



ГЕОГРАФИЯ

УДК 911.5.9

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ДОЛИННЫХ КОМПЛЕКСОВ В КИБЕРНЕТИЧЕСКОМ ЛАНДШАФТЕ

А. Н. Башкатов

Саратовский государственный университет
E-mail: albion@info.sgu.ru

Статья посвящена теоретическим и методологическим аспектам функциональной организации культурного ландшафта. Предметом исследования является экологическая функция, которая выступает как внешнее проявление свойств ландшафтных компонентов в межэлементных связях природно-социальных систем. В качестве технологической платформы рассматривается кибернетический ландшафт – интерактивная управляемая компьютерная модель.

Ключевые слова: долинные комплексы, экологическая функция, региональное планирование, кибернетический ландшафт, ГИС-моделирование, инфраструктура пространственных данных.

Methodological Aspects of Modeling of Ecological Functions of Valley Complexes in a Cybernetic Landscape

A. N. Bashkatov

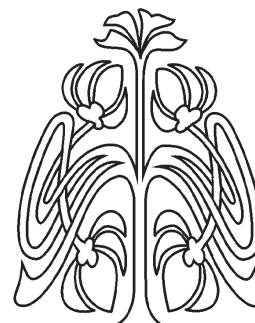
Article is devoted theoretical and methodological aspects of the functional organization of a cultural landscape. An object of research is ecological function which acts as external display of properties of landscape components in inter-element communications of nature-social systems. As a technological platform the cybernetic landscape – interactive operated computer model is considered.

Key words: valley complexes, cybernetic landscape, ecological function, regional planning, GIS-modeling, an infrastructure of the spatial data.

Проблематика функционального моделирования в ландшафтно-экологических исследованиях

Экологический императив современной географии определяет приоритетным объектом исследований культурный ландшафт, возникающий в результате целенаправленных действий общества по благоустройству окружающей среды.

Культурный ландшафт, представленный как **система**, состоит из природных, социальных и технических **элементов, связанных** экологическими отношениями. Техника, «экзоскелет» социума, выступает как главное средство адаптации, а также энергетически мощным и материалоёмким агентом воздействия на ландшафт. Скорость технических преобразований значительно превышает динамические характеристики природных процессов. «Экологическая цена» технических средств адаптации непозволительно высока. Но адаптация реализуется различными способами, в том числе поведенческими. Культурное поведение человека в культурном ландшафте кажется самым корректным способом решения экологических проблем. Адекватное природным реалиям поведение человеческих сообществ может быть отрегулировано архитектурно-планировочными, социально-демографическими, научно-образовательными мероприятиями. Экологическая доктрина Российской Федерации в числе основных задач науч-



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





ного обеспечения природопользования говорит о необходимости разработки методологии и методов эколого-экономической оценки, в том числе определения стоимости природных объектов с учетом их экологических функций [1]. В связи с этим вопрос: что такое экологическая функция природного объекта, как её определить и оценить? – приобретает особую актуальность. Ответить на него можно лишь с позиций системного взаимодействия субъекта экологических отношений – социума с объектом – географической средой.

Природные элементы культурного ландшафта формируют потенциал географической среды – совокупность ресурсов и условий человеческой деятельности. Потенциал может быть задействован с большой степенью вариабельности – в зависимости от сложившихся механизмов природопользования. Процесс природопользования в конкретном месте и в конкретное время формирует определённую экологическую функцию. Иначе говоря, экологическая функция ландшафта – это задействованный ресурс среды. Данный ресурс может быть и не задействован, т. е. при наличии природного потенциала отсутствует соответствующая практика природопользования. Так, например, кочевники-монголы не включали рыбу в свой пищевой рацион, и биологические ресурсы рек и озёр на территории проживания не использовались. Любой процесс природопользования вполне реален, наблюдаем и измеряем. Следовательно, может быть объективно выявлена и измерена, качественно и количественно определена и экологическая функция того или иного ландшафтного компонента либо географического объекта в конкретных пространственных границах – «активированной» части географической среды.

Экологическая функция – объективно существующее географическое явление, характеризующееся местоположением и временем существования.

