

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОД НЕВСКОЙ ГУБЫ

Резюме. Авторами разрабатывается методика геоинформационного картографирования и формирования базы данных для оценки экологической обстановки морской акватории Невской губы, формирующейся под влиянием сложного комплекса взаимодействующих природных и антропогенных процессов. Созданная информационная база может постоянно обновляться и позволяет объединить на основе единых принципов формализации и структурирования данных значительный объём результатов научных исследований. Данные информационной базы и использование инструментария новейших ГИС-технологий позволили построить модели и составить серию карт распространения различных загрязнителей и оценить экологическую обстановку в акватории Невской губы.

Ключевые слова: Экологическое состояние, загрязняющие вещества, гидрохимические показатели, база геоданных, моделирование геополей.

Введение. Невская губа представляет собой наиболее западный участок Финского залива, западная граница которого проходит по створам комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений, а восточная ограничена рукавами «псевдодельты» реки Невы. С открытой частью Финского залива Невская губа сообщается двумя проливами: Северными и Южными воротами, где построен комплекс защитных сооружений.

Как объект эколого-географического исследования, Невская губа находится под большим антропогенным воздействием, особенно в районах интенсивного загрязнения акватории минеральными и органическими примесями, нефтью и нефтепродуктами. Уровненный режим Невской губы связан с особенностями атмосферной циркуляции над Балтийским морем и Финским заливом. Характер гидрологических процессов, а также гидробиологический режим находятся под определяющим влиянием стока реки Невы. Средние скорости течений составляют в северной части губы 6–8 см/с, а в южных частях акватории 1–5 см/с. [Суетова, Ушакова, 2002].

В экологическом состоянии акватории Невской губы можно выделить три периода. Первый – с 70-х по начало 90-х годов, когда вследствие проведения гидротехнических работ по намыву городских территорий отмечался высокий уровень загрязнения прибрежных районов взвесью. Второй – с начала 90-х годов по 2004 год, когда экологическое состояние акватории постепенно улучшается. Третий период, с 2005 по 2008 год, связан с реализацией проекта «Морской фасад». Последний период можно считать самым неблагоприятным для акватории: интенсивность и масштабы загрязнения водной среды взвесью намного превосходят наблюдавшиеся ранее, экологическое состояние акватории в целом ухудшилось [Марков, Григорьева и др., 2013,]. Проблема состоит и в том, что в транзитной зоне Невской губы проводятся гидротехнические работы, где скорости течений значительно выше, чем в мелководных прибрежных районах, а также в том, что в 2006 году большая часть извлекаемого грунта сваливалась в Невской губе, несмотря на запрет свалки в акваторию, а с лета 2007 года грунт сваливается вдоль северного побережья Невской губы.

Целью данного исследования является картографирование и анализ различных гидрохимических показателей воды в акватории Невской губы. Работа проводилась в несколько этапов:

- анализ исходной информации;

¹ Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова; e-mail: korshenko58@mail.ru.

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики; e-mail: alik@geogr.msu.ru.

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики; e-mail: la.ushakova@mail.ru.

- создание базы данных;
- моделирование геополей и составление карт;
- географический анализ акватории Невской губы на основе составленных карт и статистических материалов.

Материалы и методы исследования. Исходные материалы. В качестве исходных материалов использовались данные мониторинга, полученные в результате выполнения регулярных наблюдений в рамках государственной программы мониторинга морской среды, которые представляются в ГОИН на основании нормативных документов Росгидромета (Приказ No156, 2000). Дополнительно были использованы материалы исследований морской среды Северо-Западного филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» Росгидромета (г. Санкт-Петербург) и других профильных организаций.

На акватории Невской губе к востоку от Комплекса Защитных Сооружений (КЗС) от наводнений до устья реки Нева мониторинг осуществляется на 23 станциях, включая:

- Ежемесячные наблюдения на 1 станции акватории Морского Торгового порта – станция 1 категории.
- Ежемесячные наблюдения на 1 станции устья р. Невы.
- Наблюдения в навигационный период с мая по октябрь на 16 станциях в открытой части Невской губы от устья реки Невы до Комплекса Защитных Сооружений от наводнений (КЗС).
- Наблюдения в период с мая по октябрь на акватории Южной Курортной Зоны на 3 станциях.
- Наблюдения в период с мая по октябрь на акватории Северной Курортной зоны на 1 станции.
- Наблюдения в период с мая по октябрь в районе пос. Ольгино в зоне Северной станции аэрации на 1 станции.

