

Методика научных исследований

УДК 551.4.013(571.53)

© 2007 г. С.Б. КУЗЬМИН, Л.В. ДАНЬКО, Е.А. ЧЕРКАШИН, Э.Ю. ОСИПОВ

ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА: МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Введение

Анализ морфометрических показателей рельефа является важным звеном в цепи дистанционных методов, используемых в геоморфологических исследованиях, направленных на оценку современной ландшафтной ситуации. Основными объектами этого анализа могут выступать цифровые модели рельефа, которые, как правило, строятся при помощи программных средств ГИС. В результате морфометрического анализа цифровая модель рельефа дополняется новыми слоями данных. В дальнейшем узловые участки созданных моделей рельефа проходят проверку с помощью полевых наблюдений, дешифрирования аэрофотографических и космических снимков [1–3].

При создании цифровых моделей рельефа и их интерпретации используются различные методы. В основу проводимого нами моделирования рельефа положены принципы геометрического преобразования топографической основы согласно “методу вторых производных” с учетом знаков и величин плановой и профильной кривизны поверхности [4]. Поскольку, как показывают исследования, морфометрию земной поверхности на локальном уровне невозможно описать без использования ее кривизн для формализации [5, 6].

Методологической основой метода вторых производных является структурный подход [7, 8], который направлен на установление и характеристику структурных уровней и элементов рельефа. Внешний облик рельефа определяется закономерными сочетаниями характерных точек, линий, на которые как бы натянуты поверхности. Сочетания точек, линий и поверхностей создают в пространстве геометрические единства (или комплексы). Выделяя их в каждой форме рельефа, мы раскрываем их морфологическую структуру при этом точки, линии и поверхности выступают в качестве элементов этой структуры [9–11].

Использование двух кривизн – плановой и профильной позволяет структурировать земную поверхность путем разделения на области дивергенции и конвергенции вещества, создающие системную целостность. В общем, метод вторых производных следует рассматривать как сравнительно-географический, поскольку при этом происходит объединение точек (значений) топографической модели земной поверхности в математически однородные изоповерхности, изообъемы в результате группировки их по сходству признаков.

Одной из особенностей элементов морфологической структуры является то, что их число и характеристики не остаются постоянными, а меняются в зависимости от про-

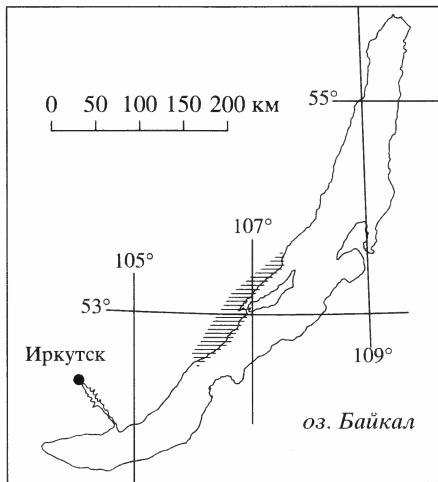


Рис. 1. Район исследований – Приольхонье (показан штриховкой)

фа образует его абстрактный инвариант. Его применение для анализа рельефа имеет универсальное значение, так как структура рельефа, запечатленная в его инвариантных линиях, во всех отношениях является определяющей [6].

Объекты и процедура исследований

Объект исследований – территория Приольхонья, которая расположена в Западном Прибайкалье (рис. 1). Она ограничивается береговой линией озера Байкал и водоразделом Приморского хребта между поселками Бугульдейка и Зама. Приольхонье почти полностью входит в состав Косостепско-Приольхонского округа, Прибайкальской провинции, Байкальско-Становой страны. Это определяет особенности климата и геолого-геоморфологического строения территории. Подробное геоморфологическое описание района исследований дано в многочисленных специальных работах [12–23]. Собственно моделируемый полигон (ключевой участок) расположен в районе залива Мухор между верховьями реки Кучелга и долиной реки Харга, и включает водораздельные участки Приморского хребта, часть его макросклона, фрагменты Кучелго-Таловской депрессии и Приольхонского плато.