Наблюдаемая и измеряемая экологическая функция является объективным критерием природопользования, что позволяет дать комплексную оценку ландшафтному объекту, в том числе и экономическую, путем определения выгод от эксплуатации естественных свойств объекта и затрат на его рекультивацию в случае их утраты. С научно-методических позиций функция – эмпирически установленный закон зависимости одной величины от другой. Математически это выражение принимает классический вид: y – свойства географической среды, f – экологическая функция, $y = f(x)$, где x – характер природопользования.

Однако на практике экологические функции определяются декларативно, в форме «назначения» позитивной экологической роли всем «зелёным» частям культурного ландшафта. В современной ландшафтной экологии все много-

образии экологических функций сводится к двум основным категориям: собственно экологические функции и социально-экологические функции. Собственно экологические функции – ресурсные, средообразующие, природоохранные. Социально-экологические функции: научная, образовательно-воспитательная, эстетико-художественная, рекреационная. Из приведённого перечня видно, что природной среде отводится исключительно положительная роль в жизни человека, что само по себе неплохо, но утопично. Стоит ли говорить о научном обеспечении экономической оценки безусловного блага?

Проблема. Описание и оценка экологических функций ландшафта в современной практике управления природопользованием происходит в форме деклараций, без научно-методического обеспечения. Для практической эколого-экономической оценки нужен эргономичный метод выявления экологических функций на основе наблюдений и измерений.

Объектом моделирования являются долинны комплексы на территории г. Саратова. Долинный комплекс состоит из родников, питающих ручьи в истоках, долин ручьев и рек, суходольных балок и оврагов – притоков основной долины, т. е. всех элементов парадинамической гидросистемы в пределах водосборного бассейна притока р. Волги (рис. 1). Особенностью гидрологической системы Саратова является то, что область питания родников находится за пределами водосборного бассейна Саратовской котловины, на Волго-Донском водоразделе. Следовательно, для обеспечения безопасного и устойчивого водоснабжения городских родников необходимо сохранение лесного массива на Лысогорском плато и прилегающих горах – Лопатиной, Алтынной, Увекской и Соколовой.

Долины городской гидросети являются обязательным элементом в проектах экологических каркасов как регионов, так и городов. Это объясняется многообразием экологических функций долинной сети – от коммуникационных до ресурсных. Как правило, на долины малых рек, ручьев, крупных овражно-балочных комплексов возлагается роль «связующих звеньев» между городом и окружающим ландшафтом [2]. Ландшафтная архитектура имеет многообразный опыт использования долинных комплексов в садово-парковом строительстве. В пригородах российских городов широко распространено сельскохозяйственное использование долин для разбивки садов и огородов. Существуют разработки и опыт практического применения биологической очистки поверхностного стока в водоёмах долин [3]. Однако широкого применения данные разработки, к сожалению, в настоящее время не имеют.

В то же время в долинах накапливаются бытовые, строительные и промышленные отходы, наиболее ценные свойства долинных комплек-

