

## **ЦИФРОВОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ МОРФОСИСТЕМ – НОВЫЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ РЕЛЬЕФА**

Решение многих научных и прикладных задач невозможно без информации о морфологии рельефа и хронологических построений на ее основе. В движении от формы к содержанию, от морфологии к процессам морфогенеза и заключается суть т.н. обратной геоморфологической задачи. Объективные исследования возраста, генезиса и истории развития рельефа невозможны без выявления, систематизации, формализации, ранжирования и геоморфологического истолкования морфологических особенностей земной поверхности. В свете развиваемой в последнее время морфодинамической концепции перспективно познание процессов рельефообразования (прошлых, настоящих и будущих) на основе специального изучения морфологии рельефа (особенно структурных линий), которая одновременно и отражает и определяет характер круговорота субстанции в геосистемах любого ранга.

Морфологические исследования предполагают геопривязку и описание рельефа в трехмерной системе координат. Большая часть этой информации представлена в виде карт. Однако, ни один из традиционных способов не достиг удовлетворяющего всех соответствия изображенного рельефа реальному.

Неадекватность отображения рельефа на картах вызвана следующим:

- Противоречием между масштабом и детальностью изображения;
- Двойственной (непрерывной и естественно делимой) структурой рельефа;
- Использованием преобразованных исходных данных о рельефе;
- Подменой естественного подхода к отбору и отображению рельефа формализованным подходом на основе субъективной генерализации, осреднений, интерполяций и сглаживания границ естественной делимости;
- Компоновкой листов карт не по природным, а по формальным признакам, например, по линиями километровой или географической сетки;
- Отсчетом абсолютных высот от уровня моря, а относительных – в пределах вышеуказанных формально выделенных площадей;
- Рекомендательным, общим характером указаний существующих руководств и наставлений по учету специфики картографирования рельефа.

Поэтому очевидно, что не только геоморфологические задачи невозможно успешно решать без привлечения методов картографии, но и картографо-геодезические задачи требуют изучения рельефа средствами геоморфологии. Также понятно, что основные трудности картографирования рельефа вызваны отсутствием единой методологической основы и подходов к его отображению.

Такую основу во многом предоставляют возможности теории морфосистем, представляющей новое, системное направление в

геоморфологии. Под морфосистемами понимаются парциальные геосистемы на основе элементов, форм, типов или комплексов рельефа, созданных определенной системой эндогенных и экзогенных процессов в условиях определенной структурной и ландшафтно-климатической обстановки. Морфосистема – это динамичная открытая система, в которой компоненты рельефообразования (как факторы, так и агенты) находятся в связи друг с другом и окружающей средой.

В основе хронологической дефиниции морфосистем лежит инвариант – присущее объекту на данном уровне свойство, которое оказывается общим для составляющих данный таксон подсистем. Инвариантные свойства устойчивы в условиях динамики геосистем и изменяются только в процессе их эволюции.

Инвариант системы определяет характер внутренних связей внутри системы между ее компонентами и подсистемами, а также внешние связи с окружающей средой, т. е. структуру системы. В качестве инварианта при ранжировании морфосистем выступает гравитационное поле Земли, вернее его производные – поля потенциальной денудации, о которых подробнее будет сказано ниже.

Основанием для ранжирования систем служат эмерджентные свойства – такие свойства системы, которые отсутствуют у подсистем и выводят данную систему на новый уровень. Благодаря эмерджентным свойствам, системы являются не просто суммой подсистем, а качественно новым образованием. Обоснование эмерджентных свойств, определяющих иерархию морфосистем, не является целью настоящей статьи, поэтому ограничимся констатацией того, что эта иерархия отражает соотношения эндогенного и экзогенного факторов морфогенеза на разных уровнях хронологического ряда. Этот ряд определяется структурой полей потенциальной денудации, и включает следующие звенья: поверхность Земли в целом – геотектуры – морфоструктуры нескольких порядков размерности – бассейновые системы – элементарные бассейны – склоновые системы – элементарные динамически однородные поверхности. Корректное районирование и картографирование морфосистем предъявляет определенные требования к морфологической информации о рельефе.

