



УДК 504.4.054, 504.064.3

Н. И. Куракина, А. Р. Габидинова

ИНФОРМАЦИОННАЯ СРЕДА МОНИТОРИНГА И ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ АКВАТОРИЙ НА БАЗЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Рассматриваются вопросы создания на базе ГИС ArcGIS ArcInfo единого информационного пространства, объединяющего данные, систему оценок, модели объектов, позволяющего определить состояние водных акваторий, исследовать динамику, наглядно представить экологическую ситуацию на карте и проанализировать тенденции ее развития. Моделирование загрязнения, основанное на использовании геостатистических методов интерполяции, дает возможность с определенной степенью достоверности выявить закономерности распространения вредных веществ в акватории.

Мониторинг, пространственное моделирование, интерполяция, экологическая оценка, геоинформационные технологии, водные акватории

Важнейшей задачей мониторинга водных объектов является не только получение информации, но и ее рациональное хранение, обработка и представление. При комплексном подходе, характерном для экологии, необходимо опираться на обобщающие характеристики, в противном случае обоснованность выводов и принимаемых решений не будет достигнута. Простого накопления данных недостаточно. Все данные должны быть легко доступны, и кроме того, должна быть обеспечена возможность систематизации данных применительно к особенностям решаемых задач. На этапе обработки и анализа необходимо иметь возможность связывать разнородные данные друг с другом, сравнивать, анализировать, просто просматривать их в удобном и наглядном виде, создавая на их основе нужные таблицы, схему, чертеж, карту, диаграмму и т. п. Поэтому одной из важнейших проблем при создании системы экологического мониторинга является разработка единого информационного пространства, объединяющего данные, систему оценок, модели объектов, позволяющего выявить закономерности и тенденции в распространении вредных веществ, рассчитать баланс этих веществ для водного объекта в целом или для отдельных его частей.

Наиболее полно всем перечисленным требованиям отвечают современные геоинформационные системы (ГИС), представляющие собой новый тип интегрированных информационных систем, которые, с одной стороны, включают методы обработки данных многих ранее существующих автоматизированных систем, а с другой – обладают такой спецификой в организации и обработке данных, которая позволяет использовать ГИС в качестве основы современных систем мониторинга [1].

Целью данной работы является разработка на базе ГИС ArcGIS ArcInfo информационной среды мониторинга и пространственного моделирования водных акваторий. Систематизация данных наблюдений в геоинформационной среде, создание базы моделей природных объектов и системы оценок позволит выявить существующие взаимосвязи, наглядно представить экологическую ситуацию на карте и определить тенденции ее развития. В качестве анализируемого водного объекта выбрана акватория Финского залива.

Информационная основа системы мониторинга и пространственного моделирования включает единую топооснову, базу моделей природных и техногенных объектов с их характеристиками, посты наблюдения, базу результатов контроля, нормативную базу, водосборные территории и т. д. Структура информационной среды представлена на рис. 1.



Рис. 1

Топооснова системы мониторинга служит для визуализации результатов исследований и пространственного анализа и представляет собой набор структурированных в виде отдельных слоев данных о местности: реки, леса, дороги, города и т. д.

В основе системы мониторинга лежит база геоданных экологического контроля на сети станций с использованием нормативной базы. Каждый пост наблюдения характеризуется вектором параметров:

$WPost = \{Name, Number, District, N_St, Category, Type, Description, Distance, System\}$,
 где *Name* – наименование поста; *Number* – код поста; *District* – водный объект; *N_St* – количество створов; *Category* – категория; *Type* – принадлежность; *Description* – описание; *Distance* – расстояние от устья; *System* – сеть наблюдений (государственная, территориальная).

База данных системы мониторинга включает базу результатов контрольных измерений:

$WCons = \{Number, Date, District, Dir_Wind, Speed_Wind, Temperat, Moisture, Pressure, Horizont, C_i\}$, $i \in N$,

где *Number* – код поста наблюдения; *Date* – дата измерения; *District* – водный объект; *Dir_Wind* – направление ветра; *Speed_Wind* – скорость ветра; *Temperat* – температура; *Moisture* – влажность; *Pressure* – давление; *Horizont* – уровень горизонта; *C_i* – значение концентрации, *N* – количество измеряемых параметров.

