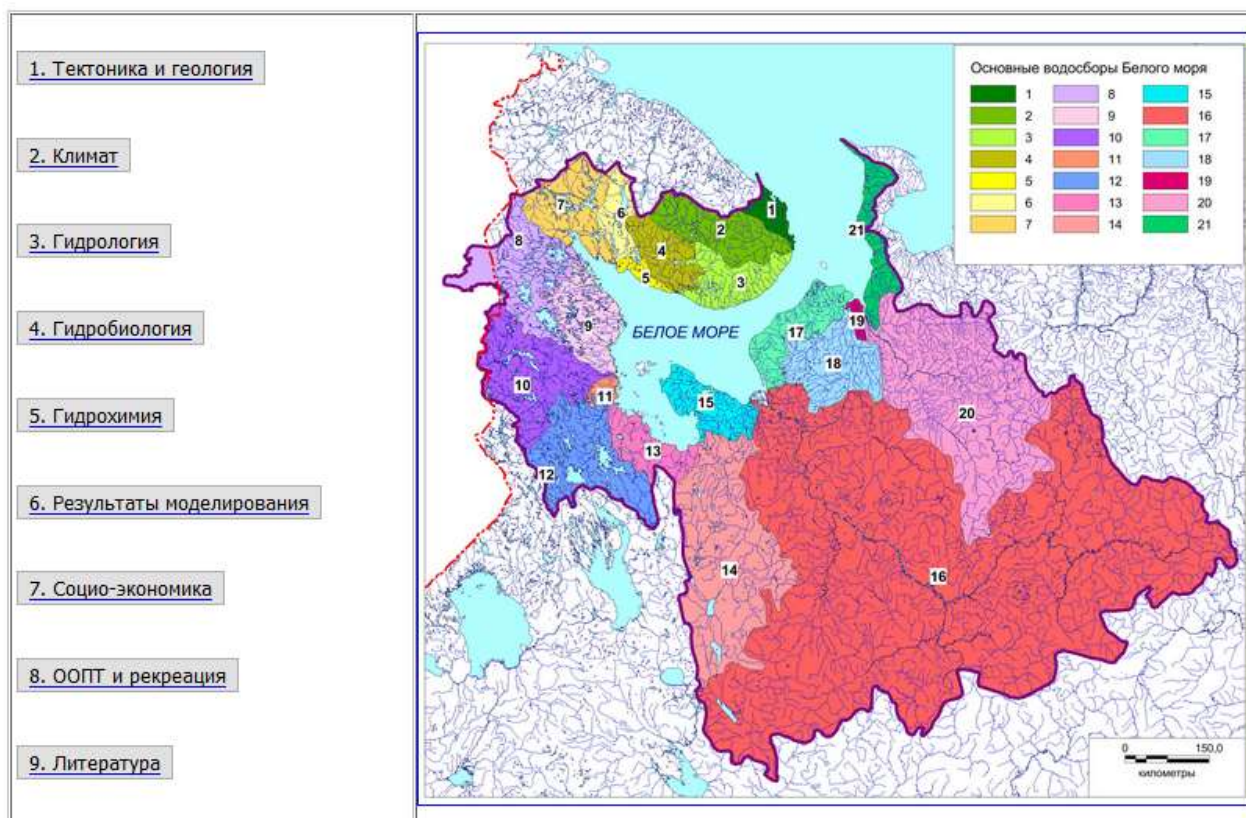
Представленные в атласе сведения могут использоваться для создания системы поддержки принятия управленческих решений, прототипом такой системы может быть система «NEST», разработанная странами ЕС для Балтийского моря [Wulf, Savchuk, 2009], в которых электронный атлас, базы данных и математические модели являются основными элементами системы.