Важным моментом в изучение морфосистем являются исследования структуры поля рельефа. Использование полей удобно при картографировании, благодаря возможности отображать их изолиниями и получать качественные и количественные характеристики объектов. Картографический метод применим и к исследованиям гравитационного поля, как инварианта морфосистем. С другой стороны сам рельеф морфосистемы определяет флуктуации гравитационного поля и протекающие в нем процессы переноса субстанции (вещества и энергии). При исследованиях морфосистем удобнее рассматривать не само гравитационное поле, а производное от него поле потенциальной денудации, поскольку нас интересует только та часть гравитационного поля Земли, которая расположена в пределах так называемого экзогенно-активного слоя данной

системы. Этот слой заключен между вершинной и базисной поверхностями морфосистемы. Напряженность гравитационного поля между этими поверхностями и определяет денудационный потенциал морфосистемы. Каждая морфосистема обладает своим полем потенциальной денудации, поглощает поля своих подсистем и входит в состав поля вышестоящей системы.

При моделировании и изучении полей потенциальной денудации различных морфосистем наиболее интересны свойства т.н. базового поля, пространственно совпадающего с физической поверхностью рельефа. Однако такое картографическое моделирование возможно только в масштабе «один к одному». Картографирование в более мелких масштабах неизбежно вызывает необходимость генерализации поверхности поля потенциальной денудации, в чем-то подобное генерализации при картографировании самого рельефа. Однако методика моделирования и генерализации при картографировании денудационных полей имеет ряд принципиальных отличий от таковой при генерализации рельефа в процессе создания топографических карт.

Во-первых, при топографическом картографировании рельеф по высоте привязывается к уровню океана. При изучении полей потенциальной денудации к этому уровню привязываются только поля морфосистем глобального уровня иерархии. Поля морфосистем более низкого ранга рассчитываются относительно соответствующих местных базисов денудации, поверхности которых все больше и больше отходят от уровня океана.

Во-вторых, если при топографическом картографировании исполнитель ставит своей целью по возможности максимально сохранить и отобразить особенности морфологии рельефа, то при картографировании полей потенциальной денудации показ мелких деталей невозможен (да и не нужен) и картографируемая поверхность в значительной степени соответствует реконструированной поверхности морфоструктуры, являющейся тектонической основой данной морфосистемы.

Итак, при картографировании полей потенциальной денудации морфосистемы любого ранга, прежде всего, необходимо выявить и проанализировать их вершинную и базисную (цокольную) поверхности.

Вершинная поверхность определяет верхнюю границу морфосистемы. Эта поверхность является результатом обобщения вершинных поверхностей морфосистем более низкого ранга, поэтому последние будут включаться в нее. Отличие такой карты вершинной поверхности морфосистемы от традиционных морфометрических карт вершинных поверхностей заключается в том, что она выделяются только в пределах границ анализируемой морфосистемы, а не по всей площади топографической карты или в пределах условного квадрата. Границы морфосистем разных уровней выявляются как динамические целостности путем совместного анализа морфоструктур, рельефа, линеаментов, гидросети и, наконец, первичных морфологических элементов территории.

Цоколь (базисная поверхность) морфосистем может быть высоко поднят, наклонен в какую-либо сторону, образовывать скаты к центру морфосистемы

или общее сводообразное поднятие. Он также может быть осложнен пологими сводами, складками большого радиуса кривизны или уступами. Поэтому очевидно, что изолинии напряженности поля потенциальной денудации, проводимые относительно таких местных базисных поверхностей, в общем случае также не будут принадлежать ни горизонтальной плоскости, ни плоскости вообще (т.е. это не изогипсы, а линии равных относительных высот).

Конфигурацию вершинных и базисных поверхностей можно вывести из исходной топографической поверхности как результат разного рода математических обобщений последней. Однако, особой точности при моделировании вершинных поверхностей не требуется, тем более, что морфосистемное картографирование выполняется комплексно – в виде серии сопряженных карт и уточнить детали можно по картам подсистем. В то же время, картографическое моделирование базового поля потенциальной денудации, совпадающего с поверхностью исходного рельефа, должно быть выполнено как можно более точно в целях создания адекватного картографического моделирования рельефа и производных от него карт.

