

Е.Ю. Колбовский, М.В. Пасхина, П.Н. Брагин**Рельеф в геоинформационных системах: от традиционных карт к моделям ГИС**

Моделирование рельефа в рамках геоинформационных систем – базовая процедура, предшествующая тематическому (в том числе ландшафтному) картографированию. В статье характеризуются слабо освещенные в литературе содержательные аспекты перехода от бумажных картографических источников к векторным электронным картам и целеориентированным моделям геоинформационных систем с использованием методов компьютерного семантического анализа и дешифровки данных дистанционного зондирования.

Ключевые слова: рельеф, моделирование рельефа, целеориентированные геоинформационные системы, картографическая информационная модель, картографические классификаторы, данные дистанционного зондирования.

Е.Ю. Kolbovsky, M.V. Paskhina, P.N. Bragin**Relief in Geoinformation Systems: from Traditional Maps to GIS Models**

GIS-modeling of the relief is a procedure is a base procedure which precedes the thematic (including landscape) mapping. The article deals with substantial (yet poorly lighted) aspects of transition from paper cartographical sources to vector electronic maps and task-oriented models of geoinformation systems. The use of the computer semantic analysis methods and decoding data of remote sounding are characterised.

Key words: relief, relief modeling, task-oriented geoinformation systems, cartographical information model, the cartographical qualifiers, data of remote sounding.

Постановка задачи. Данная работа посвящена анализу процедуры отображения, моделирования и оценки рельефа в геоинформационных системах (ГИС) для целей ландшафтного планирования. Излагаемая ниже методика моделирования рельефа и формирования соответствующего тематического блока ГИС отрабатывалась в пределах пластовых равнин южно-таежной зоны Верхней Волги, цокольных предгорных равнин Урала (Пермский край), возвышенных плакоров лесостепи (Белгородская, Липецкая и Орловская область), низкогорий Алтайского края, среднего-рья Большого Кавказа (Ингушетия).

Анализ и оценка рельефа – традиционная геоморфологическая задача, неоднократно решавшаяся как в рамках чисто научных исследований, в процедуре геоморфологического картографирования, так и при производстве прикладных изысканий. Расчет отдельных параметров (например, крутизны склонов), фиксация харак-

теристических линий (выпуклых и вогнутых перегибов) и элементарных поверхностей, а также комплексное моделирование рельефа составляют содержание значительного объема научных и научно-практических работ, выполненных в последние годы. В фокусе данной работы – сравнительно мало освещенные в литературе аспекты моделирования рельефа средствами ГИС в процедуре ландшафтного планирования. Следует сразу оговориться – авторы предлагают четко различать понятия моделирования и визуализации рельефа. Визуализация – всего лишь одна из разновидностей моделирования рельефа, состоит в построении «объемной» (твердотельной или каркасной модели) рельефа – возможность, предлагаемая сегодня практически всеми распространенными ГИС (Mapinfo, Arcview, Bentley Map, Autodesk Autocad, Панорама и др.) [1].

Визуализация позволяет создавать так называемые «виртуальные модели местности», кото-

рые, по сути, представляют собой цифровые модели рельефа, для реалистичности «обтянутые» текстурой (растровыми картами либо снимками). Визуализация широко применяется в построении пейзажных сцен в компьютерных играх, к визуализации прибегают архитекторы и планировщики для оформления демонстрационных «подач». В последнее время визуализация рельефа и объектов городской среды широко используется в проектах «рекламы» городов и регионов, при этом предлагаются возможности «облета» территории в реальном времени. Применение виртуальных моделей – чрезвычайно эффектный прием, но не следует забывать, что это прием демонстрационный, имеющий мало общего с действительными задачами анализа рельефа.

Анализ и оценка рельефа – «сквозная» задача, решение которой в значительной степени обуславливает эффективность применения методологии ландшафтного планирования. В ландшафтах, дифференциация которых сравнительно жестко детерминирована рельефом, анализ последнего позволяет создать матрицу ландшафтных единиц (фаций, урочищ). В ландшафтах, сильно измененных человеком (например, на урбанизированных территориях), формы мезорельефа также, зачастую, являются единственной надежной основой для реконструкции природной структуры местности. Оценка параметров устойчивости морфолитогенной основы к техногенным воздействиям во многом влияет на формирование интегральных свойств емкости вмещающего ландшафтов.

