

## ОРГАНИЗАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

***КОСТИНА Наталья Викторовна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института экологии Волжского бассейна (ИЭВБ) РАН*

***РОЗЕНБЕРГ Геннадий Самуилович** – доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, директор ИЭВБ РАН  
e-mail: genarozenberg@yandex.ru*

***ШИТИКОВ Владимир Кириллович** – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник ИЭВБ РАН*

### **ЭКСПЕРТНАЯ ЭКОЛОГО-ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА REGION ДЛЯ БАСЕЙНА КРУПНОЙ РЕКИ \***

#### ***Введение***

Волга – крупнейшая река Европы, национальная гордость России; площадь её бассейна составляет порядка 1,36 млн. км<sup>2</sup> (62 % европейской части России, 8 % площади России или почти 13 % территории Европы) и включает 39 субъектов Российской Федерации и 2 субъекта Республики Казахстан. В Каспийское море Волга ежегодно приносит примерно 250 км<sup>3</sup> воды.

В дополнение к многочисленным природным факторам формирования качества воды в Волге добавился антропогенный [1-3]. Сегодня более 40 % населения всей России, проживающего в Волжском бассейне (за последние 15 лет население России сократилось почти на 3 млн чел., в то время как в Волжском бассейне оно не изменилось и составляет сейчас почти 56 млн чел.), производит 45 % промышленной и 50 % сельскохозяйственной продукции, здесь расположено 38 % всех сельскохозяйственных площадей страны. Промышленные предприятия используют реку в качестве бесплатного приемника сточных вод – ежегодно в бассейн сбрасывается до 20 % всех сточных вод России, в атмосферу густонаселенных городов Поволжья попадает в год почти 30 % всех вредных веществ, выбрасываемых в России (все это в конечном итоге опять же попадает в воду). На территории Волжского бассейна произведено 26 «мирных» ядерных взрывов (в целях решения проблем народного хозяйства страны) – это почти 20 % всех ядерных взрывов, произведенных в России.

Зарегулирование стока в результате строительства гидротехнических сооружений (плотин, водозаборов), загрязнения, перепромысел привели к существенному снижению объемов и качества уловов рыб. Так, Волга в пределах Куйбышевского водохранилища (в 1948-50 гг.) представляла собой рыбопромысловый район со средней годовой добычей рыбы 22,8 тыс. ц, или около 24 кг/га водной поверхности; через 50 лет эти оценки уменьшились в 3,5 раза – 7,3 кг/га.; в 2009 г. в Куйбышевском водохранилище добыто 2,9 тыс. ц (2,6 кг/га).

Приведенные и многие другие факты свидетельствуют о том, что **Волжский бассейн продолжает оставаться одним из наиболее напряженных по экологической обстановке в России и делает актуальной проблему перехода региона на путь**

---

Работа выполнена по программе Отделения биологических наук РАН «Биологические ресурсы России: фундаментальные основы рационального использования» в рамках гранта 10002-251/ОБН-2/151-189/220506-184.

**устойчивого развития.** Устойчивое развитие Волжского бассейна во многом определяет устойчивое развитие России в целом.

Среди *первоочередных* задач улучшения состояния окружающей среды в Волжском бассейне следует назвать борьбу с диффузным загрязнением территорий и водоемов в результате неконтролируемой сельскохозяйственной нагрузки. *Вторая* проблема – изменение видового разнообразия гидробионтов (сокращение числа и численности «местных» и появление «новых» для этих экосистем видов) и необходимость увеличения доли водных охраняемых территорий. *Третья* проблема (можно назвать её социолого-экономической) – рост уровня заболеваемости населения (как детского, так и взрослого) в результате повышенного антропогенного воздействия на территории.

Наконец, возникает *четвертая* проблема – специфическая задача прогнозирования изменения экосистем Волжского бассейна. При этом любая естественнонаучная теория выполняет несколько функций, среди которых наиболее важными являются функции *объяснения* (установления причинно–следственных связей) и *предсказания* наблюдаемых феноменов в исследуемом классе систем. Разделение функций объяснения и прогнозирования для сложных систем в рамках как минимум двух моделей сводит на нет всю дискуссию о примате простоты или сложности в экологии. Для объяснения необходимы простые модели, для экологического прогнозирования сложность модели принципиально необходима. Таким образом, роль *конструктивного системного подхода* [4] в создании экологической теории сводится к заданию «полного списка» экосистем (множество I) и их сложных характеристик (множество II) и к построению формализованных отношений как между этими двумя множествами, так и между элементами первого из них для целей объяснения или прогнозирования.

Развитие представлений о средствах и способах решения информационных задач привели к появлению экспертных систем (ЭС): *геоинформационных* (ГИС) и *экоинформационных систем* (ЭИС), которые обеспечивают хранение и оперативный доступ к совокупности данных и знаний об экосистемах, о взаимодействии природы и общества. «Под экспертной системой понимается система, объединяющая возможности компьютера со знаниями и опытом эксперта в такой форме, что система может предложить **разумный совет** или осуществить **разумное решение** поставленной задачи (*выделено автором цитаты. – Н.К., Г.Р., В.Ш.*)» [5]. Такие системы предназначены как для решения задач рационального природопользования в регионе, так и для обеспечения разнообразной экологической информацией всевозможных потребителей (см. выше три главные задачи, решаемые в рамках региональных экологических проблем). Поэтому очень важно на этапе формирования массивов информации обеспечить их унификацию. Это позволит создавать ГИС и ЭИС не только для отдельных административно-территориальных единиц, но и для целых бассейнов или природно-климатических зон.

