

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЛИННО-РЕЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ СРЕДНЕРУССКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

А. А. Глотов, В. Б. Михно

Воронежский государственный университет, Россия

Поступила в редакцию 16 апреля 2012 г.

Аннотация: В статье рассматриваются основы геоинформационного моделирования долинно-речных ландшафтов среднерусской лесостепи. Раскрыты подходы к моделированию структуры, динамики и парадинамических связей природно-территориальных комплексов речных долин.

Ключевые слова: геоинформационное моделирование, долинно-речные ландшафты, геоинформационные модели ландшафтных процессов, геоинформационные модели компонентов ландшафта, геоинформационная модель ландшафта.

Abstract: This article considers basics of GIS modeling of river valleys landscapes in Central Russia forest-steppe region. Disclosed approaches to modeling the structure, dynamics and paradyamic of river valleys natural territorial complex.

Key words: GIS modeling, river valley landscape, GIS model of landscape process, GIS model of landscape's component, GIS model of landscape.

Долинно-речные ландшафты – важная категория природно-территориальных комплексов Среднерусской лесостепи. Они образуют здесь остов основного ландшафтно-экологического каркаса, роль которого в поддержании оптимальной экологической обстановки региона исключительно велика и требует к себе самого пристального внимания. Вместе с тем, долинно-речные ландшафты вносят значительное разнообразие в структурно-функциональную организацию среднерусской лесостепи, предопределяют ее устойчивость и высокий почвенно-растительный потенциал, снижают негативное влияние засух и суховеев, создают комфортные условия для жизни и деятельности населения.

Ландшафтные комплексы речных долин тесно взаимосвязаны направленными потоками вещества (жидкий и твердый сток, миграции химических элементов и др.) и образуют своеобразные парагенетические ландшафтные системы – наиболее динамичные структурно-функциональные элементы речных бассейнов. Учет ландшафтообразующей роли и состояния долинно-речных комплексов необходим при решении многих задач, связанных с совершенствованием системы природополь-

зования и оптимизацией ландшафтно-экологической обстановки в пределах среднерусской лесостепи. Для реализации этих положений необходима разносторонняя и детальная информация о современном состоянии и функциональных особенностях долинно-речных ландшафтов. Получению таких данных способствовало бы внедрение в практику исследований ландшафтов с использованием технологии геоинформационного моделирования.

Применение методов ГИС-моделирования позволяет автоматизировать решение множества задач, начиная от вычисления расстояний и площадей, и заканчивая построением моделей сложных геосистем и процессов с целью управления и прогнозирования будущих состояний.

Моделирование ландшафтных комплексов и, в частности, долинно-речных, методами геоинформатики целесообразно именовать **геоинформационным моделированием ландшафта**. Созданные на его основе модели ландшафта относятся к классу информационных моделей [2]. Отдельные аспекты ГИС-моделирования ландшафта (картографирование, морфометрический анализ и др.) и применения ГИС в литературе по физической географии освещены и имеют определенную апробацию [8, 14, 9, 13, 17]. Однако, до сих пор не уделено должного внимания таким представлениям как

«ландшафтная модель данных», «структурно-динамическая организация природно-территориальных комплексов», «модель ландшафтного процесса» и другие. Кроме того, отсутствует сама теоретическая концепция геоинформационного моделирования ландшафта.

При осуществлении геоинформационного моделирования долинно-речных ландшафтов Среднерусской лесостепи решался ряд методических задач. В частности, были обоснованы объект, предмет, пути моделирования и реализации моделей.

Объектом исследования геоинформационного моделирования ландшафта выступает *ландшафт (природно-территориальный комплекс)*.

В качестве *предмета* исследования рассматривались *особенности представления и анализа структурно-динамической организации ландшафтов средствами ГИС*.

К числу основных методических задач геоинформационного моделирования ландшафта были отнесены следующие положения: 1) *разработка и реализация теоретической модели ландшафта в среде ГИС (концептуальная ландшафтная модель данных)* – подразумевается набор теоретических положений моделирования структуры, динамики, межкомпонентных взаимосвязей, а также парадинамических связей между ландшафтами; 2) *формирование прикладных ландшафтных моделей данных*, характеризующих структурно-динамическую организацию природно-территориальных комплексов для определенных целей исследования; 3) *разработка алгоритмов анализа данных* – математических методов анализа формализованного представления геосистемы; 4) *разработка геоинформационных моделей ландшафтных процессов*.

Геоинформационное моделирование долинно-речных ландшафтов потребовало привлечение четких и наиболее устоявшихся определений и понятий ландшафта. Как известно, в науке не существует единого понимания термина «ландшафт» [3, 7, 10, 12, 15, 16]. Это затрудняет использование представлений о ландшафте в процессе геоинформационного моделирования.