Процедура моделирования начинается с составления цифровой модели местности. Под цифровой моделью местности в нашей работе понимается определенная форма представления исходных данных и способ их структурного описания, позволяющий “вычислять” (восстанавливать) объект (рельеф) путем интерполяции, аппроксимации или экстраполяции [3]. Моделирование рельефа осуществлялось путем интерполяции оцифрованных изолиний с топографических карт, при этом, следует сказать, что варианты моделирования могут быть разгруппированы, исходя из принципа моделирования. Модели могут быть представлены в двух видах: TIN (триангуляционная модель) и GRID (сеточная модель).

TIN – система неравносторонних треугольников, соответствующая триангуляции Делоне. Она используется в качестве модели данных при конструировании цифровой модели рельефа, представляя его набором высотных отметок в узлах сети, и заменяя его, тем самым, многогранной поверхностью. Триангуляционные модели можно также использовать для генерации дополнительных данных при их нехватке для интерполяции. Преимущество таких моделей заключается в отсутствии преобразований над исходными данными, но это не позволяет использовать ее для детального анализа.

исхождения и возраста рельефа и связаны и с масштабом карты, и с процедурой генерализации рельефа. При увеличении масштаба карт некоторые точки и линии превращаются в поверхности. При уменьшении масштаба карт наблюдаются обратные изменения. Этим элементы морфологической структуры отличаются от геометрических точек, линий и поверхностей. Для того чтобы сохранить эти различия, следует сказать о том, что морфометрия рельефа выделяет физические, а не геометрические точки, линии и поверхности, но изучает при этом их геометрические свойства и отношения в связи с анализом происхождения и развития рельефа.

Использование различных методов исследования рельефа: с помощью натуральных описаний, по аэрокосмоснимкам, топографическим картам приводит к единому результату – установлению его инвариантов. Совокупность структурных линий и элементов рельефа

GRID – представление цифровой модели в виде регулярной сетки квадратов, когда в ее узлах заданы значения показателя. Модели, полученные при интерполяции таким способом, представляют собой матрицу данных, которая может быть подвергнута более детальному анализу, поэтому данный способ моделирования и представления данных и был использован нами для создания цифровой модели рельефа.

Составление цифровых карт происходило в среде ГИС ArcInfo и Arc-View и состояло из следующих основных этапов,

Сканирование на высокоточных планшетных сканерах.

Взаимосвязка фрагментов. При использовании малоформатных сканеров карту сканируют фрагментами. Соседние фрагменты должны иметь перекрытия, необходимые для последующей “склейки”. Из опыта работ можно сказать, что перекрытия соседних фрагментов карты должны составлять не менее 10–12 см. Эта процедура выполняется в программе Easy Trase.

Растровая привязка фрагментов. Для этого используются пересечения линий прямоугольной координатной сетки. Оптимальное количество контрольных точек для каждого фрагмента карты составляет 4–9 штук.

Векторизация. Осуществляется путем ручной или полуавтоматической (в зависимости от сложности карты) трассировки по растровой подложке с выделением отдельных тематических слоев. Каждый слой несет информацию об одном из аспектов исследуемой территории. В результате формируется точечная, либо линейная карта объектов. Векторизацию проводят в программах-векторизаторах: EasyTrase или R2V.

Экспорт векторных слоев в формат ГИС ArcView.

Сводка фрагментов слоя изолиний высот. Две изолинии на разных картах проверяются на наличие одинаковых идентификаторов, а затем с помощью встроенных функций программы соединяются в одну изолинию.

Arc View – ГИС, обладающая необходимым набором средств для ввода, хранения и обработки пространственных данных. Функциональный набор операций Arc View расширяется при помощи множества дополнительных модулей, как внешних, так и реализованных в виде скриптов языка программирования Avenue. С помощью дополнительного модуля Spatial Analyst производится обработка данных, представленных в виде грид-поверхностей, и осуществляются запросы к этим данным. Кроме того, существует значительно обогащающие возможности ArcView модуль X-Tools. При помощи X-Tools выполняются типичные редакторские операции с темами.