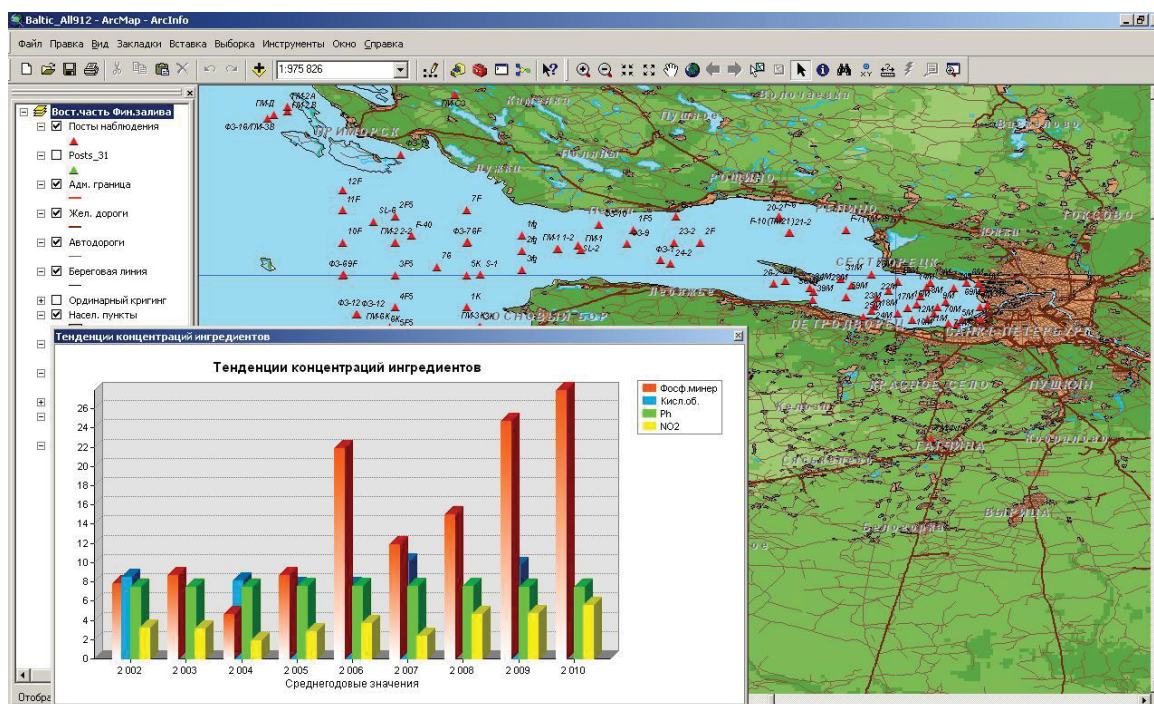


Рис. 2

Справочник вредных веществ представляет собой нормативную базу со значениями предельнодопустимых концентраций:

$WPdk = \{Parametr, Abr_Par, Cl_Danger, PDK_Drink, PDK_Fish, LPV_Drink, LPV_Fish\}$,

где *Parametr* – полное наименование параметра; *Abr_Par* – его аббревиатура; *Cl_Danger* – класс опасности; *PDK_Drink* – ПДК хозяйственно-питьевой категории водопользования; *PDK_Fish* – ПДК рыбохозяйственной категории водопользования; *LPV_Drink* – лимитирующий признак вредности (ЛПВ) хозяйственно-питьевой категории; *LPV_Fish* – ЛПВ рыбохозяйственной категории. Результаты контроля через код поста могут быть связаны с географическими данными (постами наблюдения), что позволяет проводить простран-

ственный анализ. Наличие временной составляющей дает возможность реализовать запросы по определению динамики и получению усредненных (среднесезонных, среднегодовых) характеристик. Нормативная база служит для получения нормированных оценок с целью анализа качества воды. Таким образом, в среде ГИС реализована система запросов для получения оценок по заданному перечню параметров:

$$O^* = \{C_i^*, Date, District, PDK_Drink, PDK_Fish\}, i \in N.$$

Созданная система позволяет исследовать динамику загрязнения во времени (рис. 2), получать нормированные оценки, исследовать распределение веществ по уровням горизонта (рис. 3).

