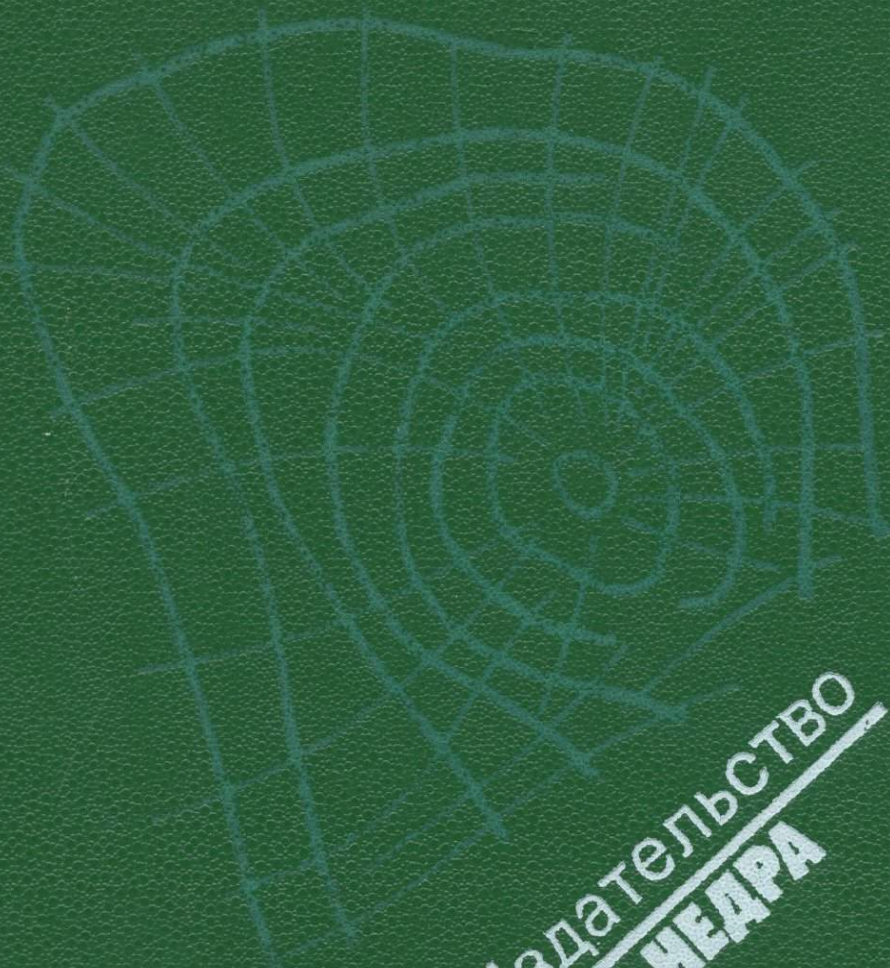


А. Н. Ласточкин

**МОРФОДИНАМИЧЕСКИЙ
АНАЛИЗ**



**Издательство
ИЕДРА**

А. Н. Ласточкин

МОРФОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

4793



ЛЕНИНГРАД «НЕДРА» ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ 1987



Ласточкин А. Н. Морфодинамический анализ.— Л.: Недра, 1987.— 256 с.

Изложены методика и результаты применения морфодинамического анализа, направленного на исследование морфологии, картографирование, районирование и динамическую интерпретацию рельефа. Рассмотрены новая парадигма, предмет, начальные понятия и основанная на всем этом системная ориентация геоморфологии, а также вопросы организации геоморфологического пространства. Разработана морфологическая система, используемая для элементаризации земной поверхности, формализации, систематики и картографирования ее точечных, линейных, площадных элементов, их совокупностей и взаимных пространственных соотношений. Впервые в геоморфологии сформулированы строгие определения, принципы и критерии классификаций и выделения всех элементов земной поверхности и их территориальных комплексов. Предложены кинематические принципы систематики геологических процессов, участвующих в рельефообразовании. Использован метод аналогий, а также применены аппарат классической и расширенной симметрии, геометрический и динамический аспект данного учения.

Показаны результаты применения принципов и методов морфодинамического анализа при прогнозировании геологических структур на суше, количественной оценке голоценовых движений на шельфе, поисках и разведке железомарганцевых конкреций на океаническом дне.

Для геоморфологов и геологов, работающих в области структурной, динамической, прикладной геоморфологии и морской геологии.

Табл. 6, ил. 25, список лит. 44 назв.

Рецензент — д-р геол.-минер. наук Ю. П. Селиверстов (НИИ географии ЛГУ)

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

Александр Николаевич Ласточкин
МОРФОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Редактор издательства Л. В. Попова
Переплет художника А. Н. Власова
Технический редактор Н. П. Старостина
Корректоры В. Н. Малахова, Е. А. Стерлина

ИБ № 6591

Сдано в набор 03.09.86. Подписано в печать 13.01.87. М-20909. Формат 60×90¹/₁₆.
Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл.
печ. л. 16,0. Усл. кр.-отт. 16,0. Уч.-изд. л. 18,88. Тираж 1350 экз. Заказа № 645/725.
Цена 1 р. 30 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра» Ленинградское отделение.
193171, Ленинград, С-171, ул. Фарфоровская, 18.

Ленинградская типография № 8 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.

190000, Ленинград, Прачечный пер., 6.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Длительный отрезок времени, на протяжении которого задумывалась и создавалась эта книга, ознаменовался для автора постепенным переходом от геоморфологических исследований на суше к изучению рельефа шельфа, континентального склона и в последний период рельефа океанического дна. Данное обстоятельство не только имеет отношение к научной биографии автора, но и отражает общий и все возрастающий интерес к изучению Мирового океана и его минеральных ресурсов. Оно же в значительной мере определило не только рассмотрение в книге общегеоморфологических проблем, имеющих отношение как к субаквальному, так и субаэральному рельефу, но и то направление, по которому осуществляется их решение.

На правомерность и эффективность пути от изучения морфологии рельефа к исследованию динамики формирующих его рельефообразующих процессов указывали многие геоморфологи, но никому из них не удавалось пройти его от начала до конца. Не осуществлено это полностью и в данной книге. Благодаря использованию элементов системной методологии автору, кажется, удалось только встать на этот путь и, лишь нащупав его начало, осознать, что впереди открывается длинная сложная и вместе с тем необычайно интересная и перспективная дорога от создания строгой фактологической базы геоморфологии к конструированию разнообразных морфодинамических моделей и решению прикладных задач — прогнозу геологических процессов и дислокаций, а также месторождений полезных ископаемых.

В геоморфологии вообще строгая фактологическая база не только отсутствует, но и, что особенно тревожит, не наблюдается стремления к ее созданию. Отмечается, например, что «отсутствие строгой геоморфологической систематики и классификации — это беда и радость науки о рельефе. Не тратя основных своих сил на разработку единой классификации, геоморфология с самого своего становления стала не только и не столько описательной, сколько объяснительной наукой» [29, с. 32]. Не разделяя оптимистических аспектов в этом утверждении, автор настоящей работы посвятил ее значительную часть как раз тем вопросам, на которые до сих пор геоморфология «не тратила основных своих сил», считая, что без строгого описания и систематики не может быть полноценного объяснения.

Наряду с изложенным содержание книги направлено на преодоление противоречий между признанной необходимостью един-

ства в изучении рельефа континентов и дна океанов и не менее очевидными различиями в исследованиях того и другого. В методическом плане отмеченное единство может быть достигнуто в результате системного подхода к анализу как субаэрального, так и субаквального рельефа и создания общего (универсального) языка, позволяющего идти от изученного на суше к исследуемому в океане.

Из задач, решаемых в настоящей работе, главными являются: а) обобщение и анализ представлений, в сумме составляющих морфодинамическую концепцию геоморфологии; б) создание аппарата морфодинамического анализа — картографирования, районирования, структурного анализа и динамической интерпретации морфологии рельефа; в) определение основных направлений геоморфодинамики и перспектив ее развития.

По мере написания книги, где довольно часто и резко критикуются отдельные положения ряда известных геоморфологов, у автора росло чувство вины перед ними потому, что именно их многие идеи и представления были использованы при создании данной работы. Большое влияние на ее содержание оказали публикации Р. А. Жукова, А. С. Девдариани, О. К. Леонтьева, Ю. А. Мещерякова, А. И. Спиридонова, Д. А. Тимофеева, В. П. Философова и особенно откровенные и наводящие на раздумья работы Н. А. Флоренсова. Именно этой откровенностью автор, признаться, широко пользуется, дискутируя с Н. А. Флоренсовым по большому кругу вопросов. Глубокую признательность за содействие в создании монографии автор приносит своим товарищам по работе во ВНИИОкеангеологии Е. В. Бочаровой, Э. А. Ваниевой, Е. Н. Васильевой, Ю. Е. Погребницкому, Е. Д. Соколовой.

Введение. МОРФОДИНАМИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ И ПРЕДМЕТ ГЕОМОРФОЛОГИИ

§ 1. Морфодинамическая концепция в современной геоморфологии. Задачи и модели геоморфодинамики

Последние этапы развития наук о Земле знаменуются формированием в их пределах отраслей, специально направленных на изучение процессов, создавших и преобразующих исследуемые этими науками природные образования во всех геосферах (динамика вод в гидрологии суши, динамика океана, синоптическая или динамическая климатология, геодинамика, литодинамика, геофлюидодинамика, динамическое ландшафтоведение и др.). Зарождение этих динамических дисциплин началось с тех геолого-географических наук, которые изучают наиболее подвижные среды, и только в самое недавнее время данная тенденция ярко проявилась в науках о литосфере, которой присущ относительный консерватизм в превращениях структуры и вещества.

Отмеченная тенденция отражает общее направление в развитии геолого-географических наук, идущем от познания вещества (составных частей) и строения различных образований в геосферах к изучению формирующих эти образования процессов. В находящихся на острие этого развития динамических дисциплинах генезис исследуемых образований устанавливается в зависимости от их морфологических особенностей. Так, например, дело обстоит в петрологии [Елисеев Н. А., 1953 г.; Заварицкий А. Н., 1955 г.], а также в геотектонике, в которой изучение динамики (кинematики движением) земной коры, генезиса и истории развития дислокаций) опирается на массивный описательный фундамент — структурную геологию.

В геоморфологии морфодинамическое направление широко подготовлено и в значительной мере предопределено результатами развития самой науки о рельефе, а также уже сформировавшихся смежных динамических дисциплин, изучающих отдельные геологические (рельефообразующие) процессы. Еще В. Дэвис необходимой частью общей схемы рельефообразования считал процесс, который, однако, так и остался у него в схеме и практически выпал из приложения дэвисовской триады «структура—процесс—стадия» к конкретным моделям развития рельефа. Значительный шаг по пути к динамической геоморфологии был сделан В. Пенком. Его представления о непрерывности взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов, динамическом анализе геоморфологии рельефа и динамическом подходе к геологической

интерпретации морфологического строения прочно вошли в формирующуюся сейчас морфодинамическую концепцию. Морфодинамический анализ в этом отношении можно считать прямым преемником морфологического анализа В. Пенка. В основу последнего положены общие представления об «уравнении из трех закономерно связанных величин — эндогенных и экзогенных процессов и геоморфологического строения» [20, с. 53], в котором первая из них в связи с недоступностью непосредственного наблюдения фигурирует в роли неизвестного. Как выяснилось, простота предлагаемого решения данной задачи оказалась сугубо внешней, потому что практически все величины в этом «уравнении» неизвестны, а единых принципов оценки рельефообразующего эффекта экзогенных процессов и согласованной с этой оценкой методики описания геоморфологического строения до сих пор не разработано. Данное «уравнение» не оправдало себя не только в качестве расчетной, но и даже иллюстративной формулы. Поэтому оно не используется в практике современных структурно-геоморфологических исследований, в которой искомые вертикальные тектонические движения оцениваются по двум разработанным позднее отечественными геоморфологами методическим направлениям [11, 13].