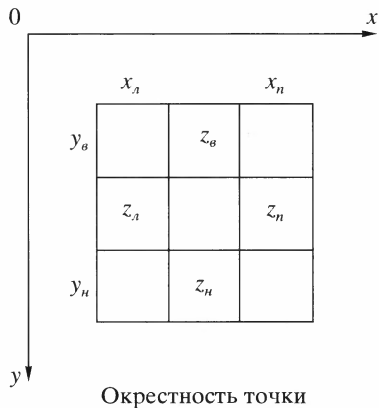
Для анализа цифровой модели рельефа, представленного в виде грида, использовалась программа OpenEV. Встроенный в программу инструментарий позволяет осуществлять программируемые в виде скриптов матричные преобразования над гридами. Программирование производилось в среде Python, состоящей из языка программирования и библиотеки функциональных модулей. Добавление модулей преобразования грид-данных – трудоемкая задача. OpenEV позволяет экспортировать получаемые грид-данные в большинство грид-форматов, в том числе в форматы, поддерживаемые ГИС Arc-View.

В программе R2V оцифрован исследуемый участок местности на картах м-ба 1 : 25000, отсканированных и сохраненных в формате *.tif. Выделены: изолинии высот, реки, береговая линия, высотные отметки и др.

В основу морфометрического анализа рельефа, представленного в виде грид-данных, положено утверждение о том, что все точки грида разделяются на два класса: конвергенции и дивергенции. Считается, что точка принадлежит области (классу) конвергенции, если расположенные в ее окрестности линии стока (вектора) сходятся. Точка принадлежит области дивергенции, если расположенные в ее окрестности линии стока (векторы) расходятся [5].

При помощи OpenEV производится расчет поля векторов стока как приближение отношений разности уровней точек окрестности к расстоянию между этими точками (принята система координат, где ось у направлена вниз):

$$\frac{z_a - z_n}{x_a - x_n}, \quad \frac{z_b - z_n}{x_b - x_n}$$



Далее анализируется схождение/расхождение векторов стока в окрестности точки, которое производится следующим образом. Векторы стока расходятся, если разность сумм проекций векторов стока снизу и справа, сверху и слева от центральной точки на ось x и y положительна. Если указанная сумма отрицательна, то векторы стока сходятся.

В общем, процедура моделирования рельефа с использованием метода вторых производных сводится к следующим шагам (подпрограммам).

Вычисление поля векторов стока. В результате формируются два массива: s_x – x -составляющие поля векторов стока, s_y – y -составляющие поля векторов стока. Они являются грид-данными.

Вычисление схождения/расхождения векторов стока. Вычисляется разность сумм проекций x -составляющих и y -составляющих векторов стока.

Анализ поля схождения/расхождения векторов стока. На поле схождения/расхождения, выделяются области, соответствующие знаку величины схождения/расхождения. Анализ осуществляется сравнением величины с 0.

Геоморфологический анализ рельефа ключевого участка проведем с помощью двух описанных выше моделей, которые для простоты изложения назовем условно “*рельефХ*” и “*рельефУ*” (рис. 2, 3). Они отражают соответственно горизонтальную (плановую) и вертикальную (профильную) кривизну земной поверхности. Раскраска грид-данных отображает интенсивность стока по соответствующей координате в конкретной точке. Экстраполяция данных – задача последующих исследований.

Анализ моделей по ярусам рельефа (структурный)

Водораздельный ярус представлен гривами и гребнями отрогов Приморского хребта, осложненными останцовыми формами. Их осевые линии дешифрируются с помощью модели “*рельефХ*”. Модель “*рельефУ*” позволяет проследить главные направления сноса осадочного материала с гребней и грив, а также оценить площади и конфигурацию поверхностей сноса.