Отбор проб воды и химический анализ проводились в соответствии с «Руководством по химическому анализу морских вод» (РД 52.10.243-92) за исключением биохимического потребления кислорода (БПК 5), проводившегося в соответствии с «Методикой выполнения измерений биохимической потребности в кислороде после пяти дней инкубации (БПКполн) в поверхностных, пресных, подземных (грунтовых), питьевых, сточных и очищенных водах» (РД 52.24.420-2006). Содержание нефтяных углеводородов определялось ИК – фотометрическим методом; фенола – методом хроматографии; СПАВ (синтетических поверхностно-активных веществ) для Невской губы методом экстракционно-фотометрическим; хлорорганических пестицидов – газохроматографическим методом; металлов – методом атомно-абсорбционной спектроскопии фильтрованных проб воды. Химические анализы выполнялись в лаборатории гидрохимии Аналитической лаборатории (центра), аккредитованной на техническую компетентность Росстандартом и зарегистрированной в государственном реестре с номером РОСС RU.0007.510422. В Невской губе и в курортной зоне мелководного района Восточной части Финского залива расчет ИЗВ производили с учетом БПК 5 (ПДК = 3 мгО 2/л). Принимая во внимание пресноводный характер Невской губы, при расчете ИЗВ использовались значения ПДК для поверхностных вод суши.

Создание базы данных. База пространственных данных содержит два блока: базовый и блок показателей гидрохимического состояния акватории Невской губы. Вся информация, содержащаяся в этих блоках, хранится в двух форматах – это формат шейп-файлов (shape-files) и формат базы геоданных (file geodatabase). Эти данные представляют собой исходные материалы, на основе которых будут создаваться тематические карты.

Базовый блок включает основные векторные данные, которые служат источниками и топографической основой при создании карт. Это железные дороги, автодороги, гидрографические объекты, города и поселки городского типа (ПГТ), рельеф и растительность. В качестве дополнительных характеристик в базовый блок входят данные о размещении некоторых отдельных объектов, таких как морские торговые порты. С такими объектами часто связано скопление загрязняющих веществ, нефтяных разливов, а, следовательно, и ухудшение экологического состояния акватории в данном месте.

Блок показателей гидрохимического состояния акватории Невской губы содержит важные гидрохимические характеристики. В качестве основной единицы базы данных использовалась информация о станциях мониторинга. Структурно можно выделить основную часть, представляющую общую информацию о станции – ее официальное название, пространственное положение, категория. Вторая часть относится непосредственно к измерениям, полученным в рамках мониторинга – дата и время отбора, глубина, использованный инструмент отбора и обработанные гидрохимические показатели. Важной характеристикой является легкая расширяемость базы, позволяющая ежегодно пополнять информацию и проводить анализ изменения гидрохимических показателей не только в пространстве, но и во времени.

В качестве основного метода пространственного анализа было решено использовать моделирование геополей гидрохимических показателей, отображающих пространственное распределение того или иного показателя на акватории Невской губы по сезонам и по годам. Данный метод позволяет выявить не только пространственные особенности распределения очагов загрязнения, но и на основе обработки построенных полей оценить изменение во времени.

Для создания геополей различных показателей на акваторию Невской губы использовался модуль Spatial Analyst программного обеспечения ArcGIS v. 10.1 компании ESRI. При построении геополей применялся метод IDW (Inverse Distance Weighted). Параметры построения геополей определялись с учетом специфики картографируемого показателя и пространственного охвата исследуемой территории. Пример построенной интерполированной поверхности представлен на рис. 1.