Выделение кинематического раздела в геоморфологии было предложено в СССР А. С. Девдариани [1950 г.], а за рубежом А. М. Страллером в 1952 г. [3]. Первое определение динамической геоморфологии дано Д. Г. Пановым [1966 г.]. В последние десятилетия морфодинамический аспект постепенно появляется в практике многих прикладных исследований [Палиенко Э. Т., 1978 г.]. Созданы динамическая геоморфология склонов [Воскресенский С. С., 1971 г.], инженерная морфодинамика [Палиенко Э. Т., 1978 г.], инженерная морфодинамика берегов [Сокольников Ю. Н., 1976 г.] и другие морфодинамические отрасли. Опубликована специальная монография по динамической геоморфологии [Ананьев Г. С., 1976 г.].

В большинстве этих исследований под динамикой в геоморфологии понимается изучение доступных наблюдению современных процессов, связанных с эндогенными, экзогенными и антропогенными факторами. В отличие от этого в настоящей работе предлагается аппарат морфодинамического анализа, направленный на исследование морфологического проявления и на освоенное на результатах этого исследования выяснение генезиса, истории развития и прогноз разновозрастных геологических процессов самой разной природы, запечатленных в современном рельефе земной поверхности (ЗП).

При этом переход от морфологии рельефа к рельефообразующим процессам осуществляется через их кинематические характеристики, отражающие в основном направление движения вне зависимости от порождающих его причин. Этим самым кинематическая характеристика геологических процессов рассматривается как составляющая часть их динамического анализа, предваряющая

и в значительной мере обеспечивающая изучение вызывающих эти процессы сил и агентов, а также последовательность их проявления в рельефе.

Хотя общая морфодинамическая концепция до сих пор остается несформулированной, геоморфология уже вплотную подошла к решению этой задачи. Значение этой концепции высоко оценили А. Д. Арманд [1950 г.], призвавший к изучению энергетики рельефообразующих процессов, к определению сил, причин и законов движения ЗП, А. И. Спиридонов [1954 г.], назвавший геоморфологию наукой о рельефе и его развитии как выражении движения вещества земной коры, В. В. Ермолов [6], определивший геоморфологию как отрасль науки, которая изучает динамику ЗП в связи с изменением ее положения в пространстве, С. Л. Троицкий [31], считавший основным содержанием геоморфологии всестороннее исследование динамики ЗП, А. Е. Кривошуйский [1977 г.], относящий к геоморфогенезу перемещения минерального вещества, имеющие морфологический эффект, и Н. А. Флоренсов [36], рассматривающий формы ЗП в качестве морфологического выражения взаимодействия восходящих и нисходящих литодинамических потоков. Следует также отметить создание единой кинематической основы изучения рельефообразующих процессов, которая с 1950 г. последовательно разрабатывалась А. С. Девдариани [3], в то время как многие другие исследователи находились и еще находятся «на подступах» к геоморфодинамике, преодолевая трудности, связанные с дифференциацией геоморфологической науки и неопределенностью ее предмета.

Наряду с отрицательной ролью разобщенности отраслей геоморфологии ее дифференциация и широкие контакты со смежными дисциплинами должны стимулировать использование их идей и методов, основанное на разнообразных и многочисленных соответствиях (изоморфизмах) моделей, отражающих внешне несхожие друг с другом геоморфологические объекты и процессы. На этом в высшей степени плодотворном взаимопроникновении представлений и приемов исследований, пока еще мало заметном в геоморфологии и ее ближайшем окружении, основана системная методология.

Одновременность развития морфодинамической концепции и интенсивной дифференциации геоморфологии отразилась на двояком положении первой в сложной организационной структуре науки о рельефе. С одной стороны, ее выделяют в качестве самостоятельной дисциплины — динамической геоморфологии или геоморфодинамики [Бюдель Ю., 1968 г.; Вильсон Л., 1968 г.; Флоренсов Н. А., 1976 г.; Николаев Н. И., 1976 г.; Дедков А. П., 1976 г.; Леонтьев О. К., 1976 г., и др.], с другой — рассматривают не только как отрасль (с четко очерченными границами предмета), но и как аспект геоморфологии в целом, направляющий на решение теоретических и практических задач все ее дисциплины [26].

В связи с тем что геоморфология стала уделять больше внимания не только проблемам эволюции рельефа в геологическом масштабе времени, но и изучению быстротекущих изменений положения ЗП с целью контроля и прогноза эндогенных и экзогенных (в том числе катастрофических) явлений, морфодинамический аспект глубоко проникает во многие отрасли. Именно этот аспект при решении отдельных практических задач значительно расширяет прикладное значение геоморфологических исследований. Оно определяется их участием не только в геологоразведочных работах, но и благодаря своей «эрудиции» в области современных геологических процессов [35] — в инженерно-геологических, землеустроительных и прочих изысканиях.

Наряду с очевидными позитивными сторонами прикладная направленность отдельных отраслей определила главную тенденцию развития геоморфологии, которая заключается в усилении эмпиризма и углублении анализа при их явном преобладании над теоретическими разработками и синтезом. Важность преодоления отставания теории науки от практики очевидна как для геоморфологии в целом, так и для составляющих ее разделов. Однако среди последних отсутствует дисциплина, которая формулировала бы общие геоморфологические законы. Это далеко не единодушно вменяется в обязанности общей геоморфологии, которая сама делится на ряд разделов и представляет собой больше сумму, чем синтез знаний о рельефе и рельефообразующих процессах.

Развитие теории геоморфологии в целом зависит, конечно, не столько от решения организационных вопросов науки, сколько от двух взаимосвязанных обстоятельств: осознания общности предмета у составляющих ее дисциплин и создания объединяющей их единой концепции. То и другое может быть реализовано в результате формулировки морфодинамической концепции геоморфологии на основе объединяющих ее отрасли представлений о «геометризации» рельефа (см. § 2).

Организованная в виде специальной отрасли — геоморфодинамики, эта концепция не только призвана занять центральное место в разработке теоретических основ геоморфологии, но и «... превращается в одну из главнейших проблем наук о Земле» [36, с. 19]. Ведущая роль геоморфодинамики определяется ее ответственностью за синтез частных закономерностей развития рельефа в различных геологических и физико-географических условиях в общие геоморфологические законы. Наряду с этим геоморфодинамика как формирующаяся отрасль геоморфологии уже сейчас обнаруживает естественное стремление к самоорганизации и обособлению, что проявляется в создании своего собственного понятийно-терминологического и методического аппарата.

Создание единой морфодинамической концепции может осуществиться только в результате преодоления разобщенности климатической и структурной геоморфологии, а также составляющих их дисциплин, в каждой из которых морфодинамический аспект чаще всего существует как бы изолированно. Борьба с этой изоляцией

с морфодинамических позиций и есть борьба за общую теорию науки о рельефе и рельефообразующих процессах, так как современная геоморфология «...представляет собой органическое сочетание структурной и климатической геоморфологии, дополняемое третьим элементом — динамической геоморфологией» [5, с. 9].

Разобшенность структурной и климатической геоморфологии, каждая из которых рассматривается, например, И. С. Трикаром [1964 г.] и некоторыми советскими геоморфологами [36 и др.] в качестве самостоятельной науки со своим предметом и задачами, объясняется прежде всего сложностью единого для них объекта исследований. Она заключается в том, что рельеф развивается на границе сред с существенно отличающейся друг от друга подвижностью вещества. Относительный консерватизм в жизни литосферы, выраженный, в частности, в унаследованном развитии многих геологических дислокаций, и наоборот, высокая динамичность вещества и структуры внешних оболочек Земли создают трудности в выявлении и даже в осознании наличия общих закономерностей развития и взаимодействия процессов, называемых эндогенными и экзогенными.

Проникновение динамической концепции в науку о рельефе кажется в основном занимающих до сих пор подчиненное положение в ней климатогеографических дисциплин. Это привело к подвергшимся справедливой критике [Леонтьев О. К., 1976 г.] попыткам ограничения динамического аспекта рамками только климатической геоморфологии и даже отождествления динамической и климатической геоморфологии [Печи М., 1970 г.; Николаев Н. И., 1976 г.]. В то же время в доминирующем сейчас структурно-геоморфологическом направлении существует своеобразный психологический барьер, препятствующий развитию морфодинамической концепции. Этот барьер объясняется традиционной ориентацией данного направления на установление соотношений между тектонически обусловленными формами современной ЗП, с одной стороны, и относительно консервативными и обычно гораздо более древними (чем рельеф) по заложению и развитию (доновейшими) геологическими дислокациями — с другой. Морфоструктуры как непосредственный объект структурной геоморфологии до сих пор рассматриваются в основном в качестве отражения в рельефе не тектонических движений, а геологических структур. Такая постановка вопроса, если не исключает, то по крайней мере затрудняет выявление общих закономерностей в развитии и взаимодействии эндогенных и экзогенных процессов. Разбор этих представлений проводится в работах [10, 11], в которых наряду с обоснованием и формулировкой морфодинамического определения понятия «морфоструктура» на первый план выдвигается морфодинамический аспект структурной геоморфологии. Этот аспект уже довольно давно и прочно вошел в практику исследований и ярко проявился в двух основных методических направлениях структурной геоморфологии [11, 13]. Однако до сих пор он неестественно сосуществует с противоречащим ему основным постулатом данной дис-

циплины о связи рельефа не с процессами, а непосредственно с геологическими дислокациями.

Развитие морфодинамического аспекта в структурной геоморфологии сдерживалось также часто неоправданным отрывом последней от неотектоники. Наряду с признанием близости и недопустимости разобщения этих дисциплин особенно подчеркивалось [19] различие их объектов (неоструктуры, с одной стороны, и рельефа — с другой). Данное различие касается лишь статического уровня этих наук, в то время как на их динамическом уровне (об уровнях геоморфологии см. § 2) наиболее ярко проявляется близость между неотектоническими процессами и их рельефообразующим эффектом. Здесь следует напомнить о той роли, которую играют структурно-геоморфологические методы изучения неотектонических движений особенно в денудационных областях. В результате разобщения неотектоники и структурной геоморфологии последней часто отводилось как бы решение в основном статической задачи. И хотя И. П. Герасимов и Ю. А. Мещеряков неоднократно говорили о динамическом смысле понятий «морфоструктура» и «структурная геоморфология», этот аспект чаще всего заслонялся основным положением последней, в соответствии с которым «...на всех стадиях исследования морфоструктурные элементы рельефа должны рассматриваться в связи со строением недр, с геоструктурными элементами» [19, с. 25].

Вторая причина некоторой разобщенности структурно-геоморфологических и неотектонических исследований видится в большем стремлении неотектонистов изучать унаследованные (от доновейших структур) элементы неотектогенеза и в определенном игнорировании автономности последнего. Так как в современном рельефе запечатлены тектонические движения более короткого временного диапазона, чем в любой даже самой верхней структурной поверхности, доля автономной (неунаследованной) составляющей неотектогенеза в рельефообразовании всегда больше, чем в формировании геологических дислокаций. Этим объясняются различия в неоструктурном и морфоструктурном планах аккумулятивных платформенных равнин.

Для структурной геоморфологии за рубежом наиболее свойствен статический подход к изучению особенностей рельефа в зависимости от состава и условий залегания пород. Наряду с обособлением этого литоморфного направления предлагается [Хиллс П., 1961 г. и др.] в качестве отдельной дисциплины выделять морфотектонику, которая характеризуется хотя и далеко не полным (только в связи с активностью геологических структур без учета автономных движений), но более динамичным подходом к анализу рельефа.