Семантические сложности: переход от бумажной подосновы к векторной карте. Развернувшиеся в последние годы работы по территориальному планированию и составлению кадастров недвижимости субъектов РФ привели к переходу от бумажной картографии к цифровым картам. Необходимость актуализации первоисточников (крупномасштабных топокарт и карт ВИСХАГИ) повлекла за собой широкое исполь-

зование данных дистанционного зондирования (ДДЗ) в виде ортофотопланов соответствующего масштаба с высокой разрешающей способностью (порядка 60 см на пиксель и выше). Все это в совокупности привело к накоплению значительного массива электронных карт, предоставляющих принципиально новые возможности для геоморфологического анализа средствами геоинформационных систем [2].

Хорошо известно, что в основе топографической карты общего назначения (каковыми были карты Генерального штаба) лежит унифицированная модель земной поверхности с находящимся на ней антропогенными (в том числе техногенными) объектами. Неизбежная универсальность этой модели вытекала из самой задачи выпуска серийных топокарт на огромную страну - СССР. Однако при составлении электронных карт в рамках целеориентированных ГИС обнаружились недостаточность и некорректность традиционной модели универсальных топографических карт. Обсудим эти два качества чуть более подробно, поскольку они напрямую связаны с возможностью анализа рельефа в рамках ГИС. Недостаточность (неполнота) традиционной модели топографических карт заключается в отсутствии необходимого набора параметров, описывающих свойства реальных объектов местности – форм рельефа.

Наличный набор параметров в бумажной картографии определялся через содержание легенды карты, которые были стандартизированы посредством утвержденных ГУГК при Совете Министров СССР в 1986 г. условных знаков. Так, в «Условных знаках для топографических планов масштабов 1 : 5000, 1: 2000, 1 :1000, 1 : 500» геоморфологические объекты объединены в таблицах «Рельеф» (позиции с 329 по 365) и «Грунты и микроформы земной поверхности» (позиции с 455 по 465). Это означает, что в указанных масштабах при описании всего многообразия рельефа земной поверхности съемщики должны были

«обойтись» набором из 46 наименований и соответствующих им условных знаков, относящихся, в основном к мезоформам (таковы, например, «овраги и промоины», «русла сухие и водоройные») и микроформам рельефа (отдельно лежащие валуны, скопления камней и т.п.).

При оцифровке бумажных карт картографы столкнулись с необходимостью разработки специальных классификаторов, представляющих собой систематизированный перечень кодовых обозначений элементов и объектов местности и плана, а также признаков, характеризующих свойства этих объектов. Классификатор состоит из описания слоев, семантических характеристик и перечня объектов. Условные знаки классификатора передают форму, размеры, местоположение, а также некоторые качественные и количественные характеристики объектов местности. По характеру локализации объекты подразделяются на внесмасштабные, линейные и площадные. Внесмасштабные объекты (например, крупный валун), не выражающиеся в масштабе карты, могут быть точечными (метрическое описание представлено координатой одной точки) и векторными (метрическое описание представлено координатами двух точек, определяющих ориентирование условного знака на местности). Площадные объекты (например, карстовая воронка) – это объекты, метрическое описание которых представлено последовательностью координат точек их замкнутых контуров. Линейные объекты (например, промоины) – это объекты, метрическое описание которых представлено последовательностью координат их точек.

Геоинформационные системы (ГИС) в отличие от бумажных карт используют геореферентную модель данных, суть которой состоит в том, что информация организуется в виде так называемых «информационных слоев». В каждом таком слое объекты характеризуются одинаковыми типами семантических сведений и однотипностью вычислительных операций, выполняемых

над семантическими и геометрическими (картографическими) данными.

Разумеется, при создании цифровых карт на основе бумажных первые неизбежно наследовали семантическую структуру и содержание вторых. Дальнейшая работа с классификаторами в рамках целеориентированных ГИС позволила обнаружить различные аспекты неполноты классификаторов [2].