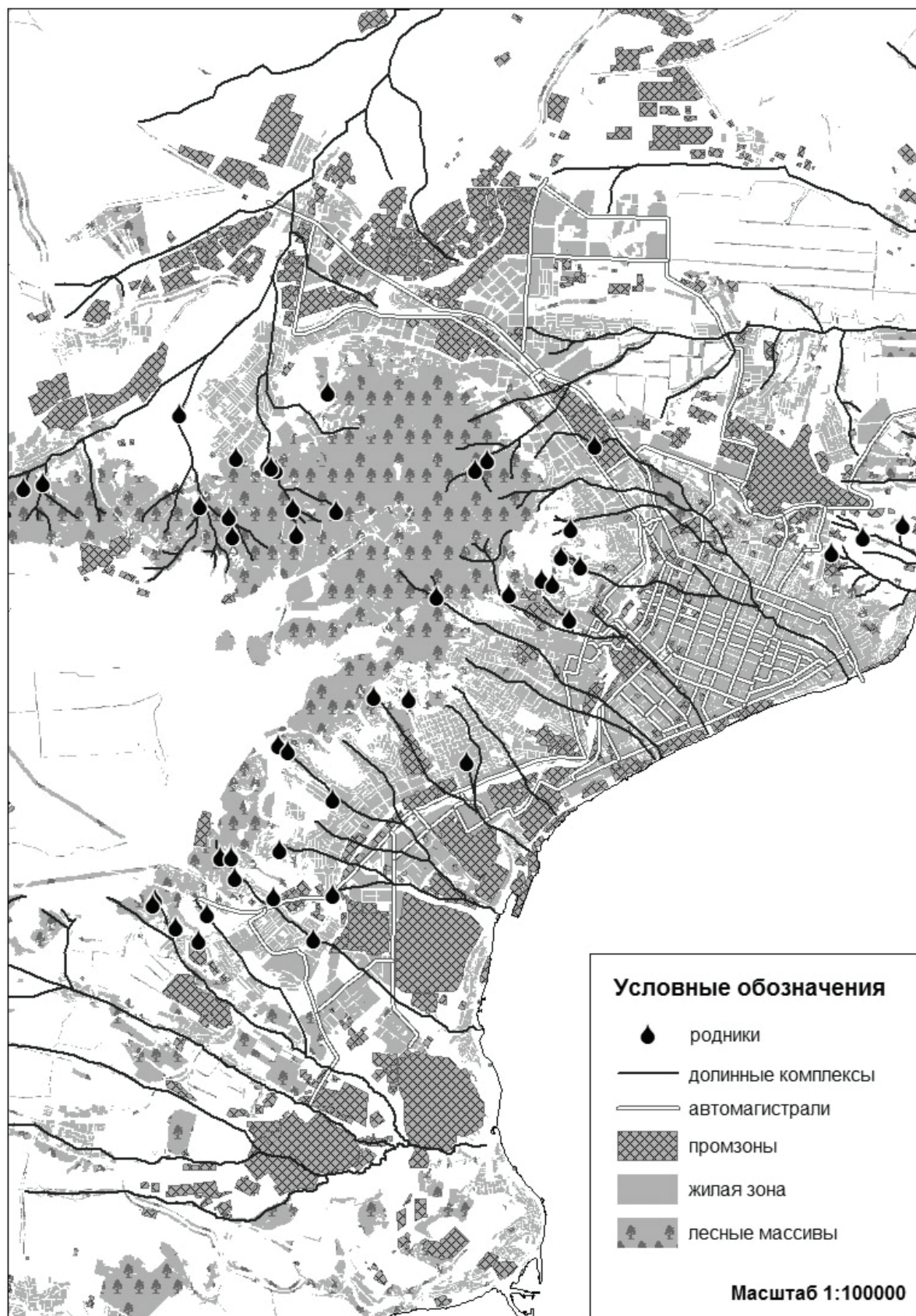


Рис. 1. Долинные комплексы г. Саратова



сов как биогеоценозов утрачиваются [4]. Налицо противоречие между целями градостроительного проектирования и существующей экологической ситуацией. Разрешить данное противоречие можно с помощью внедрения в процесс экологического обоснования генеральных планов городов *механизма определения экологических функций долинных комплексов как ключевых элементов экологического каркаса*. В перспективе это позволит дать комплексную оценку ландшафтному объекту, в том числе и экономическую, путем определения выгод от эксплуатации естественных свойств объекта и затрат на его рекультивацию в случае их утраты.

Протекая по разным в градостроительном, социальном и историческом отношении районам города, одна гидросистема, цельный долинный комплекс в практическом природопользовании и сознании горожан разделяются на изолированные водные объекты. Преодолеть такую ситуацию можно с помощью интерактивной модели.

Предмет исследования – функциональное районирование городского ландшафта и методологические разработки в области функционального моделирования долинных комплексов. В качестве технологической платформы рассматриваются географические информационные системы, инфраструктура пространственных данных, данные дистанционного зондирования Земли.

