

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ¹

Важную часть современного инструментария географических исследований составляют геоинформационные технологии, обслуживающие задачи создания и использования географических информационных систем (геоинформационных систем, ГИС). Способность ГИС моделировать географические объекты и процессы порознь и в комплексе, в статике и динамике, на разных территориальных уровнях, в разных масштабах и для разных целей позволяет считать их универсальным средством анализа и синтеза. Среди множества решаемых с их помощью научных и прикладных задач можно выделить геоморфологические приложения, основанные на анализе рельефообразующих факторов или, напротив, рассматривающие рельеф как фактор среды. Зачастую такой анализ предполагает цифровое моделирование рельефа и обработку полученных цифровых моделей, картографическую визуализацию результатов моделирования и анализа. Применительно к задачам эколого-геоморфологического картографирования [1] средствами ГИС может быть решена задача оценки эколого-геоморфологических ситуаций как "совокупности геоморфологических условий, возникающих вследствие взаимодействия природных и техногенных процессов и определяющих степень благоприятности территории для жизни населения" [2].

Несмотря на большой опыт использования геоинформационных технологий в геоэкологических и, в частности, эколого-геоморфологических исследованиях, на пути их массового внедрения в отечественные научно-исследовательские разработки существуют немалые проблемы, связанные с низким уровнем оснащенности географической науки аппаратно-программными средствами и недостатками в ее информационном обеспечении. Например, при наличии достаточно развитых функций создания и использования цифровых моделей рельефа (ЦМР) в программных средствах ГИС – темы первой части настоящей статьи – их широкое использование невозможно, поскольку общедоступные ЦМР для территории России отсутствуют, а их массовое изготовление академическими потребителями для собственных нужд вряд ли возможно и явно неразумно. Ограниченная технологическая среда зачастую вынуждает исследователя ограничиваться методическими примерами.

Один из возможных путей выхода из этой ситуации иллюстрирует вторая часть настоящей работы: использование общедоступных средств электронного картографирования и готовых цифровых карт-основ, приоритет содержательных и пространственно-аналитических аспектов использования ГИС перед технологическими, переход к среде Интернета.

Рельеф как объект геомоделирования и пространственного анализа

Цифровое моделирование рельефа включает две группы операций, первая из которых обслуживает решение задач создания модели рельефа, вторая – ее использование.

Под цифровой моделью рельефа (ЦМР) принято понимать средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей, или рельефов)

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 99-0564820).

Содержание статьи отражает результаты научных работ, выполненных в 1999–2001 гг. по проектам подпрограммы "Безопасность" ФЦНТП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники гражданского назначения" и проекту "Региональные аспекты развития России в условиях глобальных изменений природной среды и климата".

в виде трехмерных данных, образующих множество высотных отметок (отметок глубин) и иных значений аппликат (координаты Z) в узлах регулярной или нерегулярной сети или совокупность записей горизонталей (изогипс, изобат) или иных изолиний [3].

Модули создания и обработки ЦМР в составе универсальных полнофункциональных инструментальных программных средств ГИС поддерживают следующие группы функций: 1) создание ЦМР в рамках одной из моделей пространственных данных; 2) расчет "элементарных" морфометрических показателей: углов наклона (уклонов) и экспозиций склонов; 3) оценка формы склонов через кривизну их поперечного и продольного сечений; 4) подсчет положительных и отрицательных объемов относительно заданного горизонтального уровня в пределах границ участка; 5) построение профилей поперечного сечения рельефа по направлению прямой или ломаной линии; 6) оценка зон видимости или невидимости с заданной точки (точек) обзора; 7) трехмерная визуализация рельефа в форме блок-диаграмм и других объемных каркасных (нитяных), полутоновых (светотеневых) и фотореалистичных (текстурированных) изображений, в том числе виртуально-реальностных, например, путем драпировки поверхности рельефа цифровыми космо- или аэрофотоизображениями; 8) генерация сети тальвегов и водоразделов (сепаратрисс) и других особых точек и линий рельефа, нарушающих его "гладкость"; 9) построение изолиний по множеству отметок высот (например, генерация горизонталей); 10) интерполяция значений высот, другие трансформации исходной модели (например, осреднение, сглаживание, генерализация, фильтрация и т.п.).

Несмотря на кажущуюся простоту моделируемого объекта – рельефа, хорошо, на первый взгляд, описываемого математически как поверхность или поле, практика предлагает множество способов и технологий создания и обработки ЦМР, обладающих разной степенью эффективности.

Одна из причин этого – множественность типов источников исходных данных о рельефе, вызванная, в свою очередь, многообразием способов получения и организации первичных измерительных сведений и их производных. Среди них геологические работы и топографическая съемка местности, стереофотограмметрическая обработка фототеодолитных, аэро- и космических снимков, альтиметрическая съемка (рельеф суши), промерные работы и эхолотирование подводного рельефа акваторий океанов и внутренних водоемов, радиолокационная съемка рельефа ледникового ложа и небесных тел. Разнообразны и вторичные источники сведений о рельефе, например топографические карты и планы.

Пространственная организация этих данных также различна. Одна из наиболее полных классификаций схем организации данных для ЦМР предложена О.Р. Мусиным [4] в рамках подхода к моделированию рельефа как поля и включает четыре типа исходных множеств: 1) нерегулярно расположенных точек; 2) нерегулярно расположенных точек, положение которых связано со структурой рельефа (структурные линии поля); 3) точек, регулярно расположенных вдоль линий, слабо связанных со структурой поля (на изолиниях или профилях, например галсы попутного промера); 4) регулярно расположенных точек (прямоугольные, треугольные или шестиугольные регулярные сети).

С использованием тех или иных методов и операций эти данные приводятся к одному из двух наиболее широко распространенных представлений пространственных данных в ГИС: растровому (модели) и модели TIN.

Растровая модель – разбиение изображения на далее неделимые элементы-пиксели – применительно к ЦМР обозначает матрицу высот: регулярную (обычно квадратную) сеть высотных отметок в ее узлах. Именно таковы ЦМР, создаваемые национальными картографическими службами многих стран, например Национальной ЦМР США в формате DEM.