Почти 40 лет тому назад началась разработка геоинформационных систем – одна из первых ГИС была построена в конце 60-х годов в Канаде. Быстро пройдя этапы создания упрощенных картосхем и грубых имитаций бумажных атласов, современные программные комплексы последовательно обобщили достижения традиционного составления карт и научились изготавливать произведения самого высокого качества. Электронные карты, полученные с помощью таких продуктов ГИС-индустрии, как Arcview, MapInfo и т. д., стали точнее обычных ручных в геометрическом отношении, более разнообразны по цветовому, штриховому, полутоновому оформлению, по яркому дизайну. Одновременно с усвоением традиционного опыта геоинформационное картографирование постепенно вышло на новый уровень [6]. Сегодня картографы-геоинформатики все чаще задумываются о создании *художественных панорамных произведений*, в корне отличающихся от традиционных карт и атласов (например, трехмерное цифро-

вое моделирование позволяет строить объемные изображения, а анимации придают картам так необходимый им динамический аспект). Все эти «навороты» направлены, главным образом, не на оказание впечатления на неподготовленного зрителя грандиозными эффектами визуализации (хотя и этот аспект, несомненно, присутствует). В основном ГИС ориентированы на построение оценочных и прогнозных пространственных моделей за счет систематизации, определенной группировки, преобразования больших массивов многомерной информации, чтобы осуществлять мониторинг складывающейся экологической ситуации и решать оптимизационные задачи, иногда вообще не прибегая к визуализации.

Геоинформатика поражает и покоряет немислимыми массивами данных, которыми она играючи оперирует, однозначностью и воспроизводимостью получаемых результатов. При создании «классических» ГИС активно пропагандируются современные методы географического мониторинга – аэрокосмический, подспутниковый и т. д. Однако генерирование новой информации, свойственное ГИС-технологиям, содержательно и интересно только тогда, когда кто-то извне, представитель иной сферы знания или же целая другая наука «вкладывает» в уста геоинформатики содержательное понимание определенной задачи (необходима *база знаний*). При этом, ни в коей мере не отрицая необходимости и желательности проведения специальных (в том числе и дистанционных) видов исследований, следует иметь в виду, что общие затраты на создание такого рода ГИС для достаточно скромного по размерам региона становятся огромными.

В то же время в территориальных органах охраны природы, учебных заведениях, отраслевых институтах и специализированных краеведческих организациях накоплен богатый материал по различным аспектам исследований в области экономики, природопользования и медицины региона. В подавляющем большинстве случаев этот материал никак серьезно не обрабатывался и хранится в виде полузабытой «бумажной субстанции». Не исключено, что собранная статистическими методами в «административном аспекте» эта информация «зашумлена» и даже тенденциозна, а её пространственная привязка нередко оказывается весьма размытой (согласимся с критикой А.Б. Авакяна с соавторами [7]). Тем не менее, при разумном подходе к её обработке и интерпретации эти данные становятся не только важным, но и определяющим звеном информационной модели территории. Во всяком случае, вывод о необходимости проведения комплекса дорогостоящих дистанционных исследований разумно делать лишь после обобщения всего багажа уже имеющейся эколого-экономической информации. Именно в этом смысле геоинформатика тесно смыкается с экоинформатикой.

Экологическая информационная система (ЭИС) оценки качества окружающей среды крупного региона (в том числе и бассейна крупной реки) предназначена, прежде всего, для изучения пространственного распределения величин её параметров, характеризующих состояние различных абиотических и биотических составляющих и степень воздействия на них хозяйственной деятельности человека (антропогенной нагрузки). Такая экологическая экспертная система позволяет:

- картографировать величины параметров, характеризующих состояние среды исследуемой территории, и исследовать их изменение во времени;
- выделять зоны наиболее и наименее благополучные по различным показателям качества среды;
- оценивать соотношение величин участков с различной степенью проявления того или иного параметра (в процентах от общей площади территории);
- для конкретной точки пространства получать значения по всем характеризующим её параметрам качества среды;
- получать комплексную оценку состояния окружающей среды исследуемой территории по совокупности всех (или определенной части) показателей.

ЭИС призваны обеспечивать решение множества задач (порой взаимосвязанных между собой). Поскольку состояние окружающей природной среды и отдельных экосистем постоянно меняется в пространстве и времени, то одной из основных задач ЭИС является хранение собранной информации и её обобщение. Необходимо отметить, что имеют место разнообразные типы данных (количественные, качественные, описательные тексты, списки и пр.). Оперативный выбор требуемой информации, форма её визуализации, обмен информацией (импорт и экспорт данных) с другими информационными системами – основные функции ЭИС.