Склоновый ярус рельефа представлен приводораздельным пологим макросклоном Приморского хребта, крутым склоном-эскарпом вдоль Приморского разлома, пологим предгорным делювиальным шлейфом, а также отдельными небольшими склонами на участке Приольхонского плато.

Приводораздельный макросклон проявлен на обеих моделях рельефа достаточно отчетливо, причем заметно, что при приближении к склону-эскарпу макросклон становится все более террасированным, с резкими (пусть и небольшими) перепадами высот. Отследить эти перепады с помощью топографических карт и даже при визуальном обследовании практически невозможно. Более того, модель “*рельефУ*” позволяет на пологой верхней поверхности выделить зоны (полосы) преимущественной аккумуляции (заболоченные пространства) и сноса рыхлого материала, а на нижней террасированной поверхности даже подсчитать количество невысоких уступов (перепадов) и определить их морфометрические характеристики, что также возможно только с использованием данных моделей пластики рельефа. Модель “*рельефХ*” позволяет проследить переходы уступов на водораздельных гривах и гребнях в перепады на макросклоне.

Склон-эскарп Приморского разлома также отчетливо проявлен на обеих моделях. Модель “*рельефУ*” позволяет определить ориентацию и приблизительную ширину склона-эскарпа. Модель “*рельефХ*” в этом смысле более информативна. Кроме указанных морфометрических характеристик, она позволяет определить количество отдельных уступов на склоне-эскарпе, их ширину, ориентацию и геометрические взаи-

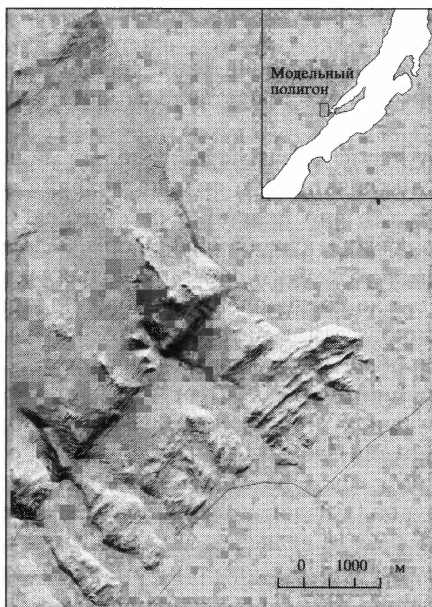


Рис. 2. Цифровая модель плановой кривизны поверхности ключевого участка – “*рельефХ*”

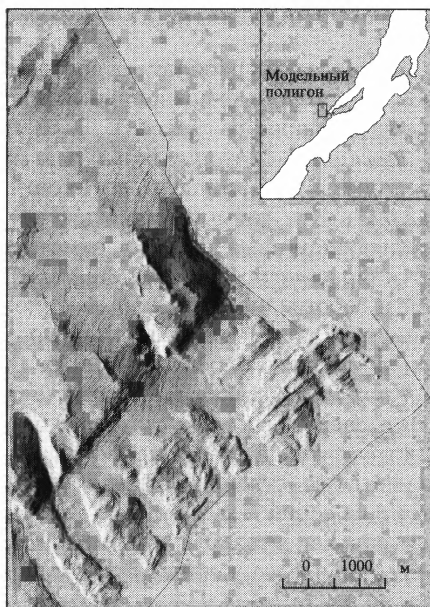


Рис. 3. Цифровая модель профильной кривизны поверхности ключевого участка – “*рельефУ*”

моотношения (которые являются отражением позднекайнозойских тектонических движений). Эта же модель позволяет выделить делли (зарождающиеся распадки) на склоне-эскарпе, что в других случаях возможно только при визуальном обследовании.