Суть модели TIN в ее наименовании – "Нерегулярная треугольная сеть" (в английском оригинале – Triangulated Irregular Network). В своем пространственном выра-

жении это сеть неравносторонних треугольников – элементов триангуляции Делоне² – с высотными отметками в ее узлах, что позволяет представить моделируемую поверхность как многогранную. Модель TIN поддерживается многими мощными универсальными программными средствами ГИС, модулями обработки и создания ЦМР в их составе. Таков, к примеру, модуль *pcTIN* в программных средствах ГИС клона *ARC/INFO* (*ESRI Inc.*, США). Однако его использование "в чистом виде", т.е. применительно к слою оцифрованных горизонталей цифровых карт, массовое производство которых налажено большинством национальных топографо-картографических служб, вскрыло его существенные недостатки. Основной из них – "эффект террас", выражающийся в появлении морфологических артефактов – плоских участков в заведомо невозможной геоморфологической ситуации (например, по линии днища V-образных тальвегов). Причина – в малости расстояний между точками цифровой записи горизонталей в сравнении с расстояниями между самими горизонталями, что характерно для большинства типов рельефа в их картографическом отображении [5].

Другой тип артефактов, сопровождающих процесс создания ЦМР, – образование большого числа (до нескольких тысяч на один номенклатурный лист топографической карты) паразитных локальных понижений ("синков") при использовании модуля *TOPOGRID* в составе программного средства ГИС *ARC/INFO* старших версий [6]. Авторы, использовавшие его для создания и обработки ЦМР Украины, отмечают, что "использование стандартных приемов "борьбы" с синками в виде их заливки до минимальной высоты в ограничивающем синк водоразделе приводит к возникновению большого количества плоских участков значительной площади, что зачастую превращает речную долину в каскад плоских ступеней" (с. 14).

Появление таких морфологических артефактов не только искажает морфологию и морфометрию моделируемого рельефа (что важно при математическом анализе рельефа в научно-исследовательском использовании ЦМР), но и снижает точность и качество при ее использовании практически в любых целях.

Один из способов значительного улучшения качества и морфологического правдоподобия ЦМР состоит в расширении модели TIN путем ее структурирования – введения в нее сети тальвегов, водоразделов и линий разрывов (бровок, уступов террас и т.п.). В алгоритмическом смысле это означает использование "управляемой триангуляции" вместо классической триангуляции Делоне, как предлагает В.М. Огарков, говоря о "настоящих моделях рельефа в ГИС" [7]. Возможны и другие подходы, но суть их одна – структуризация (точнее "оструктурирование") ЦМР.

Наиболее кардинально эта проблема решена в новом понимании "структурно-цифровой модели рельефа" (СЦМР) И.Г. Черваневым, рассматривающем ее как совокупность "двух точечных множеств: базисного (отвечающего тальвегам) и вершинного (отвечающего водоразделам) типов" [8, с. 20], т.е. системы инвариантных линий рельефа разного порядка, его "скелета". Такая модель, называемая также "структурно-лингвистической моделью рельефа" не предполагает наличия высотных отметок вне сетей инвариантных линий и тем отличается от иных СЦМР. В рамках этой модели структура рельефа определяется следующими составляющими:

- "каркасом", образованным сетями инвариантных линий;
- вертикальной составляющей структуры или порядками рельефа, которые образуют упорядоченный набор структурных уровней;
- горизонтальной составляющей, выражаемой как пространственное сочетание на реальном рельефе элементов разного порядка.

В качестве "каркаса" рассматриваются три типа линий: тальвегов, водоразделов и перегибов склонов. Если анализ вертикальной и горизонтальной составляющих структуры необходим для изучения генезиса и развития рельефа, то каркас рельефа,

² Триангуляция Делоне (известного советского математика Б.Н. Делоне) – треугольная полигональная сеть, образуемая на множестве точечных объектов путем их соединения непересекающимися линиями; граф, двойственный диаграмме Вороного [3].

отображающий основные особенности земной поверхности, представляет выгодные возможности для формализации описания.

Можно предполагать, что последний из типов СЦМР исчерпывает возможности улучшения достоверности и точности ЦМР на некотором множестве исходных данных, обеспечивая к тому же расширение возможности ее анализа. На основе такого подхода создан лучший из известных на период 1985–1995 гг. программных продуктов для создания и обработки ЦМР "Рельеф-Процессор" Б.Н. Воробьева.

Дальнейшее развитие цифрового моделирования рельефа связывается с новыми трехмерными моделями пространственных данных, известными пока лишь в экспериментах и немногих реализациях в коммерческих программных средствах ГИС. Эти модели основаны на трехмерных расширениях "планиметрических" двумерных моделей, часть из которых проанализирована выше. К ним принадлежат модель объемных пикселей – "вокселей" (трехмерное расширение растровой модели данных) и трехмерное расширение модели TIN – тетраэдрическая модель. Оба типа "истинно трехмерных" моделей способны описывать не только поверхности, но и тела, заимствуя алгоритмы так называемого "твердотельного моделирования" в компьютерной графике. Известны примеры их использования в геологии, геофизике, маркшейдерии как инструмента "геометризации недр".

Проиллюстрируем основные этапы создания и функциональные возможности обработки ЦМР, имея в виду их возможные геоморфологические приложения.

Характерный пример программ создания ЦМР в национальном масштабе – ЦМР Дании. Первая цифровая модель рельефа страны была создана в 1985 г. для решения задачи оптимального размещения трансляторов сети мобильной связи, представляя собой массив высотных отметок в узлах регулярной сети 50×50 м, полученных путем цифрования горизонталей топографической карты м-ба 1 : 50 000 с сечением 5 м. Несколько позже она получила официальный статус национальной ЦМР D50 и использовалась многими организациями в разнообразных приложениях, например для построения модели смыва с сельскохозяйственных угодий и животноводческих предприятий фосфорорганических соединений в интересах оценки качества водной среды. С учетом того, что разрешение этой модели не позволяет отобразить типичные для территории Дании мелкие положительные и отрицательные формы рельефа моренного и флювиогляциального происхождения и недостаточно для решения многих инженерно-исследовательских и природоохранных задач, а также наличия множества ошибок вследствие отсутствия механизма контроля ее качества, Кадастрово-топографической службой Дании принято решение о создании новой ЦМР, которая будет строиться на основе цифровой карты м-ба 1 : 25 000 с сечением 2.5 м с привлечением аэрофотосъемочных материалов для уточнения модели на отдельных участках и оценки ее интегральной точности [9]. Для существенного повышения точности при создании новой версии ЦМР с разрешением 25×25 м оцифровываются не только горизонталы, но также береговая линия внутренних водоемов, водотоки, дороги, высотные отметки отдельных объектов, реализуя тем самым структурный подход к ее построению.