В настоящее время в литературе существует три основных трактовки термина «ландшафт»: ландшафт – региональная единица; ландшафт – обобщенное типологическое понятие физико-географических комплексов; ландшафт – общее понятие, синоним региональных и типологических комплексов любого таксономического ранга [11]. Согласно общей трактовке, в пределах ландшафт-

ной сферы выделяются региональные, типологические и парадинамические природные комплексы.

Из имеющихся трактовок ландшафта нами было избрано определение, обоснованное Ф. Н. Мильковым [12]. Согласно его взглядам, «*ландшафт (природно-территориальный комплекс, ПТК) – пятимерная саморегулируемая и самовосстанавливаемая незамкнутая система взаимосвязанных компонентов и комплексов более низкого ранга, функционирующая под воздействием одного или нескольких компонентов, выступающего в роли ведущего фактора*» [12, с. 191].

Под *геоинформационным моделированием* понимается метод, основанный на построении и использовании моделей пространственных объектов, их взаимосвязей и динамики процессов средствами ГИС [4]. Данный метод относится к группе методов информационного моделирования и основан на теории информационных систем.

При геоинформационном моделировании наиболее важными понятиями являются *модель данных* и *алгоритм анализа*. Под *моделью данных* понимается совокупность принципов организации данных; математическая конструкция для представления географических объектов или полей, а под *алгоритмом анализа данных* – логически обусловленная последовательность программных действий с целью получения определенного результата. Собственно модель данных и определяет методы анализа.

Базовыми моделями данных в географических информационных системах являются *векторная* (нетопологическая и топологическая) и *растровая*. В настоящее время активное развитие технологии объектно-реляционных баз данных привело к формированию *модели базы геоданных (БГД)*, или пространственной БД, основанной на таких понятиях как *сущность* (таблица) и *связь*. База геоданных по существу выступает прототипом моделируемых объектов, ситуаций, отношений. В зависимости от решаемых задач исследователь проектирует структуру БГД, в которой могут быть использованы различные более простые модели данных – как векторные, так и растровые, но уже как части единой информационной модели.

При решении конкретных задач средствами ГИС возникает необходимость в использовании прикладных моделей данных. Эти модели являются виртуальной имитацией объектов управления или изучения. В них можно воспроизводить свойства или взаимоотношения реальных объектов, их поведение [1]. Вопросам проектирования приклад-

ных моделей данных и баз геоданных посвящена работа М. Зейлера [20].

Модель объекта, используемая при исследовании, определяет набор инструментов анализа и специфику алгоритмов обработки данных. При этом можно выделить следующие основные аналитические возможности ГИС: 1) аналитические функции работы с базами данных; 2) картометрические функции; 3) моделирование поверхностей и анализ растровых изображений; 4) построение буферных зон; 5) оверлейные операции; 6) районирование (зонирование) и др.

На наш взгляд, необходимо различать геоинформационные модели компонентов ландшафта, ландшафтных процессов и собственно ландшафтов. Создание перечисленных видов моделей позволяет получить полную, в т.ч. скрытую, информацию о структурно-функциональных особенностях долинно-речных ландшафтов.

Геоинформационные модели компонентов ландшафта представлены цифровыми моделями рельефа, климата, литогенной основы, флоры и фауны, а также цифровыми моделями использования земель (антропогенный фактор). Подобные модели используются для изучения особенностей и анализа отдельных компонентов ландшафта, и являются источником информации при моделировании самого ландшафтного комплекса.

Кроме того можно выделить модели неполных физико-географических систем (рельеф – почва, рельеф – климат – растительность и пр.).

Геоинформационные модели ландшафтных процессов (*landscape evolution models, LEM*) представляют собой определенные алгоритмы анализа данных в ГИС, в результате использования которых появляется информация о будущих состояниях исследуемой территории. Эти модели служат для изучения динамической составляющей ПТК, их эволюции, а также возможных последствий в результате различного типа воздействий. Примером подобных механизмов моделирования являются *SIBERIA, GOLEM, CHILD, CAESAR, WEPP, LAPSUS* и др. [19]

Геоинформационная модель ландшафта представляет собой определенную модель данных, раскрывающую структурно-динамическую организацию ПТК с позиции цели исследования. При этом можно выделить концептуальную и прикладные ландшафтные модели данных. Концептуальная ландшафтная модель данных представляет собой способ организации БГД, наиболее полно соответствующей современным теоретическим представ-

лениям о ландшафте, т.е. идеализированную модель. Прикладные модели данных разрабатываются для решения конкретных задач научно-практической деятельности. Например, ландшафтная модель данных для целей анализа склоновых процессов речной долины, эволюции долинно-речных ландшафтов и т.д.