Предгорный деллювиальный склон (шлейф) Приморского разлома проявлен на моделях фрагментарно, поскольку прерывается по простиранию боковыми долинами-притоками реки Кучелга. Обе модели подчеркивают две разновозрастных генерации поверхностей деллювиального склона-шлейфа. Более древняя генерация значительно положе и сохранилась только в виде небольших участков, слабо- или совсем нетеррасированных (может быть сопоставлена с эпохой среднеплейстоценового относительного тектонического покоя). Более молодая генерация круче и заметно террасирована (что особенно хорошо проявлено в модели “*рельефУ*”). На ней отмечаются закладываемые совсем юные эрозионные врезы, которые можно сопоставить с эпохой тектонической активизации второй половины позднего плейстоцена.

Склоны Приольхонского плато также хорошо проявлены на обеих моделях и их анализ возможен для конкретных участков. Модель “*рельефУ*” подходит для анализа экспозиционных различий склонов. Модель “*рельефХ*” наиболее подходит собственно для морфометрического анализа: протяженность, ширина, ориентация и другие характеристики склонов (например, схождения, узловое сочленения, трансекции и др.).

Долинный ярус представлен террасами, высокой и низкой поймой реки Кучелга с левыми безымянными притоками и реки Харги.

Граница долинного яруса наиболее четко прослеживается на модели “*рельефХ*”. Выделяются крупные долины постоянных водотоков, трассирующие всю территорию. Их верховья расположены на Приморском хребте. Выделяются и мелкие долины временных водотоков на Приольхонском плато. Модель “*рельефУ*” позволяет определить в долинном ярусе фрагменты террас, высокой и низкой (в основном заболоченной) поймы.

Аквальный ярус представлен подводными формами залива Мухор на модели “*рельефУ*”. Это дельтовые наносы в устьевой части реки Кучелга, волноприбойные косы на мысах, бар в волновой “тени” о-ва Тойнак.

По генезису преобладает эрозионно-денудационный, тектонический, гравитационный, карстово-суффозионный и эоловый рельеф. Широко представлены формы рельефа смешанного генезиса.

Эрозионно-денудационный рельеф дешифрируется на обеих моделях долинами постоянных и временных водотоков. Более информативна в этом смысле модель “*рельефХ*”. Эти геоморфологические элементы достаточно подробно рассмотрены в предыдущем разделе. Здесь отметим только, что среди денудационных форм выделяются фрагменты поверхностей выравнивания, древних структурно-террасовых уровней и собственно речных долин (дочетвертичных или среднплейстоценовых), отрезанных от современного базиса эрозии и эрозионной сети, и разрушающихся ныне в основном за счет гравитационных процессов (подробнее будут рассмотрены ниже).

Тектонический рельеф представлен широким многообразием форм за счет того, что исследуемый участок расположен в зоне активного Приморского разлома. Морфоструктурный анализ проведен в основном по модели “*рельефХ*”. Прежде всего, отмечается собственно осевая зона Приморского разлома. Она сложно построена, состоит из серии более мелких тектонических уступов, западин и шерлопов. Характер рельефа свидетельствует о том, что Приморский разлом является сбросом. Вместе с тем, отмечается наличие сдвиговой компоненты в кинематике тектонических движений по разлому.

Ранее нами отмечалась только лево-сдвиговая компонента [19]. В работах С.И. Шермана [24, 25] высказывалась мысль о право-сдвиговых движениях по разлому. Анализ модели “*рельефХ*” приводит нас к мысли о переменном знаке сдвиговых дислокаций по разлому, по крайней мере, в плиоцен–четвертичное время. На модели “*рельефХ*” наиболее крупные долины (плиоцен?) имеют левый сдвиг, менее крупные долины (ранний–средний плейстоцен?) – правый сдвиг, и, наконец, самые мелкие и молодые элементы рельефа (поздний плейстоцен?) вновь приобретают левый сдвиг.