Обратим внимание на то, что разработчики ЦМР предусматривают этап оценки качества, без наличия которой ее полноценное использование невозможно. Важнейший показатель ее качества – точность. Детальные исследования, выполненные на двух тестовых участках с различной амплитудой и типом рельефа, позволили оценить предполагаемую точность ЦМР с учетом стандартов качества цифровых данных CEN/TC 287 и ISO/TC 211 (таблица).

Среднеквадратичная погрешность модели составит 2–2.5 м для 3% территории страны, 1.5–2 м для 16%, 1–1.5 для 60%, менее 1 м для 20%; для 1% территории точность не определена из-за отсутствия статистически надежных оценок. Результаты интегральной оценки качества модели и районирование территории Дании по ее точностным характеристикам образуют основу для более эффективного планирования использования ЦМР; в их числе три группы возможных приложений: телекоммуникационные (оптимизация сетей радиовещания и средств мобильной связи), инженерно-

Результаты оценки точности ЦМР Дании (разрешение 25 м; сечение рельефа на исходных картах 5 и 2.5 м) на тестовых участках Рибе (Юж. Ютландия) и Хольбек (Зап. Зеландия) [9]

Тестовый участок	Источник данных для ЦМР	Средняя квадратическая погрешность, м
Рибе	Горизонтالي с сечением 5 м	1.5
	Горизонтали с сечением 5 м + дорожная сеть	1.4
	Горизонтали с сечением 5 м + дорожная сеть + гидрографическая сеть	1.2
	Горизонтали с сечением 2.5 м	1.1
Хольбек	Горизонтали с сечением 5 м	2.0
	Горизонтали с сечением 5 м + дорожная сеть	1.9
	Горизонтали с сечением 5 м + дорожная сеть + гидрографическая сеть	1.9
	Горизонтали с сечением 2.5 м	1.5

изыскательские (проектирование трубопроводов, авто- и железнодорожных магистралей, городской застройки) и природоохранные (моделирование поверхностного стока и механизма миграции загрязнений).

Использование ЦМР предполагает расчет разнообразных "частных характеристик" рельефа, под которыми понимаются углы наклона, экспозиция, характеристики форм склонов, производные от функции высот. В первую очередь появились алгоритмы расчета углов наклона и экспозиции, которые параллельно и независимо разрабатывались в самых разнообразных целях, вошли в инструментарий практически всех программных средств ГИС, использовались для решения множества задач. Один из них, к примеру, был предложен еще в конце 70-х гг. [10].

Классический пример решения задачи, предполагающей расчет углов наклона и экспозиции, – оценка эрозионной опасности, которая рассматривается как функция набора геолого-геоморфологических, почвенных и климатических параметров, включая морфометрические (углы наклона и экспозиция), а также характеристики использования земель. В качестве иллюстрации этого подхода можно упомянуть работу по моделированию почвенной эрозии, выполненную на Географическом факультете Университета им. Т. Масарика в Брно (Чехия) и основанную на использовании набора цифровых карт (использования земель, геологической и почвенной) и ЦМР в среде программного средства ГИС MGE (Modular GIS Environment) компании Intergraph Corp. (США), позволившего реализовать одну из эрозионных моделей USLE (Universal soil loss equation) [11].

Другой пример – проект экологической оценки территории Новосибирского Академгородка средствами ГИС, выполненный ОИГТМ СО РАН при технологической поддержке Новосибирского регионального центра геоинформационных технологий СО РАН с использованием программных средств ГИС EASE/PACE, ARC/INFO, ArcView 3.0A (с расширением Spatial Analyst), которые позволили получить производные слои и карты углов наклона, экспозиций и направлений стока и использовать их для оценки направлений поверхностного стока локальных загрязнений [12]. В итоге комплексный пространственный анализ данных привел к заключению, что изначальная планировка Академгородка представляла собой экологически продуманный проект, сочетающий жилую застройку и научно-исследовательский комплекс, эффективно встроенные в рельеф в ландшафтное окружение.

В продолжение анализа геометрических свойств окрестности точки на заданной криволинейной поверхности, соответствующей элементарному склону, можно оценить его форму. Пример расчета формы склонов в среде ГИС, основанного на типологии элементарных форм по критерию их выпуклости/вогнутости, приводит Р. Дикау [13] в рамках предложенной им "цифровой геоморфологической модели рельефа", включающей не только собственно ЦМР, но и процедуры ее обработки и расчетные

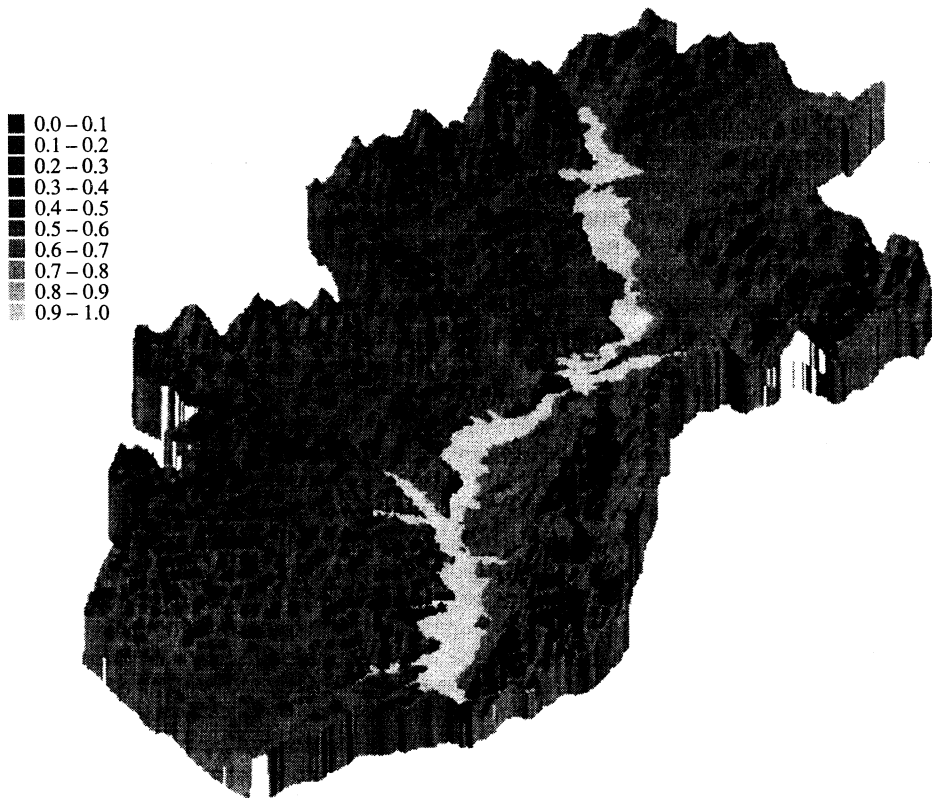


Рис. 1

результаты в форме набора 30 морфометрических характеристик рельефа. Очевидным продолжением этой линии "элементаризации земной поверхности" следует считать систематику морфологических элементов (ограниченных морфоизографами элементарных поверхностей А.Н. Ласточкина [14], каждый из которых потенциально может быть снабжен не только морфологическими, но и морфотектоническими, литодинамическими и экологическими характеристиками.