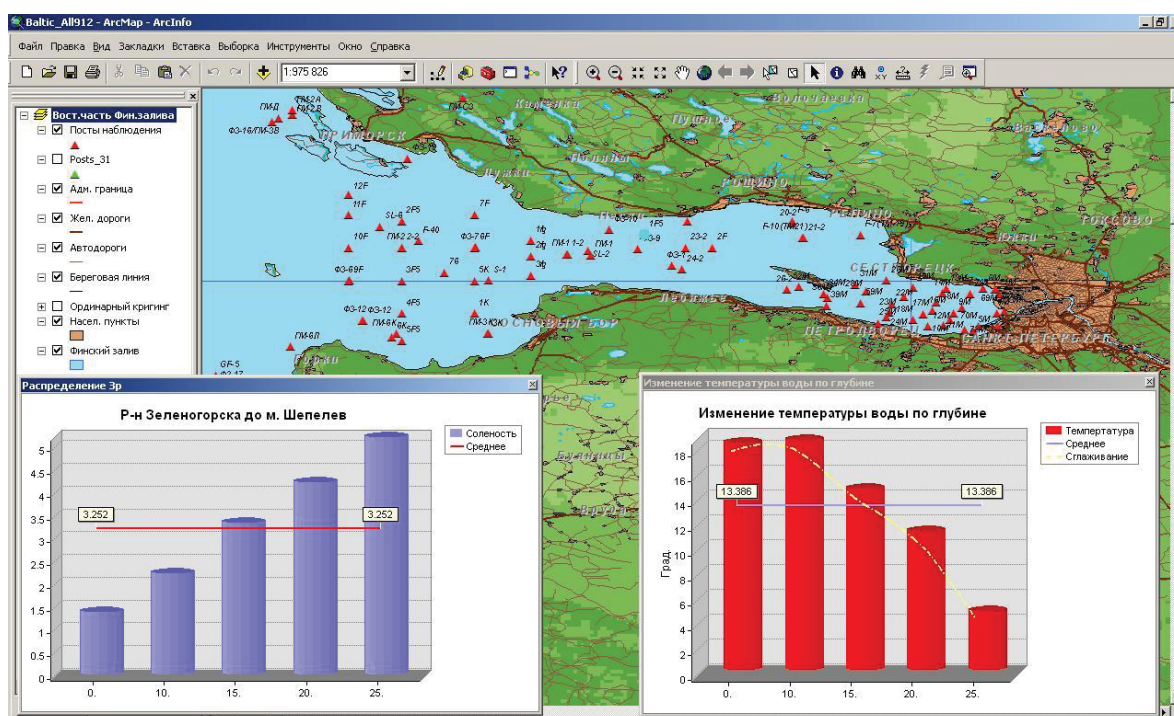


Рис. 3

Пространственное моделирование загрязнения акватории. При пространственном анализе загрязнения акватории одиночные результаты контроля в местах отбора проб не дают наглядной картины распространения загрязнения, не позволяют выявить тенденции развития ситуации и найти причины возможных превышений. В связи с этим при помощи модуля Geostatistical Analyst была разработана система пространственного моделирования загрязнения акваторий [2], [3]. Основные этапы пространственного моделирования загрязнения показаны на рис. 4.

Сбор данных. Информация, полученная в ходе экологического мониторинга, заносится в базу данных определенной ранее структуры (*Wcons*). Анализ проводится на разных уровнях горизонта. Сбор данных может производиться как на стационарных постах, так и на передвижных лабораториях.