С позиции геоинформационного моделирования любой долинно-речной ландшафтный комплекс можно представить как сложную функцию, а ее параметры представляют собой более простые функции:

$$L = f(p, r, c, h, s, b, a, t),$$

где *L* – ландшафт; *p* – литогенная основа; *r* – рельеф; *c* – климат; *h* – воды; *s* – почвенный покров; *b* – биота (растительность и животный мир); *a* – антропогенный фактор; *t* – время.

Наибольшие возможности для моделирования предоставляет модель пространственной базы данных. В БГД ландшафтные комплексы могут быть представлены как сущность (таблица) или набор сущностей. Каждая таблица включает ландшафты одного таксономического уровня, при этом каждой записи соответствует конкретный природно-территориальный комплекс (ПТК). Данный класс объектов имеет полигональный тип геометрии. Атрибутивное описание в наиболее полном виде может содержать координаты границы объекта, топологическую информацию (соседство, вложенность и др.), а также набор параметров, характеризующих ПТК с позиций необходимых исследователю. Например, средняя величина уклона, экспозиции, кривизны, индекса мощности эрозии.

Моделирование внутренней комплексной структуры ландшафтов в БГД реализуется посредством создания взаимосвязей между таблицами, в которых находится информация о ландшафтных комплексах различного таксономического уровня.

При изучении структурных элементов долинно-речного ландшафта локального и регионального уровня (фация – урочище – местность – район) одними из наиболее важных выступают параметры рельефа, которые могут быть получены в результате геоморфометрического анализа (анализа цифровой модели рельефа). Морфометрические параметры конкретного ландшафта в общем виде можно подразделить на несколько категорий: 1) геометрические (уклон, экспозиция, кривизна, зоны видимости, расчлененность рельефа и др.); 2) гидролого-морфологические (высота и уклон бассейна, направление и экспозиция стока, топографический индекс влажности, индекс мощности

эрозии, фактор смыва почвы и др.); 3) климатические (температура подстилающей поверхности, интенсивность воздействия ветра и др.); 4) энергетические (количество солнечной радиации, гравитационная энергия, работа геомасс); 5) параметры, характеризующие высотное положение ПТК (относительная высота, глубина долины и др.); 6) прочие показатели [18].

Моделирование структуры долинно-речных ПТК может быть осуществлено посредством отношений между различными таблицами в БГД. Каждый природно-территориальный комплекс (кроме фации как ПТК наименьшего таксономического ранга) состоит из системы ландшафтных единиц более низкого таксономического уровня. Ландшафты разных таксономических уровней представляют собой отдельные таблицы в БГД, но, например, ряд объектов в таблице «Урочища» являются структурными частями одного объекта в таблице «Местности», их вложенность в конкретную местность определяется через создание взаимосвязи между таблицами и внешние ключи (тип связи «один ко многим»). Таким образом, каждый объект таблицы «Местности» имеет свой ключ (один из атрибутов, идентифицирующий данную запись), который указывается и в описании урочищ – структурных элементов данной местности.

Моделирование динамики долинно-речных ландшафтов может быть осуществлено на основе двух подходов к анализу информации о разновременном состоянии ПТК и свойственных им процессов.

Моделирование на основе имеющейся информации о разновременных состояниях ПТК, требует разносторонних данных о динамике ландшафтов. Подобная информация может быть получена из серии динамических карт или космических снимков, на основании которых производится анализ динамики. Такой подход позволяет осуществлять ретроспективный ландшафтный анализ, а также построения моделей ландшафтных процессов, свойственных долинно-речным комплексам.

Моделирование на основе имеющихся геоинформационных моделей ландшафтных процессов базируется на информации, раскрывающей современную структуру и параметры ландшафтных комплексов. В данном случае исходные данные обрабатываются с использованием модели процесса и результатом выступает информация о структурной организации ландшафта через заданный промежуток времени. Применение этого подхода наиболее уместно при осуществлении ландшафтного прогнозирования развития долинно-речных систем.

Применение моделей эволюции ландшафтов предусматривает составление вероятностных сценариев развития исследуемой территории. Сценарии в большинстве моделей (LAPSUS, GOLEM, CHILD и др.) могут быть разработаны на основе данных о тектонике, климате и других факторах, принимающих участие в формировании и функционировании долинно-речных ПТК. Таким образом, появляется возможность оценить изменения в ландшафтной структуре долинно-речных комплексов, выявить благоприятные и негативные тенденции их развития, а также разработать рекомендации по управлению природной средой и рациональной организации природопользования в условиях конкретных речных бассейнов.