Функция экстракции из ЦМР структурных линий рельефа – линий тальвегов и водоразделов (в более широком смысле применительно не только к рельефу суши, но и к морскому дну – базисных и вершинных линий, по Черваневу; гребневых и килевых линий, по Ласточкину), объединяемых математическим понятием сепаратрисс, – может применяться для разных целей, например для построения структурной ЦМР, дальнейшего морфометрического и картометрического анализа полученных сетей тальвегов и водораздельных линий, выделения границ водосборных бассейнов разного порядка. Пример решения последней из задач в среде программного средства ГИС ARC/INFO с использованием модели TIN приводит Й. Шаллер [15] в исследовании возможностей ГИС в моделировании экосистем высокогорий на тестовом участке Альпийского национального парка Берхтесгаден в Германии, в основу которого положена балансовая модель элементарного водосбора.

Автоматизация светотеневой отмытки рельефа как способа, наилучшим образом отражающего его пластику на картах, – одна из прикладных задач, поставленных и решенных уже в первых экспериментах по обработке ЦМР в 60-х годах, в условиях использования современных программных средств ГИС стала вполне рутинной процедурой. В качестве примера можно привести цифровую карту Европейского союза, соответствующую детальности карты м-ба 1 : 20 000 000 и предназначенную для

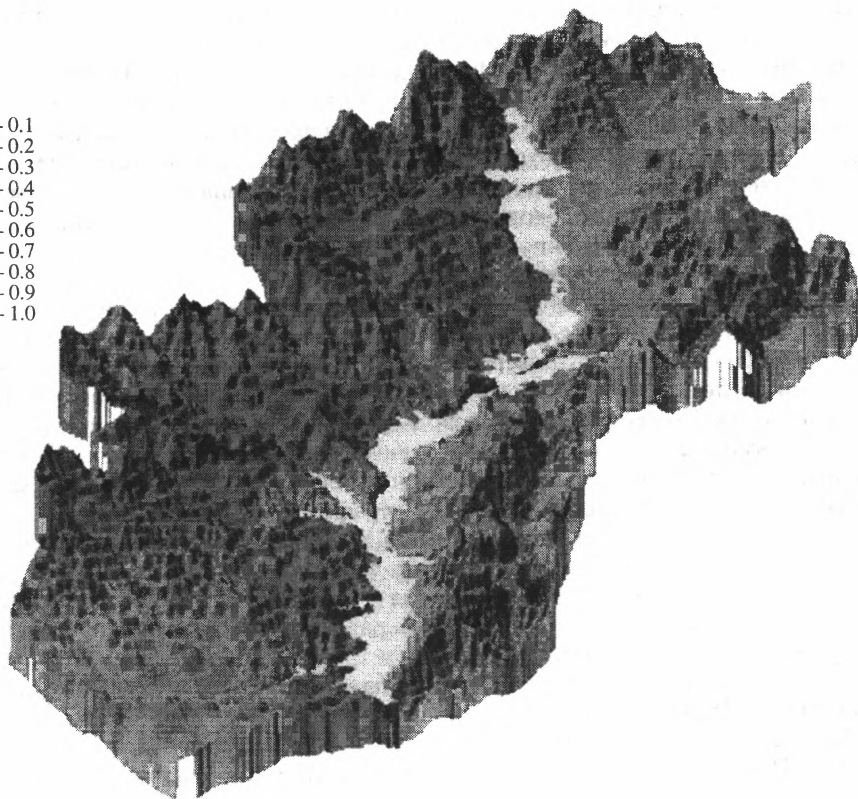
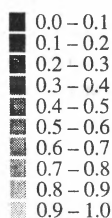


Рис. 1

результаты в форме набора 30 морфометрических характеристик рельефа. Очевидным продолжением этой линии "элементаризации земной поверхности" следует считать систематику морфологических элементов (ограниченных морфоизографами элементарных поверхностей А.Н. Ласточкина [14], каждый из которых потенциально может быть снабжен не только морфологическими, но и морфотектоническими, литодинамическими и экологическими характеристиками.

Функция экстракции из ЦМР структурных линий рельефа – линий тальвегов и водоразделов (в более широком смысле применительно не только к рельефу суши, но и к морскому дну – базисных и вершинных линий, по Черваневу; гребневых и килевых линий, по Ласточкину), объединяемых математическим понятием сепаратрисс, – может применяться для разных целей, например для построения структурной ЦМР, дальнейшего морфометрического и картометрического анализа полученных сетей тальвегов и водораздельных линий, выделения границ водосборных бассейнов разного порядка. Пример решения последней из задач в среде программного средства ГИС ARC/INFO с использованием модели TIN приводит Й. Шаллер [15] в исследовании возможностей ГИС в моделировании экосистем высокогорий на тестовом участке Альпийского национального парка Берхтесгаден в Германии, в основу которого положена балансовая модель элементарного водосбора.

Автоматизация светотеневой отмычки рельефа как способа, наилучшим образом отражающего его пластику на картах, – одна из прикладных задач, поставленных и решенных уже в первых экспериментах по обработке ЦМР в 60-х годах, в условиях использования современных программных средств ГИС стала вполне рутинной процедурой. В качестве примера можно привести цифровую карту Европейского союза, соответствующую детальности карты м-ба 1 : 20 000 000 и предназначенную для

мультимедийных приложений в Интернете [16]. Слой отмывки рельефа этой карты создан на основе цифровой модели рельефа Земли GTOPO30.

Трехмерное представление рельефа в виде светотеневого или нитяного (каркасного) изображения (блок-диаграммы) – еще одна из широко распространенных функций обработки ЦМР. Рисунок 1 иллюстрирует пример построения такого изображения для тестового участка района строительства Рогунской ГЭС (Таджикистан) в рамках работы по созданию и использованию его ЦМР [17], включавшей построение модели TIN на множестве высотных отметок в цифровых записях горизонталей, грубую трехмерную визуализацию полученной многогранной поверхности, светотеневую отмывку рельефа, расчет и построение карт углов наклона и экспозиций.