Последняя из задач, решаемая с помощью ЭИС, – оценка *качества окружающей среды*; решение достигается в диапазоне существующих в настоящее время шкал с различным числом градаций (от «плохо – хорошо» до нескольких, субъективно устанавливаемых, «условных» уровней) и путем расчета целого спектра индексов (количество которых прямо пропорционально числу ученых и исследователей), характеризующих состояние экосистем. В решении этой задачи ЭИС могут служить инструментом для проверки адекватности существующих и построения новых шкал, индексов и интегрированных показателей. Комплексная оценка экологической обстановки на местном, региональном и федеральном уровнях и эффективный выбор сценариев устойчивого развития системы «Природа – Человек» без применения ЭИС в настоящее время просто немыслимы.

### **1. Структура ЭИС REGION**

Будем понимать под *региональной эколого-информационной системой* реализованную с помощью технических средств динамическую информационную модель территории, отражающую пространственно-временную структуру, состояние и взаимосвязи между отдельными элементами моделируемой экосистемы. *Объектом* анализа экологического состояния может быть как отдельная административно-территориальная единица (город, область, край, республика), так и любая выделенная формальным или неформальным путем часть земной поверхности (природно-климатическая зона, бассейн реки и т. д.). Фактически здесь реализуется методологический принцип «экологической матрешки» [8] – в Институте экологии Волжского бассейна РАН созданы экспертные системы REGION-VOLGABAS (для всего Волжского бассейна в целом), REGION-SAMARA (для Самарской области – 53 тыс. км<sup>2</sup>, население – более 3,3 млн чел.), REGION-TOGLIATTI (для г. Тольятти – 30 км<sup>2</sup>, население 800 тыс. чел.) и REGION-YAB-OVRAG (для предприятия открытого типа – карьера «Яблоневый овраг» на территории национального парка «Самарская Лука»; площадь – 2,6 км<sup>2</sup>), что позволило провести комплексный эколого-экономический анализ этих территорий.

Для реализации этого принципа необходимыми являются два условия:

- наличие географической карты, на которой изучаемая территория отображалась бы целиком;
- наличие количественных показателей, имеющих пространственно-распределенный характер и пригодных для ввода в базу данных.

ЭИС REGION, разработанная в ИЭВБ РАН, отвечает всем требованиям, предъявляемым к ЭС, и предназначена для сбора, хранения данных, их анализа и визуализации результатов обработки. ЭИС REGION представляет собой комплекс объединенных в единое целое программ, позволяющих осуществлять в процессе интерактивной работы с пользователем выбор любых, имеющихся в информационном обеспечении системы, объектов информации (пространственных или цифровых) и выполнение над ними различного рода операций.

Структуру *программы «решателя проблем»* (ППП) рассмотрим на примере ЭИС REGION и соответствующей ей базы пространственно распределенных эколого-эконо-

мических данных региона, основу которой составляет ретроспективная многоплановая статистика [9-11]. Формально эта ЭС может быть отнесена к ГИС «неклассического типа» или к ЭИС. Основное её отличие от типовых БД «классических» ГИС – это отказ от тщательной детализации чисто географических аспектов территории. Показатель произвольной этиологии (экологический, экономический, климатический и даже чисто географический) «привязывается» к некоторому участку квадратной или прямоугольной формы, имеющему зачастую достаточно большую площадь. Каждый из этих участков приближенно отображается на картосхеме региона, имея в виду точные географические координаты или элементы ландшафта.

Пожертвовав географической эстетичностью, которая по отношению к пространственно размытым («грязным») данным вряд ли оправдана необходимостью, такая ЭИС приобретает не менее привлекательные качества: дешевизна, экономичность в ресурсах, простота в освоении, эксплуатации и интерпретации выходных данных.

Безусловно, ряд ортодоксальных экспертов геоинформатики относятся к таким «облегченным» системам (ЭИС) крайне настороженно; но если крупные поставщики ГИС не выработают своих собственных аналогов подобных пакетов, то в будущем их наверняка ждет вытеснение с рынка. Суть заключается в том, что пользователям нравится *простой продукт с интуитивным интерфейсом*, который делает именно то, что от него хотят. При этом такое решение часто стоит на порядки дешевле своих «старших братьев» и обладает открытой архитектурой, что позволяет его наращивать и развивать в контексте возникающих в процессе эксплуатации новых требований.

Существующий диссонанс между элитарным характером геоинформационных технологий и реальными потребностями специалистов-аналитиков является одним из тормозов в развитии общих концепций синтетического картографирования в области практической экологии и рационального природопользования. До настоящего времени не существует типовой унифицированной системы – рубрикатора базы данных индивидуальных исходных признаков и результирующих эколого-экономических критериев (критериев «оптимальности»), т. е. комплексных показателей количественного и качественного состояния наземных территорий и акваторий, характеризующих их уязвимость или экологическое благополучие. Не разработан непротиворечивый и математически корректный формализм «свертки» исходного пространства признаков в отображаемые синтетические (комплексные) показатели («индексы»). В связи с этим, несмотря на существование ряда региональных атласов территорий, нет общепринятой методологии оценочного или прогнозного картографирования эколого-экономических комплексов, основанной на системном синтетическом подходе.