# АТЛАС БЕЛОГО МОРЯ

ОТ СОСТАВИТЕЛЕЙ    ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БЕЛОМ МОРЕ    КОНТАКТЫ



*Рисунок 2. Страница электронного атласа «Белое море и водосбор» [Филатов и др., 2014].  
Figure 2. The page of the electronic atlas “The White Sea and the catchment area” [Filatov et al., 2014].*

## **Создание ГИС «Водные объекты и водные ресурсы»**

Институтом водных проблем Севера (ИВПС РАН) совместно с коллегами из отдела ГИС-технологий Петрозаводского государственного университета по заданию Министерства природных ресурсов по РК была выполнена работа по созданию подсистемы «Водные объекты на территории Республики Карелия», которая входит в Единую географическую информационную систему Республики Карелии (ЕГИС) [Богданова и др., 2014].

Для достижения поставленных задач были решены следующие задачи:

- разработано прикладное программное обеспечение для формирования информации по водным объектам, водопользователям и гидротехническим сооружениям на территории;
- сформирована цифровая картографическая база данных, содержащая картографическую и атрибутивную информацию по водным объектам, водопользователям и гидротехническим сооружениям (ГТС) на территории РК;
- разработана структура базы данных и справочников;

- разработана организационно-технологическая схема для актуализации цифровых картографических и атрибутивных данных по водному фонду РК с необходимой периодичностью;
- разработан регламент информационного обмена между специальной ГИС «Водные объекты на территории Республики Карелия» и ЕГИС РК.

При создании информационной базы данных о водных объектах часть данных была взята из созданных ранее в ИВПС КарНЦ РАН каталога и реестра водных объектов Республики Карелии и соответствующей географической информационной системы по современной электронной картографической основе масштаба 1:1 000 000 [Каталог озёр и рек Карелии, 2001]. Кроме этого каталога для характеристики водных объектов использовались базы данных по «Водопользователям РК» и «Гидротехническим сооружениям», разработанные в ИВПС КарНЦ РАН (База данных «Водные ресурсы европейского Севера России и их использование». Гос. регистрация № 2017620080)). Структура ГИС «Водные объекты Республики Карелия» состоит из нескольких цифровых картографических баз данных: «Водосборные бассейны РК», «Водоёмы МПР», «Водотоки МПР», «Водохозяйственные участки», «Водопользователи РК», «Разрешительные документы водопользователей РК», «Гидроэнергетика РК», «Водозабор РК», «Водосброс РК», «Водный транспорт РК», «Рекреация РК», «Координаты водных объектов РК», содержащих картографическую и атрибутивную информацию. Все базы данных в ГИС связаны между собой кодификатором, это обеспечивает возможность оперативной работы с информацией посредством запросов, а также создавать различные тематические карты [Богданова и др., 2014].

Были сформированы цифровые картографические базы данных: «Водосборные бассейны», «Водоёмы», «Водотоки», «Водопотребители», содержащие картографическую и атрибутивную информацию. База «Водосборные бассейны» содержит информацию по пяти водосборным бассейнам 1-го порядка: Белое море, Каспийское море, Ботнический залив Балтийского моря, Онежское озеро, Ладожское озеро, а также по 18 водосборным бассейнам 2-го порядка. Для водных объектов слоёв «Водоёмы» и «Водотоки» была разработана система уникальных кодов, которая позволила идентифицировать 3524 озера и 2069 рек на карте масштаба 1:1 000 000. Структура таблиц по водным объектам включает информацию о кадастровом номере, морфометрии (площади озера, длине береговой линии, глубине, длине реки и т. п.), водоохраных зонах, прибрежных защитных полосах и категориях рыбохозяйственной значимости.

База данных «Водопользователи» состоит из шести таблиц, связанных друг с другом уникальными кодами. Основная таблица этой базы данных «Общие сведения о водопользователях» содержит название водопользователя и юридическую информацию о нём. Остальные пять таблиц содержат тематические данные по отдельным видам водопользования: гидроэнергетике, забору воды, сбросу воды, использованию акваторий для водного транспорта и целей рекреации (рисунок 3).