Моделирование парадинамических взаимосвязей долинно-речных ПТК. В основе моделирования парадинамических взаимосвязей между ландшафтными комплексами, а также внутри их лежит информация о взаимном расположении (топологические отношения), а также параметрах, описывающих характер, направление и интенсивность перемещения вещества, энергии и информации [5].

Наиболее значимыми параметрами, характеризующими парадинамические взаимосвязи являются: 1) абсолютная и относительная высота ПТК – преобладание переноса вещества и энергии сверху – вниз, гравитационная составляющая; 2) направление стока – характеризует направленность парадинамических взаимосвязей, осуществляемых посредством перемещения гидромасс между ландшафтными комплексами; 3) перемещение обломочного материала (deposition function) – моделирует параметры разрушения и отложения педо- и литомасс. Данная функция отражает направление и интенсивность парадинамических взаимосвязей посредством перемещения обломочного материала; 4) моделирование зон затопления – характеризует интенсивность парадинамических взаимосвязей в пределах пойменного типа местности (парадинамическая система: русло – пойма); 5) интенсивность воздействия ветра – моделирует параметры парадинамического взаимодействия между природными комплексами посредством перемещения воздушных масс.

Практическое применение. С целью изучения эволюции долинно-речных ландшафтов Среднерусской лесостепи нами была создана база геоданных (.gdb) «Долинно-речные ландшафты» в среде ArcGIS, включающая несколько наборов классов объектов, а также различную информацию о компонентах долинно-речных ландшафтов.



Масштаб 1:10000

Рис. Фрагмент ландшафтной карты поймы р. Хопер

Условные обозначения: Пм1 – тип урочища глубоководного русла реки с аллювиальными донными отложениями; Пм2 – тип урочища старицы прирусловой поймы с истыми грунтами и водно-болотной растительностью; Пм3 – тип урочища старицы центральной поймы с истыми грунтами и водно-болотной растительностью; Пм4 – тип урочища низкой поймы с лугово-болотными почвами и травянисто-болотной растительностью; Пм5 – тип урочища низкой поймы с пойменными болотными почвами и тростниково-кустарниковой растительностью; Пм6 – тип урочища низкой поймы с аллювиальными луговыми насыщенными почвами и луговой растительностью; Пм7 – тип урочища низкой поймы с песчаными аллювиальными почвами и ивняковой растительностью; Пм8 – тип урочища низкой поймы с болотными лесными почвами и черноольшанниковым лесным сообществом; Пм9 – тип урочища низкой поймы с пойменно-лесными почвами и дубравно-осиновым лесным сообществом; Пм10 – тип урочища высокой поймы с песчаными почвами и ивняковой растительностью; Пм11 – тип урочища высокой поймы с пойменно-лесными слоистыми почвами и дубравным лесным сообществом.

Изучение современной структурно-динамической организации и эволюции долинно-речных ландшафтов Среднерусской лесостепи осуществлялось в несколько этапов.

1. Сбор и внесение в БГД пространственной и атрибутивной информации о компонентах ландшафта, структуре и динамике ландшафтов (разновременные космические снимки, ландшафтные карты, морфометрические параметры, вегетационные индексы др.).

2. Построение моделей современной структурно-динамической организации долинно-речных ландшафтов в виде системы взаимосвязанных таблиц в БД с атрибутивным описанием, а также набора растровых моделей различных параметров

ландшафтов (энергетические, гидрологические, климатические и прочие параметры).

3. Осуществление ретроспективного ландшафтного анализа на основании палеогеографических данных, разновременных космических снимков и картографического материала.

4. Построение вероятностных сценариев развития долинно-речных ландшафтов на основании моделей эволюции.

5. Разработка рекомендаций по оптимизации системы природопользования в пределах долинно-речных ландшафтов Воронежской области.

Анализ структурно-динамической организации долинно-речных ландшафтов осуществлялся на двух масштабных уровнях: региональном (место

речных долин в бассейновой организации ландшафтов Воронежской области) и локальном (крупномасштабные исследования на территории ключевых участков) (рис.).

На региональном уровне раскрывается общее положение речных долин на исследуемой территории, особенности развития их ресурсного пространства, а также их региональная структура на уровне зональный тип – ландшафтный отрезок – ландшафтный участок.