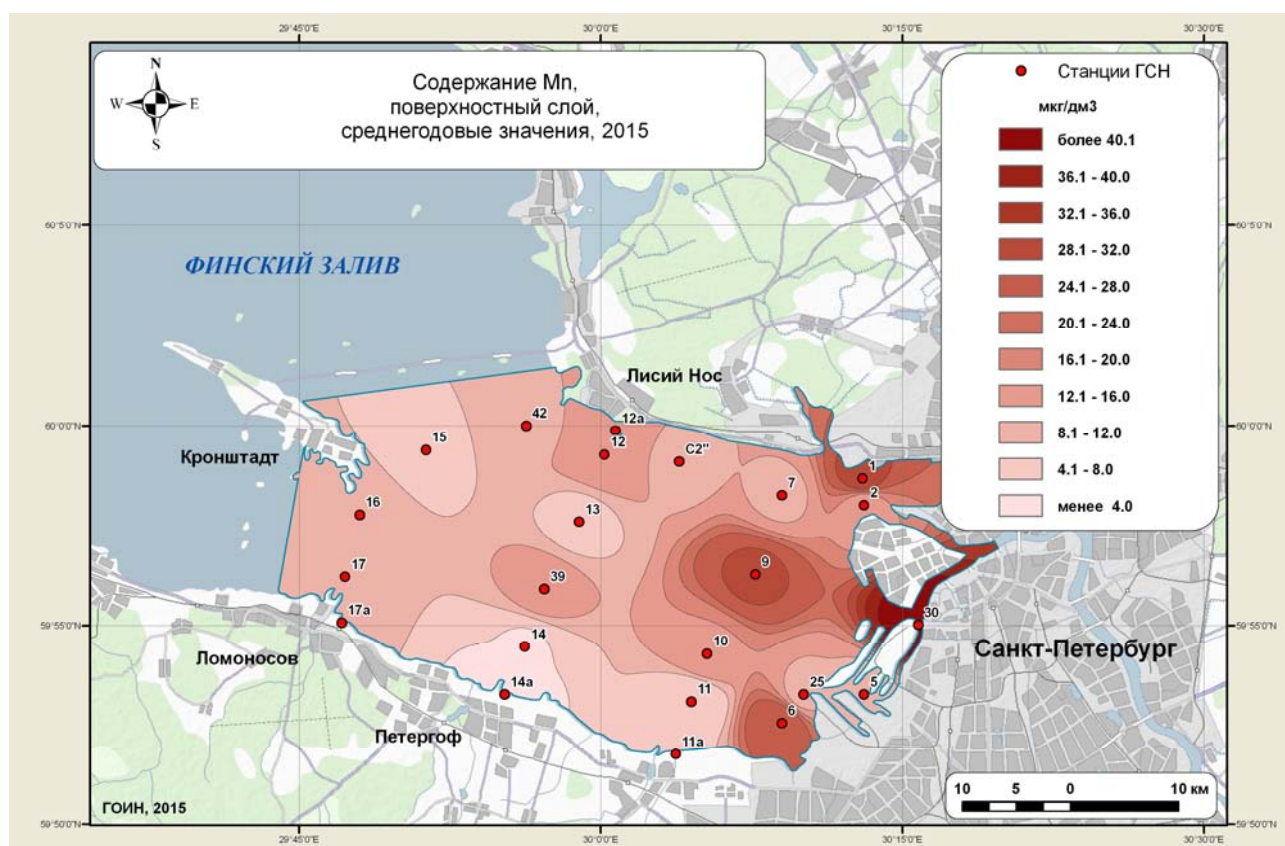


Рис. 1. Содержание марганца (Mn) в поверхностном слое

Построение геополей различных загрязнителей на основе разработанной базы геоданных является основным этапом при исследовании эколого-географического состояния Невской губы. На основе построенных геополей проводятся дальнейшие аналитические расчеты.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате исследования создана серия аналитических карт, позволяющая проследивать динамику изменения показателей за опре-

деленный отрезок времени. Аналитические карты создавались по отдельным гидрохимическим показателям за каждый сезон на 2014 год:

- биохимическое потребление кислорода (БПК 5), мг/л;
- содержание магния (Mn), мкг/дм³;
- содержание меди (Cu), мкг/дм³;
- содержание нитратов (N-NO₃), мкг/дм³;
- содержание нитритов (N-NO₂), мкг/дм³;
- содержание общего азота (Ntotal), мкг/дм³;
- содержание оксида кремния (SiSO₄), мкг/дм³;
- содержание оксида свинца (PbO), мкг/дм³;
- содержание синтетически поверхностно-активных веществ (СПАВ), мкг/дм³;
- содержание фосфатов (P-PO₄), мкг/дм³;
- содержание цинка (Zn), мкг/дм³;
- концентрация щелочности (Alk), мг-экв/дм³.

Полученные карты по количественным характеристикам представляют собой вид графических изображений на единой общегеографической основе и определяют степень распространения каждого из показателей на акватории Невской губы.

Вышеперечисленные показатели морской среды являются основой для общего анализа эколого-географического состояния вод. Для того, чтобы определить качество вод акватории Невской губы необходимо использовать расчетные значения индекса загрязненности вод (ИЗВ), которые позволяют отнести воды исследуемого района к определенному классу чистоты. Значения данного индекса представлены в таблице ниже (табл. 1).