В сочетании с "драпировкой" цифровым изображением местности трехмерная (точнее, 2.5-мерная) визуализация рельефа способна дать ее высокореалистичное объемное изображение с высоты "птичьего полета". Динамическая серия таких изображений, имитирующая полет летательного аппарата, принадлежит к классу виртуально-реальностных изображений, широко используемых в оборонных приложениях при обучении авиаэкипажей. Технология виртуальной реальности не принадлежит пока к числу штатных функций обработки ЦМР коммерческих программных средств ГИС, развиваясь в рамках технологий трехмерной графики и анимации.

Использование "истинных" трехмерных ЦМР может быть проиллюстрировано на примере работы по оценке влияния опасных экзогенных процессов на побережье о-ва Амеланд в Нидерландах путем вычисления объемов грунта и их изменений во времени, основанная на создании ЦМР с трехмерными регулярными ячейками ("вокселями") в рамках тетраэдрической, кубической и триангуляционно-призматической моделей. Работа выполнена с использованием модуля TIN ГИС ARC/INFO 6.1.1 и версии 3.1 пакета DMS/SPM (Desktop Mapping System/Softcopy Photo Mapper) фирмы R-WEL, Inc., допускающего стереонаблюдение и интерактивный режим обработки изображения. Исходными данными для построения ЦМР и ее обработки служили топографические карты м-бов 1 : 5000 – 1 : 25 000, батиметрические карты м-ба 1 : 2000, динамические серии аэросъемочных данных м-бов 1 : 5000 – 1 : 18 000 за пятилетний период, обеспечивающие среднеквадратическую точность цифрового представления рельефа 0.2–0.6 м и 0.3–1.0 – для аэросъемочных и картографических данных соответственно в условиях среднегодовых изменений рельефа прибрежных уступов и дюн около 1 м [18].

Примером работы методологического уровня служит проект геоморфологического анализа и оценки ЦМР, выполненный в Институте физической географии Университета Фрайбурга [19], в рамках которого разработаны алгоритмы и программы обработки ЦМР, позволяющие автоматизировать методы районирования по морфографическим и морфометрическим признакам, выполнить морфогенетическую классификацию рельефа и "встроить" их в модели аккумулятивных и эрозионных процессов, включая модификацию упомянутой выше модели почвенной эрозии USLE Уишмейера и Смита. Алгоритмы, программно реализованные авторами в пакете системного анализа рельефа SYRA (System zur Relief Analyse), основаны на расчете формы склонов и генерации сети тальвегов и водоразделов.

Электронное картографирование

Развитые функции ГИС находят разнообразное применение, включая задачи геоинформационного картографирования для эколого-геоморфологических целей. Функции создания компьютерных ("бумажных") и электронных (видеоэкранных) карт и электронных атласов, генерируемых компьютером в ходе их обработки и анализа, поддерживаются не только полнофункциональными ГИС, но и программными средствами типа картографических визуализаторов (в простейшем варианте – браузеров) и системами настольного картографирования. Привлекательность методики компьютерного и электронного картографирования связана с тем, что она доступна для широкого

круга пользователей и позволяет предложить простые, дешевые и эффективные средства регионального анализа крупных массивов геопространственных данных, не прибегая к использованию полнофункциональных ГИС.

Цифровые пространственные данные вместе со средствами их отображения могут быть организованы (и изданы) в виде электронных атласов. Они получают все более широкое распространение, обычно в виде записей на компакт-диски типа CD-ROM как альтернатива "бумажным" картографическим изданиям [20]. Преимущества электронного картографирования – в его оперативности, гибкости и многовариантности. Как показывает наш опыт, минимальный набор функций блока электронного картографирования должен обеспечивать следующие возможности: 1) строить карты с использованием большинства из существующих способов картографического изображения, включая картограммы (в том числе уточненные и в безынтервальных шкалах, картодиаграммы (в том числе структурные), значки, локализованные диаграммы; 2) агрегировать данные, используя композиции исходных единиц картографирования, двигаясь снизу вверх по иерархии любых таксономических единиц (например, исходная сеть границ субъектов Федерации может порождать сети экономических районов, федеральных округов, военных округов или любых иных сетей членения территории); 3) создавать, редактировать, обновлять атрибутивные таблицы, производить логико-арифметические и иные операции с атрибутами для расчета производных характеристик для новых сюжетов картографирования; 4) компоновать географическую основу в заданном наборе элементов из числа оцифрованных; 5) масштабировать изображение, задавать наиболее подходящие картографические проекции, менять математическую основу карты в целом; 6) изменять шкалы, благодаря чему каждый сюжет может быть раскрыт практически неограниченным числом вариантов карт. Список этот неограничен; чисто визуализационные функции по мере развития блока электронного картографирования могут дополняться пространственно-аналитическими, как функционально развиваются все визуализаторы.

Методика построения серий карт средствами ГИС может быть проиллюстрирована примером обработки набора данных о распространении ряда опасных природных геологических, инженерно-геологических, экзогенных геоморфологических и климатических процессов на территории России [21]. Данные получены из различных источников, обработаны по оригинальной методике [22] и выражены в стоимостных показателях возможных средних многолетних ущербов от опасных процессов или категориях риска как вероятности их проявления.

Анализ ущерба от опасных природных и природно-техногенных процессов, формирующихся в пределах границ субъектов Российской Федерации, – сложная задача, поскольку 1) их значения соответствуют наблюдаемому актуальному ущербу, в то время как другие оценки носят прогнозный характер (например, оценки ущерба от расчетных землетрясений в Северо-Кавказском экономическом районе); 2) ущерб от многих процессов предотвращается поэтапно, поэтому конечная оценка потерь оказывается часто заниженной; 3) до сих пор не оценивается косвенный ущерб, а в ряде случаев и ущерб от вторичных воздействий, что также снижает общую оценку ущерба; 4) нет территориального мониторинга потерь, а иногда и физических результатов самих процессов, поэтому экспертные оценки могут быть лишены достаточной фактической базы.

В основе созданной серии карт (рис. 2) лежит использование базы данных (БД) расчетных показателей оценки потенциального ущерба от опасных природных процессов для субъектов Российской Федерации, ее экономических районов и федеральных округов; среди этих процессов ураганы, смерчи, цунами, оползни, обвалы, землетрясения, лавины, сели, переработка берегов и абразия, карст, эрозия, подтопление, мерзлотные процессы, просадочность. Использована готовая цифровая карта-основа России м-ба 1 : 8 000 000, программное обеспечение ГИС *pcARC/INFO* и картографический визуализатор *ArcWiew* (ESRI INC., США).