Задача изучения экологических связей между географической средой и человеческим обществом с присущим ему техническим арсеналом присутствует практически во всем комплексе наук о Земле. Сложность состоит в том, что ландшафт в целом трудно наблюдаем из-за своей размерности, несопоставимой с человеком-исследователем. К тому же человек находится внутри ландшафта в качестве одного из его элементов, что делает справедливым принцип: «система не может объяснить саму себя». Кроме того, отраслевое изучения географической среды задаёт покомпонентный формат исследования, в то время как реальный ландшафт – сложная динамическая система с эмерджентными свойствами.

Для преодоления этих сложностей нужен особый подход к наблюдению всего ландшафта как целостной сущности и метод актуализации структурно-функционального состояния ландшафтной системы. Перспективным вектором в решении данной задачи, на наш взгляд, будет развитие междисциплинарного направления, сочетающего ландшафтный подход с кибернетикой – наукой о связях, управлении и организации в системах любой природы [5]. В настоящей статье мы рассмотрим частный случай такого синтеза – модельного отображения экологических функций на основе информации космической съёмки и технологии веб-картографии.

Данные дистанционного зондирования Земли удобно использовать из-за их широкого территориального охвата, многоаспектности информации

и наглядности образного представления. Неслучайно основоположник ландшафтной экологии С. Troll [6] изучал экологические отношения дешифрированием аэрофотоснимков – по сути образных моделей. В настоящее время существует целое научное направление по интерпретации «ландшафтного узора» – новая таксономия, основанная на геометрических особенностях аэро- и космоснимков [7]. Однако подобная интерпретация сводится к сопоставлению различных тематических слоёв, построенных по визуальным контурам, и не отражает эмерджентной сущности ландшафта. На наш взгляд, гораздо более конструктивным является использование космоснимков для формирования картографических сервисов в Интернете. Сочетание в таких сервисах функций географических информационных систем с интерактивными формирует своего рода виртуальную управляемую среду с заданной функциональностью. При использовании функциональных модулей, реализующих алгоритм экологических процессов, мы получим **кибернетический ландшафт** – компьютерную **модель**, способную имитировать процесс **управления** природопользованием.

Собственно, сама концепция культурного ландшафта как «одомашненного», обжитого «дикого» природного ландшафта предполагает процесс управления – осознанного или интуитивного, планируемого или спонтанного, комплексного или частичного.

Чем реально мы можем и должны управлять в природно-социальной системе? Очевидно, в первую очередь мы должны управлять собственным поведением, поскольку управление природными компонентами нереально и часто неэтично по отношению к другим обитателям ландшафта. Мы должны контролировать свои экологические связи, можем регулировать процесс природопользования. Административные и экономические механизмы регулирования природопользования эффективны только в случае их синергетического действия с процессами функционирования природного ландшафта. Трудность управления сложной динамической системой, каковой является культурный ландшафт, заключается в её гетерархичности. Иначе говоря, поведение такой системы находится под распределённым управлением, подчиняющимся воздействию самостоятельно действующих факторов. Причиной неудачной экологической оптимизации ландшафтов в XX веке являются попытки управлять природными процессами, например борьба с оврагами в расчленённом рельефе, насаждение лесополос в степной зоне, осушение болот и т. д. Управлять можно иерархично устроенной техногенной подсистемой, а критерием успешности управления должен быть интегральный показатель, оперирующий значениями объёмов природопользования. Данному определению соответствует экологическая функция, которая не только имеет балансовое выражение, но и включает в свое содержание



деятельность, направленную на охрану окружающей среды от деградации ее качества. По степени эффективности реализации экологических функций можно судить об истинном отношении общества к обеспечению рационального природопользования, охране окружающей среды, правам человека. Таким образом, экологическая функция с морально-нравственной точки зрения – показатель поведения человека в природе.

Технологическая и информационная база кибернетического ландшафта

Моделирование предполагает перевод первичной объективной информации во вторичную субъективную. Первичная информация – это свойства реального ландшафта, его компонентов и географических объектов, отражённые в их структуре, процессах и явлениях. Первичная информация проявляется в информационных связях внутри ландшафта и представляет собой важнейший атрибут географической оболочки. Вторичная информация – смысловое содержание объективной информации об объектах и процессах географической среды, сформированное сознанием человека с помощью смысловых образов, переведённое в семантические значения и выраженное в виде кибернетического ландшафта – виртуального управляемого пространства.