К настоящему времени почву для развития морфодинамической концепции в структурной геоморфологии можно считать подготовленной. Получены детальные и всесторонние количественные материалы по новейшим и современным движениям [Николаев Н. И., 1976 г.; Мещеряков Ю. А., 1981 г.; Никонов А. А., 1980 г., и др.],

установлено отражение в рельефе динамических процессов в земной коре и мантии [Асеев А. А. и др., 1977 г., и др.], с динамических позиций рассматривается геотектура Земли [Герасимов И. П., 1978 г., и др.].

Разобшенность климатического и тектонического направлений в геоморфологии уже начала преодолеваться на современном динамическом уровне развития этой и смежных наук. Итогом плодотворной дискуссии между О. К. Леонтьевым и В. В. Лонгиновым [1972 г.] и В. М. Воскобойниковым и И. П. Зелинским [1974 г.] явились представления о том, что наряду с закономерностями, отдельно изучаемыми в рамках геодинамики и литодинамики, имеют место более общие законы, отражающие взаимодействие всех эндогенных и экзогенных процессов рельефообразования. Позже О. К. Леонтьев [1976 г.] специально остановился на широком диапазоне динамической геоморфологии, включающей в себя изучение не только экзогенных процессов, но и тектонических движений, а Н. А. Флоренсов [36], вводя понятие о литодинамических потоках, отметил условность противопоставления гео- и литодинамики не только в терминологическом, но и в предметном отношении.

Переход на динамический уровень развития науки о рельефе, центральное и вместе с тем двойственное положение в ней морфодинамической концепции требуют по возможности строгого определения предмета и задач входящей в нее новой дисциплины — геоморфодинамики. Л. Кинг [1968 г.], С. Л. Троицкий [1967 г.] и Н. А. Флоренсов [35, 36] рассматривают геоморфологию в качестве синонима, части или преемницы динамической геологии. Основанием для этого считается то, что «геологические процессы в прямом или опосредованном виде всегда являются также процессами геоморфологическими» [36, с. 104], а также то, что «процессы внешней динамики, прежде составляющие раздел динамической геологии, рассматриваются главным образом геоморфологами, и нужно вполне согласиться с правом на существование динамической геоморфологии» [35, с. 42]. Со всем этим действительно следует согласиться, но подчеркнуть, что вся обширная область знаний, объединяемая ранее рамками динамической геологии, в настоящее время перешла не только к одной геоморфодинамике, а, естественно, разделилась между ней, гео- и литодинамикой.

Взаимодействие этих трех дисциплин, возникших из единого ствола динамической геологии, представляется О. К. Леонтьеву и В. В. Лонгинову [1972 г.] таким образом, что основным методом изучения геоморфодинамикой рельефообразующих процессов является использование закономерностей гео- и литодинамики. Однако связь этих отраслей не такая односторонняя. Каждая из этих дисциплин имеет четко очерченный предмет своих исследований. *Геоморфодинамика призвана к самостоятельному изучению морфологического эффекта и общих закономерностей перемещений вещества литосферы и внешних оболочек.* Основным морфодина-

мическим параметром (в отличие от литодинамического [Лонгинов В. В., 1973 г.]) является перемещение ЗП по вертикали и горизонтали в зависимости от баланса и превращений (уплотнения, диагенеза и т. д.) вещества. А гео- и литодинамика занимаются собственно перемещениями вещества и физико-химическими его превращениями в ходе этого перемещения в пределах литосферы и на ее поверхности.

В приведенном определении предмета геоморфодинамики наряду с его морфологической спецификой фигурируют перемещения вещества не только литосферы, но и других оболочек, которое выступает в качестве: а) транспортирующего средства по отношению к литосферному веществу (водные, воздушные, ледниковые потоки); б) возможной первопричины его перемещения, действующей на расстоянии через механизм изменения ротационного режима планеты и реакции на это литосферы в удаленных от мест создавшегося дефицита или избытка водных, ледниковых и воздушных масс; в) местной (региональной или локальной) причины движения минеральных масс (гляцио- и гидростазия). Таким образом, вслед за А. С. Девдариани [3], признается необходимость изучения не только перемещений верхней поверхности и вещества литосферы, но и вызывающих эти перемещения сил и агентов.

Все виды перемещений вещества литосферы, во-первых, так или иначе проявляются в ее верхней границе и, во-вторых, находятся в причинно-следственных отношениях и обязаны друг другу своей интенсивностью, направлением и продолжительностью. Указанные обстоятельства дают монопольное *право геоморфодинамике на изучение наиболее общих закономерностей этих перемещений*, так как рельеф отражает их суммарный эффект. Данные закономерности должны описывать совокупность гео- и литодинамических процессов на основе определения их морфологического эффекта и оценки баланса (прихода—расхода) вещества, перемещаемого в пределах литосферы, на ее нижней и верхней границах.

Так как количественную оценку прихода и расхода минеральных масс в большинстве случаев получить пока не удастся, *основное внимание сейчас следует уделять изучению морфологического проявления перемещений литосферного вещества.*

Единство разнотипных движений вещества и поверхности литосферы может рассматриваться применительно как к одному участку (точке) ЗП, так и к смежным или удаленным друг от друга. Так, на одном участке могут происходить последовательные и (или) одновременные перемещения ЗП, связанные с восходящими тектоническими движениями, с развивающейся как следствие этого денудацией и с восстановлением нарушенного изостатического состояния. В сопряженном с этим поднятием прогибе поверхность перемещается вследствие тектонических опусканий компенсационного характера, накопления осадков и литоизостатических погружений.

Таким образом, перемещение каждого участка ЗП определяется рельефообразующим эффектом не одного, а многих процессов [3], протекающих в одно или разное время. Перемещения различной природы сменяют друг друга во времени и в пространстве, взаимодействуют, в совокупности своей составляя сложный ансамбль движений вещества и верхней поверхности литосферы в рамках единого массообмена между ее отдельными частями. Показанная [3] общность методов оценки перемещений ЗП в ходе различных рельефообразующих процессов отражает предметное единство — целостную сложную систему движений вещества и верхней поверхности литосферы.

Наряду с несомненным и естественным использованием геоморфодинамикой данных и результатов гео- и литодинамики уже сейчас существует и обратная связь между этими дисциплинами. Так, литодинамические процессы изучаются не только в зависимости от действующих силовых полей, свойств движущегося агента и самого вещества, но и от особенностей ЗП, которые она имела до перемещения вещества.

Кроме того, факт, характер, агенты и направление перемещения устанавливаются (особенно на слабо изученном дне океана) по морфодинамическим признакам [Лонгинов В. В., 1973 г.], т. е. по результатам перемещения. Такими признаками для суспензионных потоков, например, являются конусы выноса, следы эрозии в подводных каньонах. Практически все литодинамические исследования проводятся параллельно и в тесной связи с морфодинамическими наблюдениями. Сюда относится изучение динамики склоновых, золowych и береговых процессов, речных наносов и т. д. В качестве морфодинамических признаков вертикально и горизонтально направленных геодинамических процессов в океане давно анализируются батиметрическое и латеральное положение плоских вершин гайотов, рифты и трансформные линейменты на срединно-океанических хребтах. Пока морфодинамические признаки установлены и изучаются там, где они проявляются в наиболее чистом виде, фиксируя морфологический эффект наиболее мощных или ярко выраженных гео- и литодинамических процессов: на срединно-океанических хребтах, континентальных склонах, в зонах Заварицкого—Беньюфа. На большей же части океанического дна морфологический эффект тех и других процессов не изучен, разделить его значительно труднее, чем на суше, и понадобится много сил и времени, чтобы это удалось осуществить.

Следует выделить прямую и обратную задачи геоморфодинамики и ее *методического аппарата* — *морфодинамического анализа*. Прямая задача сводится к определению морфологического эффекта геологических процессов. Ее решение должно базироваться на богатейшем опыте геоморфологии и смежных наук и заключаться в эталонном, экспериментальном и теоретическом моделировании, предусматривающем изучение морфологического проявления этих процессов в наиболее чистом виде (см. ниже).

В обратную задачу геоморфодинамики входит основанная на картографировании и специальном изучении морфологии, а также на результатах решения прямой задачи динамическая интерпретация рельефа — определение направленности, интенсивности и последовательности не только тектонических движений, а (в отличие от морфологического анализа В. Пенка и морфоструктурного анализа Ю. А. Мещерякова) всей совокупности взаимодействующих и участвующих в рельефообразовании гео- и литодинамических процессов. При решении этой задачи морфодинамический анализ призван установить по морфологическим особенностям ЗП вызвавшие ее перемещения процессы, силы и агенты, разработать региональную модель их действия и взаимодействия в ходе рельефообразования, а также использовать созданную модель для прогноза: а) геологических дислокаций и повышенной концентрации полезных компонентов (ретроспективная часть прогноза) и б) последующих перемещений ЗП (перспективная часть прогноза).

Основным теоретическим результатом геоморфодинамики должна явиться *общая модель рельефообразования*. Этот центральный вопрос геоморфологии до сих пор решается на уровне умозрительного алгебраического суммирования вертикальных, направленных друг против друга рельефообразующих эффектов тектонических движений и денудации и аккумуляции. Созданные по этому принципу модели постепенно усложнялись от последовательного (В. Дэвис) к непрерывному (В. Пенк) взаимодействию эндогенных и экзогенных процессов и далее к современным представлениям о разной степени компенсации тектонических движений аккумуляцией или денудацией, об изменении в их соотношениях с течением геологического времени и т. п. При всех ее вариантах в качестве основополагающих принимались положения о количественной соразмерности и антагонизме эндогенных и экзогенных процессов. Они далеко не бесспорны и нуждаются в ревизии с позиций морфодинамической концепции, в их полном или частичном пересмотре применительно к разным условиям рельефообразования. Создание общей морфодинамической модели должно осуществляться с учетом целого ряда недавно открытых явлений и процессов, играющих огромную рельефообразующую роль (эвстатических колебаний уровня Мирового океана, высокоамплитудных горизонтальных перемещений литосферных плит и вертикальных лито-, гидро- и гляциозостатических движений, направленности экзогенных процессов на выравнивание и расчленение и др.). При этом следует принять во внимание имеющиеся к настоящему времени данные о мгновенных и средних скоростях (с учетом «парадокса скоростей») всех участвующих в рельефообразовании геологических процессов, а также закономерности их действия и взаимодействия и проявления в рельефе и геологическом разрезе.

Узость предложенных к настоящему времени вариантов общей модели рельефообразования заключается в том, что она разрабатывалась только применительно к рельефу континентов. Сейчас

такая модель должна включать в себя развитие рельефа дна Мирового океана. Необходимость создания общей модели, описывающей в качестве единого целого развитие рельефа Земли, определяется тесной взаимосвязью рельефообразования на материках и в океанах. Вертикальная составляющая тектонических движений океанического дна меняет суммарный объем океанических бассейнов, что обуславливает динамику уровня Мирового океана — главного базиса эрозии континентов, интенсивность и направленность (на расчленение или выравнивание) их денудации и в конечном счете скорость осадконакопления в океанах. Скорости спрединга в срединно-океанических хребтах вызывают разные по интенсивности орогенические процессы в зонах столкновения литосферных плит, что в свою очередь влияет на денудацию континентов и осадконакопление в океанах. Эти два взаимосвязанных и упрощенно изложенных здесь механизма не исчерпывают всего многообразия в отношениях геологических процессов на континенте и в океане, а лишь иллюстрируют необходимость создания общепланетарной модели рельефообразования, которая может быть умозрительной, символической, а со временем и математической.