Правила расчета индекса загрязненности вод определены «Методическими Рекомендациями по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям». Для морских вод при расчете индекса используют четыре параметра – это концентрация трех значительных загрязнителей, среднее содержание которых в воде исследуемой акватории в наибольшей степени превышало предельно-допустимую концентрацию (ПДК).

Таблица 1

Классы качества вод по значениям ИЗВ

Класс качества вод		Диапазон значений ИЗВ
Очень чистые	I	ИЗВ < 0,25
Чистые	II	0,25 < ИЗВ ≤ 0,75
Умеренно загрязненные	III	0,75 < ИЗВ ≤ 1,25
Загрязненные	IV	1,25 < ИЗВ ≤ 1,75
Грязные	V	1,75 < ИЗВ ≤ 3,00
Очень грязные	VI	3,00 < ИЗВ ≤ 5,00
Чрезвычайно грязные	VII	ИЗВ > 5,00

Четвертым обязательным параметром является содержание растворенного в воде кислорода [Ежегодник ГОИН, 2014]. Общая формула для вычисления ИЗВ выглядит следующим образом:

$$ИЗВ = \sum_{i=1}^4 \frac{C_i}{ПДК_i} \div 4$$

где C_i – концентрация трех значительных загрязнителей, среднее содержание которых превышало ПДК.

В разных участках акватории Невской губы загрязнение может проявляться в разной степени с учетом наличия или отсутствия основных загрязняющих источников.

Для расчета ИЗВ необходимы показатели предельно допустимых концентраций (ПДК) для каждого из гидрохимических характеристик. «ПДК представляет максимальную концентрацию вредного вещества, при которой в водоеме не возникает последствий, снижающих его рыбохозяйственную ценность. Экспериментально ПДК устанавливается по наиболее чувствительному звену трофической цепи водоема». Определение дано по документу «Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», утвержденного приказом Руководителя Федерального агентства по рыболовству А.А. Крайнего №20 от 18 января 2010 г., зарегистрированного Министерством юстиции 9 февраля 2010 г.

В результате расчета ИЗВ прослеживается, что данный индекс меняет свои значения каждый сезон. При этом практически все элементы, содержащиеся в акватории Невской губы, имеют показатели, которые в несколько раз превышают допустимую норму. К таким элементам относятся, в первую очередь, нитраты (превышают норму в 15–20 раз), оксид кремния (в 10–15 раз) и тяжелые металлы (цинк – в 10–15 раз, марганец – 8–10 раз и медь – в 5–6 раз). Для расчета ИЗВ в основном использовались именно вышеперечисленные элементы. Самые высокие значения на каждый сезон индекс имеет в точке С 2 – это Северная станция аэрации. Индекс колеблется от 13,7 до 11,75. Как известно, те воды, которые имеют значение индекса больше 5, относятся к классу чрезвычайно загрязненных вод. В данной же точке индекс больше чем в 2 раза превышает значение класса чрезвычайно загрязненных вод. Это связано с огромными выбросами как очищенных, так и без очистки сточных вод. Учитывая направление течения воды в акватории (вода поступает в губу с северо-запада на юго-восток), то все загрязненные воды точки С 2 идут по течению и максимум загрязнения становится не только в точке С 2, но и смещается к юго-востоку. В данной точке очень высока концентрация нитратов. Это связано со сбросом коммунально-бытовых отходов в акваторию. В данной точке все показатели превышают ПДК (рис. 2).

Также очень высокие значения индекс имеет в районе Морского торгового порта (станция 5). ИЗВ колеблется от 10,8 до 9,09. Основными загрязняющими веществами здесь являются тяжелые металлы, такие как цинк, медь и марганец. Данные вещества поступают в воду в результате технических работ, следствием которых является образование глинистых взвесей, в которых и содержатся тяжелые металлы. Причиной большой концентрации тяжелых металлов является также и наличие чугунолитейного Кировского завода рядом с портом (рис. 2).