Точечная модель загрязнения. В этой модели каждая точка представляет собой место отбора проб и сопровождается результатами гидрохимического анализа. Средствами ArcGIS можно представить пространственное расположение мест отбора проб и окрасить

каждую точку в соответствии с уровнем загрязнения по исследуемому ингредиенту. Однако картина не выглядит наглядной и простой для понимания и тем более для принятия решений. Необходимо исследовать зоны, располагающиеся между местами обзора проб, и иметь возможность пространственного представления результатов в виде двухмерных и трехмерных моделей. Достижению поставленных задач может способствовать использование методов интерполяции данных загрязнения.

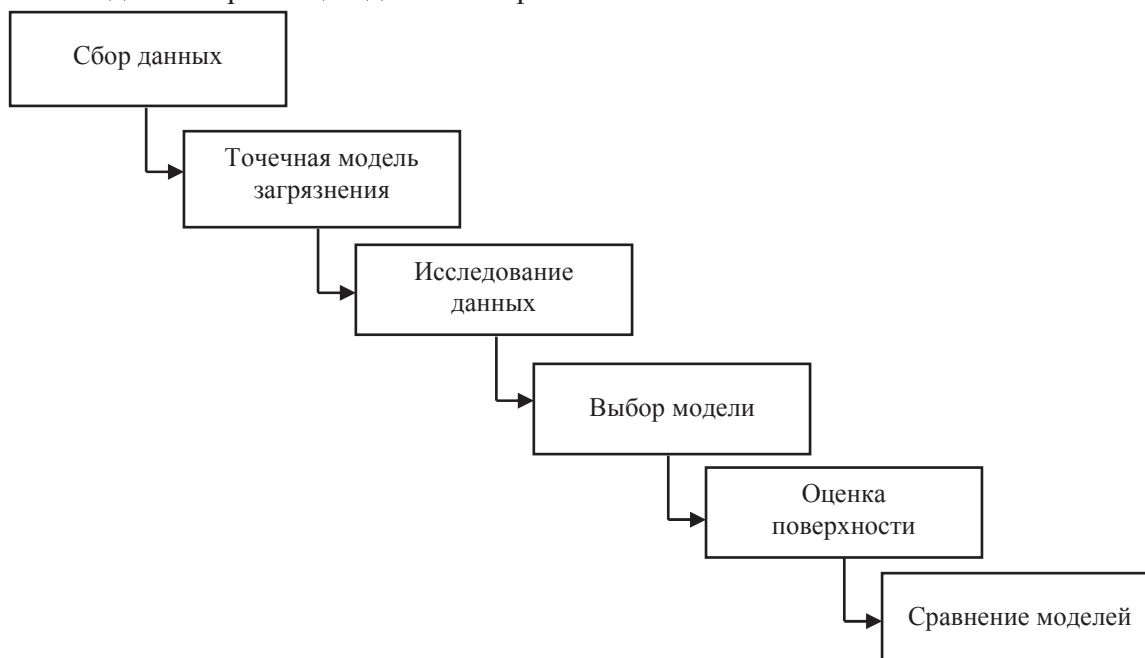


Рис. 4

Исследование данных. Перед тем как воспользоваться методами интерполяции, проводится исследование данных с целью определения закономерности их изменения и выбора параметров модели интерполяции. Строится гистограмма, показывающая плотность распределения анализируемого набора данных (по заданному временному интервалу и показателю загрязнения), определяется суммарная статистика (среднее, медиана, стандартное отклонение, эксцесс). При нормальном распределении среднее и медиана имеют близкие значения, асимметрия стремится к нулю, а эксцесс примерно равен 3. Если данные имеют значительную асимметрию, осуществляется их преобразование. Определяются выпадающие значения по облаку вариограммы/ковариации, исследуется наличие тренда. Выпадающие значения и тренд вычитаются из набора данных для построения более точной поверхности.