Созданная геоинформационная система «Водные объекты на территории Республики Карелия» используется в настоящее время для информационно-картографического обеспечения деятельности Министерства природопользования и экологии Республики Карелии, а также заинтересованных ведомств и может быть использована как прототип для других регионов России и, в частности, опыт создания ГИС для «Водные объекты Республики Карелия» может быть использован не только для создания подобной ГИС для Беломорья, но и других ресурсов регионов Арктической зоны России.

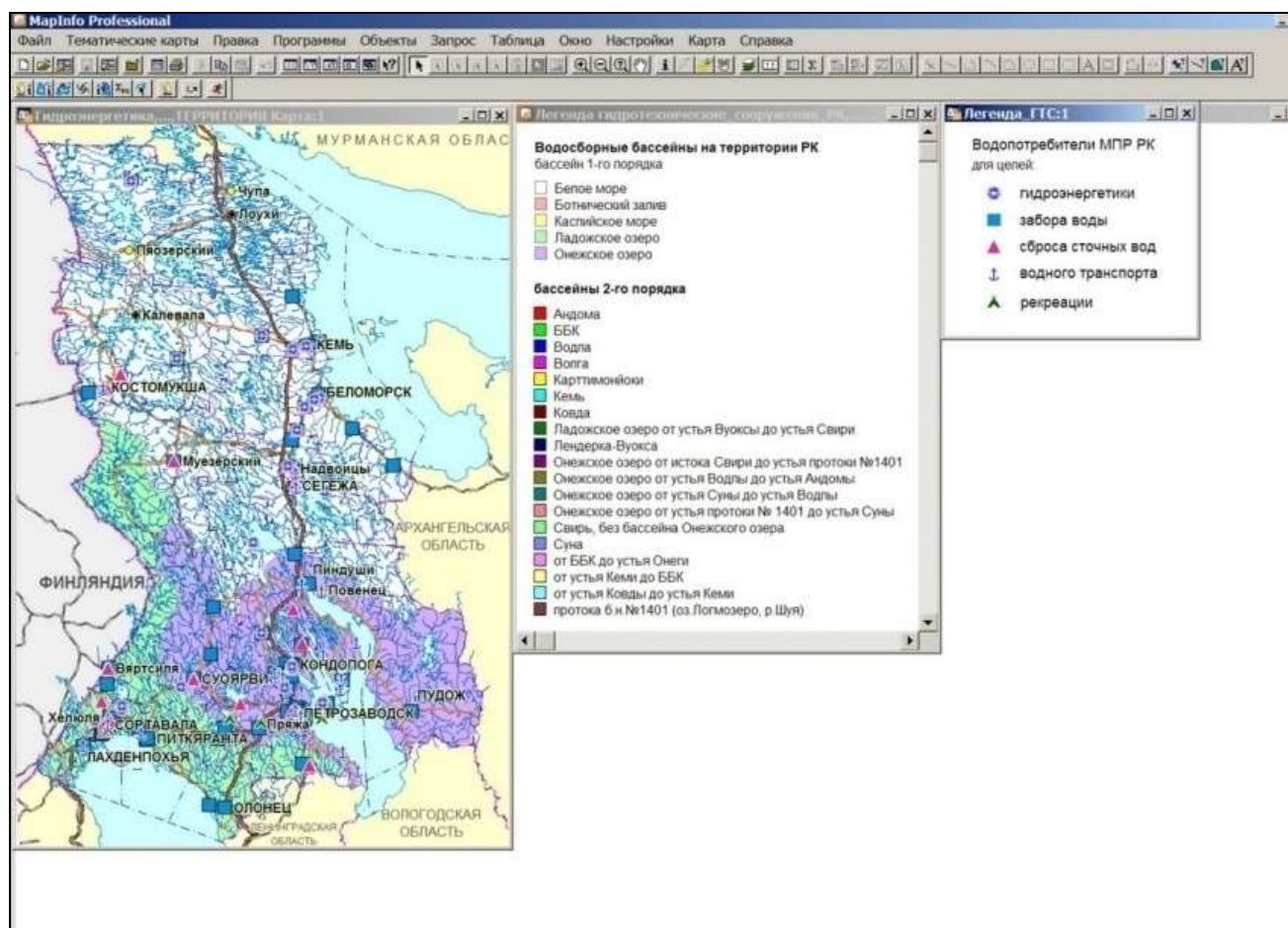
Актуальной является такая задача, как унификация ГИС природных ресурсов, разработанных для разных субъектов Федерации, что необходимо для создания единого геоинформационного пространства. Нами решалась проблема совместимости подходов при создании БД, ГИС водных ресурсов и объектов для трансграничных объектов (граница с Финляндией более 600 км). Важность этой задачи обусловлена тем, что Карело-Кольский регион граничит с Финляндией – членом ЕС, в котором принимаются подходы к мониторингу, формирова-