Если уровень общего моделирования определяет теоретическое значение геоморфодинамики, то ее прикладная роль определяется конструированием *частных моделей*. Последние отражают и в рамках их изучаются морфологические эффекты «элементарных» [19] геологических процессов, доминирующих в определенной морфодинамической обстановке (в речном русле, на склоне, в береговой зоне, подводном каньоне, приосевой части срединно-океанического хребта и т. д.), а также взаимодействие соизмеримых по своему рельефообразующему эффекту «элементарных» процессов на том или ином участке ЗП или на искусственно созданной (в лотке лаборатории) или мыслимой (и рисуемой лишь на бумаге) поверхности. К частным морфодинамическим моделям относятся следующие разновидности.

1. *Эталонные модели (эталонь)*, которые следует создавать для наиболее представительных (наиболее ярко отражающих те или иные процессы и их морфологический эффект) естественных полигонов, в пределах которых с необходимой детальностью закартирован рельеф, с достаточной полнотой изучены рельефообразующие процессы и определены морфодинамические признаки их проявления. В формировании и постоянном пополнении совокупности (банка) таких эталонов (см. § 37) в их систематике и в выделении морфодинамических аналогов и общих наиболее устойчивых или систематических морфодинамических признаков отдельных процессов или их групп и будет заключаться в значительной мере решение прямой задачи геоморфодинамики.

2. *Экспериментальные (лабораторные, натурные или полевые) модели*, позволяющие исследовать морфологическое проявление одного или нескольких процессов в их наиболее чистом виде с соблюдением пространственного и физического подобия. Если в лаборатории «чистота» эксперимента задана, то полевые модели

[Дедков А. П., 1978 г., и др.] должны или конструироваться из расчета максимального абстрагирования от изменения обстановки и других факторов, или отражать рельеф и рельефообразующие процессы, изменение и наложение которых предусмотрены моделью. При том и другом вариантах речь идет об ограниченных по площади участках и отрезках времени, в пределах которых условия и обстановка развития того или иного процесса могут считаться неизменными или меняющимися в узко заданных диапазонах. Несмотря на многие сложности и ограничения экспериментального моделирования, с его помощью уже довольно давно решаются некоторые общие вопросы (например, механизм и морфологический эффект взаимодействия тектонических поднятий с абразией или эрозией [Маккавеев Н. И. и др., 1961 г.]) и прикладные задачи для ретроспективных и перспективных прогнозов (неотектонически активных антиклиналей, разрушения берегов, эрозии почв, заносимости каналов и т. д.), количественно оцениваются параметры рельефообразующих процессов в результате как текущих, так и последующих измерений [3].

3. *Теоретические модели*, которые могут быть созданы в качестве математических, символических или картографических (в виде схем) записей рельефа, осуществленных на основе известных представлений о формирующих его процессах (их направленности, интенсивности, локализации, денудационных и транспортирующих способностях и их рельефообразующем эффекте в целом). Эти модели, с одной стороны, отражают наиболее существенные стороны оригинала [Арманд А. Д., 1975 г.], а с другой — наименее достоверны. Важное значение они будут иметь особенно в качестве гипотетических записей: а) морфологического проявления не одного, а нескольких взаимодействующих или наложенных разновременных процессов, каждый из которых в отдельности достаточно изучен в морфодинамическом отношении и б) отражающих в обобщенном виде категории эталонных моделей, которые выделяются в банке эталонов по тем или иным признакам.

Если конструирование частных (эталонных, экспериментальных и теоретических) моделей призвано осуществлять в рамках решения прямой задачи по принципу «от процесса к рельефу», то *региональное моделирование* направлено на решение обратной задачи геоморфодинамики — «от рельефа к процессу». Региональные модели могут создаваться в результате разных по детальности морфодинамических исследований той или иной территории. Они призваны отразить рельеф этой территории на карте и на основании его анализа определить сформировавшие и преобразующие его процессы.

Использование перечисленных моделей в описательной (символической), графической и картографической формах может быть успешным только тогда, если все виды морфодинамического моделирования будут связаны друг с другом универсальным и строгим языком, обеспечивающим сравнимость, изучение и интерпретацию моделей и их вариантов.

§ 2. Концепции «овеществления» и «геометризации» рельефа

4783

Существуют две точки зрения на объект геоморфологии. Одна из них, развиваемая всего несколькими авторами [3, 6, 25, 31] и названная [Ласточкин А. Н., 1982 г.] *концепцией «геометризации»* рельефа, сводит его к частям и строению ЗП как геометрического места точек. Большинство же современных исследователей резко критикуют эти представления и при определении объекта геоморфологии чаще всего оперируют терминами «рельеф» и «формы рельефа», понимая под последними не только их внешние ограничения, но и объемы с их внутренним наполнением минеральными массами или геологическим субстратом [Николаев Н. И., 1976 г.; Худяков Г. И., 1978 г.; Леонтьев О. К., 1976 г.; Полканова Л. П., 1979 г., и др.]. Справедливой критике Ю. Г. Симоновым, А. И. Спиридоновым [1983 г.] подвергался А. Е. Криволицкий [1982 г.], который в генетическом отношении под рельефом подразумевает не только геометрическую поверхность литосферы, но и слагающие ее горные породы. И. П. Герасимов [1983 г.] также подчеркивает, что рассматривать формы ЗП как «полюе» образования, лишая их геологического субстрата, можно лишь в узкометодических целях, а в целом подобный подход не соответствует историческим корням геоморфологии и должен быть отвергнут. Вне зависимости от явного господства этой второй, сформировавшейся за последнее время концепции «овеществления» рельефа разделяющий ее Н. А. Флоренсов недавно признал, что «геоморфология, несмотря на все ее триумфы, до сих пор окончательно не стала на ноги. Лишь очень приблизительно известно, что такое предмет (и объект — А. Л.) ее исследований» [36, с. 6]. Таким образом, дискуссия о содержании предмета и объекта геоморфологии вполне правомерна, тем более что решение этого вопроса, несмотря на его «академизм», определяет не только стратегию в целом, но и тактику геоморфологических прикладных исследований.

Как бы неблагоприятно ни обстояло дело с определением исходных понятий геоморфологии, следует отметить то единодушие, с которым сейчас ее считают наукой не только о рельефе (как бы он ни определялся), а о рельефе и рельефообразующих процессах. Такое понимание предмета геоморфологии отражает наличие в нем двух аспектов: статического (рельеф) и динамического (рельфообразующие процессы). Эти аспекты — не равноправные стороны науки, а два последовательных уровня познания ее предмета, идущего от картографирования и всесторонней характеристики рельефа (геометрии и статики, по [4]), составляющих первую ступень изучения [Николаев Н. И., 1976 г.], к исследованию создавших его процессов (кинематики и динамики, по [4]). Такая постановка вопроса находится в полном (имеющем важное методологическое значение) соответствии с представлениями о статическом и динамическом уровнях в системном подходе к изучаемым объектам [Елисеев Э. Н., 1983 г.], о геометрическом и динамиче-

ском аспектах симметрии (см. § 22, 30), о статическом и динамическом классах геологических систем [Косыгин Ю. А., Соловьев В. А., 1969 г.].

Концепция «овеществления» рельефа выработана не с общегеоморфологических позиций и представляет лишь структурно-геоморфологический подход к определению единого объекта и предмета геоморфологии. Однобокость такого подхода проявилась в неверном истолковании философских категорий формы и содержания применительно к объекту и предмету геоморфологии. По Н. А. Флоренсову [36], в геологии форма и содержание — это соответственно форма залегания и вещественный состав тел, а содержанием в структурной геоморфологии является форма в ее геологическом смысле, т. е. геологическое строение. Из таких представлений следует полное отчленение структурной геоморфологии от единой геоморфологической науки, в то время как последняя имеет общий для всех ее отраслей (единый и неделимый, по [36]) объект всестороннего изучения, исследуемый как со структурно-, так и с климатогеоморфологических позиций на статическом и динамическом уровнях познания. Содержанием предмета структурной геоморфологии называется [36] то, что является объектом изучения структурной геологии и что не может со всей полнотой быть исследовано геоморфологами.

Н. А. Флоренсов [36], считая содержанием предмета структурной геоморфологии формы залегания геологических тел, противоречит себе, отмечая, что содержание в природных явлениях составляет материальный субстрат, вещество. Для объекта геоморфологии таковым, по его мнению, является геологический субстрат.

По поводу «овеществления» содержания объекта геоморфологии А. И. Спиридонов [26] справедливо указывает, что формы ЗП и геологический субстрат на соответствующем ей участке не соотносятся друг с другом как форма и содержание, остроумно иллюстрируя широко распространенное заблуждение примером с озерной котловиной. «Содержанием рельефа является выраженный в его формах процесс рельефообразования, который протекает как взаимодействие материальных тел и сред...» [26, с. 36]. Данное положение полностью согласуется с современными представлениями об этих философских категориях. В соответствии с ними «...содержанием является не сам субстрат, а его внутреннее состояние, *совокупность процессов*, которые характеризуют взаимодействие образующих субстрат элементов между собой и со средой и обуславливают их существование, развитие и смену. В этом смысле само содержание выступает как процесс, состоящий в непрерывном изменении сторон, элементов вещи» [Философская энциклопедия. Т. 5, 1970, с. 384]. Применительно к геоморфологии это означает, что содержанием ее объекта является совокупность рельефообразующих процессов или рельефообразование в целом, а формой — сам рельеф. Такая постановка вопроса находится в полном соответствии с логикой познания геоморфоло-

гней своего объекта (от формы к содержанию) и определяет центральное место геоморфодинамики в науке о рельефе.

Критики концепции «геометризации» рельефа явно упрощают ее, называя данные представления «единственно геометрическим» [Флоренсов Н. А., 1976 г.], «чисто геометрическим и кинематическим» [Николаев Н. И., 1976 г.], «механическим, формальным» [Полканова Л. П., 1979 г.] подходом, для которого достаточно «внешних очертаний» [Флоренсов Н. А., 1976 г.] или «геометрических свойств» [Николаев Н. И., 1976 г.] ЗП. Однако ни один из развивающих эти представления авторов не ограничивается изучением морфологии рельефа, но считает его первым, отправным, и обязательным этапом геоморфологических исследований, справедливо названным Ю. К. Ефремовым пропущенной главой геоморфологии [31]. Необходимо восполнение этого неоднократно отмечаемого [19, 36 и др.] пробела в геоморфологии, которая, несмотря на свое название, задачи и обилие количественной информации о ЗП, отличается от большинства естественных наук отсутствием входящей в нее морфологической дисциплины (раздела), ответственной за организацию объективной фактологической базы всей науки о рельефе. Проведение предваряющего динамические или историко-генетические построения целенаправленного исследования морфологии есть необходимое условие достижения однозначности в выделении, картографировании и систематизации различных элементов ЗП, обоснованных определений их происхождения и возраста, уверенных прогнозов объектов, явлений и процессов, имеющих практический интерес.

Только через морфологию может быть осуществлен системный подход в изучении рельефа и рельефообразующих процессов, так как необходимая для этого исходная формализация не может быть достигнута при его изначальном картографировании и исследовании по другим (генетическим, возрастным) признакам вследствие их неоднозначности [Воронин Ю. А., 1976 г.]. Нельзя также признать пригодными для формализации так называемые комплексные геолого-геоморфологические образования или морфоструктуры в понимании сторонников концепции «овеществления» рельефа. Морфоструктура, как громоздкая и эклектичная понятийная конструкция этой концепции, подразумевает наличие цельности, обязательных связей (которые часто отсутствуют) между разнородными и не всегда сопоставимыми элементами земной коры и ее верхней поверхности [10]. Поэтому данные образования не поддаются строгому определению и унифицированному отражению на картах разных районов и масштабов.