Выбор модели. Построение поверхностей распределения концентраций осуществляется с использованием геостатистических методов интерполяции [4]. Все они относятся к моделям семейства кригинга, которые сводятся к линейной регрессионной оценке:

$$Z^*(x, y) = \sum w_i(x)[Z(x_i, y_i)],$$

где $w_i(x)$ – веса, присваиваемые данным $Z(x_i, y_i)$, которые в свою очередь являются реализациями пространственной переменной Z .

Первое условие, которому удовлетворяют все модели кригинга, – это несмещенность оценки $Z^*(x, y)$ в точке (среднее значение ошибки оценивания равно нулю)

$$E \{ Z^*(x, y) - Z(x, y) \} = 0.$$

Следующим условием, которое используется для получения уравнений кригинга, является условие минимизации вариации ошибки, что дает «наилучшую» в статистическом смысле оценку:

$$\sigma_E^2(x) = \text{Var} \{ Z^*(x, y) - Z(x, y) \}.$$

Методы кригинга основываются на понятии корреляции. В геостатистике информация о положении точек наблюдения в пространстве позволяет вычислить расстояния между точками наблюдения и смоделировать корреляцию как функцию расстояния. Разложим интересующую нас переменную на детерминистский тренд $\mu(x, t)$ и случайные ошибки $\varepsilon(x, y)$:

$$Z(x, y) = \mu(x, y) + \varepsilon(x, y).$$

Различные варианты этой формулы образуют основу для различных типов кригинга. В работе осуществляется моделирование поверхностей при помощи ординарного, простого, универсального, вероятностного, дизъюнктивного и индикаторного кригинга.

Оценка результирующей поверхности. Оценка того, насколько хорошо подобранная модель интерполирует значения в искомым точках, осуществляется в результате перекрестной проверки. Перекрестная проверка убирает из набора данных одну или несколько опорных точек с целью сравнения проинтерполированного и измеренного значений. В результате осуществляется расчет ошибок интерполяции, по которому оценивается результирующая поверхность.