Общая характеристика модели. Модель природно-социальной системы в виде кибернетического ландшафта является информационной (поскольку основана на компьютерной технологии), имитационной (имитирует сценарий поведения системы при разных исходных данных), динамической (показывает изменения во вре-

мени). Целью разработки прототипа киберландшафта является научный прогноз.

Структура модели базируется на трёх технологических направлениях: ГИС-моделирование; инфраструктура пространственных данных, доставляющая базовую и оперативную информацию; геопортал на основе веб-технологий для визуализации создаваемых цифровых карт и интерактивного взаимодействия.

Начальными требованиями к разработке модели следует признать способность решать следующие задачи:

- 1) формировать пространственную среду в виде базовых космоснимков или электронных карт топографической основы;
- 2) визуализировать и формализовать экологические процессы посредством операционных объектов;
- 3) обеспечивать интерактивность – возможность редактировать атрибутивные и пространственные свойства операционных объектов;
- 4) анализировать и измерять внутренние и внешние информационные потоки системы.

Рассмотрим конкретное воплощение данных задач на примерах.

Пространственная среда. Пространственной средой служит «подложка» – базовые данные, в качестве которых могут быть использованы мозаика космоснимков, цифровая модель рельефа (ЦМР), электронные векторные и растровые карты (рис. 2). Общим свойством подложки разных типов является территориальная конкретика – способность к определению местоположения в заданной системе координат. Формирование статичного либо динамичного цифрового пространства к настоящему времени

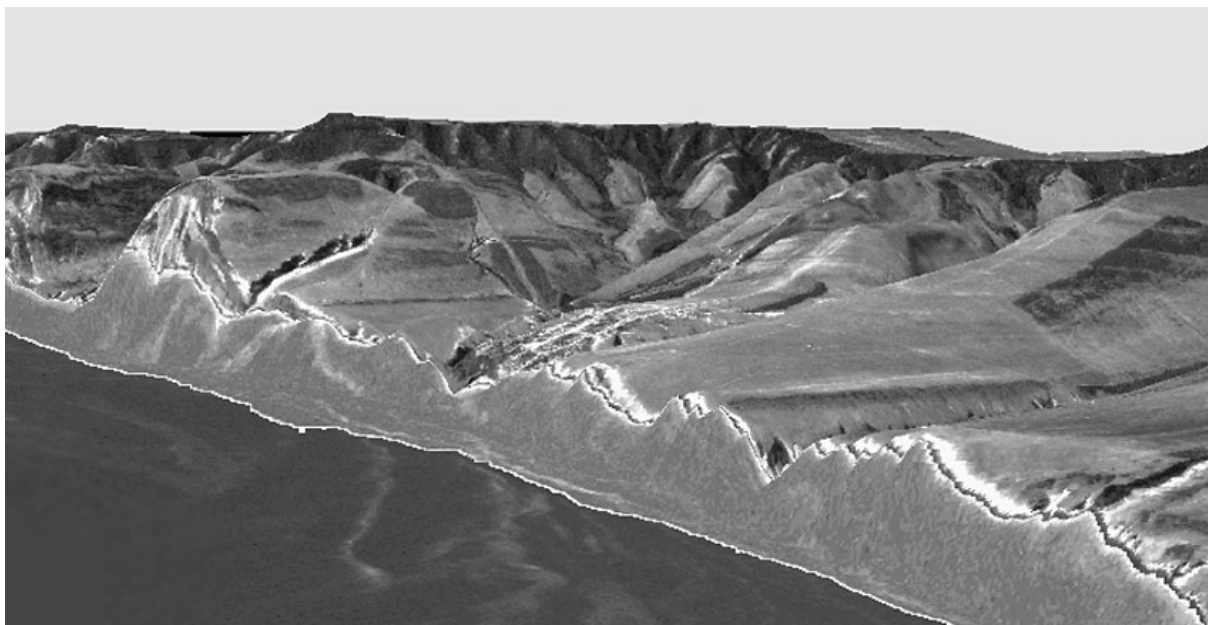


Рис. 2. Цифровая модель рельефа с увеличенным в пять раз вертикальным масштабом (территория Красноармейского района Саратовской области)



является достаточно распространенным процессом и может быть реализовано разными средствами. Для киберландшафта, моделирующего конкретную территорию, наиболее адекватным способом формирования базовой поверхности, очевидно, будет мозаика ортофотоизображений цифровых геокодированных космоснимков. Базовая поверхность не участвует в расчёте экологических функций, служа лишь для позиционирования и визуальной навигации.