Хорошо проявлены и другие древние геолого-структурные швы, например, зона Чернорудско-Баракчинского разлома. В восточной части исследуемого участка она подчеркнута небольшими линейно вытянутыми эскарпами. Особенно примечателен Мухорский эскарп, являющийся почти точной копией эскарпа Приморского разлома в миниатюре. Анализ структурного рисунка зоны Мухорского и параллельных ему эскарпов позволяет также говорить о наличии лево-сдвиговой компоненты в самых молодых рифтогенных разломах Приольхонья. На модели “*рельефХ*” впервые однозначно зафиксированы правосторонние сдвиги по разломам, поперечным основным рифтовым структурам (например, на севере участка вдоль молодой гривы).

Модель “*рельефХ*” позволяет оконтурить тектонические блоки, разделенные активными разломами. Иногда можно определить кинематику и характер тектонических движений блока. Так, на западе участка правым сдвиго-сбросом вычленен узкий полосообразный блок, испытывающий активное опускание, совмещенное с кручением по часовой стрелке.

Более детальный анализ на отдельных фрагментах позволяет выделить и другие, не менее интересные тектонически обусловленные формы рельефа.

Гравитационный рельеф во многом повторяет тектонический, хотя встречаются и своеобразные геоморфологические элементы. Прежде всего, это шлейфы рыхлого материала у подножья эскарпов. Гравитационное разрушение эскарпов протекает настолько активно, что мощность шлейфов даже под невысокими эскарпами достигает больших величин. Например, у подножья Мухорского эскарпа высотой всего 20–30 м мощность шлейфа превышает 1.8 м (заложенный шурф на этой глубине не встретил кристаллических пород, что позволяет предполагать и большую мощность рыхлых отложений). Оползневые гравитационные структуры дешифрируются на обеих моделях на предгорном делювиальном шлейфе Приморского хребта. Обвальное-осыпные формы отмечаются на модели “*рельефХ*” в продольных профилях распадков, попе-

речных р. Кучелга. На модели “*рельефУ*” фиксируется конус выноса крупно-глыбового материала в долине р. Харга.

Карстово-суффозионный рельеф отмечается на участке Приольхонского плато на модели “*рельефХ*”. В основном это провальные котловины и небольшие суффозионные воронки. В первом случае следует отметить также карстовые пещеры. В последнем случае невозможно обойти вниманием карстовые провалы, совмещенные со складчатыми структурами.

Золотой рельеф представлен дефляционными формами – котловинами выдувания и останцами обтачивания на участке Приольхонского плато. Ярко выраженный останец обтачивания расположен в центральной части, а две котловины выдувания – в восточной части исследуемой территории.

Рельеф смешанного генезиса выделяется на обеих моделях. Формы его разнообразны. Приведем лишь несколько примеров. Упомянутые выше котловины выдувания сформированы над карстовыми внутригорными полостями, в которые происходили гравитационные провалы, а затем эти элементы оформлялись дефляцией. Рядом с котловинами, несколько юго-западнее расположена карстово-тектоническая замкнутая депрессия в виде грабена. Здесь внутригорная карстово-суффозионная полость способствовала тектоническому обрушению прямоугольного блока. Обрушение произошло сравнительно недавно, поскольку на дне депрессии еще не успел сформироваться слой рыхлого материала. Флювиально-гравитационно-тектонические оползни дешифрируются на предгорном шлейфе Приморского хребта, где их подновлению периодически способствуют землетрясения. Прибрежные косы и бары залива Мухор формируются из песчаного материала, поставляемого, главным образом, золотыми процессами.

Анализ реликтовых форм рельефа

Модель “*рельефХ*” и отчасти модель “*рельефУ*” позволяют анализировать реликтовые формы рельефа, такие как поверхности выравнивания, древние террасовые уровни, участки брошенных древних речных долин.

Фрагмент раннеплиоценовой (?) поверхности выравнивания прослеживается на обеих моделях в приводораздельной части Приморского хребта. На севере имеется еще один менее выразительный фрагмент этой поверхности. Хотя, по всей видимости, вся приводораздельная часть Приморского хребта (с гривами, пологими склонами и выровненными поверхностями) может рассматриваться как реликт раннеплиоценового рельефа. Поверхности выравнивания этого же возраста прослеживаются и на участке Приольхонского плато, где они занимают небольшие площади и расположены мозаично.