Таким образом, концепция «геометризации» и системная ориентация геоморфологии полностью соответствуют ее «...главному назначению — быть в полном и точном смысле морфологической наукой о ЗП» [36, с. 6]. Как это ни «кошунственно» звучит для традиционной геоморфологии, сначала следует мысленно отделить ЗП от объемов земной коры, которые она ограничивает, и лишить ее толщины. Только в результате этого у нас появится реальная

возможность создавать формализованные модели, с помощью которых можно строго описывать, картографировать и изучать ее рельеф, а уж затем связывать его с процессами, структурой и веществом литосферы и других оболочек.

Концепция «геометризации» рельефа ориентирует геоморфологию «...на самостоятельное изучение ЗП, ее форм, ее неровностей, а морфологический аспект, звучащий в самом названии науки, получает первенствующее значение также в ее существовании, в теории и методе» [36, с. 37]. Это чувство самостоятельности нужно геоморфологу не для удовлетворения своих профессиональных амбиций, а для достижения результатов, которые можно рассматривать в качестве независимого источника информации о геологических процессах. Уже отмеченное слабое развитие морфологического и морфодинамического направлений и резкое преобладание объяснений над описаниями в геоморфологии обусловлены в значительной мере тем, что генетические и исторические представления о рельефе чаще всего формировались под абсолютным влиянием взглядов геологов на происхождение и возраст четвертичных и более древних отложений. Изучение осадков в неразрывной связи с геоморфологическими исследованиями, особенно в аккумулятивных областях, имело и имеет, несомненно, положительное значение. Однако наряду с ним это определило практически полную зависимость генетических и исторических представлений в геоморфологии от таковых в четвертичной геологии, что проявилось в создании для таких областей комплексных геолого-геоморфологических ретроспективных моделей, в конструировании которых собственно геоморфологическая информация (о морфологии рельефа, морфодинамических признаках и т. д.), за некоторыми исключениями, играет сугубо подчиненную роль, а многочисленные нерешенные вопросы четвертичной геологии (например, о генезисе ледово-морских и ледниковых отложений) идут также и в «пассив» геоморфологии. И лишь в денудационных областях, где геоморфологи предоставлены самим себе и не удовлетворяются только изучением коррелятных толщ в сопряженных областях аккумуляции, они вынуждены интенсивно и уже вполне самостоятельно заниматься вопросами морфодинамики (факторами, условиями, механизмами, скоростями денудации и т. д.). Самостоятельность геоморфологии может быть обеспечена только в результате проведения специальных морфологических исследований, на базе которых могут быть сформулированы выводы о динамике геологических процессов. Последнее ни в коем случае не отрицает необходимость последующего создания комплексных геолого-геоморфологических моделей, а, наоборот, предусматривает своеобразный независимый вклад в них со стороны геоморфологии.

Существующая парадигма геоморфологии предусматривает изучение происхождения и истории развития рельефа на основе неоднозначно определяемых и интерпретируемых и поэтому слабо используемых данных о его морфологии, существенно дополненных разнородной геолого-геофизической информацией о составе, возра-

сте, генезисе рельефообразующих пород и структуре земной коры. На смену данной методической направленности приходит зародившаяся в ней, взявшая все рациональное из опыта геоморфологических исследований и по-разному проявившаяся в работах [2—6, 15, 16, 19, 21, 25, 26, 29, 31, 33—36 и др.] парадигма, которую условно можно назвать новой. Она заключается в независимом от этой информации решении обратной задачи морфодинамики или региональном морфодинамическом моделировании — полном и всестороннем исследовании, картографировании и динамическом истолковании морфологических особенностей рельефа. При существующей парадигме геоморфология мало «выдает» собственных результатов и много «потребляет» региональных геолого-геофизических (в том числе сугубо предварительных и недостаточных для тех или других диагнозов, по-разному коррелирующихся с рельефом) данных и материалов, растворяясь или смешиваясь с ними, преувеличивая их точность и достоверность, часто сильно завися от них, не используя при этом всех своих возможностей. Новая парадигма означает не отрыв геоморфологии от смежных наук, а лишь ее местную, региональную, автономию, которая обязательно должна сочетаться с использованием их общих результатов при решении прямой морфодинамической задачи. Использование этих результатов необходимо для оценки рельефообразующего эффекта всех геологических процессов, для создания теоретических, экспериментальных и эталонных моделей.

В то время как концепция «овеществления» рельефа находится в полном соответствии с существующей парадигмой, являясь, по сути дела, ее теоретической базой, сторонники концепции «геометризации» стоят на позициях, близких к новой парадигме. По их мнению, только вслед за изучением морфологии рельефа должны следовать определения его генезиса (и картографирования генетически однородных поверхностей, по [6]) и возраста [31], соотношений его с геологической структурой [10, 11]. Все эти характеристики А. С. Девдариани [4] относит к геометрии и статике рельефа, анализом которых не ограничиваются геоморфологические исследования. Вслед за ними, по мнению указанного автора, изучаются кинематика и динамика рельефообразующих процессов. Однако морфодинамический анализ предусматривает другой порядок исследований — непосредственный переход от морфологии к динамике. При этом под последней понимается наряду с кинематической характеристикой процессов (кинематикой) изучение ответственных за них факторов, сил и агентов (т. е. генезиса) и последовательности их проявления в рельефообразовании (т. е. истории развития рельефа).

Такой путь особенно оправдан и получит наибольшее распространение при исследовании рельефа океанического дна. Отсутствие явно выраженных (очевидных) генетических связей в субаквальном рельефе вынуждает исследователей, находящихся в начале его систематического изучения и картографирования, первыми сделать шаг назад, но не к тому, что было уже осуществлено

в геоморфологии, а к тому, что в ней пропущено — к созданию методического аппарата специального анализа морфологии рельефа и его последующей динамической интерпретации. С помощью этого аппарата может быть сделан существенный вклад геоморфологии в решение актуальной проблемы оптимизации получения и обработки эмпирического материала о геологических процессах на океаническом дне.

Таким образом, первая точка зрения на объект и предмет геоморфологии предлагает не использованные до сих пор широкие возможности общего анализа морфологии рельефа ЗП, формализации составляющих ее элементов, применения строгих методов и количественных оценок для их однозначного выделения, ограничения и систематики. Причем это все не исключает, а лишь предвещает изучение динамики рельефообразующих процессов, включая в него определение генезиса и истории развития рельефа. Не случайно малочисленные пока сторонники концепции «геометризации» рельефа оказались по сравнению со своими критиками ближе к морфодинамическим представлениям. На многие из указанных преимуществ данной концепции объективно указал Н. А. Флоренсов [36], назвавший ее многообещающим и увлекательным, если не главнейшим, то на первых порах первенствующим, исходным, удобным для формализации геоморфологических явлений путем, который, однако, по его мнению, не может рассматриваться как фундамент при построении общей теории науки. Нам же представляется, что этот широко используемый многими естественными науками путь является единственно верным и в геоморфологии. Именно на этот путь ориентирует *практика современного аналитического картографирования* [2, 6 и др.], с которой концепция «овеществления» рельефа находится в *полном противоречии*. Данное направление в картографировании основано на первичности анализа морфологии по отношению к изучению происхождения и возраста рельефа и сводится к выделению и фиксации на карте «граней» (т. е. частей ЗП, а не каких-либо объектов) с их последующей генетической и возрастной характеристиками.

Главное методологическое положение данной концепции, предусматривающее первичность анализа морфологии рельефа, определяет и стратегию геоморфологических исследований в океане. Геоморфолог на суше, благодаря очевидности многих (но далеко не всех) установленных по разным данным генетических и исторических связей между различными элементами ЗП, проходит весь путь изучения рельефа (от морфологии до генезиса и возраста) как бы мысленно и интегрально или оставляет исходную и промежуточную информацию на рабочих материалах. В то же время при исследовании и картографировании рельефа дна океана в жестких условиях минимальных по объему сведений о геологических процессах и строении для познания того и другого анализ морфологии часто удовлетворительно изученной гидрографами подводной поверхности приобретает самостоятельное

большое значение в качестве одного из важнейших и независимых от геологии и геофизики источников информации.

Концепция «овеществления» рельефа не согласуется с идеей взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов, потому что из нее вытекает противопоставление внешним процессам не неотектонических движений, а чаще всего значительно более древних, чем формы ЗП (по заложению и развитию), и относительно консервативных форм залегания геологических тел. Этим самым данная концепция не только способствует большей разобщенности структурной и климатической геоморфологии, но и препятствует достижению динамического уровня изучения геоморфологией своего предмета.

Основным аргументом в пользу включения геологического субстрата в понятие о формах ЗП является основанное на многих данных положение о их связи со структурами и веществом литосферы. Оно справедливо только при условии активного участия геологических дислокаций и перемещений этого вещества в процессах современного рельефообразования. Такое участие проявляется в неотектоническом (унаследованном) росте древних и новообразовании молодых структур, а также в особенностях денудации, транспортировки и аккумуляции вещества. Неактивные до новейшие структуры и неэкспонированное на ЗП вещество литосферы никакой связи с современным рельефом не обнаруживают, что не исключает их «просвечивания» (за счет фильтрации и инфильтрации флюидов, теплового потока) в почвенно-растительном покрове и проявления на аэрофото- и фотокосмических материалах (см. § 38). Пока явно фетишизирующие современный рельеф высказывания о его почти безграничной «информативной емкости» или «памяти» о древней структуре [Соловьев В. В., 1978 г., и др.] не подкреплены хотя бы самыми общими соображениями о механизме такого «запоминания». Вряд ли можно, например, согласиться с тем, что среднеплейстоценовая аккумулятивная поверхность может что-то «помнить» о расположенных ниже архейских складчатых комплексах фундамента.

Н. А. Флоренсов, ссылаясь на унаследованность в тектогенезе, пишет: «...не следует полагать, что структурно-тектонические формы уж столь консервативны по отношению к формам структурно-геоморфологическим» [36, с. 22]. Вместе с тем геологические структуры как раз именно своим консерватизмом прежде всего отличаются от тектонически обусловленных форм ЗП, которые развиваются не только за счет их новейшей активности (если они активны), но и в меньшей степени в результате постоянно перестраивающихся по знаку и интенсивности автономных неотектонических перемещений. Кроме временной [Яншин А. Л., 1965 г.] и пространственной [19, 10] ограниченности тектонической унаследованности следует помнить о принципиальном различии в формировании геологической структуры и рельефа. Оно сводится к тому, что современная (конседиментационная) структура есть суммарный эффект длительного накопления унаследованных

подвижек, в то время как современный рельеф — результат взаимодействия самых последних по времени (новейших) тектонических (автономных и унаследованных) движений и экзогенных процессов.

Рельеф в каждый отрезок геологического времени, отражая не формы залегания геологических тел, а наряду с литодинамическими геодинамические (прежде всего тектонические) процессы того времени (с момента его образования), *связан со строением литосферы лишь в той степени, в какой эти процессы участвовали в образовании новой и преобразовании предшествующей геологической структуры или были унаследованы от ранее протекавших процессов.* Значительная и согласованная изменчивость верхней и нижней границ земной коры при сравнительной консервативности ее внутренней структуры [Мещеряков Ю. А., 1981 г.; Николаев Н. И., 1982 г.] определяет структурно-тектоническую информативность рельефа, ограниченные возможности геоморфологических методов прогноза геологических, особенно пликативных, структур в осадочной толще и в фундаменте и вместе с тем широкие, еще практически не реализованные возможности изучения этими методами геодинамических процессов во всей литосфере и в глубокой мантии.