Первый аспект связан с универсальностью, иными словами – с внерегиональностью используемой модели земной поверхности. Понятно, что закартировать 1/6 часть суши, лежащую в нескольких природных зонах (от арктических пустынь до пустынь субтропических), осложненных к тому же еще высотной поясностью, не создавая при этом сравнительно универсальной модели земной поверхности, невозможно. Картографы избегали где только могли любой местной географической специфики, поэтому в действующих классификаторах среди многих сотен объектов мы едва ли насчитаем полтора десятка, отражающих региональную ландшафтную и геоморфологическую специфику (например, «скалы и скалистые обрывы», «ледники», «вулканы», «такры»). Однако попытки «натягивания» неких универсальных представлений об экзогенных рельефообразующих процессах (например, эрозии) на совершенно различные регионы огромной страны привели к чрезвычайно разноречивой и путанице, а в итоге – к серьезным ошибкам при оценке инженерно-геоморфологических условий территории. Так «пострадали» от универсальности картографической модели регионы возвышенного и равнинного рельефа российского Центра и Севера, многочисленные и разнообразные формы мезорельефа которых (моренные холмы, камы, звонцы, гривы и межгрядные понижения и т.д.) вообще не получили номинации на общегеографических картах. Чуть лучше ситуация в лесостепной зоне европейского юга, где формы овражно-

балочного рельефа были в процессе многовековой хозяйственной деятельности и получили этно-топонимическое отражение на картах («балка Осенняя Яружка»).

Следующий аспект связан с полнотой развертывания классификатора относительно целей создания ГИС или ее отдельных блоков. Очевидно, например, что выполнение экологического раздела в территориальном планировании областей лесостепной зоны сопряжено с детальной оценкой процессов эрозии. Для этого придется «развернуть» классификатор исходной топокарты, предлагающий стандартный перечень: «овраги, промоины, эрозионные борозды, сухие русла» до приблизительно следующего: «делли и эрозионные потяжины, промоины, верховые отвершки оврагов, боковые отвершки оврагов, овраги мелкие, овраги средние, овраги крупные, балки, суходолы».

Развертывание классификатора по сути представляет собой процесс перехода от универсальной модели, присущей топокарте, к целеориентированной или прикладной реляционной модели ГИС. Реляционная модель, в отличие от модели бумажной карты, характеризуется не только наличием набора элементов-объектов, но и установленными взаимоотношениями между ними. Развертывание классификатора должно осуществляться в ходе процедуры актуализации бумажной подосновы с помощью привлечения ДДЗ – современных крупномасштабных космоснимков. В этом единственно приемлемом варианте переход от бумажной карты к ГИС представляет собой чрезвычайно трудоемкую, но увлекательную и творческую задачу, которая позволяет:

- обнаружить новые значимые объекты природной среды (либо важные детали в строении известных объектов), не получавшие по разным причинам отображения в традиционных картографических источниках,
- закартировать, выявить и уточнить свойства и параметры таких объектов,

- открыть принципиально новые явления и феномены, процессы и тренды развития природных и природно-техногенных систем.

Реализация расширенного классификатора в проекте ГИС, безусловно, влечет за собой большую и кропотливую работу, совершаемую операторами по «подложенной» под векторную карту подоснове в виде привязанного и ортотрансформированного космоснимка. Эта работа включает:

- оцифровку «с нуля» новых объектов классификатора (например деллей и потяжин, веерно расходящихся от верхушки оврага по поверхности прилегающего плакора);
- перецифровку объектов, конфигурация которых отображена некорректно на бумажной топокарте (например, излучин наиболее мелких водотоков).

Трансформация электронной топокарты в целеориентированную модель блока «Рельеф». Однако и при условии наличия оцифрованной (и актуализированной по космоснимку) топографической карты построение модели потребует перегруппировки слоев и объектов исходной электронной подосновы в соответствии с задачами анализа. Дело в том, что разработанные новые классификаторы электронных карт имеют свою типовую структуру слоев с включенными в них объектами и атрибутами описания свойств таких объектов в табличных данных. Переход от классификатора векторной карты к модели блока «Рельеф» ГИС подразумевает реализацию четырех основных операций:

- дифференциацию объектов на вновь создаваемых слоях посредством запросов - параметрических выборок и условных SQL-запросов;
- картометрический морфодинамический анализ с выделением основных характеристических линий и элементарных поверхностей;
- актуализацию и верификацию по ДДЗ;
- полевые исследования на ключевых участках.

Иными словами, совершается как бы анализ векторных слоев топокарты с содержащимися на них объектами в соответствии с принятыми

классификаторами и последующий синтез в атрибутах и параметрах создаваемой модели. Четыре вышеперечисленные операции тесно связаны друг с другом: перерабатывая исходник с помощью выборок и запросов, мы верифицируем

вновь полученные объекты по привязанному крупномасштабному космоснимку, при этом в ряде случаев окончательный вывод может быть сделан только в результате полевого наблюдения.