Реликтовые террасовые уровни (два?) прослеживаются в восточной части исследуемой территории, где они привязаны к брошенной древней речной долине. Террасы не только структурные, но и аккумулятивные, о чем свидетельствует мощная толща (более 1 м) рыхлых отложений песчаного и песчано-гравелистого материала на их поверхности. Возраст террас и долины можно сопоставить с эпохой тектонического покоя среднего плейстоцена. Сток по этой древней брошенной долине осуществлялся с северо-востока на юго-запад. В современной речной сети такое направление стока для территории Приольхонья не встречается. Это позволяет думать, что фаза тектонической активизации позднего плейстоцена привела к существенным геоморфологическим преобразованиям на исследуемом участке.

Северо-западнее, на предгорном шлейфе Приморского хребта, в седловине между двумя распадками также отмечаются реликты среднеплейстоценового (?) рельефа. С юго-запада это фрагмент поверхности выравнивания. С северо-востока, на склоне седловины, прилегающем к долине р. Харга, отмечаются реликтовые террасовые уровни (вероятно, только структурные, поскольку обнаружить на них аллювий не удалось). Можно проследить даже излучину (меандр) древней реки. Террасовых уровней

здесь, по крайней мере, три, самый нижний из них круто обрывается к современной долине р. Харга.

Реликты древних долин имеются и в южной части исследуемой территории, где они также подтверждают существование еще в раннем плейстоцене речного стока с северо-востока на юго-запад. Поскольку они небольшие, то нет основания распространять данный вывод на все Приольхонье, пока не будут получены дополнительные материалы на других участках.

Заключение

Геоинформационное моделирование с применением метода вторых производных показало высокую значимость и информативность такого подхода к морфометрической формализации рельефа для проведения геоморфологических исследований. Генерализация рельефа, заложенная в горизонталях топографических карт, выделяется и становится приемлемой для морфометрического анализа инвариантной структуры рельефа в результате использования приемов моделирования, базирующихся на представлениях о профильной и плановой кривизне земной поверхности.

При картографической реализации метода вторых производных области дивергенции и конвергенции отображаются ориентированными в гравитационном поле поверхностями – повышениями и понижениями. При этом реализуется задача картографического представления топографических факторов перераспределения вещества, его миграции и аккумуляции. В результате, как показали проведенные исследования, становится возможным выделение и анализ системы бассейнов стока, в пределах которых прослеживаются области формирования, транзита и аккумуляции твердого и водного стока. Разработка моделей рельефа, представляющих плановую (“*рельефХ*”) и профильную (“*рельефУ*”) кривизны поверхности, позволила также выявлять бассейны стока древней гидрографической сети с областями формирования, транзита и аккумуляции вещества.

Главная особенность моделей “*рельефХ*” и “*рельефУ*” заключается в том, что на первой модели более четко проявлены индикационные признаки эндогенного (тектонического) рельефа, а на второй – экзогенного рельефа (хотя элементы всех типов рельефа имеются и на обеих моделях). Модели могут использоваться как совместно, так и по отдельности (в зависимости от конкретной задачи), но в любом случае они должны рассматриваться как взаимодополняющие друг друга при дистанционных геоморфологических построениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалова Н.А., Капралов Е.Г. Введение в ГИС. Петрозаводск: Изд-во ПГУ, 1995. 148 с.
2. Жуков В.Т., Новаковский Б.А., Чумаченко А.М. Компьютерное геоэкологическое картографирование. М.: Науч. мир, 1999. 128 с.
3. Новаковский Б.А., Прасолов С.В., Прасолова А.И. Цифровые модели рельефа реальных и абстрактных геополей. М.: Науч. мир, 2003. 64 с.
4. Шарый П.А. Топографический метод вторых производных // Геометрия структур земной поверхности. Пушино: Пушинский НЦ АН СССР, 1991. С. 30–60.
5. Шарый П.А., Курякова Г.А., Флоринский И.В. О международном опыте применения методов топографии в ландшафтных исследованиях // Геометрия структур земной поверхности. Пушино: Пушинский НЦ АН СССР, 1991. С. 15–30.
6. Сысуюев В.В. Физико-математические основы ландшафтоведения. Уч. пособие. М.: Изд-во МГУ, 2003. 175 с.
7. Ласточкин А.Н. Рельеф земной поверхности. Л.: Недра, 1991. 240 с.
8. Симонов Ю.Г. Объяснительная морфометрия рельефа. М.: ГЕОС, 1999. 263 с.
9. Пириев Р.Х. Методы морфометрического анализа рельефа. Баку: Элм, 1986. 117 с.
10. Поздняков А.В., Черванев К.Г. Самоорганизация в развитии форм рельефа. М.: Наука, 1990. 202 с.
11. Якименко Э.Л. Морфометрия рельефа и геология. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. 201 с.