Довольно часто структура минерального наполнения конкретных форм ЗП никак не выражается в их морфологии и генезисе. И это вполне естественно, так как обычно геологические тела (с их границами) и облекающие их сверху формы ЗП являются сугубо разновозрастными образованиями и хотя бы поэтому не могут быть связаны друг с другом. Ведь ни у кого не вызывает сомнений частое отсутствие связей между складчатой структурой и поверхностью фундамента древних платформ или между пликативными дислокациями в разных структурных этажах (например, в над- и подсолевом комплексах) осадочного чехла. В то же время образование и развитие основных черт ЗП определяются более глубинными новейшими геодинамическими процессами, часто не нашедшими отражения в строении верхних горизонтов земной коры. Таковы, например, четко выраженные в рельефе неотектонические деформации цокольных равнин, не связанные с древними глубоко срезанными складчатыми дислокациями. Сюда же следует отнести все обширные регионы распространения так называемых гетерогенных морфоструктур, которые не совпадают в плане со структурами осадочной толщи.

Отмечая, что конформность и дисконформность в соотношениях геологических структур и ЗП — крайние и сравнительно редкие случаи, Н. А. Флоренсов [36] признает, что подавляющее число случаев в этих соотношениях — явления неполной конформности различных степеней. Многолетний опыт структурно-геоморфологических исследований в СССР показывает, что определить и тем более использовать какие-либо градации конформности при прогнозе пликативной структуры осадочной толщи практически и, думается, теоретически невозможно. Можно говорить только о кон-

формности (наличии прямой или обратной связей) или дисконформности (отсутствии связи между тектоническими и геоморфологическими образованиями), допуская смещения контуров, линий и зон тех и других в зависимости от известных причин (региональных перекосов, наклонов плоскостей сместителя).

Говоря о *вещественной основе рельефа* [36], нельзя ограничиваться геологическим субстратом. Если рассматривать ЗП в качестве геометрического места точек [3], то следует признать ее общей как для литосферы, так и для всех внешних оболочек [36, 26]. В наиболее широком общенаучном определении любая поверхность рассматривается в качестве общей части двух смежных областей пространства. Учитывая это, следует внести коррективы в представления [3] о том, что ЗП может пониматься двояко: как геометрическая и как вещественная поверхность. Овеществление поверхности (но не рельефа) здесь вытекает из отождествления ее точки (участка бесконечно малой площади) с исчезающе малым объемом (частицей) горной породы (литосферы) в следующем положении: «Под частицей ЗП мы будем понимать исчезающе малый при данном масштабе обобщения объем горной породы, слагающей поверхность литосферы» [3, с. 13]. Отсутствием такого противоречия отличается положение о том, что ЗП, «...как всякая идеальная поверхность раздела материальна, но не вещественна» [31, с. 56]. Составляющие ее точки можно соотносить (а не отождествлять) не только с самыми верхними твердыми частицами горных пород [3], но и с тем же основанием — с самыми нижними частицами воды, газа и льда соответственно в гидро-, атмо- и криосфере.

При рассмотрении ЗП с таких позиций точно так же может быть выдвинуто положение о связи ее с процессами, веществом и структурами во внешних оболочках. Различное по эффекту геоморфологическое проявление (по крайней мере пограничных) гидрологических, атмосферных и гляциологических процессов в этой поверхности очевидно, так как все они прямо или косвенно участвуют в рельефообразовании. Связь границ внешних оболочек с их структурой и веществом отличается от таковой в литосфере главным образом потому, что структурные образования разного генезиса в атмо-, гидро- и криосфере характеризуются значительно меньшим консерватизмом и кратковременностью существования. Однако и эти структуры соотносятся с различными формами ЗП в той степени, в которой создавшие их процессы участвуют в рельефообразовании или в которой их формирование зависит от уже имеющегося рельефа. Как это ни парадоксально звучит, концепция «геометризации» оказывается ближе к вечно перемещающемуся веществу, чем концепция «овеществления» рельефа, сторонников которой больше занимает не само вещество, а формы его залегания в земной коре.

ВЫВОДЫ

1. Следует говорить о едином общем объекте геоморфологии, содержанием которого является не содержимое форм ЗП, а совокупность образующих и моделирующих их взаимодействующих процессов.

2. Вещественная основа рельефа включает в себя движущееся и принимающее участие в рельефообразовании вещество всех взаимодействующих оболочек. Формы пространственной организации этого вещества или структуры связаны с ЗП в каждый момент геологического времени не прямо, а косвенно, через процессы данного времени. Теснота такой связи определяется интенсивностью, унаследованностью и зависимостью этих процессов от уже сформировавшегося рельефа. За перемещение в пространстве и во времени каждой точки ЗП всегда ответствен не геологический субстрат [36], а геологические процессы во взаимодействующих оболочках, преобразующие не только эту поверхность, но и вещество геосфер. Так, представления о «геометризации» рельефа, сформировавшиеся при определении содержания общего объекта геоморфологии, логично приводят к единой динамической концепции науки.

3. Концепция «геометризации» открывает возможность системной ориентации в исследованиях рельефа и переход в геоморфологии к новой связанной с этой ориентацией парадигме. Это тот самый «свой собственный путь» решения стоящих перед геоморфологией проблем, который она должна отыскать «... прежде чем станет ясно, каким образом и почему возможно применение в ней системного анализа» [38, с. 453].

4. Новая парадигма заключается в конструировании региональных морфодинамических моделей на основе специального изучения и картографирования морфологии рельефа исследуемой части ЗП и результатов эталонного, экспериментального и теоретического моделирования.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ
МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ
СИСТЕМА

ГЛАВА I
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ РЕЛЬЕФА

§ 3. Начальные понятия геоморфологии

Геоморфология содержит в себе определения, неточность которых обуславливает ненадежность ее теоретических построений и практических выводов. С произволом в понятийно-терминологическом аппарате связана также ее неоднозначность при оценке своих возможностей и при взятии на себя решений ряда прикладных задач. Степень разработанности этого аппарата является не только показателем уровня развития теории геолого-географических наук, но и важнейшим условием этого развития. Во многих из них, и в том числе в геоморфологии, перед терминологическими исследованиями встала задача не столько дальнейшего усовершенствования данного аппарата, сколько создание заново на месте разрозненных и неоднозначно определенных терминов и понятий единой взаимосвязанной понятийной системы. Настоящее положение в геоморфологической терминологии напоминает ситуацию на стройплощадке, перегруженной находящимися в беспорядке строительными материалами, которые включают в себя наряду с необходимыми для строительства конструкциями и отдельными добротными собранными блоками разрозненные, некондиционные и просто лишние детали. В такой ситуации, как показывает опыт терминологических исследований в геологии [Косыгин Ю. А. и др., 1977 г.], *путь уточнения отдельно взятых понятий малоэффективен*. Каждое из них можно рассматривать только в связи со всей понятийной системой, внутри которой необходимо осуществлять постоянный лингвистический анализ и контроль за непротиворечивостью определений.

Вслед за первой стадией терминологических исследований — инвентаризацией геоморфологических терминов [30 и др.] — наметился переход ко второй стадии — к разработке систем понятий или к их систематизации. Систематизация прежде всего предусматривает строгое определение изначальных и наиболее общих понятий геоморфологии. Так же как в геотектонике, современные их определения даны не строго или же они вовсе отсутствуют. Продолжая использованную аналогию, можно сказать о необходимости закладки нулевого цикла понятийно-терминологического здания геоморфологической науки. Создание такого фундамента диктуется, во-первых, разноречивостью и логическими ошибками

в трактовке самых начальных понятий, во-вторых, тем, что все эти разночтения и ошибки накапливаются при переходе от общих к более частным понятиям и, в-третьих, тем, что данный фундамент является необходимым условием осуществления системного подхода в геоморфологических исследованиях. Как показывает опыт дискуссий, без такой основы, нарушая принцип определенности*, вряд ли можно прийти к однозначным определениям частных геоморфологических понятий и их групп. Именно поэтому мы не можем обойти эту проблему и предлагаем ее решение, основанное на концепции «геометризации» рельефа.

Если в геологии исходным является понятие «тело» [Косыгин Ю. А. и др., 1977 г.], *то в геоморфологии в качестве такового выступает понятие «поверхность»*. Представления о том, что эти два понятия соотносятся друг с другом как философские категории «содержание» и «форма» единого объекта геолого-геоморфологических исследований [Худяков Г. И., 1977 г.], являются ошибочными (см. § 2). Геологические тела ограничены поверхностями самого разного генезиса (напластования, несогласия, разрыва и др.), а ЗП облекает только выходящие на нее тела, и лишь сверху, не имея никакого отношения к погребенным объемным образованиям в земной коре. Вместе с тем ЗП ограничивает не только выходящие на нее геологические тела, но и смежные с ними объемы атмо-, гидро- и криосфер.

Термин «земная поверхность» используется в геоморфологии в двух значениях: а) в отношении ко всей верхней поверхности литосферы и б) применительно к любым ее частям, выделяющимся по различным признакам. В первом значении этот термин определяется в качестве *геометрического места точек, отделяющего литосферу от внешних оболочек Земли*. Наиболее распространено использование существительного «поверхность» в многословных сочетаниях, обозначающих части ЗП, выделенные по измеренным или определенным качественно признакам: а) положению в пространстве, б) морфологическим, в) генетическим, г) возрастным, д) геометрическим и т. д. Линия, при переходе через которую эти признаки или их показатели терпят разрыв или испытывают максимальные изменения, представляет собой границу выделенной поверхности.

При аналитическом картографировании рельефа в качестве наиболее информативного показателя рассматриваются уклоны, характеризующие не морфологию, как это принято понимать, а положение поверхности в пространстве. Считается, что анализ уклонов позволяет расчленить ЗП на грани, отделенные друг от друга линиями выпуклых и вогнутых перегибов («ребрами»), и этим самым дать ей общую морфологическую характеристику. По комплексу признаков определяются морфология, генезис

* Данный принцип предусматривает расположение по очередности понятий таким образом, чтобы каждое последующее из них было определено с помощью однозначно определенных предыдущих понятий.

и возраст выделенных «граней». Синтез в геоморфологии и геоморфологическое районирование направлены также на оконтуривание и изучение относительно крупных частей ЗП с определенными сочетаниями более мелких и более просто устроенных поверхностей, выделенных по соответствующим признакам. Каждая из до сих пор выделяемых единиц геоморфологического районирования, как бы она ни называлась (район, область, ландшафт и т. д.), есть не абстрактная территория и не какой-либо объем литосферы, а относительно однородная часть ЗП со своими индивидуальными особенностями (в том числе с особенностями соотношения с геологической структурой).

Наиболее запутанным в терминологическом отношении является вопрос о, казалось бы, самом простом разделении ЗП на составляющие ее части по геометрическим признакам. По отношению к любой поверхности формой или неровностью принято называть ее часть с определенными очертаниями. В геоморфологии широко используемый термин «форма», во-первых, понимается далеко не однозначно и, во-вторых, часто приписывается не ЗП, а рельефу. Понятие о формах непосредственно связывается с представлениями о предмете геоморфологии. Против использования общепринятого толкования форм применительно к ЗП, вполне устраивающего концепцию «геометризации» рельефа, выступают представители противоположного ей направления в связи с тем, что данное определение не предусматривает непременною и повсеместную, по их мнению, связь этих форм с их минеральным наполнением. Концепция «овеществления» рельефа противоречит представлениям об исходном понятии геоморфологии («поверхность») и, самое главное, современному опыту геоморфологических исследований.