При пространственном анализе гидрохимического состояния вод Невской губы были выявлены основные места скопления повышенных концентраций различных веществ. В первую очередь, одним из самых основных «пунктов притяжения» загрязняющих веществ оказалась Северная станция аэрации – одно из трех крупнейших канализационных очистных сооружений города. Существует несколько показателей, которые на протяжении всех трех сезонов оставались сконцентрированными именно в этой зоне Невской губы – это биохимическое потребление кислорода, нитриты, нитраты, содержание общего азота, а также содержание цинка. Главными загрязнителями являются тяжелые металлы и нитраты. Все воды данной станции относятся к классу «чрезвычайно грязные».

Следующим очагом развития повышенных концентраций является Морской торговый порт. Здесь наибольшими загрязнителями являются цинк, содержание общего азота, магний, биогенные вещества, нитриты, нитраты и медь. Большую роль при загрязнении тяжелыми металлами в данном месте играет наличие чугунолитейного завода, огромные выбросы которого поступают в поверхностный слой акватории. Также причиной загрязнений может стать постоянный ход морских и речных судов, в результате которых образуются шлейфы различных загрязнений. Различные строительные мероприятия близ акватории могут наносить весомый ущерб экологии. Например, постройка причалов, в ходе которой образуется огромное облако пыли, которое может содержать большое количество тяжелых металлов. Воды района Морского торгового порта также относятся к классу вод «чрезвычайно грязные».