Стоимостные показатели ущерба от эрозии использованы при создании серии карт

Среднегодовое повреждение от мерзлотных процессов



Рис. 2

Среднеголетний ущерб от мерзлотных процессов

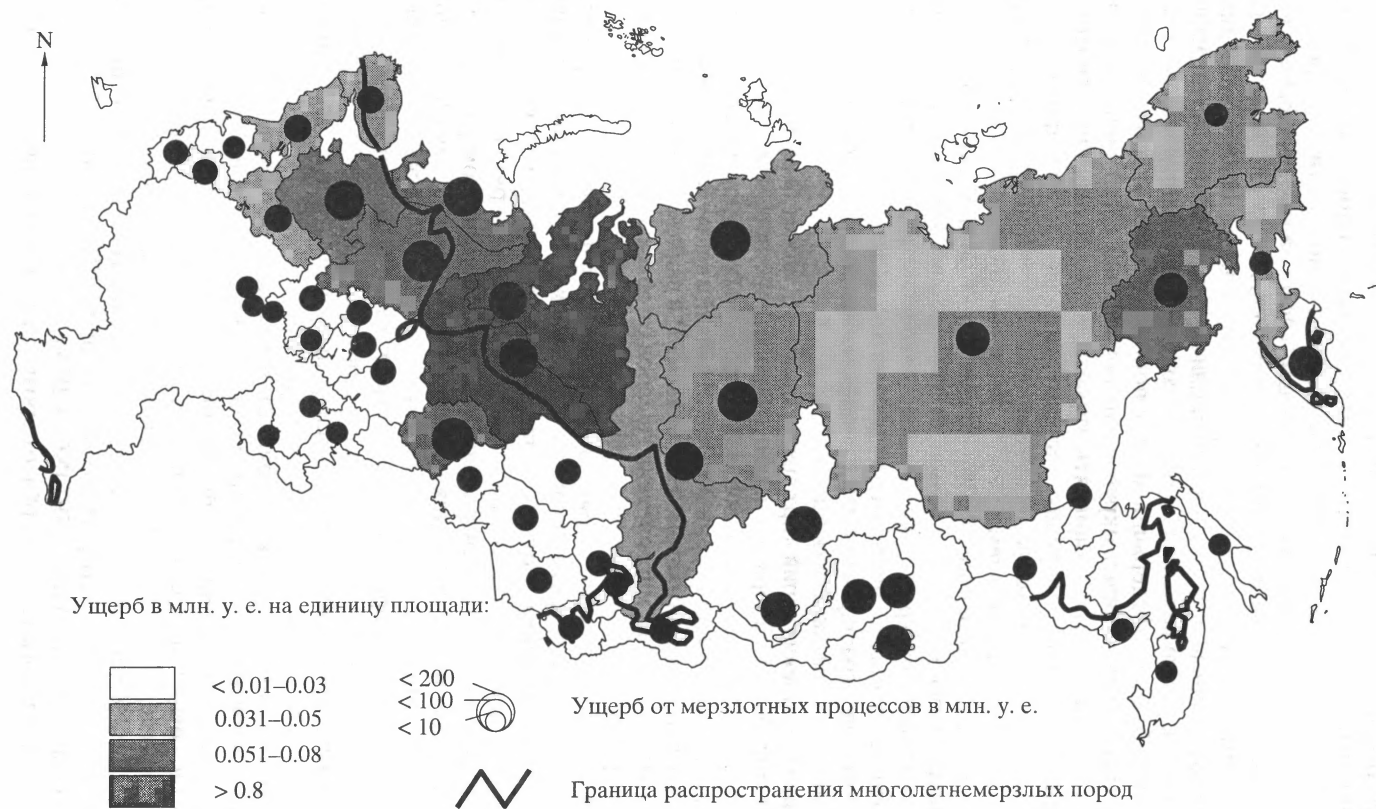


Рис. 2

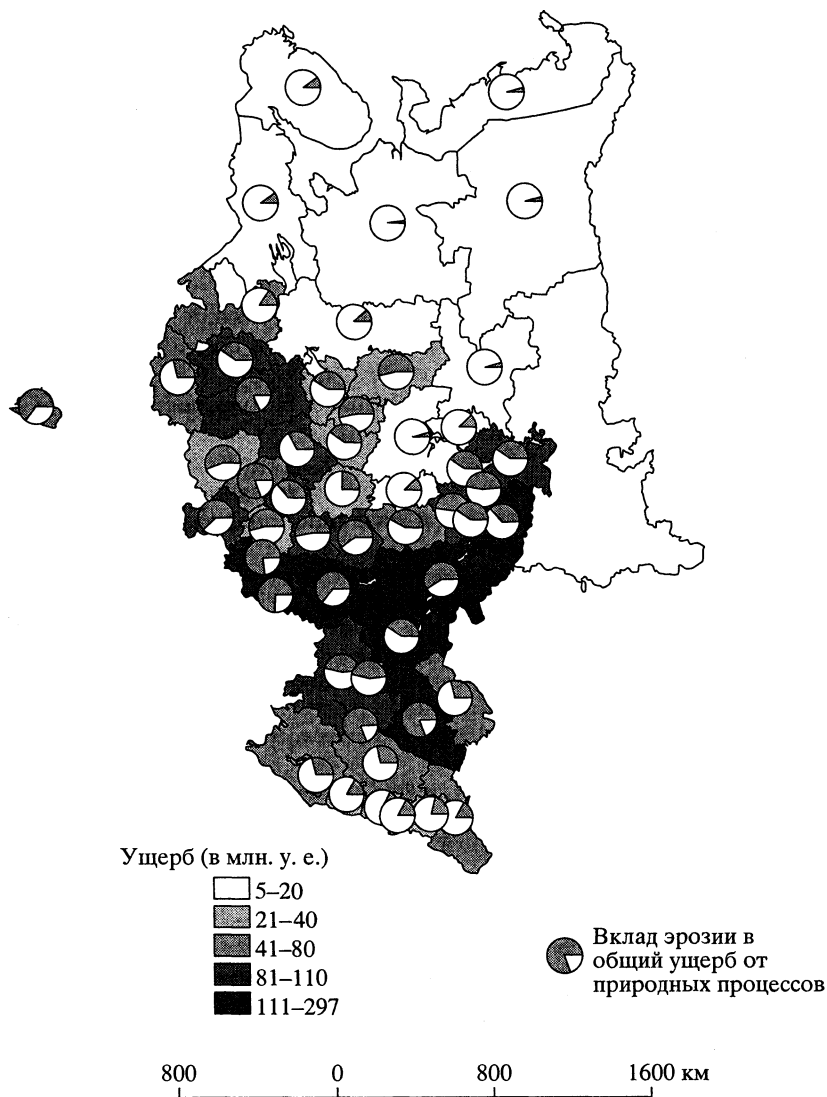


Рис. 3

оценки эрозионной опасности Европейской территории России [23] для исследования устойчивости рельефа к воздействию природных и антропогенных факторов. В основе содержания карт – результаты обработки данных БД, включающей густоту овражной сети, плотность оврагов, эрозию почв (плоскостной смыл), эрозионную опасность, дефляционную опасность, противоэрозионную устойчивость горных пород, современные движения земной коры, устойчивость рельефа к природным факторам (суммарно), сельскохозяйственную нагрузку на почвы, лесопользование, техногенную нагрузку, площади измененных почв под воздействием промышленности, транспорта, селитебной и отчасти лесохозяйственной деятельности, нарушенные земли в результате разработки месторождений полезных ископаемых, устойчивость рельефа к антропогенным факторам (суммарно), устойчивость рельефа к суммарному воздействию природных и антропогенных факторов.

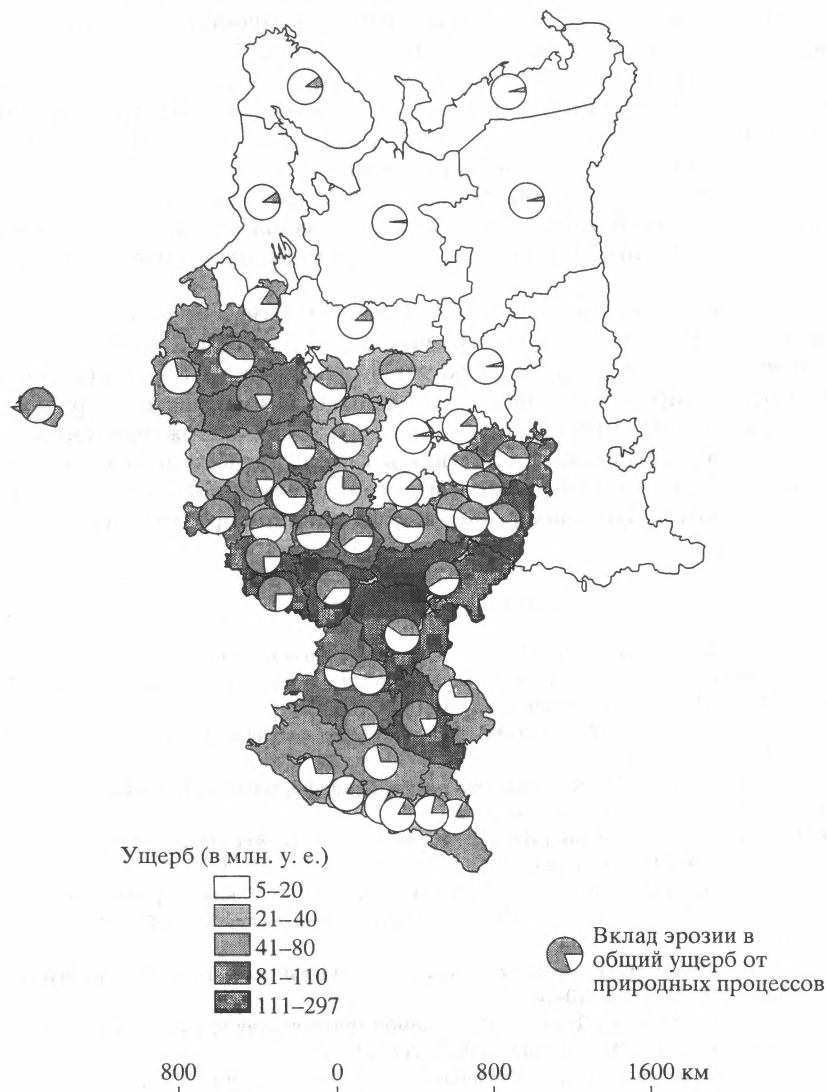


Рис. 3

оценки эрозионной опасности Европейской территории России [23] для исследования устойчивости рельефа к воздействию природных и антропогенных факторов. В основе содержания карт – результаты обработки данных БД, включающей густоту овражной сети, плотность