Эти исследования и картографирование рельефа направлены в основном на анализ и фиксацию на карте не трехмерных образований с определенной геометрией (выпуклых, вогнутых, изометричных, линейных и т. д.), а расположенных в трехмерном пространстве участков поверхности, выделенных чаще всего по другим (не геометрическим) признакам. Отражение конкретных форм (участков ЗП с определенными очертаниями) осуществляется только на весьма ограниченно применяемых орографических схемах, в то время как на общегеоморфологических картах показываются далеко не все, а лишь наиболее характерные или имеющие важное значение (для обоснования происхождения и возраста поверхностей) отдельные формы или совокупности форм обычно внесмасштабными знаками с приведенной в легенде их генетической, а не геометрической характеристикой. Считается, что более крупные орографические образования на этих картах показываются косвенно, через взаимное расположение закартированных поверхностей разного генезиса, возраста и морфологии. Широкое использование терминов с не имеющим смысла словосочетанием «форма рельефа» (см. ниже) при практически полном отсутствии систематики и малым опытом картографирования

форм по их геометрическим признакам [13] отражает эмпирически найденную и сложившуюся направленность геоморфологических исследований на изучение и картографирование не тел, а поверхностей (частей ЗП).

Таким образом, и здесь, используя общенаучную терминологию и привлекая общепринятую дефиницию термина «форма» к границе литосферы с внешними оболочками, *форму ЗП следует определить как ее часть, отличающуюся от соседних участков своими размерами и очертаниями в плане, в поперечном и продольном профилях.*

Формулировка трех предыдущих понятий позволяет определить понятие «рельеф». В отечественной геоморфологии под рельефом чаще всего понимается совокупность форм ЗП [30]. Н. А. Флоренсов [35] существенно дополнил это понятие, рассматривая рельеф не только в качестве простой совокупности (суммы) форм, а как строение ЗП. Следуя этим двум вариантам, введя в них некоторые коррективы и, самое главное, сложив их воедино, определим рельеф в соответствии с системным подходом к изучению предмета геоморфологии.

В первом варианте возражение вызывает слово «форма». Учитывая, что геометрические признаки разделения ЗП на части (формы) являются далеко не единственными и тем более мало используемыми, следует признать, что трактовка рельефа как совокупности форм ЗП сильно обедняет и, главное, часто не соответствует предмету и практике геоморфологических исследований. Судя по многочисленным геоморфологическим картам, претендующим на полное и всестороннее отражение рельефа, под ним понимается совокупность частей ЗП (поверхностей), выделяемых не по одному (и чаще всего не по геометрическому), а по целому ряду признаков: положению в пространстве (уклонам), генетическим, возрастным и др. Наряду с этими площадными элементами в содержание карт в качестве обязательных входят линейные элементы, выполняющие роль границ между вычлененными частями ЗП. На некоторых картах специальными знаками выделяются наиболее выдающиеся или характерные точки (вершины, экстремальные отметки глубин и др.). Если понимать рельеф как совокупность форм ЗП, то как охарактеризовать его, если эти формы распространены спорадически, далеко отстоят друг от друга, осложняя плоскую поверхность и не образуя в совокупности связанной картины. Данная дефиниция дана с позиции орографии, критика которой приведена в § 4. Все эти аргументы говорят за то, что в первом варианте определения под рельефом должна пониматься не совокупность неровностей (форм) ЗП, а совокупность всех составляющих эти формы площадных, линейных и точечных элементов.

Представление о рельефе как о совокупности неделимых (при данном масштабе картографирования) частей или элементов ЗП является необходимой, но недостаточной составляющей определения этого понятия. Если в нем преобладает аспект простой

суммы составных частей ЗП и только подразумеваются их связи друг с другом, то в дополнении Н. А. Флоренсова фигурирует другая сторона этого понятия — аспект строения или устройства, организации, взаимоотношения данных элементов, т. е. все то, что обозначается фундаментальным общенаучным понятием «структура». Этот аспект важен в том отношении, «что строение (структура) предполагает наличие у целого каких-то и при том определенным образом связанных частей» [36, с. 69].

Несмотря на то что структурой обладает не только геологическое или какое-либо другое тело, но и любая, тем более сложная, поверхность [Косыгин Ю. А. и др., 1977 г.], геоморфологи, за некоторым исключением [26, 21, 33], избегают употреблять именно в этом смысле широко и некорректно используемый в геологии термин «структура». Вместе с тем понятием «морфологическое строение» оперировал еще В. Пенк [20], вкладывавший в него, правда, не только соотношения доступных непосредственному наблюдению денудационных форм ЗП, но и стратиграфические соотношения образованных одновременно с ними коррелятивных отложений.

Необходимость использования понятия «структура» в этом значении (применительно к ЗП, а не к земной коре) для геоморфологии очевидна, так как рельеф уже довольно давно пытаются рассматривать не только как некую модель ЗП, а в качестве системы, точнее, части (подсистемы) открытых систем (механической, морфогенетической, геодинамической, морфоклиматической [30]), для которых устанавливаются разнообразные связи между отдельными их элементами, выясняются вопросы их развития и саморазвития, устойчивости и стремления к равновесию.

Система включает в себя в качестве единого целого некоторое объединение элементов и отношения между ними. В результате анализа наиболее интересующих нас морфологических показателей в ЗП могут быть выделены площадные, линейные и точечные элементы и установлены их взаимные пространственные соотношения (связи). Исходя из сказанного, *под рельефом можно понимать совокупность элементов ЗП и пространственных связей между ними*. Данное определение рассматривает рельеф в целом (а не какой-либо конкретной территории) как морфологическую систему (МС), включающую в себя выделенные по сугубо морфологическим признакам элементы ЗП и отношения между ними в пространстве. Эта система может входить в качестве подсистемы в более сложную морфодинамическую систему, созданную для изучения рельефа и рельефообразующих процессов в их единстве.

Приведенное определение в более компактной и более соответствующей системному языку редакции звучит следующим образом: *рельеф есть единство состава и структуры ЗП*. Такая формулировка требует пояснений и ко многому обязывает.

Если термин «состав» в геологии применительно к веществу (минералогический, гранулометрический и т. д.) используется широко, то приложение его к объемам или телам непривычно. Еще

более непривычно оно для любых поверхностей вообще и для ЗП в частности. Однако в геоморфологии его нельзя считать абсолютно чуждым. Его использование вытекает из распространенного собирательного термина «составные части» ЗП, под которыми понимается [Спирidonов А. И., 1985 г.] вся совокупность картированных единиц на геоморфологических картах разного типа: элементов, форм и их группировок. Предложение о включении данного термина (так же как и редко используемого геоморфологами в указанном смысле термина «структура») в определение рельефа можно считать оправданным и правомерным, если будет найдена возможность строгой элементаризации земной (как и любой другой) поверхности.

Осуществление данной процедуры позволит говорить о составе поверхности, т. е. о том, из каких и скольких конкретных и точно определенных точечных, линейных и площадных элементов и их категорий составлена или построена вся ЗП или любая ее часть на наших моделях. Выявление этого состава в целом, а также всех пространственных соотношений между вычлененными элементами применительно к земной и любой поверхности вообще и есть конструирование МС.

Отсутствие четких представлений о понятиях «рельеф» и «земная поверхность» приводит к их частой подмене и ошибочным определениям вытекающих из них более частных геоморфологических понятий. ЗП или любую ее часть (например, покровная или генетически однородная поверхность [30]) никак нельзя определить в качестве поверхности рельефа. Термины «рельеф» и «земная поверхность» не являются синонимами.

Принципиальные различия между предметами (квазиобъектами) изучения топографии или гидрографии (положение ЗП в пространстве) и геоморфологии (рельеф — состав и строение ЗП) наиболее отчетливо видны при сравнении главной продукции этих наук. В первом случае фигурирует топографическая (гипсометрическая) или батиметрическая карта, основным требованием к которой является геометрическая точность в отображении положения ЗП относительно географических координат и поверхности геоида. Отражение состава и строения ЗП (рельефа) на ней не предусмотрено, хотя при этом наиболее обособленные части ЗП и наиболее явные связи между ними видны непосредственно из рисунка горизонталей. Во втором случае выступает картографическая модель рельефа (геоморфологическая карта), в идеале призванная отразить и охарактеризовать части ЗП, а также пространственные, генетические и возрастные связи между ними, т. е. строение. Если ЗП в топографии и гидрографии показывается главным образом с помощью горизонталей — линий, отсутствующих в природе, то общая геоморфологическая карта должна содержать, наоборот, адекватное отражение реально существующих и выделенных по определенным признакам элементов поверхности с их характеристикой и установленных в соответствии с этими признаками связей.

Смещение понятий «рельеф» и «земная поверхность» приводит к существенным методологическим ошибкам. Так, И. Г. Черванев [21] пишет о том, что рельеф отражается как в виде непрерывной поверхности (горизонталями), так и набором дискретных элементов и форм на геоморфологической карте. Из этого выводятся представления о двух «составляющих» рельефа: «непрерывной» и «дискретной», — в то время как непрерывность — это главный атрибут ЗП и основное свойство ее современной топографической (гидрографической) модели, а дискретность — не менее важный аспект ЗП и основное свойство геоморфологической карты. В свою очередь из данного положения следует идея о как будто бы двух методических направлениях геоморфологических исследований: традиционном — дискретном и новом — непрерывном (см. § 5).

Таким образом, представления о рельефе не как о геометрическом месте точек (реальной ЗП), а как о ее геоморфологической модели, на которой отражены элементы и их соотношения, не предусматривают отождествления понятий «земная поверхность» и «рельеф». Если ЗП объективно существует в природе, то рельеф ЗП — это отражение в сознании человека (на наших моделях) ее частей и их взаимных связей.

Обо всем этом можно было бы не говорить, так как буквальное отождествление этих понятий в геоморфологии допускается в редких случаях [21]. В основном оно широко развито в картографической и гидрографической литературе, где, например, главным элементом содержания топографической или батиметрической карты называется рельеф, что противоречит любому из известных определений этого понятия. Кроме того, существует не менее 68 геоморфологических терминов со словосочетанием «форма рельефа» [30, с. 137—144]. Даже если в соответствии с первым из рассмотренных, наиболее общепринятым определением понимать под рельефом совокупность форм ЗП, то приходится признать, что словосочетание «форма рельефа» не имеет смысла («форма форм»). То же можно сказать относительно определения Н. А. Флоренсова — представления о рельефе как о строении ЗП. Так же как в геологии [Косыгин Ю. А. и др., 1977 г.], использование понятия «структура формы» обоснованно, а в словосочетании «форма структуры» смысл отсутствует. Неудачны определение [6] ЗП как поверхности современного рельефа, применение В. Ф. Филатовым и Ю. И. Лоскутовым [1980 г.] выражения «поверхность (грань) рельефа», кроме того, встречается ряд близких терминологических ошибок и неточностей. Использование словосочетания «форма рельефа» в качестве синонима термину «форма ЗП», как это делается, например, в Словаре современного литературного языка (т. 16, стб. 1480), можно было бы оправдать только его большей краткостью и широким, ставшим уже привычным применением его именно в этом смысле. Однако если строго придерживаться данных определений и решиться на наведение порядка в начальных понятиях геоморфологии, от него следует категорически отказаться.

§ 4. Опыт изучения и картографирования морфологии рельефа

Так как необходимая при системной ориентации геоморфологических исследований формализация возможна применительно к элементам ЗП, выделенным только по морфологическому принципу, обратимся к опыту изучения и картографирования морфологии рельефа, включающему в себя следующие методические направления: качественное описание и картографирование самых различных морфологических особенностей, изучение и картографирование орографии, морфометрические построения и морфогенетическое картографирование.

Разные по детальности, форме и содержанию *описания морфологии* рельефа, как правило, проводятся в качестве формальной составляющей различных по назначению геоморфологических и других исследований. Так как какая-либо унификация, единые принципы и общие требования к морфологическому описанию не разработаны, оно чаще всего включает в себя изложение самых разных приводимых в тексте сведений об отдельных морфологических особенностях с добавлением различных количественных показателей гипсо-, батиметрического положения и расчлененности ЗП.