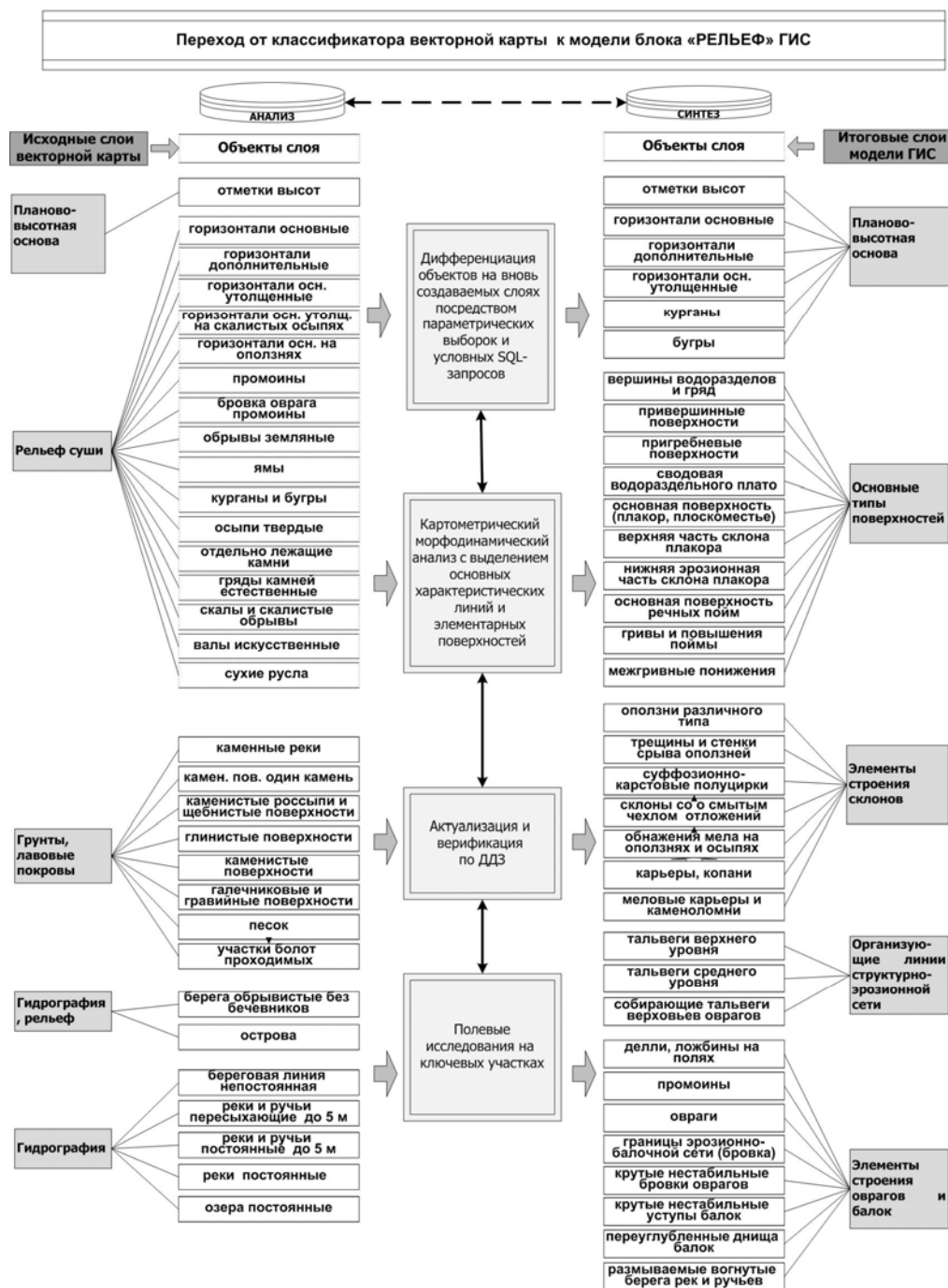


Рис. 1. Процедура построения модели рельефа в ГИС посредством осуществления семантических выборок, SQL-запросов, дешифровки ДДЗ, картометрии и полевых изысканий

Наличие электронной топографической карты позволяет проводить дифференциацию объектов