нию баз данных, созданию геоинформационных систем в соответствии с Европейской Водной Директивой. Для трансграничных водных объектов, озёрно-речных систем были сопоставлены подходы, соответствующие как законодательству РФ, так и ЕС.

При этом созданы ГИС, атласы, справочники с использованием информации по российской Арктике [Climatic Atlas of the Arctic Seas 2004]. Белое море и водосбор можно рассматривать как модель Арктики, т. е. объект для калибровки и верификации разрабатываемых информационных систем, атласов, математических моделей для оценки изменений и прогноза влияния климатических изменений на экосистемы, разработки моделей социо-эколого-экономических систем, а также систем поддержки принятия управленческих решений. Актуальной задачей для Арктической зоны РФ является оценка ресурсов, изменений экосистем при активизации хозяйственной деятельности и климатических изменениях.

При освоении ресурсов Арктики возрастает интерес к Беломорью (Белое море и его водосбор) как важному региону для развития водного и наземного транспорта, прокладки трубопроводов, при добыче биоресурсов, развитии туризма, рекреации, экономики региона. Однако реальную изученность океанологических характеристик и процессов нельзя признать равномерной и полной.



*Рисунок 3. Главное окно ГИС «Водные объекты на территории Республики Карелия» [Филатов и др., 2014]*

*Figure 3. The main GIS window “Water objects on the territory of the Republic of Karelia” [Filatov et al., 2014]*

### **Разработка экспертных систем**

Создание баз данных, баз знаний и ГИС для Арктической зоны РФ осложняется слабой изученностью ресурсов региона. В России около 2,8 млн озёр, однако изучено менее 1 %. Таким образом, нет достаточных сведений для оценки водных и биологических ресурсов озёр. Это же относится не только к водным и биологическим, но и к другим ресурсам Арктической зоне страны, исследование которой последние 20 лет было существенно ослаблено. Поэтому важным является внедрение современных технологий, позволяющих дать оценку этих ресурсов с применением ЭС. Если на первых этапах создания экспертных систем существовало мнение о том, что приоритет принадлежит математическим методам, а наполнение баз данных и знаний фактическими данными – дело второстепенное, то на современном этапе выяснилось, что успех или неуспех создания экспертной системы определяется в первую очередь качеством и организацией базы знаний [Меншуткин и др., 2009].

Решались задачи оценки качества природных ресурсов для объектов, территорий, регионов, по которым мало или нет непосредственных наблюдений. Одной из таких задач является оценка качества вод, уровня трофии водных объектов. Так, например, для самого богатого водными объектами региона РФ, Карело-Кольского региона (водные объекты покрывают более 15 % территории), была поставлена задача разработки ЭС на основе методов теории искусственного интеллекта с использованием математического аппарата нечеткой логики. Для разработки системы создана база данных по морфометрии, гидрологии, гидрохимии и гидробиологии для более чем 600 озёр. При этом в регионе более 200 тыс. озёр. Были предварительно выполнены классификации водных объектов методами многомерной статистики, факторного, кластерного и логико-информационного анализа с использованием метода многомерного шкалирования. Далее с использованием экспертной системы определён трофический статус этих озёр. Тестирование системы проведено на независимых данных для хорошо изученных озёр. Предлагаются пути совершенствования экспертной системы как инструмента управления, для оценивания водных и биологических ресурсов озёр, их охраны и рационального использования. Представлены вопросы использования математических или имитационных моделей для решения задач оптимального управления озёрными экологическими системами с целью сохранения качества воды и получения экономического эффекта от использования природных ресурсов водоёма.