Пространственной средой для моделирования экологических функций долинных комплексов может служить как статичная мозаика растровых изображений в случае отображения операционных единиц в виде полигонов, так и ЦМР для расчета динамических свойств рельефа.

Визуализация и формализация экологических связей. Непосредственное участие в математическом выражении ландшафтной структуры и экологических процессов принимают геометрические примитивы (полигоны, точки и линии), формирующие слои векторных объектов, семантически связанных с атрибутивной информацией. Совокупность векторных слоёв создаёт операционное пространство, которое выступает как векторная нагрузка на базовую поверхность, визуально частично с ней совпадает и доступно для анализа. Векторные объекты выступают в роли виртуальных ландшафтных компонентов. Это могут быть почвенные карты, карты растительного покрова, литогенной основы, типологические единицы – фации, урочища, местности, вплоть до ландшафтных районов; отдельные географические объекты – родники, достопримечательности, памятники природы, и т. п. Виртуальный ландшафтный компонент как типичный ГИС-объект, помимо геометрических параметров, обладает атрибутивными свойствами, которые могут быть задействованы в функциональном анализе. В качестве операционных единиц также выступают виртуальные хозяйствующие субъекты, воздействующие на ландшафтные компоненты.

Ключевым этапом моделирования является формализация – перевод внутренней структуры предмета, явления или процесса в определённую информационную структуру – форму. При этом необходимо найти алгоритм связи между исходными данными о состоянии объекта и результатом их формального отражения. Заменяя связи между исходными данными и результатом математическими соотношениями, можно получить вместо реального объекта или явления математическую модель. Далеко не всегда эти формулы очевидны, и их выведение необходимо проверять эмпирическим путём.

Выявление экологических связей непосредственно в кибернетическом ландшафте – наиболее сложная и неопределённая задача, требующая экспертной оценки и внешней проверки. Предварительно планируется три возможных пути реше-

ния этой задачи: дешифрирование космоснимков, ГИС-анализ и использование данных натурных наблюдений, интерактивно подгружаемых в модель.

Дешифрирование аэрофото- и космоснимков в оптическом диапазоне является наиболее традиционной процедурой выявления экологических процессов путём непосредственного наблюдения и/или сравнения разновременных изображений. Анализ данных космосъёмки в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах предоставляет большие возможности для построения синтезируемых покрытий, на которых видны различные производные ландшафтных процессов (например, индекс вегетации).

ГИС-анализ базируется на схожих методических принципах, но несколько по иному алгоритму анализа и синтеза, поскольку оперирует преимущественно векторными объектами, в отличие от растровых данных космосъёмки. Оба метода носят эмпирический характер и позволяют получать количественные параметры анализируемых процессов и структур.

Синергетический эффект даёт сопряжённый анализ данных дистанционного зондирования и векторных объектов с атрибутивными свойствами.

Итогом описанных процедур является некое множество объектов, выявленных по признакам ландшафтных явлений и экологических процессов, например источники грунтовых вод и связанная с ними рекреация (рис. 3).

Интерактивность и инфраструктура пространственных данных. Эмпирические данные предоставляет и способ получения информации путём интерактивного взаимодействия с пользователями модели. В концепции кибернетического ландшафта изначально заложена способность к распределённому управлению, что определяет порталную архитектуру. Под порталом (от англ. *portal* – главный вход, ворота) в терминологии интернетики понимается исходная точка выполнения тематического поиска в распределённой сети. Физически это сервер, предоставляющий прямой доступ пользователям к некоторому множеству информационных ресурсов [8]. Территориально, организационно и тематически распределённые источники данных об экологических процессах в ландшафте – это различные ведомства и картографические службы, хозяйствующие субъекты, научные учреждения и физические лица – интернет-пользователи. Кибернетический ландшафт на базе геопортала представляет собой инфраструктуру пространственных данных.