оврагов, эрозию почв (плоскостной смыв), эрозионную опасность, дефляционную опасность, противоэрозионную устойчивость горных пород, современные движения земной коры, устойчивость рельефа к природным факторам (суммарно), сельскохозяйственную нагрузку на почвы, лесопользование, техногенную нагрузку, площади измененных почв под воздействием промышленности, транспорта, селитебной и отчасти лесохозяйственной деятельности, нарушенные земли в результате разработки месторождений полезных ископаемых, устойчивость рельефа к антропогенным факторам (суммарно), устойчивость рельефа к суммарному воздействию природных и антропогенных факторов.

Созданная на ее основе серия содержит карты "Эрозионная опасность. Устойчивость рельефа к природным воздействиям (интенсивность экзогенного рельефообразования)", "Изменения рельефа под воздействием природно-антропогенных факторов", "Возможный средний многолетний ущерб от эрозии" (рис. 3) и др.

Оценочные данные по ущербу использованы при проектировании содержания и подготовке к изданию компьютерной карты "Эколого-геоморфологические ситуации в субъектах Российской Федерации". В основе ее легенды – три группы характеристик, включающие экзодинамические условия, уровень техногенного воздействия на территорию субъекта Федерации (суммарный ущерб от техногенных процессов) и абсолютный средний многолетний ущерб от процессов, наиболее сенсорных к изменениям климата и землепользования: комплексной эрозии, мерзлотных процессов и подтопления [24].