Применение экспертных систем оказалось эффективным для оценки состояния неизученных или малоизученных объектов по имеющемуся ансамблю достаточно хорошо исследованных объектов. При всём многообразии конструкций экспертных систем (ЭС) их функционирование обычно сводится к многократному применению байесовской процедуры оценки апостериорной функции распределения по априорной функции распределения с учетом конкретных свойств исследуемого озера. В разработанной для озёр Карелии ЭС фигурируют 94 лингвистические переменные, функции, принадлежности которых отображаются на интерфейсе ЭС [Меншуткин, Филатов, Потахин, 2009].

Отнесение озера к некоторому трофическому типу, например олиготрофному, мезотрофному, эвтрофному или дистрофному, является одной из фундаментальных проблем лимнологии. Если мы можем строго отнести конкретное озеро к определенному трофическому типу, то мы очень много знаем о его экосистеме. Разработанная система может служить прототипом при разработке экспертных систем озёр, по которым мало или нет непосредственных наблюдений для разных ландшафтных зон.

### **ВЫВОДЫ**

Предложенные разработки геоинформационных систем, ИСС, ЭС, электронных атласов используются и могут далее применяться для решения социо-экономико-экологических практических задач для обоснования мероприятий по рациональному использованию и сохранению ресурсов региона, для разработки систем поддержки принятия решений для других регионов Арктической зоны РФ.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит коллег ИВПС КарНЦ РАН Богданову М.С., Литвиненко А.В., Меншуткина В.В., Толстикова А.В., Дерусову О.В, Баклагина В.Н., вместе с которыми выполнены представленные работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белое море и водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. – 349 с.
2. Богданова М.С., Литвиненко А.В., Филатов Н.Н. ГИС «Водные объекты Республики Карелия» как инструмент для решения задач управления водными ресурсами и их использования. – Ростов-на-Дону, 2014. – С. 45–49.
3. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. и др. Основы геоинформатики. – М., 2004. – 352 с.
4. Каталог озёр и рек Карелии. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. – 288 с.
5. Меншуткин В.В., Руховец Л.А., Филатов Н.Н. Математические модели водных экосистем в задачах управления ресурсами озёр // Вод. хоз-во России. – 2014. – № 4. – С. 100–110.
6. Меншуткин В.В., Филатов Н.Н., Потахин М.С. Разработка экспертной системы «Озера Карелии». – Ч. 1: Порядковые и номинальные характеристики озёр // Вод. ресурсы. – 2009, Т. 36, № 2. – С. 160–171.
7. Озёра Карелии. Справочник. – Петрозаводск, 2013. – 464 с.
8. Филатов Н.Н., Лебедев В.А. Коллекция знаний об Онежском и Ладожском озёрах // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции. – Петрозаводск: Изд. КарНЦ РАН, 2001. – С. 202–208.
9. Филатов Н.Н., Толстиков А.В., Богданова М.С., Литвиненко А.В., Меншуткин В.В. Создание информационной системы и электронного атласа по состоянию и использованию ресурсов Белого моря и его водосбора // Арктика: экология и экономика. – М., 2014. – № 3. – С. 18–29.
10. Филатов Н.Н., Литвиненко А.В., Богданова М.С., Карпечко В.А. Водные ресурсы северного экономического района России: состояние и использование // Водные ресурсы. – Т. 43, № 5, 2016. – С. 1–12.
11. Чернов И.А., Толстиков А.В., Яковлев Н.Г. Комплексная модель Белого моря: гидротермодинамика вод и морского льда // Труды КарНЦ РАН. Серия «Математическое моделирование и информационные технологии». – № 8, 2016. – С. 116–128.
12. Climatic Atlas of the Arctic Seas 2004. NOAA Atlas NESDIS 58, World Data Center for Oceanography-Silver Spring, International Ocean Atlas and Information Series. – V. 9, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 2004. – 148 p., CD-ROM.
13. Matishov G., Zuyev A., Golubev V. et al. Climatic Atlas of the Arctic Seas 2004. – Pt. 1: Database of the Barents, Kara, Laptev, and White Seas – Oceanography and Marine Biology / NOAA Atlas NESDIS 58, U.S. Government Printing office – Washington, D.C., 2004. – 356 p.
14. Savchuk Oleg P. Fredrik Wulff. Long-term modeling of large-scale nutrient cycles in the entire Baltic Sea. Hydrobiologia (2009) – 629:209–224. – DOI 10.1007/s10750-009-9775.
15. White Sea: Its Marine environment and Ecosystem dynamics influenced by global change. – London: Springer-Praxis, 2005. – 472 p.