12. *Логачев Н.А., Ломоносова Т.К., Климанова В.М.* Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра. М.: Наука, 1964. 195 с.
13. *Флоренсов Н.А.* Байкальская рифтовая зона и некоторые задачи ее изучения // Байкальский рифт. М.: Наука, 1968. С. 40–56.
14. *Нагорья Прибайкалья и Забайкалья.* М.: Наука, 1974. 360 с.
15. *Плешанов С.П., Ромазина А.А.* Основные этапы формирования рельефа Приольхонья // Геоморфология. 1975. № 4. С. 85–89.
16. *Тайсаев Т.Т.* Эоловые процессы в Приольхонье и на о-ве Ольхон (Западное Прибайкалье) // Докл. АН СССР (ДАН). 1982. № 4. С. 948–951.
17. *Уфимцев Г.Ф.* О неотектонике Приольхонья // Геология и геофизика. 1985. № 6. С. 37–45.
18. *Васянович А.В.* Геоморфологические особенности территории Прибайкальского национального парка // География и природные ресурсы. 1990. № 4. С. 67–77.
19. *Кузьмин С.Б.* Геоморфология зоны Приморского разлома (Западное Прибайкалье) // Геоморфология. 1995. № 4. С. 53–61.
20. *Кузьмин С.Б.* Инженерно-экологическая оценка рельефа Приольхонья в рекреационно-туристических целях // Инж. экология. 2002. № 6. С. 41–53.
21. *Макаров С.А.* Геоморфологические процессы Приольхонья в голоцене // География и природные ресурсы. 1997. № 1. С. 77–84.
22. *Аржанникова А.В., Гофман Л.Е.* Проявления неотектоники в зоне влияния Приморского разлома // Геология и геофизика. 2000. № 6. С. 811–818.
23. *Снытко В.А., Даныко Л.В., Кузьмин С.Б. и др.* Разнообразие геосистем контакта тайги и степи западного побережья Байкала // География и природные ресурсы. 2001. № 2. С. 61–68.
24. *Шерман С.И.* Приморский разлом в Западном Прибайкалье // Информ. бюл. ИЗК СО АН СССР (1967–1968 гг.). Иркутск: Изд. ИЗК СО АН СССР, 1970. С. 14–15.
25. *Шерман С.И.* Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 101 с.

Ин-т географии СО РАН, Иркутск

Поступила в редакцию
13.06.2006

DIGITAL ELEVATION MODELS: METHODS OF ARRANGEMENT AND POSSIBLE IMPLICATION IN GEOMORPHOLOGICAL RESEARCHES

S.B. KUZ'MIN, L.V. DAN'KO, E.A. CHERKASHIN, E.YU. OSIPOV

S u m m a r y

The DEM of Priol'khon'e region was obtained by scan and vectorization of topographic maps, using ARCView and OpenEV GIS. The structural and genetic analysis of relief and of relic landforms was fulfilled.