## **2. Отбор и подготовка данных для ввода в ЭИС REGION**

Показатели, загружаемые в БД, в соответствии со спецификой решаемых задач, могут принадлежать к следующим предметным областям:

1. Физико-географическая характеристика территории: данные о её географической и геоморфологической принадлежности, типах ландшафта, рельефе, грунтах, почвах, водоемах, гидрогеологических особенностях, климатических факторах, а также об основных тенденциях ландшафтных и климатических изменений.
2. Биоценотическая характеристика территории: данные о преобладающих природных экосистемах и популяциях, их видовом составе и разнообразии, численности, биомассе и продуктивности, количественные сведения о круговороте биогенных элементов и о биологической трансформации энергии, соотношении продукции и деструкции на различных трофических уровнях и т. д.
3. Данные гео- и биохимического мониторинга: результаты натуральных измерений и расчетные концентрационные поля химических, радиационных, тепловых загрязняю-

щих аномалий, являющихся следствием техногенеза территории, в различных субстратах среды (в атмосфере, почве, снежном покрове, поверхностных и подземных водах, растениях и других живых организмах).

4. Описание промышленного потенциала территориального комплекса и результаты инвентаризации источников газовых выбросов, сточных вод и твердых отходов производства: интенсивность техногенных потоков, химический состав выброса, агрегатные и термодинамические условия эмиссии вещества и энергии в окружающую среду.
5. Данные о продуктивности сельскохозяйственных культур и распределении по территории численности скота и искусственно поддерживаемых популяций животных; сведения об источниках и условиях загрязнения окружающей среды удобрениями, пестицидами и другими продуктами функционирования агропромышленного комплекса.
6. Медико-биологические и санитарно-гигиенические наблюдения о профессиональных источниках временной нетрудоспособности и заболеваемости населения.

Для организации БД на основе имеющегося картографического материала, учитывая неоднородность и особенности отображения распределения характеристик на картах, все карты были приведены к единому образцу. Для чего исследуемая территория на каждой из карт была разбита на квадраты километровой сеткой. Так, вся территория Волжского бассейна была разделена на 210 квадратов, каждый площадью около 6,5 тыс. км<sup>2</sup> (примерно, 80 x 80 км). При необходимости ЭИС позволяет легко из имеющихся данных сформировать файлы, несущие информацию по всем параметрам среды в пределах одного квадрата территории (см. далее). База данных всегда может быть дополнена новыми характеристиками и сведениями о новых пространственных объектах, она не является замкнутой и всегда открыта для пользователя.

Детальный перечень базового множества показателей (для Волжского бассейна на период начала 90-х годов – 287 параметров) с указанием возможных источников их получения приведен в методическом руководстве [12]; современная база данных насчитывает более 450 параметров [3].

### **3. Формализация предметной области**

На сегодняшний день одной из самых трудно решаемых проблем при разработке интеллектуальных приложений, подобных ЭИС, является формализация предметной области в виде *N*-мерной информационной модели. По определению, любая модель ограничена, так как отбрасываются незначительные детали и выделяется суть: «Любая модель – это некоторая абстракция – звено в цепочке познания – от опыта к абстракции, к осмыслению открытых явлений и снова к практике, к использованию добытых знаний» [13, с. 31]. Именно тут и проявляется *первая* из проблем – оценить, что важно для решения поставленной задачи, а что нет. Выражаясь казенным языком, необходимо разработать рубрикатор (список, тезаурус) тех данных, которые подлежат загрузке в базу<sup>1</sup>.

Пространственно распределенная информация ЭИС REGION-VOLGABAS охватывала следующий рубрикатор природных компонент:

- климат территории Волжского бассейна (особенности распределения температуры воздуха и количества осадков, а также ветрового режима);

---

<sup>1</sup> Для решения этой проблемы мы (разработчики ЭИС) недолго думали и воспользовались законом-афоризмом Б. Коммонера [14] «Все связано со всем (everything is connected to everything else)», который интерпретировался нами, как «использовать все, что хоть сколько-нибудь похоже на информацию» (см.: [15, с. 168, 344]).

- географо-геологическое описание (орография, дочетвертичный и четвертичный периоды развития региона, основные черты тектоники) и геохимическая обстановка;
- почвы и ландшафты Волжского бассейна, наличие особо охраняемых природных территорий;
- лесные ресурсы и распределение естественной растительности;
- животный мир Волжского бассейна (видовое распределение и фаунистические комплексы наземных позвоночных и птиц);
- население (демографическая ситуация в Волжском бассейне и степень урбанизации территории);
- гидрология и гидрохимическое качество вод р. Волги и её водохранилищ;
- гидробиоценозы и их компоненты (фитопланктон, зообентос, водяные клещи, инфузории, микроскопические водные грибы, рыбные запасы бассейна Волги);
- оценки качества воды и степени эвтрофикации волжских водохранилищ по видам-биоиндикаторам.

Обширные рубрики накопленных данных детально описывали распределение по территории техногенной нагрузки и антропогенных воздействий, в том числе:

- загрязнение воздушного и водного бассейна;
- радиационная обстановка, места техногенных аварий и природных катастроф;
- транспортная и рекреационная нагрузка;
- сельскохозяйственная нагрузка (включая распределение по территории бассейна минеральных удобрений, распаханности территории, животноводческой и пестицидной нагрузок);
- распределение отходов производства и коммунального хозяйства (включая особо опасные вещества для состояния экосистем и здоровья человека).