на вновь создаваемых слоях посредством запросов - параметрических выборок и условных SQL-

запросов. Параметрические выборки - это извлечение из множества объектов с необходимыми параметрами с использованием выражений «больше», «меньше» или в интервале «от и до». Чтобы выборка «сработала», необходимо, чтобы некие свойства объекта были отражены (либо такая возможность должна существовать потенциально) в значениях конкретных атрибутов. Такими свойствами может быть размер, протяженность, высота. Очевидно, что любой объект, отражаемый полигоном, может иметь площадь, любая линия – длину. В простейшем случае в структуре таблицы, относящейся к конкретному слою, искомый атрибут уже имеется и обозначается в конкретной колонке как SEM(семантика) 4 или SEM 9.

Например, объект «обрывы земляные» в слое «рельеф суши» может содержать семантику с указанием относительной высоты обрыва (3 м, 4м, 5 м, 15 м). Допустим, анализ карты и космоснимка убедил нас в необходимости дифференциации этих объектов, поскольку в ряде случаев они относятся к бровке пойменного берега реки, других случаях – к обрыву высокой надпойменной террасы, наконец, возможен вариант, когда земляной уступ отражает высоту бровки оврага или балки. Предположим, нам известно (благодаря полевым изысканиям), что средняя высота половодий не превышает 4-5 м, следовательно, более высокие уступы явно не относятся к бровке поймы. Здесь и срабатывает простейший запрос – выборка с условием «SEM9 <= «4»». В

результате операции будут выбраны все фрагменты земляных обрывов высотой менее 5 м и нам останется только перенести их на предварительно созданный специальный слой. Условная выборка из множества объектов – простой инструмент, позволяющий ранжировать и группировать относительно задач ГИС объекты внутри любого множества за считанные секунды. (Заметим, что «склеивание» необходимых отрезков уступов вручную отняло бы у нас долгие часы).

Продолжая наш пример с земляными обрывами, мы можем предположить, что вместе с бровками пойм в наше избранное множество попали, скажем, уступы боковых склонов оврагов. Очевидно, что уступ поймы всегда открывается на русло реки, а уступ оврага – в лучшем случае на ручей или другой временный водоток. В таком случае используется более сложный и мощный инструмент - SQL-запрос, позволяющий составлять логические условия, определяющее, например, пространственное взаимоотношение объектов (соседство, нахождение одного внутри другого, совпадение в пространстве).

Построение модели рельефа напрямую связано с актуализацией и верификацией по космоснимкам – данным дистанционного зондирования (ДДЗ). Приведем некоторые примеры объектов, обозначенных на исходниках в соответствии с классификаторами электронных карт и выявленных с помощью ДДЗ их реальных инвариантов для территории лесостепи.

Таблица 1

Дифференциация исходных данных с помощью ГИС-анализа и дешифровки ДДЗ в процессе разработки модели (фрагмент)

Объект на карте	Атрибуты семантики	Реальные объекты, обнаруженные по ДДЗ и включенные в ГИС-модель	Добавленные атрибуты семантики	Специфика запроса или выборки	Дешифровочные признаки	Значение в модели «рельеф»
промоины	глубина, ширина	промоины на склонах водоразделов,	длина, площадь	SQL-запрос на локализации в пределах склона водораздела;	темные (по растительности) короткие линеаменты на склонах водораздела	оценка степени развития ранних стадий эрозии
		промоины на крутых фасах оврагов и балок	длина, площадь	SQL-запрос на локализации в пределах оврагов и балок;	короткие линеаменты на фасах крупных эрозионных форм, на меловых склонах – осветленные, заметны по «угловым» заливам линии уступа плакора	оценка активизации боковой эрозии на склонах оврагов и балок
		овраги небольшие	длина, площадь	SQL-запрос на совмещение (соседство) с оврагами	верхние звенья овражно-балочной сети - «истоки»	детализация эрозионных форм
		эрозионные желоба вторичного донного вреза на	длина, площадь	SQL-запрос на локализацию в пределах ба-	темные (по растительности) желоба на дне крупных оврагов и балок, иногда с язы-	обнаружение новых повторных циклов