Данный источник информации отличается разнообразием и многоплановостью, но поддаётся формализации проектированием интерфейса, тематической рубрикацией и внутренней модерацией. Иллюстрацией может служить любой интернет-ресурс, аккумулирующий информацию пользователей о реальных объектах географической среды, например фотографии, привязанные к карте местности (рис. 4).



Рис. 3. Карта расположения родников на Алтынной горе г. Саратова и GPS-трека экспедиции 19 января 2013 г. по их обследованию

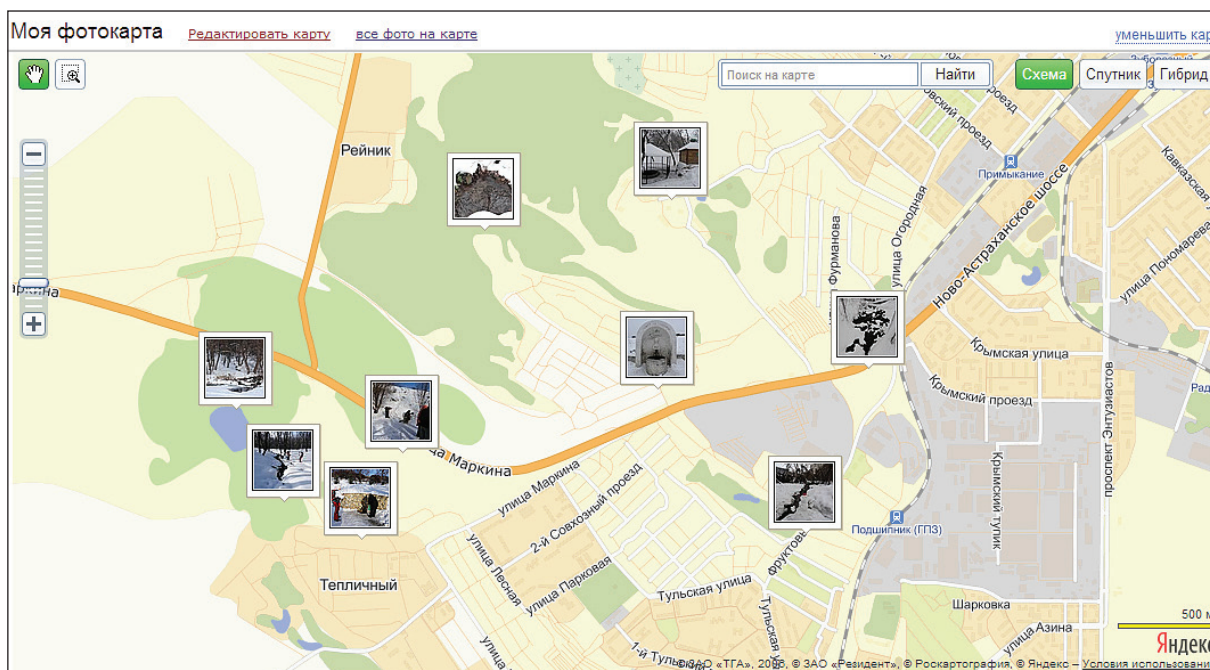


Рис. 4. Screenshot интернет-сервиса «Яндекс-фотокарта» с фотографиями родников на Алтынной горе г. Саратова

Анализ и измерение информационных потоков. Выявление и измерение экологических функций географической среды в настоящем исследовании являются конечной целью моделирования реального ландшафта. Поэтому киберландшафт должен предоставлять пользователям и администраторам набор инструментов и встроенных процедур построения моделей экологических процессов с выводом общепринятых форматов – карт, текстовых и графических отчётов.

Процедура построения алгоритма экологических процессов может базироваться на семантической модели формализованных информационных ресурсов (объект – свойство – признак). Аналогичные автоматизированные информационные системы в области инвентаризации, кадастра и административного регламента уже разработаны и успешно используются [9].