Состояние здоровья населения, как критерий оценки качества среды, в рамках ЭИС REGION-VOLGABAS включало следующие параметры:

- общая заболеваемость взрослого населения (смертность, естественный прирост населения, оценки заболеваемости от «экологически обусловленных» нозологий);
- здоровье матери и ребенка (рождаемость, смертность детей до года, общая заболеваемость детей, в том числе от «экологически обусловленных» нозологий);
- инфекционные и паразитарные болезни, частота злокачественных новообразований;
- общее состояние системы здравоохранения.

Организация данных в ЭИС пространственной ориентации в целом опирается на те же принципы, что и в любой другой информационной системе, в первую очередь на некоторую модель данных, в рамках которой представляется вся имеющаяся информация, как пространственная, так и атрибутивная (описательная). Поэтому *вторая* из проблем – понять, какова будет структура (состав полей) таблиц с данными и как эти таблицы будут между собой взаимодействовать. Следует признать, что при разработке схемы БД мы также не прибегали к мучительным мозговым атакам, поскольку структурно-логические взаимодействия между информационными атрибутами подобных систем до неприличия просты и не идут ни в какое сравнение, скажем, с тарифными планами небольшой сотовой компании...

Модель БД [11] состоит из двух типов таблиц: условно-постоянного назначения (рубрикаторы показателей и списки операционно-территориальных единиц – участков, районов, городов, областей и т. д.) и информационных (показатели в натуральных значениях, в баллах, комплексные показатели), характеризующих каждую *операционно-территориальную единицу* (ОТЕ).

Развитие визуальной интерпретации многомерных данных и ГИС-технологий связано, в частности, с тем, что человеку с его ограниченным трехмерным пространственным воображением сложно, а в большинстве случаев невозможно, анализи-

ровать и давать обобщенные оценки многомерным объектам. Для реализации специфической проблемы моделирования и прогноза пространственной структуры необходимо решение *третьей* проблемы: выделение в рамках анализируемой картосхемы дискретных ОТЕ и геокодирование пространственных данных.

Каждая ОТЕ является пространственным объектом, для которого предполагается однородность имеющейся о нем атрибутивной информации с точки зрения изучаемого явления. В традиционной растровой модели данных ГИС каждой ОТЕ соответствует ячейка регулярной или нерегулярной сетки, которые покрывают полностью всю территорию исследования; при этом размеры ячеек выбираются, исходя из характера отображаемой информации и особенностей поставленной задачи. Теория и практика геоинформатики предполагает также возможность реализации векторной модели данных, когда их цифровое представление связано с различными геометрическими объектами (точкой, линией, дугой, замкнутым контуром и т. д.). Однако обе модели оказываются информационно совместимыми, если задаться необходимой разрешающей способностью растровой сетки и использовать векторно-растровое преобразование.

Как уже отмечалось, задача построения модели пространственной структуры экосистемы является весьма сложной и требует совместного учета большого числа весьма разнородных факторов. Сама эта разнородность имеет как тематическую, так и пространственную природу. Пространственная разнородность информации выражается в том, что статистические и описательные данные часто соотносятся с различными пространственными объектами, отличающимися и по своей природе, и по масштабу, что создает дополнительные трудности при совместной обработке и анализе информации. Например, численность популяции какого-либо вида в одних случаях может быть представлена одним числом, отнесенным к искусственной пространственной единице (в частности, административному району), что не позволяет делать достоверных выводов о её пространственной структуре. В других исходных материалах та же численность может быть отнесена к выделенным на территории отдельным местообитаниям, в которых вид встречается. Кроме того, информация о природных или народно-хозяйственных объектах, как правило, известна не для всей территории, а только для отдельных её точек. Так, содержание загрязняющих веществ в почве известно только в местах отбора проб; интенсивность движения транспорта известна только на самих дорогах, хотя косвенно влияет (за счет передвижения населения) на значительные территории.

Другая проблема – различный масштаб представления информации. Так, при комплексном региональном анализе приходится сопоставлять данные различного территориального уровня – относящиеся ко всему региону в целом, к отдельным районам, к отдельным водосборным бассейнам, к отдельным точечным описаниям. Размерность объектов, которым соответствуют описательные данные, также может различаться – это могут быть площадные, линейные или точечные объекты, или различные ячеистые структуры. В то же время многие биосферные и диффузионные явления зависят не только от состояния в данном конкретном месте, но и от значений этого показателя на соседних (в широком смысле) участках территории. Для учета такого влияния необходимо использование «геостатистических» методов, как правило, не представленных в стандартных ГИС.

Очевидно, что прежде чем проводить анализ или моделирование описанных выше пространственно распределенных сущностей, вся разнородная информация как о зависимых, так и о независимых переменных должна быть тщательно оцифрована и унифицирована по отношению к одним и тем же географическим координатам. Для выполнения этой процедуры был разработан комплекс алгоритмов и программных модулей эвристической, линейной и нелинейной интерполяции атрибутивных данных по пространственным участкам (ОТЕ). После их реализации пространственно распреде-



ленные данные становятся активизированными. Очень важными в данном конкретном случае стали сформулированные нами две «аксиомы»:

- вся статистическая информация – «грязная» (статистика – «врёт»),
- но все «врёт» более-менее согласованно.