		дне балок		лок	ковидными набросами песков или осветленным обнаженным чехлом известняков	эрозии
обрывы земляные	высота относительная	уступ (фестончатый край) суффузионного полуцирка	длина, площадь	SQL-запрос на совмещение (соседство) с горизонталями на оползнях	фестончатый изгиб в линии уступа плакора к нижележащему склону	фиксация критических нестабильных уступов
		верхний раскрывшийся шов стенки срыва оползня	длина	SQL-запрос на совмещение (соседство) с горизонталями на оползнях	«залив» в линии уступа плакора, примыкающий к нижележащему склону	обнаружение активно перемещающихся оползневых тел
		вогнутые размываемые пойменные бровки рек и ручьев	длина, высота отн.	SQL-запрос на соседство с руслами рек	темные линеаменты вдоль рек, совпадающие с плановыми деформациями русел	оценка активности плановых перемещений русла
		нестабильные вогнутые уступы речных террас	длина, высота отн.	SQL-запрос на локализацию в пределах террасы	высокие уступы «заливов» вдоль рек	фиксация нестабильных террасовых уступов
		границы эрозионной овражно-балочной сети	длина		единые непрерывная линии уступа между распаханными водоразделами (полями плакора) и склонами овражно-балочной сети	фиксация общих границ эрозионной сети
		каменоломни	площадь		светлые выходы известняковых пород на выпуклых склонах	фиксация антропогенных исторических форм природопользования

Дешифровка космоснимков предполагает актуализацию - оцифровку заново множества мелких форм, которые не попали на электронную карту с бумажного источника. Однако этот трудоемкий процесс не напрасен: привлечение ДДЗ открывает и новые перспективы. Например, один из тезисов «эрозионщиков» постулирует постоянное развитие овражно-балочной сети в регионах интенсивной распашки. Осуществленное авторами «наложение» фрагмента космоснимка части Орловской и Курской губерний на карты конца девятнадцатого - начала двадцатого столетия позволило обнаружить удивительную стабильность основных элементов овражно-балочной сети за последние 100 лет! Оказалось, что изменения, вызванные распашкой «аэродромных» полей, проявляются, прежде всего, в соотношении разных видов эрозии, что приводит не столько к удлинению сети, сколько к развитию мелких боковых форм (промоин и оврагов), появлению вторичного донного вреза у крупнейших балок, формированию суффузионно-карстовых полуцирков на наиболее нагруженных современной селитебной застройкой склонах – феномены, «открытые» по космоснимкам... Анализ космоснимков позволил выявить и типич-

зировать звенья овражно-балочной сети с выделением нового и весьма интересного нижнего звена в виде «суходола», крупной плоской балки с разложистыми склонами и отсутствующим водотоком. Исследование весенних снимков помогло обнаружить слабо изученные и практически незаметные в рельефе самые верхние звенья эрозионной сети, так называемые делли - длинные «потяжины», которые, как правило, находятся выше уступа водораздела, не замечаются топографами и землеустроителями, в результате чего нещадно распашиваются. Именно посредством такого скрупулезного анализа происходит реальное «обогащение» классификаторов для целеориентированных ГИС [3].

Таким образом построение блока «Рельеф» в геоинформационных системах, предназначенных для ландшафтного планирования, представляет собой отдельную и весьма трудоемкую и содержательную задачу, решаемую с привлечением как средств самой ГИС, так и с помощью дешифровки космических снимков. При этом преодолевается изначальная информационная неполнота традиционных топографических карт и создаваемых на их основе карт электронных, осуществляется регионализация модели и созда-

ется надежная основа для эколого-географических оценок (устойчивости геосреды, емкости ландшафта) и последующего планирования.

Библиографический список

1. Li. Z., Zhu Q., Gold C. Digital terrain modeling: principles and methodology [Текст] / Zhilin Li, Qing Zhu, Christopher Gold. - Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC PRESS, 2010. - 318 p.
2. Колбовский, Е.Ю., Брагин, П.Н., Пасхина, М.В. ГИС, ИСОГД и территориальное планирование российской провинции: непростой путь навстречу, или Особенности национального планирования [Текст] / Е.Ю.Колбовский, П.Н.Брагин, М.В.Пасхина // Территория и планирование. – 2010. - № 3 (27) - С.42-54.
3. Колбовский, Е.Ю., Брагин, П.Н. Применение данных дистанционного зондирования Земли для территориального планирования [Текст] / Е.Ю. Колбовский, П.Н. Брагин // Геоматика. – 2009. - №2(3). – С. 83-89.