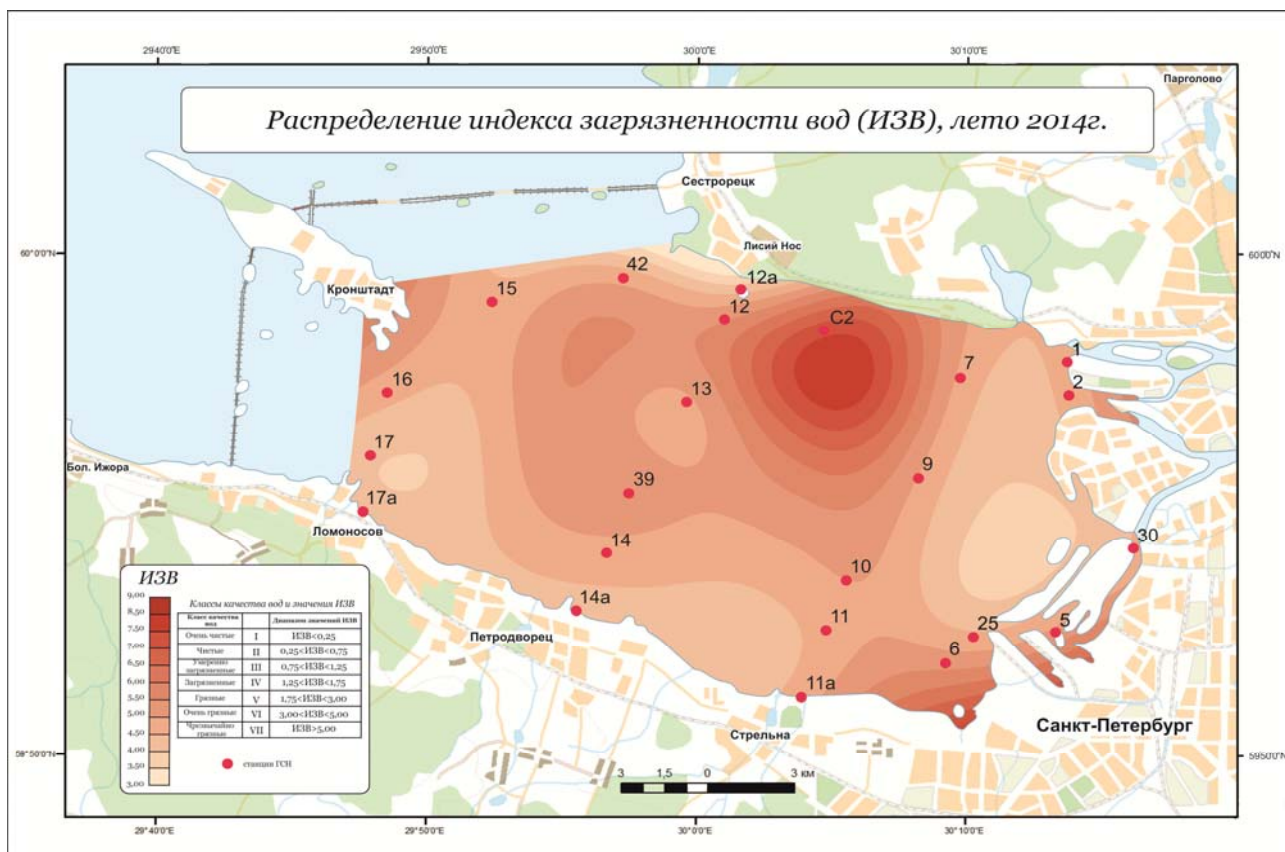


Рис. 2. Индекс загрязнения вод, лето 2014 года

Класс вод «чрезвычайно грязные» относится и к району конструкций защитных сооружений (КЗС) преимущественно для весеннего и летнего периода. В полосе шириной около 5 км, примыкающей к защитным сооружениям, наблюдается пониженный водообмен. В данных зонах происходит концентрирование как живых (фитопланктон), так и мертвых (мусор) взвесей. В периоды ясной и безветренной погоды здесь происходит «цветение» воды (это обуславливают высокие значения БПК 5).

Класс вод, относящийся к «очень грязным» занимают участки Южного курортного района и центральная часть Невской губы. Эти участки менее подвержены замедленному водообмену. Воды этих участков не взаимодействуют с теми загрязненными водами, которые переносятся течением с Северной станции аэрации и с Морского торгового порта.

Выводы. В результате проделанной работы создана база данных в программной среде ArcGIS 10.1 с набором векторных и растровых тематических слоев, которую можно обновлять в интерактивном режиме и создавать новые карты для последующего анализа. Создана серия из 36 аналитических карт распределения различных загрязняющих веществ в акватории Невской губы за весенний, летний и осенний периоды, а также карты ИЗВ на эти же периоды. По созданным картам были выявлены основные очаги загрязнений акватории и проанализированы причины, которые могли повлиять на плохую экологическую ситуацию. В процессе исследования был рассчитан индекс загрязненности вод, который позволил отнести воды исследуемого района к определенному классу чистоты.

Составленные карты и проведенный анализ позволяют сделать вывод, что экологическое состояние Невской губы на 2015 г. неудовлетворительное. Главной причиной такого состояния является антропогенная деятельность, последствия которой отрицательно сказались на экологическом состоянии акватории. Невская губа отделена от Финского залива конструкциями защитных сооружений. Поэтому акватория Невской губы является самостоятельным водным объектом, в котором происходят процессы, характерные конкретно для

данного участка. Например, самоочищение вод происходит очень медленно. Цветение воды, или эвтрофикация является причиной чрезмерного поступления азота в воду.

В акваторию поступает огромное количество различных коммунально-бытовых отходов, отходов, связанных с гидротехнической деятельностью. Основными источниками загрязнения являются заводы и строительные мероприятия, в результате которых акватория загрязняется, в первую очередь, тяжелыми металлами и нитратами. Загрязнение активно происходит от Морского торгового порта, связанное с добычей, перегрузкой и транспортировкой нефти.

По индексу загрязненности вод (ИЗВ), качество вод в Невской губе на 2015 год оценивается как «очень грязные» и «чрезвычайно грязные». Это дает повод серьезно задуматься о срочном принятии мер по улучшению экологического состояния акватории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2014. – Под ред. Коршенко А.Н. Москва: «Наука», 2014. 200 с.

2. Марков А.В., Григорьева О.В., Саидов А.Г., Жуков Д.В., Мочалов В.Ф. Оценка экологического состояния акватории морского порта Санкт-Петербурга с помощью программного комплекса тематической обработки материалов аэрокосмической съемки. // Геоматика. 2013. № 3. С. 17–21.

3. Сутова И.А., Ушакова Л.А. Эколого-географическое картографирование Финского залива Сб. Материалы Международной конференции ГИС для устойчивого развития территорий. Интеркарто 8. Хельсинки-Санкт-Петербург, 2002. С. 322–326.

4. <http://www.oceanography.ru/> – Государственный океанографический институт (дата обращения 25.02.16 г.).

A.N. Korshenko¹, A.R. Alyautdinov², L.A. Ushakova³

MODELING AND ANALYSIS OF SPATIAL HYDROCHEMICAL STATE OF NEVA BAY WATERS

Abstract. *As the object of ecological and geographical research, the Neva Bay is under great anthropogenic impacts, especially in areas of intensive pollution of the waters of mineral and organic impurities, oil and oil products. Level mode the Neva Bay is associated with features of the atmospheric circulation over the Baltic Sea and the Gulf of Finland. The nature of hydrological processes and hydro chemical regime are under the determining influence of the flow of the Neva River and other rivers, locations of the industrial facilities.*

The main objective of research – developing methods of geoinformation mapping and creation of a database for the evaluation of the environmental state of sea Neva Bay, formed under the influence of a complex set of interacting natural and anthropogenic processes. A database can be constantly updated and allows you to combine significant amount of research results on the basis of uniform principles of formalization and structuring of data. These information base and implementation the newest tools of GIS technologies allow to build models and create a series of maps spread of different pollutants and to assess the environmental state in the Neva Bay.