Эти «аксиомы» позволяют «уйти» от абсолютных значений и перейти в большинстве случаев к балльным оценкам параметров.

#### **4. Моделирование экосистем с использованием ЭИС REGION**

Для текущей работы с базами данных разработано программное обеспечение, реализующее традиционные в таких случаях функции:

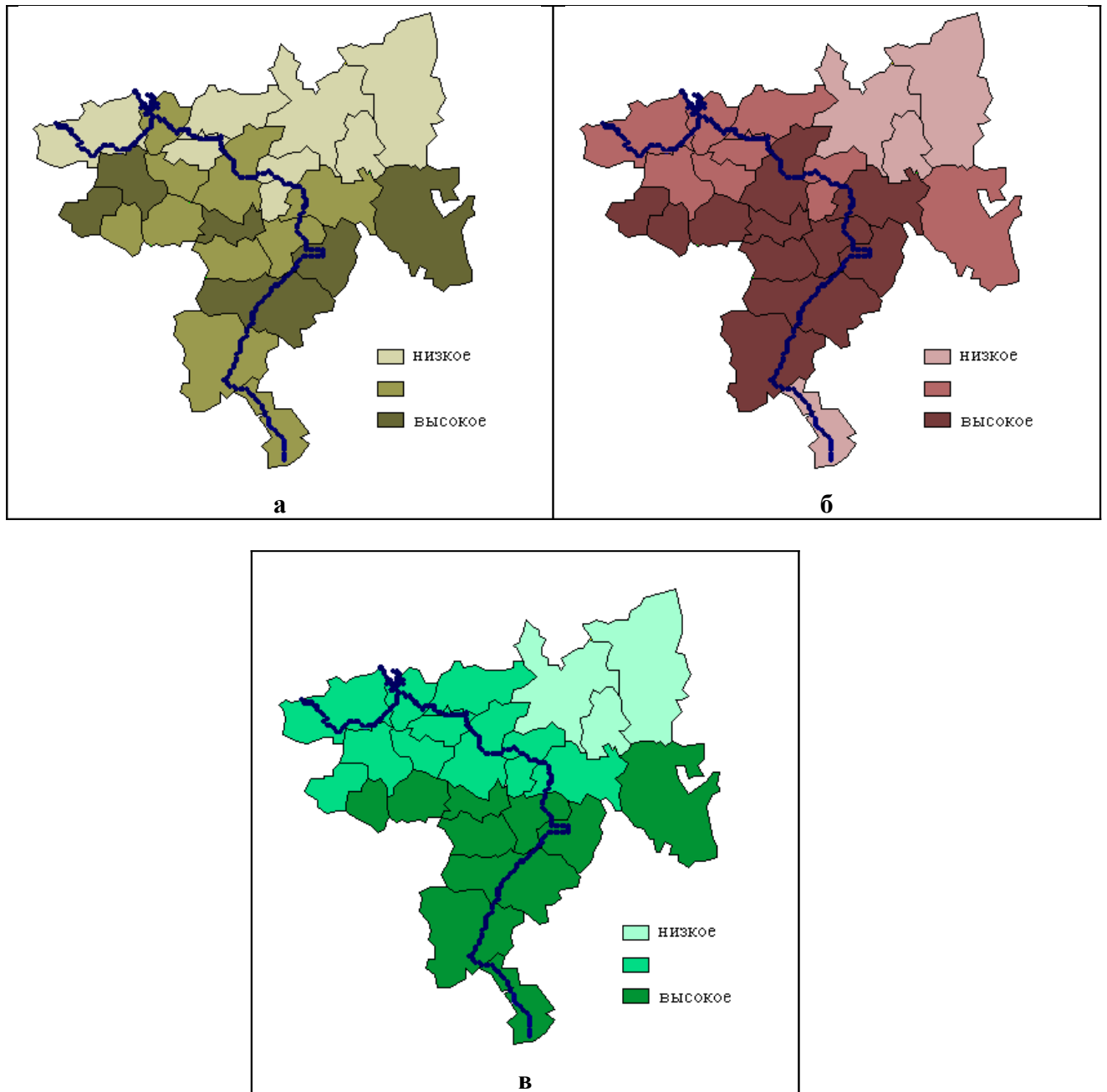
- многоаспектный поиск и формирование в режиме диалога подмножества показателей по имеющимся рубрикационным полям;
- графическое отображение на экране дисплея картограммы пространственного распределения каждого показателя базы по участкам территории;
- получение расчетных таблиц оценки структурных и модельных характеристик (например, составляющие техногенных и биоэнергетических потоков);
- получение новых (интегральных) показателей путем линейной комбинации подмножества других показателей, имеющихся в базе, либо по иным расчетным формулам;
- математическая обработка показателей базы с целью экологического районирования анализируемой территории, выявления участков, подверженных наибольшему антропогенному воздействию, оценки биотического и геохимического состояния отдельных природных комплексов.