Наилучшие возможности для автоматизации моделирования морфосистем предоставляет цифровая модель рельефа (ЦМР), особенно являющаяся частью цифровой модели местности и электронной карты. Однако до настоящего времени практически 80 % ЦМР создавалось по топографическим картам, т.е. в них заложены те недостатки, о которых говорилось выше. ЦМР для морфосистемного картирования следует создавать по первичным трехмерным неискаженным разного рода интерпретациями материалам ДЗЗ: стереопарам наземной, аэро- и космической съемки, данным лазерных съемок и радиолокации и т.п. При практическом создании ЦМР в интересах морфосистемного картографирования, в принципе возможны два подхода – сеточный и структурный.

Первый подход предполагает равнозначность точек в ЦМР, что порождает опасность пропуска особых, наиболее характерных точек рельефа, находящихся на линиях тальвегов и водоразделов, перегибах ската, т.е. именно тех точек, которые как раз и требуется при реализации морфодинамического подхода к отображению рельефа. В результате (обычно на основе триангуляции Делоне) создается аналитическая модель рельефа-поля, в которой в соответствии с аналитическим алгоритмом сглаживания ребер триангуляции, моделируется непрерывная (континуальная) и плавная, но выхолощенная, безликая и потерявшая естественную делимость поверхность рельефа.

Второй подход строится на представлении о характерных точках и линиях рельефа, образующих его каркас, и возможности игнорировать большинство других точек из-за их малой информативности. В соответствии с этим подходом для правильного воспроизведения характера и облика рельефа необходимо и достаточно правильно передать его каркас (то, что игнорируется в первом подходе) с помощью точек, положение которых

детерминировано структурой рельефа. Очевидно, что этот подход лучше учитывает специфические свойства рельефа-поля, передавая его структуру, отличную от структуры других пространственных явлений, поэтому он является более объективным и, к тому же, экономит машинные ресурсы.

Но наиболее оптимальным при создании ЦМР в интересах картографирования и исследования морфосистем является третий подход, который является модифицированной комбинацией первых двух подходов. При этом способе ЦМР формируется на нерегулярной сетке высотных отметок с использованием системы точечных, линейных, площадных и объемных элементов единой земной поверхности. При формировании ЦМР разных масштабов и моделировании морфосистем разного ранга следует использовать не карты, а первичные стереомодели, полученные по снимкам соответствующего масштаба. Естественная оптическая генерализация и обобщение снимков в этом случае обеспечивает более достоверные результаты при отборе и обобщении необходимых структурных линий. В этих случаях в опору также включают местные базисы денудации, представляющие собой границы морфосистем соответствующего ранга.

При создании масштабного ряда ЦМР в интересах геоморфологических (в частности, морфометрических) исследований нецелесообразно механически использовать приемы классической картографической генерализации, разграфки и номенклатуры. Деление земной поверхности в этих целях следует проводить на морфосистемой основе. При необходимости современные средства ГИС всегда позволят нарезать созданную ЦМР на классические номенклатурные листы.

Таким образом, цифровое картографическое моделирование морфосистем выступает как новый метод изучения рельефа. Применение системного подхода и морфодинамических принципов естественной делимости земной поверхности позволяет значительно повысить качество и возможности использования ЦМР по следующим направлениям:

- Адекватное представление континуальной земной поверхности дискретными средствами при оптимальной плотности высотных отметок и естественных сглаживающих алгоритмах;

- Возможность дискретизации и природной делимости земной поверхности на морфологические элементы, а также расчет триангуляции делоне с естественными ограничениями;

- Возможность выявления и систематизации основных геоморфологических параметров земной поверхности: абсолютных высот, как функции плановых координат; относительных высот и уклонов (градиентов), как первых производных от этой функции; выпуклых и вогнутых перегибов, как вторых производных; разных типов кривизны структурных линий, определяющих физиономические черты земной поверхности;

- Возможность интеграции базовой поверхности потенциальной денудации и любых элементов земной поверхности в морфосистемы разного ранга с генерацией их базисных и вершинных поверхностей или без нее;

– Построение цифровых моделей морфосистем и других производных от них цифровых отображений: карт градиентов и изоградиентов, векторов (гашюр), линий тока, всевозможных трасс, профилей, сечений и др.;

– Улучшение качества автоматизированного анализа цифровых картографических построений: морфометрического, морфодинамического (потокowego), морфоклиматического (высотно-поясного, экспозиционного), морфогеологического, морфоэкологического, прогнозного и др.

© В.П. Ступин, 2007