Key words: *Ecological state, contaminants, hydro chemical indicators, geodatabase, geoprocessing, modeling.*

¹ Zubov State Oceanographic Institute, The Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatic; e-mail: korshenko58@mail.ru.

² Lomonosov Moscow State University, The Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatic; e-mail: alik@geogr.msu.ru.

³ Lomonosov Moscow State University, The Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatic; e-mail: la.ushakova@mail.ru.

REFERENCES

1. Kachestvo morskikh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam. [The quality of sea water by hydrochemical indicators.] Ezhegodnik 2014. – Pod red. Korshenko A.N. Moskva: «Nauka», 2014. 200 p.
2. Markov A.V., Grigor'eva O.V., Saidov A.G., Zhukov D.V., Mochalov V.F. Ocenka ekologicheskogo sostoyaniya akvatorii morskogo porta Sankt-Peterburga s pomoshch'yu programmnoy kompleksa tematicheskoy obrabotki materialov aehrokosmicheskoy s»emki. [Assessment of the ecological state of the waters of the sea port of St. Petersburg with the help of software complex thematic processing of materials for Aerospace Survey.] // Geomatika. 2013. № 3. Pp. 17–21.
3. Suetova I.A., Ushakova L.A. EHkologo-geograficheskoe kartografirovaniye Finskogo zaliva [Ecological and geographical mapping of the Gulf of Finland] Sb. Materialy Mezhdunarodnoy konferencii GIS dlya ustojchivogo razvitiya territorij. Interkarto 8. Hel'sinki-Sankt-Peterburg, 2002. Pp. 322–326.
4. <http://www.oceanography.ru/> – Gosudarstvennyj okeanograficheskij institut [State Oceanographic Institute] (data obrashcheniya 25.02.16 g.).

УДК 556.18:528.94

И.Д. Рыбкина¹, Н.Ю. Курепина², Н.В. Стоящева³, М.С. Губарев⁴

ГЕОИНФОРМАЦИОННО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ В ЦЕЛЯХ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Резюме. Предложена методика геоинформационно-картографического моделирования потенциальной водобеспеченности регионов Западной Сибири в целях водохозяйственной безопасности и устойчивого развития территорий. Осуществлено формирование базы пространственно-распределенных данных, их аналитическая обработка и картографическая интерпретация. С помощью наложения тематических слоев гидрологической, социально-экономической и водохозяйственной информации выполнены расчеты удельной водобеспеченности и определены территории с разным уровнем потенциальной обеспеченности водными ресурсами. В указанных территориях рассчитана численность проживающего населения. Сделан вывод о возможности применения данной методики для оценки степени опасности водохозяйственной ситуации в муниципальных образованиях регионов Западной Сибири.

Ключевые слова: водоресурный потенциал, водобеспеченность, водопользование, геоинформационно-картографическое моделирование, безопасность.

Введение. Изучение вопроса, связанного с водобеспеченностью и ее картографированием, обусловлено необходимостью решения актуальных водохозяйственных проблем регионов России в целях их устойчивого развития. При этом устойчивость понимается нами как рациональное использование водных ресурсов и их сохранение для поддержания экологического равновесия территорий, а водохозяйственная безопасность регионов оценивается с позиций водоресурсной обеспеченности муниципальных образований.

Дефицит водных ресурсов в России воспринимается весьма скептически, наша страна богата водными ресурсами и нехватка пресных вод грозит лишь небольшой части ее территорий. Однако такая близорукая точка зрения, как считают эксперты [Данилов-Данильян,

¹ ИВЭП СО РАН, г. Барнаул; e-mail: irina.rybkina@mail.ru.

² ИВЭП СО РАН, г. Барнаул; e-mail: nyukurepina@mail.ru.

³ ИВЭП СО РАН, г. Барнаул; e-mail: stoyash@mail.ru.

⁴ ИВЭП СО РАН, г. Барнаул; e-mail: mailkal@iwep.ru.