Последние пункты представленного перечня свидетельствуют о том, что основная задача ЭИС – не только накапливать текущую или ретроспективную информацию, но и формулировать стратегии управления «качеством» окружающей среды. Для этого в составе программного обеспечения REGION-VOLGABAS была разработана процедура генерации обобщенных критериев в виде линейной комбинации исходных показателей, предварительно преобразованных в дискретную форму. С целью математической обработки данных, хранящихся в ЭИС, кроме общепринятых методов многомерного статистического анализа (регрессионный анализ, различные алгоритмы обработки временных рядов, кластерный анализ и т. д.), использовались алгоритмы построения прогнозирующих моделей методами самоорганизации (эволюционное и нейросетевое моделирование, метод группового учета аргументов, карты Кохонена; см.: [10]). В качестве надстройки к библиотеке («коллективу») методов была разработана эвристическая процедура «модельного штурма» [16], реализующая синтез модели-гибрида из частных моделей-предикторов. Частичному описанию концепций и компонентов программного обеспечения посвящены последующие разделы.

#### **5. Некоторые иллюстрации применения ЭИС REGION**

В качестве примера работоспособности алгоритмов обработки были проанализированы с использованием информации экспертной системы REGION различные зависимости показателя биологического разнообразия (рис. 1), оцененного индексом Шеннона, с природными параметрами и антропогенными факторами. Была проведена полная статистическая обработка пространственно распределенной информации, построены уравнения регрессии [17].

--	--



**Рис. 1. Распределение видового разнообразия различных организмов (в баллах) по территории Волжского бассейна**

а – млекопитающие, б – земноводные, в – пресмыкающиеся

Распределение видов наземных позвоночных по территории Волжского региона неравномерно, что объясняется большой площадью региона и его значительной протяженностью с севера на юг и, в меньшей степени, с запада на восток и связанных с этим изменений температуры и влажности. В целом разнообразие видов млекопитающих, увеличиваясь с севера на юг, достигает до своего максимума в центральных районах Волжского бассейна и далее на юг вновь уменьшается. Такая же закономерность характерна и для земноводных. Пресмыкающиеся демонстрируют четкое увеличение разнообразия с севера на юг. На севере лимитирующим фактором распространения наземных

позвоночных являются низкие температуры. Особенно это проявляется на земноводных и пресмыкающихся.

Анализ влияний позволяет сделать вывод о «важности» воздействующих на биоразнообразие факторов (см. табл. 1; здесь 1 – наиболее «важный» фактор). Во всех случаях самыми существенными оказались показатели температурного режима территории; «среднее влияние» на биоразнообразие всех объектов оказывает лесистость, плотность населения и вносимые на сельскохозяйственные поля удобрения. Остальные параметры играют незначительную, но специфическую роль.

Таблица 1

**Балльная оценка важности факторов воздействия на биологическое разнообразие**

Параметр	Млекопитающие	Пресмыкающиеся	Земноводные
Средняя годовая температура воздуха – $X_1$	6	1	1
Абсолютный max температуры воздуха – $X_2$	1	2	
Абсолютный min температуры воздуха – $X_3$	2	4	
Среднее количество осадков за год, мм – $X_4$		6	
Обобщенный показатель влияния удобрений, баллы – $X_5$	4	3	6
Обобщенный показатель транспортной нагрузки, баллы – $X_6$	7		
Лесистость, проценты – $X_7$	3	5	5
Плотность населения, чел./км <sup>2</sup> – $X_8$	5		3
Сброс загрязненных вод/площадь, тыс. м <sup>3</sup> /км <sup>2</sup> – $X_9$			4
Обобщенная пестицидная нагрузка, баллы – $X_{10}$			2

Линейные регрессионные уравнения для прогноза параметров разнообразия млекопитающих, пресмыкающихся и земноводных Волжского бассейна имеют следующий вид:

$$Y_1 = -3,56 + 0,24 X_1 + 0,82 X_2 + 0,37 X_3 - 0,27 X_5 + 0,21 X_6 + 0,27 X_7 + 0,42 X_8 ;$$

$$Y_2 = 1,63 + 0,29 X_1 + 0,29 X_2 + 0,20 X_3 - 0,14 X_4 - 0,19 X_5 - 0,07 X_7 ;$$

$$Y_3 = -0,80 + 0,43 X_1 - 0,25 X_5 + 0,14 X_7 + 0,33 X_8 + 0,32 X_9 + 0,41 X_{10} ,$$

где  $Y_1$ ,  $Y_2$  и  $Y_3$  – индексы биоразнообразия Шеннона соответственно для млекопитающих, пресмыкающихся и земноводных Волжского бассейна; параметры  $X_i$  – см. в табл. 1.

Характер распределения видового разнообразия каждой из административных единиц в Волжском бассейне положительно коррелирует с их ландшафтным разнообразием, зависящим от площади и географического расположения области. Последнее наибольшее выражено в Среднем Поволжье и Приуралье (Мордовия, Татарстан, Башкортостан, Ульяновская, Самарская области), на стыке лесных (смешанные и лиственные леса) и безлесых (степи и полупустыни) ландшафтов. Распределение пресмыкающихся отклоняется от вышеописанного – их разнообразие увеличивается с севера на юг, достигая максимума в Астраханской области.