Nikolay N. Filatov<sup>1</sup>

## AN EXPERIENCE OF INFORMATION SUPPORT FOR REGIONS OF THE NORTH OF RUSSIAN FEDERATION ON THE STATUS AND CHANGES OF WATER OBJECTS AND DRAINS UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS

### ABSTRACT

*The review presents results of the creation of databases, geoinformation and information systems, catalogs and expert systems and atlases of the Northern European part of Russia. The main goals of the created products are to systematize existing information on water resources and water bodies and provide official information about water bodies of all subjects of water relations; predict current and future planning of water use, and also reasonably set fees for the use of water bodies and resources. An important application of the works performed in the NWPI is to solve problems related to ensuring environmental safety. The experience of development and technology for the implementation of GIS projects such as “Water Resources”, “Water Objects”, information and reference systems “Lakes, rivers, hydropower structures”, as well as the creation of electronic atlases of the White Sea and their catchment area and the geographical atlas of the region have been shown. The electronic and paper versions of the catalog of lakes and rivers of Karelia, GIS of hydro-technical constructions, GIS-underground waters, sources of technogenic impacts on water objects have been developed. A paper and GIS version of the Onego Lake atlas was created with blocks: climate, hydrology, hydrochemistry, hydrobiology, geology, water supply complex, etc. Work has been done to evaluate the overall assessment of hydrography of the territorial structure, quantitative and qualitative characteristics of water resources; inventories of lakes, rivers, groundwaters on maps with the scale smaller than 1: 100000 have been carried out, cadastral numbers have been assigned to water bodies; a quantitative assessment of the distribution of lakes and rivers in the basins of the White Sea and Baltic Sea and the main river watersheds, as well as classification of reservoirs according to size have been made. Expert systems have been developed to assess water quality, trophic status of water bodies using databases, data knowledge based on the application of methods of the theory of artificial intelligence.*

### KEYWORDS:

*catalogs, atlases, databases, expert systems, GIS-technologies, modeling, forecast, natural resources*

### REFERENCES

1. Beloye more i vodosbor pod vliyaniyem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov [White Sea and catchment under the influence of climatic and anthropogenic factors]. Petrozavodsk: v KarNC RAN, 2007, 349 p. Bogdanova M.S, Litvinenko A.V., Filatov N.N. GIS «Vodnyye ob'yekty Respubliki Kareliya» kak instrument dlya resheniya zadach upravleniya vodnymi resursami i ikh ispol'zovaniya [GIS “Water objects of the Republic of Karelia” as a tool for solving problems of water resources management and their use], Rostov-na-Dony, 2014, pp. 45–49 (in Russian).