Встраивание визуализационно-картографических функций в среду Интернета делает технологию электронного картографирования еще более доступной. Блок векторной картографической графики с некоторыми функциями пространственного анализа предусмотрен в прототипе сайта "Региональная безопасность" (<http://www.ihst.ru/project-link/rs>), страницы которого, помимо стандартного содержания (книжная полка, словарь, ссылки на сайты сходной тематики и т.п.), будут включать базу метаданных о природных и техногенных опасностях и механизм онлайнного доступа к самим БД, реализуя тем самым подход, получивший название "инфраструктуры пространственных данных" [24].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А. Региональные карты природных и природно-техногенных опасностей и карты геоморфологического риска // Прикл. геоэкология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг. М.: ПОЛТЕКС, 1999. Вып. 3. С. 150–154.
2. Кошкарев А.В., Козлова А.Е., Лихачева Э.А. и др. Геоморфологическая опасность и риск // Изв. РАН. Сер. геогр., 2001. № 4. С. 1–8.
3. Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г. и др. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. М.: ГИС-Ассоциация, 1999. 204 с.
4. Мусин О.Р. Цифровые модели для ГИС // Информ. бюлл. ГИС-Ассоциации. 1998. № 4(16). С. 30–32 (начало), № 5(17). С. 28–29 (окончание).
5. Яковченко С.Г., Ковалевская Н.М. Об одном способе получения цифровой модели рельефа. ИНТЕРКАРТО-5. (м-лы межд. конф. "ГИС для устойчив. развития территорий". Якутск, июнь 1999 г.). Ч. 2. С. 72–76.
6. Моисеенко А.А., Ананьев С.Н., Дужик Е.В. Цифровые модели рельефа и опыт их использования // ГИС-Обзорение. 2000. № 3–4. С. 10–16.
7. Огарков В.М. От триангуляции Делоне к управляемой триангуляции (о настоящих моделях рельефа в ГИС) // Информ. бюлл. ГИС-Ассоциации. 1999. № 2(19). С. 53–54.
8. Черванев И.Г. Моделирование и автоматизированный анализ рельефа: методологические аспекты // Проблемы системно-формационного подхода к познанию рельефа (основные направления в развитии геоморфологической теории). Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1982. С. 14–21.
9. Larsen J.N., Balstrom T., Jacobi O. Towards a second generation digital elevation model for Denmark // Geogr. tidsskr. 1999. № 99. P. 27–34.
10. Кошкарев А.В. К автоматизации построения карт ориентации, формы и относительной освещенности склонов. Владивосток: ТИГ ДВО АН СССР, 1980. 30 с. Деп. ВИНТИ 26.08.80, № 3891–80.
11. Svandova E. Rule-based soil erosion modeling in GIS. SVAN ~ 402. HTM. GIS Brno'98 Conf. Inf. Syst.: Inf. Infrastruct. and Interoperabil. 21 Cent Inf. Soc. and ICA Map Use Comissi. Sess. Brno, June 28 – July 1, 1998. Conf. Proc. 1 CD-ROM.
12. Зольников И.Д., Баландис В.А. Использование геоинформационных технологий для картографирования урбанизированной территории на примере Новосибирского Академгородка // ГИС для оптимиз. природопольз. в целях устойчив. развития территорий (м-лы межд. конф. Барнаул, 1–4 июня 1998 г.). Барнаул: Ин-т водных и экологических проблем СО РАН, 1998. С. 425–431.
13. Dikau R. The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology // Three dimensional application in Geographical Information System. London – New York – Philadelphia: Taylor & Francis, 1989. P. 51–77.
14. Основы геоэкологии. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1994. 352 с.

15. Schaller J. Geographic information systems and ecosystem models as tools for watershed management and ecological balancing in high mountain areas: the example of ecosystem research in the Berchtesgaden, Germany // Mountain environments and geographic information systems. London: Taylor and Francis, 1994. P. 43–58.
16. Branderberger Ch. A new digital map of Europe for multimedia applications // 19th Int. Cartogr. Conf. and 11th Gen. Assem. ICA. Ottawa: 1999. Vol. 1. P. 823–830.
17. Koshkariov A., Krasovskaja T., Tikunov V. Towards resolving the problems of regional development of the Commonwealth of Independent States using geographic information systems // Mountain environments and geographic information systems. London: Taylor and Francis, 1994. P. 77–97.
18. Bakx J.P.G., van Zuidam R.A., Mulder N.J. 3-D desktop mapping and volume change estimation of the Northern Ameland Coast, the Netherlands. EARSEL Adv. Remote Sens. 1995. № 1. P. 8–14.
19. Koethe R., Lehmeier F. "Digitale Reliefanalyse" – Ein Projekt zur geomorphologischen Auswertung Digitaler Gelaendemodelle (DGM) // GIS in der Geographie. Ergebnisse des Arbeitskreises GIS 1989–1991. Freiburger Geographische Hefte. Heft 34. 1991. P. 99–109.
20. Кошкарёв А.В. Обзор электронных карт и атласов // ГИС-Обозрение. 1999. № 1. С. 26–29 (начало), № 2. С. 34–37 (окончание).
21. Лихачева Э.А., Бронгулеев В.Вад., Козлова А.Е. и др. Влияние изменений климата на геоморфологические процессы // Регион. аспекты развития России в условиях глобальных изменений природной среды и климата. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. С. 12–35.
22. Кошкарёв А.В., Мерзлякова И.А., Чеснокова И.В. Электронное картографирование природных рисков средствами ГИС // Прикл. геоэкология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг. М.: ПОЛТЕКС, 1999. Вып. 3. С. 155–169.
23. Кошкарёв А.В., Лихачева Э.А., Мерзлякова И.А. и др. Оценка эрозионной опасности Европейской территории России с помощью ГИС-технологий // Прикл. геоэкология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг. М.: ПОЛТЕКС, 2000. Вып. 4. С. 62–68.
24. Кошкарёв А.В. Инфраструктуры пространственных данных // ГИС-Обозрение. 2000. № 3–4. С. 5–10 (начало), 2001. № 1. С. 28–32 (продолжение).

Институт географии РАН

Поступила в редакцию
12.10.2001

GIS IN THE ECOLOGICAL-GEOMORPHOLOGIC APPLICATIONS

A.V. KOSHKAREV, I.A. MERZLYAKOVA, I.V. CHESNOKOVA

S u m m a r y

A good deal of geomorphologic GIS-applications is based on digital relief modelling. The calculating of derivative morphometric characteristics, the tracing of structural lines of relief, the compiling its 3-d models including virtual ones are within the capacity of GIS software. The method of map compiling including the case of Internet media is illustrated by series of examples. Those are maps of hazardous processes (natural and man induced) damage on the territory of Russia, maps of ecologic-geomorphology situations within the regions of Russian Federation and other elements of cite "Regional Safety" (<http://www.iht.ru/project-link/rs>).