На локальном уровне осуществлены крупномасштабные исследования структуры и динамики речных долин в пределах различных ландшафтных отрезков. Создана обширная база данных, включающая информацию о природных комплексах ранга местность и урочище с различных позиций – геоморфологических, энергетических, климатических, биотических и пр. Данная информация наиболее полно раскрывает современное структурно-функциональное состояние долин рек Дон, Хопер, Битюг, Черная Калитва, Тихая Сосна и др., а также может быть использована при решении актуальных задач хозяйственной деятельности – создания системы рационального природопользования в пределах Среднерусской лесостепи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианов В. Ю. Модели данных в ГИС / В. Ю. Андрианов // ArcReview. – М.: Дата+, 2010. – № 4. – С. 5-6.
2. Арманд А. Д. Информационные модели природных комплексов / А. Д. Арманд. – М.: Наука, 1975. – 126 с.
3. Арманд Д. Л. Наука о ландшафте / Д. Арманд. – М.: Мысль, 1975. – 287 с.
4. Геоинформатика : в 2 кн. : учеб. для студентов высш. учеб. заведений / Е. Г. Капралов [и др.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. центр Академия, 2008. – Кн. 1. – 384 с.
5. Глотов А. А. Теоретические аспекты геоинформационного моделирования парадинамических ландшафтов / А. А. Глотов // Геоинформационное картографирование в регионах России : материалы 3-й Всероссийской науч.-практ. конф. – Воронеж : Науч. книга, 2011. – С. 34-7.
6. Журкин И. Г. Геоинформационные системы / И. Г. Журкин, С. В. Шайтура. – М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2009. – 272 с.
7. Исаченко А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование / А. Г. Исаченко. – М.: Высш. школа, 1991. – 366 с.
8. Истомина Е. А. Геоинформационное моделирование и картографирование ландшафтных комплексов Прибайкалья : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. / Е. А. Истомина. – Барнаул, 2006. – 24 с.
9. Линник В. Г. Построение геоинформационных систем в физической географии / В. Г. Линник. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 80 с.
10. Мильков Ф. Н. Ландшафтная сфера Земли / Ф. Н. Мильков. – М.: Мысль, 1970. – 207 с.
11. Мильков Ф. Н. Терминологический словарь по физической географии / Ф. Н. Мильков, А. В. Бережной, В. Б. Михно. – М.: Высш. школа, 1993. – 228 с.
12. Мильков Ф. Н. Физическая география: учение о ландшафте и географическая зональность / Ф. Н. Мильков. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1986. – 328 с.
13. Михно В. Б. Этапы создания ландшафтной геоинформационной системы Центрально-Черноземных областей / В. Б. Михно, А. С. Горбунов, О. П. Быковская // Геоинформационное картографирование в географии и геоэкологии : сб. ст. – Воронеж : Истоки, 2010. – 112 с.
14. Отображение пространственного варьирования свойств ландшафтного покрова на основе дистанционной информации и цифровой модели рельефа / Д. Н. Козлов [и др.] // Изв. РАН. Сер. географическая. – 2008. – № 4. – С. 112-124.
15. Солнцев Н. А. Учение о ландшафте (избранные труды) / Н. А. Солнцев. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 384 с.
16. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах / В. Б. Сочава. – Новосибирск : Наука, 1978. – 320 с.
17. Сысуев В. В. Морфометрический анализ геофизической дифференциации ландшафтов / В. В. Сысуев // Изв. АН. Сер. географическая. – 2003. – № 4. – С. 36-50.
18. Geomorphometry : Concepts, Software, Applications / by ed. Tomislav Hengl, Hannes I. Reuter / – Amsterdam : Elsevier, 2009. – 765 p.
19. Tools in Fluvial Geomorphology / by editing G. Mathias Kondolf, Herve Piegay. – New York : Wiley, 2003. – 668 p.
20. Zeiler M. Modeling our World / M. Zeiler. – Redlands : ESRI, 1999. – 199 p.

Глотов Алексей Александрович
аспирант кафедры физической географии и оптимизации ландшафта факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473) 266-56-54, E-mail: ecgeograf@mail.ru
Михно Владимир Борисович
доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой физической географии и оптимизации ландшафта факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473) 266-56-54, E-mail: ecgeograf@mail.ru

Glotov Aleksey Alexandrovitch
Post-graduate student of the chair of physical geography and landscape optimization, department of geography, geoeology and tourism, Voronezh State University, tel. (473) 266-56-54, E-mail: ecgeograf@mail.ru
Mikhno Vladimir Borisovitch
Doctor of Geography, Professor, Head of the chair of physical geography and landscape optimization, department of geography, geoeology and tourism, Voronezh State University, tel. (473) 266-56-54, E-mail: ecgeograf@mail.ru