---

<sup>1</sup> Northern Water Problems Institute, KRC RAS; Petrozavodsk, A.Nevskogo 50, Republic of Karelia, Russia; e-mail: nfilatov@rambler.ru

2. Kapralov E.G., Koshkaryov A.V., Tikunov V.S. *et al.* Osnovy geoinformatiki [The fundamentals of geoinformatics], Moscow: 2004, 352 p. (in Russian).
  3. Katalog ozyor i rek Karelii [Catalog of lakes and rivers of Karelia], Petrozavodsk: KarNTS RAN, 2001, 288 p. (in Russian).
  4. Menshutkin V.V., Rukhovets L.A., Filatov N.N. Matematicheskiye modeli vodnykh ekosistem v zadachakh upravleniya resursami ozer [Mathematical models of water ecosystems in tasks of lake / water resources management], Households in Russia, Vod. khoz-vo Rossii, 2014, No 4, pp. 100–110 (in Russian).
  5. Menshutkin V.V., Filatov N.N., Potakhin M.S. Razrabotka ekspertnoy sistemy “Ozyora Karelii”, Ch. 1: Poryadkovyye i nominal’nyye kharakteristiki ozyor [Development of the expert system “Lake of Karelia”. Part 1: Ordinal and nominal characteristics of lakes], Vod. Resursy, 2009, T. 36, No 2, pp. 160–171 (in Russian).
  6. Ozyora Karelii. Spravochnik [Lakes of Karelia. Reference], Petrozavodsk: KarNTS RAN, 2013, 464 p. (in Russian).
  7. Filatov N.N., Lebedev V.A. Kolleksiya znaniy ob Onezhskom i Ladozhskom ozerakh [Collection of knowledge about Onego and Ladoga lakes], Elektronnyye biblioteki: perspektivnyye metody i tekhnologii, elektronnyye kolleksii [Electronic Libraries: Advanced Methods and Technologies, Digital Collections], Petrozavodsk, 2001, pp. 202–208 (in Russian).
  8. Filatov N.N., Tolstikov A.V., Bogdanova M.S., Litvinenko A.V., Menshutkin V.V. Sozdaniye informatsionnoy sistemy i elektronnoy atlasa po sostoyaniyu i ispol’zovaniyu resursov Belogo morya i yego vodosbora [Creation of the information system and electronic atlas on the state and use of the resources of the White Sea and its watershed]. Arktika: ekologiya i ekonomika, Moscow, 2014, No 3, pp. 18–29 (in Russian).
  9. Filatov N.N., Litvinenko A.V., Bogdanova M.S., Karpechko V.A. Vodnyye resursy severnogo ekonomicheskogo rayona Rossii: sostoyaniye i ispol’zovaniye. Vodnyye resursy [Water resources of the northern economic region of Russia: state and use. Water resources], T. 43, No 5, 2016, pp. 1–12 (in Russian).
  10. Chernov I.A., Tolstikov A.V., Yakovlev N.G. Kompleksnaya model’ Belogo morya: gidrotermodynamika vod i morskogo l’da [Complex model of the White Sea: hydrothermodynamics of water and sea ice], Trudy KarNTS RAN, Ser. “Matematicheskoye modelirovaniye i informatsionnyye tekhnologii”. No 8, 2016, pp. 116–128 (in Russian).
  11. Climatic Atlas of the Arctic Seas 2004. NOAA Atlas NESDIS 58, World Data Center for Oceanography-Silver Spring, International Ocean Atlas and Information Series, Vol. 9, U.S. Government Printing Office, Washington: D.C., CD-ROM, 2004, 148 p.
  12. Matishov G., Zuyev A., Golubev V. *et al.* Climatic Atlas of the Arctic Seas 2004, Pt. 1: Database of the Barents, Kara, Laptev, and White Seas, Oceanography and Marine Biology, NOAA Atlas NESDIS 58, U.S. Government Printing Office, Washington: D.C., 2004, 356 p.
  13. Savchuk O.P., Wulff F. Long-term modeling of large-scale nutrient cycles in the entire Baltic Sea, Hydrobiologia, 2009, 629:209–224; DOI 10.1007/s10750-009-9775.
  14. White Sea: Its Marine environment and Ecosystem dynamics influenced by global change, London: Springer-Praxis, 2005, 472 p.
-