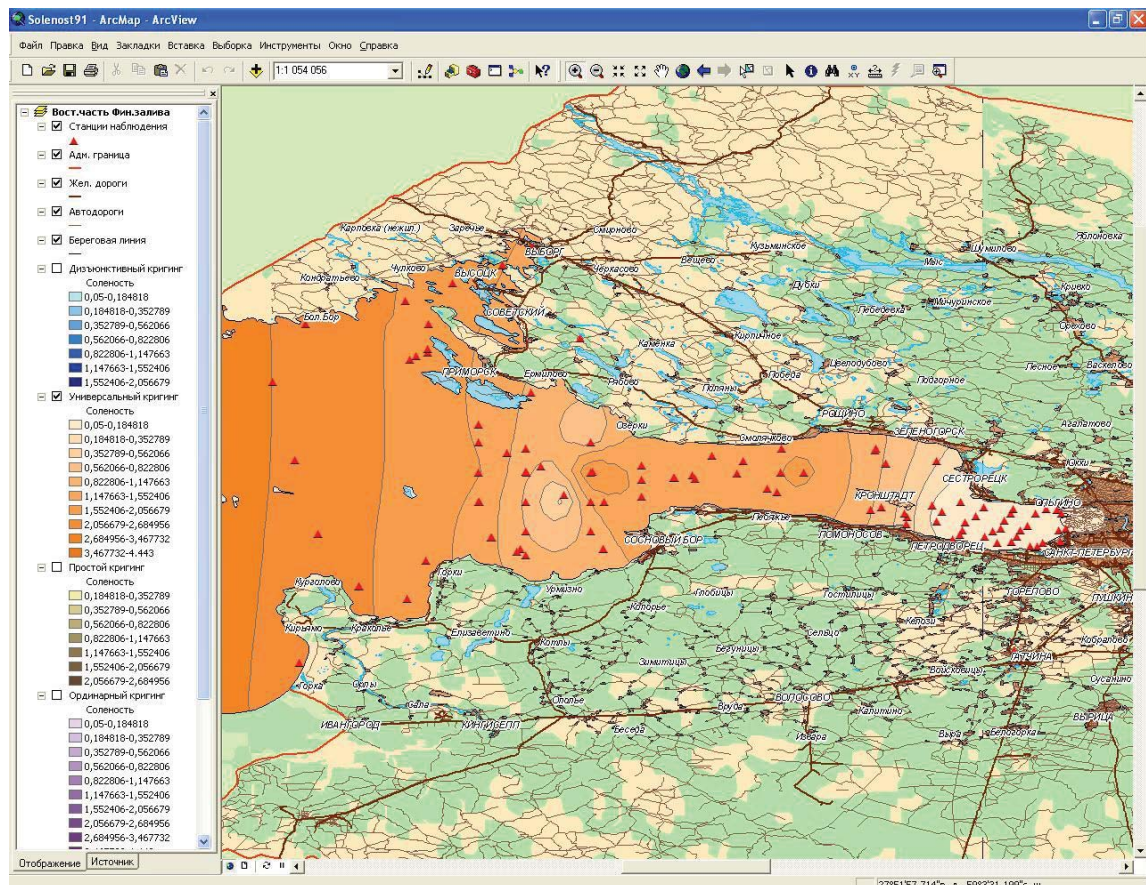


Рис. 5

Сравнение моделей. Сравнение моделей позволяет определить, насколько модель, которая использовалась для создания геостатистического слоя, лучше, чем какая-либо другая модель. При этом две поверхности могут быть созданы с использованием двух различных моделей или одной модели, но с различными параметрами. В целом, лучшая модель – та, нормированная средняя ошибка которой близка к нулю, которая характеризуется наименьшей среднеквадратической ошибкой интерполяции, имеет значение средней стандартной ошибки, близкое к среднеквадратической ошибке вычислений, и нормированную среднеквадратическую ошибку, близкую к единице.

На рис. 5 показана карта пространственного моделирования солености в акватории Финского залива при помощи модели универсального крикинга.

Разработанная на базе ГИС информационная среда мониторинга и пространственного моделирования может быть применима к любым водным акваториям и является основой для создания системы поддержки принятия управляющих решений по охране окружающей среды, рациональному водопользованию и предотвращению чрезвычайных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куракина Н. И., Микушина В. Н. Методика ведения мониторинга водных объектов на базе геоинформационных технологий // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 9. С. 85–88.
2. Куракина Н. И., Микушина В. Н. Моделирование экологического состояния водного объекта на базе ГИС // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2007. Вып. 1. С. 45–48.
3. Пространственное моделирование загрязнения водных объектов / Н. И. Куракина, В. Н. Емельянова, С. А. Коробейников, Е. С. Никанорова // ArcRev. 2006. № 1 (36). С. 16–17.
4. Джонсон К. ArcGIS Geostatistical Analyst. М.: Дата+, 2002.

N. I. Kurakina, A. R. Gabidinova

WATER AREA POLLUTION MONITORING AND SPATIAL SIMULATION INFORMATION ENVIRONMENT BASED ON GIS TECHNOLOGIES

There is common information space establishment issues are considered. This space combines the data, evaluation system, objects models and allows defining the state of water areas, exploring the dynamics, visualizing the environmental situation on the map and analyzing development tendencies. Pollution modeling is based on geostatistic interpolation methods; it enables to identify the regularities of harmful substances distribution in the water area with a certain degree of confidence.

Monitoring, spatial simulation, interpolation, environmental assessment, geoinformation technologies, water areas

УДК 534-8

В. Д. Гончаров, А. А. Новик

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматривается процесс диспергирования керамических материалов в жидкости под воздействием технологического ультразвука. Представлены результаты диспергирования в воде и легколетучих жидкостях. Рассматривается проблема агломерации частиц и возможные пути ее решения.

Ультразвуковое диспергирование керамических материалов, ультрадисперсные частицы, агломерация

На текущий момент развитие технологий подошло к пределу, когда для улучшения свойств используемых материалов требуется переход на более высокую дисперсность частиц, составляющих эти материалы. Свойства любого вещества зависят, прежде всего, от его состава. Когда стало возможным получать ультрадисперсные материалы с размером частиц хотя бы в