Сумма расчётных значений производных взаимодействия ландшафтных компонентов и



хозяйственных объектов равна экологической функции, которая в киберландшафте существует как цифровой объект, представленный в виде интегрального изображения явления в единичных синтетических показателях. Множество таких изображений образует цифровой аналог синтетической карты, отражающей типологическое районирование территории. Как уже подчеркивалось, цифровой объект имеет количественные параметры, как пространственные, так и атрибутивные, которые могут быть оперативно считаны и использованы в построении функциональной модели.

Базовым критерием измерения экологических функций в киберландшафте является объём информационного потока. Следует подчеркнуть наибольшую релевантность данного критерия в отношении информационных функций ландшафта, например, когда объекты географической среды рассматриваются в качестве познавательных, туристических, рекреационных ресурсов. Средства измерения информационного потока интегрированы непосредственно в системы управления содержимым сайта, существует также множество внешних по отношению к интернет-ресурсу поисковых сервисов, проводящих анализ его наполнения, например отчёт, генерируемый сайтом Google Analytics, отражающий источники и объём трафика по анализируемому сайту в целом и отдельным его страницам. Так как модель кибернетического ландшафта базируется на геопортальной технологии, она изначально поддерживает форматы и стандарты метаданных. Следовательно, в отношении каждого элемента структуры киберландшафта (базовой поверхности, оперативного пространства, генерируемого объекта) можно отслеживать обращения к нему – количество просмотров, источник, характер запроса и т. д.

Заключение

Целью методологических разработок в области функционального моделирования ландшафта является устойчивое развитие природно-социальных систем. Развивать при этом можно только социальную компоненту, сохраняя благоприятную для неё географическую среду. Для сохранения природной компоненты ландшафта надо поддерживать гомеостатическое состояние, близкое к климаксу биогеоценоза. Одним из путей достижения управляемой устойчивости системы является поддержание динамического

равновесия посредством скоординированных реакций на внешние воздействия. Следовательно, надо в «режиме реального времени» измерять как воздействия, оказываемые техническими и социальными компонентами, так и результаты такого воздействия. Другими словами, выявлению подлежат внешние проявления свойств географической среды в системе экологических отношений, кратко – экологические функции.

Современные информатика и геоинформатика располагают технологической базой для построения пространственно-временной модели, позволяющей выявлять, визуализировать и измерять экологические функции ландшафта. Синтезируемые на основе интегральных показателей геоизображения могут как отображать типологическое районирование территории по функциональному признаку, так и формировать схемы оптимизации территориального планирования. Применение кибернетического ландшафта в качестве экологической модели делает более эргономичным решение целого ряда административно-управленческих, эколого-экономических и научно-методических задач.

Библиографический список

1. Экологическая доктрина РФ // Рос. газ. 2002. 18 сент.
2. Вергунов А. П., Денисов М. Ф., Ожегов С. С. Ландшафтное проектирование. М., 1991.
3. Вдовин Ю. И., Мальсанов Б. В., Рашевская И. В. Экологическое оздоровление водоёмов урбанизированных ландшафтов // Проблемы строительства, инженерного обеспечения и экологии городов / под ред. Ю. И. Вдовина. Пенза, 2001.
4. Экологические проблемы. Саратов на рубеже XX и XXI веков / Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов г. Саратова. Саратов, 1996. 128 с.
5. Турчин В. Ф. Феномен науки : Кибернетический подход к эволюции. М.; 2000.
6. Troll C. Luftbildplan und ökologische Bodenforschung (Aerial photography and ecological studies of the earth). Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde. Berlin, 1939.
7. Monica G. Turner, Robert H. Gardner, Robert V. O'Neill. Pattern and process: landscape ecology in theory and practice. Springer-Verlag ; N. Y., 2001.
8. Кошкарев А. В. Геопортал как инструмент управления пространственными данными и геосервисами // Пространственные данные. 2008. № 2.
9. Лоцинин А. А., Михайлов С. И., Зегебарт Д. Г. «ТРИА-ТЕРРА» – система управления данными о пространственных объектах // Земля из космоса. Вып. 3. 2009.