Уравнения регрессии позволяют «разыгрывать» разные сценарии воздействия на биоразнообразие. Например, увеличение лесистости для Самарской области ( $X_7$ ) на 10

% при средних значениях остальных показателей ведет к увеличению индекса Шеннона для млекопитающих ( $Y_1$ ) на 3-4 %; для Башкортостана уменьшение на 20 % обобщенного влияния удобрений ( $X_5$ ) увеличит этот индекс Шеннона ( $Y_1$ ) на 4-5 %.

ЭИС REGION позволяет проведение и более детального анализа (например, по группам сходных районов внутри области), что позволяет дифференцировать управляющие воздействия не только по отдельным видам животных (что выглядит вполне очевидным), но и по разным территориям. В последнем случае, например, для различных групп районов Самарской области удалось продемонстрировать разный подход к управлению ресурсами охотничье-промысловых животных (по восстановительной стоимости, по гражданским искам, предъявляемым организациям и лицам в возмещение ущерба, или по разрешениям [лицензиям] на добычу).

Таким образом, экспертная информационная система REGION демонстрирует высокую работоспособность для решения задач хранения, первичной обработки, визуализации эколого-экономической информации территорий разного масштаба, прогнозирования и управления биоресурсами экосистем в зависимости от изменения антропогенных факторов воздействия. ЭИС REGION открыта для постоянного наполнения в ходе мониторинговых исследований.

## **Литература**

1. Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П. *Волжский бассейн: экологическая ситуация и пути рационального природопользования.* – Тольятти: ИЭВБ РАН, 1996. – 240 с.
2. Найдено В.В. *Великая Волга на рубеже тысячелетий. От экологического кризиса к устойчивому развитию: В 2 т.* – Н. Новгород: Промграфика, 2003. – Т. 1: *Общая характеристика бассейна реки Волги. Анализ причин экологического кризиса.* – 428 с.; Т. 2: *Практические меры преодоления экологического кризиса и обеспечения перехода Волжского бассейна к устойчивому развитию.* – 366 с.
3. Розенберг Г.С. *Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию.* – Тольятти: Кассандра, 2009. – 477 с.
4. Розенберг Г.С., Мозговой Д.П., Гелашивили Д.Б. *Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии.* – Самара: СамНЦ РАН, 1999. – 396 с.
5. Нейлор К. *Как построить свою экспертную систему.* – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 286 с. [
6. Винокуров Ю.И., Ротанова И.Н., Хлебович И.А. *Геоинформационная парадигма пространственного анализа иерархической структуры водосборных бассейнов // Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 3: Тез. докл. междунар. и молодежной конф.* – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – С. 56.
7. Авакян А.Б., Залетаев В.С., Новикова Н.М., Митина Н.Н. *О проблемах экологического прогнозирования при зарегулировании стока рек // Водные ресурсы.* – 1999. – Т. 26, № 2. – С. 133-142.
8. Розенберг Г.С. *Актуальные экологические проблемы Средней и Нижней Волги и их комплексный анализ (информационный аспект и принцип «экологической матрички») // Актуальные проблемы водохранилищ: Тез. докл. Всерос. конф.* – Ярославль, 2002. – С. 253-255.
9. Костина Н.В. *REGION: экспертная система управления биоресурсами.* – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – 132 с.
10. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. *Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения.* – М.: Наука, 2005. – Кн. 1. – 281 с.; Кн. 2. – 337 с.
11. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Костина Н.В. *Методы синтетического картографирования территории (на примере эколого-информационной системы*

- "VOLGABAS") // Количественные методы экологии и гидробиологии (сборник научных трудов, посвященный памяти А.И. Баканова). – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – С. 167-227.*
12. *База эколого-экономических данных крупного региона (методическое пособие) / Розенберг Г.С., Беспалый В.Г., Гайворон Т.Д. и др. – Тольятти: ИЭВБ АН СССР, 1991. – 62 с.*
  13. *Моисеев Н.Н. Математика ставит эксперимент. – М.: Наука, 1979. – 223 с.*
  14. *Коммонер Б. Замыкающийся круг. Природа, человек, технология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 280 с.*
  15. *Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Журнал "Россия молодая", 1994. – 367 с.*
  16. *Брусилковский П.М., Розенберг Г.С. Модельный штурм при исследовании экологических систем // Журн. общ. биол. – 1983. – Т. 44, № 2. – С. 266-274.*
  17. *Розенберг Г.С., Саксонов С.В., Костина Н.В., Кудинова Г.Э. Прогноз и моделирование управления биоресурсами Волжского бассейна // Ресурсы регионов России. – 2005. – № 6. – С. 49-54.*

Сведения об авторах:

**Костина Наталья Викторовна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

**Розенберг Геннадий Самуилович** – доктор биологических наук, профессор, чл.-корр. РАН, директор Института экологии Волжского бассейна РАН  
445003 Тольятти, ул. Комзина, 10, ИЭВБ РАН  
сл. тел. (8482) 489431                      genarozenberg@yandex.ru

**Шитиков Владимир Кириллович** – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института экологии Волжского бассейна РАН