При *орографическом картографировании* выдерживается единый геометрический принцип членения ЗП на формы независимо от их генезиса. Этому направлению, какначальному при изучении соотношений рельефа с геологической структурой, уделялось большое внимание Ю. А. Мещеряковым [19], осуществившим орографическое районирование платформенных равнин СССР. Выделение орографических форм со времен работ Н. Н. Зубова широко осуществляется при изучении не только рельефа, но и геологического строения дна океанов [Удинцев Г. Б., 1972 г., и др.]. Орографическое районирование проведено сейчас для всей северной континентальной окраины Евразии [13].

Импульсом развития этого наиболее старого методического направления в изучении морфологии рельефа могло бы явиться морфодинамическое истолкование форм ЗП, направленное на установление связей между ними и литодинамическими потоками [36]. Однако для реализации данных идей необходимо решить вопросы орографической систематики и терминологии, однозначности проведения границ орографических образований, отражения на карте соподчиненности последних и их группировки в то, что можно было бы назвать орографическим планом. Главная сложность заключается в большом количестве критериев классификации (которых насчитывается не меньше семи [13]) и в ограниченных возможностях их картографического отображения. При попытках всестороннего показа орографических форм все это неминуемо приведет к преобладанию качественной (словесной или символической) характеристики их морфологии в легенде над ее непосредственным пластическим отражением на карте, а также к господ-

ству в содержании последней одного или максимум двух основных критериев систематики форм (размера, знака).

Орографические образования (формы) не могут быть формализованы и организованы в отличие от рассмотренных ниже (см. гл. III) элементов ЗП. Совокупность форм не поддается строгому изучению в результате структурного анализа ЗП, так как необходимая для этого любая систематика форм не может предусмотреть все возможные варианты (полную группу) их пространственных соотношений. Формы трудно, а часто (при голоморфном строении ЗП; см § 11) и невозможно отделить друг от друга. Орографические образования отражаются и характеризуются на карте, во-первых, как изолированные друг от друга и, главное, как однородные и неделимые объекты картографирования, в то время как они обычно обладают разным и сложным внутренним строением. Так как орографическое районирование по указанным причинам не может быть переведено на формализованную основу и составление орографической карты сопровождается потерей большого объема информации о рельефе, а сама карта отражает далеко не все его морфологические особенности, придавать орографии самостоятельное значение неоправданно.

Отмеченные недостатки имеют отношение к выделению различных образований в лито-, атмо- и гидросферах, изучаемых геолого-географическими науками, а также аномалий в геофизических полях и ритмов на кривых колебаний различных параметров в палеогеографии. Данные науки, находящиеся до сих пор на «орографическом уровне» развития, стремятся вычленять (чаще всего условно или произвольно) не неделимые ингредиенты, которые могут быть формализованы и рассматриваться в качестве элементов при конструировании систем, а сложные по своему строению и взаимным соотношениям «формы» или образования (дислокации, аномалии, ритмы, области высокого и низкого давления, неотектонических поднятий и опусканий и т. д.). Так как указанные «формы» не поддаются формализации, анализ их строения и взаимных связей затруднен, несмотря на использование при этом самого совершенного математического аппарата, направленного на разложение их на разночастотные и разноориентированные составляющие.

Вместе с тем изложенный ниже системный подход к изучению морфологии рельефа взял много рационального из того, что сейчас называется орографией: представления об оро- и гидрографических узлах, принципы морфодинамической интерпретации орографических форм [36] и др.

Морфометрические построения, используемые в основном для решения частных прикладных задач, группируются в следующие категории.

1. Морфометрические построения, направленные на количественную оценку одной из многих характеристик отдельных элементов ЗП (например, ширины пойм, гипсометрического положения продольных профилей однопорядковых рек на картах изобра-

зит) и не претендующие на отражение морфологии в целом. В отличие от нижеперечисленных категорий эти построения могут быть однозначно интерпретированы и связаны с реальными объектами и процессами.

2. Карты фоновых и остаточных поверхностей [1], полученные в результате различных приемов осреднения и тренд-анализа. Часто они рассматриваются не как сугубо формальные построения, позволяющие лишь вычленить в ЗП разные по размерам ее формы [11], а интерпретируются с самых разных, в том числе противоречащих друг другу, генетических и морфотектонических позиций.

3. Выявление особенностей и характеристик распределения высот на суше [Шарапов И. Л., 1965 г., и др.] и глубин на шельфе [11] в пределах произвольно вычлененных частей ЗП или искусственно выбранных элементарных площадей. Каждое из этих построений отражает одну из морфологических черт (часто разных на различных участках одной карты) и неоднозначно истолковываются без каких-либо четких представлений о их геологическом (морфодинамическом) смысле.

4. Общие, в том числе так называемые комплексные, морфометрические показатели (вертикальная, горизонтальная и суммарная расчлененность, «энергия» рельефа, средние уклоны и др.). Они вычисляются для элементарной площади или отрезка профиля, размеры которых устанавливаются произвольно (за исключением малоэффективного использования автокорреляционной функции). Значения этих показателей на разных участках одной карты также могут отражать различные морфологические особенности и определившие их геологические процессы.

При наличии известных преимуществ общими недостатками морфометрических построений трех последних категорий являются: а) невозможность с их помощью передать цельную характеристику морфологии рельефа, б) отсутствие у большинства из них теоретического обоснования и в) неоднозначность их интерпретации.

Данные морфологические преобразования часто не выявляют, а, наоборот, затушевывают морфологические особенности рельефа, что связано прежде всего с их «изотропностью» (с использованием квадратных и круговых палеток или элементарных площадей), которая не согласуется с повсеместной анизотропией в строении ЗП (см. § 17—19). Кроме того, они предусматривают количественную оценку и сопоставление значений того или иного параметра, относимых к тем частям ЗП, которые выделяются не по каким-либо геоморфологическим, а по произвольно установленным метрическим признакам. Эти части, ограниченные условно выбранными палетками, никак нельзя назвать элементами ЗП. Оценка в их пределах любых показателей и последующее сопоставление их значений по своей нецелесообразности аналогична анализу поверхности кристалла, основанному на параметрах, которые характеризуют не его естественно вычленяющиеся грани, а произвольно установленные, одинаковые по форме

(и не согласованные с формой граней) и размерам фрагменты этой поверхности.

Все это объясняет обособленность в геоморфологии двух, казалось бы, перекрывающихся понятий: морфология и морфометрия. Одно из них (морфометрия) должно было бы обозначать часть другого и отражать количественный подход в изучении морфологии наряду с ее качественным описанием (морфографией). К морфометрии предъявляют справедливые претензии в том, что ее построения не отражают реальной сложности рельефа. Если некоторые морфометрические построения и способствуют его анализу, то ни одно из них в отдельности и ни все они вместе взятые никак не направлены на синтез данных о составе и структуре ЗП.

Точную оценку роли морфометрических исследований при картографировании и изучении рельефа дал Н. А. Флоренсов, по которому «в морфометрии сделано много разрозненного и ничего цельного» [36, с. 64]. Морфометрические исследования в геоморфологии напоминают рассмотренный У. Р. Эшби [43] прежний подход в физике, изучавшей простые системы по принципу поочередного изменения определяющих их развития факторов. Старому лозунгу физиков «Изменяйте факторы по одному» в морфометрии соответствует стремление к изолированному друг от друга изучению отдельных характеристик ЗП. Обращаться с рельефом как с простой системой, игнорируя ее сложность, бесперспективно. ЗП, как любой объект, может быть охарактеризована бесконечным числом переменных в морфометрических построениях. Однако это не приведет к цельной характеристике морфологии рельефа, а также к устранению обособленности морфометрии от проблем геоморфологического картографирования и генетической геоморфологии. Так же как в геологии [Косыгин Ю. А., 1974 г.], применение математических методов в науке о рельефе должно иметь твердую основу — формализованный геоморфологический язык, содержащий понятия, которые не могут быть расплывчатыми или двусмысленными. В частности, это означает, что количественные показатели ЗП только тогда могут быть сравнимы и одинаково истолкованы, когда они относятся не к произвольно выбранным элементарным площадям и направлениям измерения, а к строго определенным и однозначно выделенным элементам ЗП одной категории и к одному и тому же направлению в структуре ЗП.

В современной практике картографирования наименее распространен предложенный еще в 50-х годах [Никифорова К. Н., 1961 г., и др.], но так фактически и не реализованный морфографический (морфологический) принцип составления геоморфологических карт, по которому основное изображение средства (цвет) предназначался для внешнего облика ЗП, качественно описанного в легенде и дополнительно отраженного на карте горизонталями. Наиболее развитое сейчас *морфогенетическое направление в картографировании* предусматривает членение ЗП на части с близкими по генезису и морфологии типами рельефа (на типо-

логических картах) и на «границ» ЗП (на аналитических картах). Само выделение морфогенетических типов и генетически однородных поверхностей («граней») явилось несомненно прогрессивным приемом установления и фиксации на карте связей между морфологией и происхождением рельефа. Однако использование его до сих пор не обеспечено строгими определениями, методикой ограничения и генетической диагностики объектов картографирования и заключается в интуитивной и неоднозначной интерпретации внешнего облика ЗП, основанной больше на анализе не морфологии, а дополнительных геолого-геофизических материалов. Этот принцип картографирования пришел на смену составлению сугубо генетических карт, на которых, по образному выражению К. К. Маркова [1948 г.], изображение морфологии рельефа «тонуло» в его генетической характеристике. Такая же судьба у морфологических характеристик рельефа и на современных картах, построенных по генетическому (морфоструктурно-морфоскульптурному), возрастному и историко-генетическому принципам.

Составление аналитических карт морфогенетического типа сводится к выделению «граней» с их последующей генетической характеристикой. Совокупность морфогенетически однородных «граней» [6, 2 и др.] с наибольшей полнотой отражает морфологию рельефа в целом, а сами «границ» — реально существующие элементы ЗП. Все это выгодно отличает идею данного методического направления от других методов геоморфологического картографирования и исследования морфологии рельефа. Однако следуя им (в связи с рассмотренными в § 8 недостатками), нельзя получить всестороннее и объективное представление о морфологии рельефа и соответственно с исчерпывающей полнотой провести его динамическую интерпретацию.

Таким образом, по разным причинам ни одно из рассмотренных методических направлений не может обеспечить максимальное извлечение информации о рельефообразующих процессах из морфологии рельефа. Узкая специализация морфометрических построений (на один из многих морфологических элементов или на один из многих общих показателей), с одной стороны, и наоборот, неминуемо сопровождающее геоморфологическое картографирование резкое упрощение гипсометрии (батиметрии), перевод объективной и количественной информации в сугубо интуитивные и противоречивые представления о рельефе, с другой — вынуждают искать принципиально новый подход к изучению, картографированию и динамической интерпретации его морфологии. Этот путь должен заключаться «...не в совершенствовании геоморфологических карт и не в изощрении морфометрических методов, а в чем-то другом, возможно в отражении, т. е. картировании не столько генетической сущности форм..., а явлений собственно морфологического плана, характеризующего динамику, а не статику рельефа в его обозримом прошлом и настоящем» [36, с. 85]. Если следовать этой ценной, хотя и внешне неконкретной, рекомендации и сконцентрировать внимание на «морфологическом плане», тра-

диционно понимая его как совокупность разнообразных форм (по аналогии со структурным планом в геотектонике), то данный путь вернет нас к выделению неровностей ЗП (орографии), т. е. к тому, от чего по вышеуказанным причинам пришлось отказаться. Остается только один путь, включающий рациональные элементы рассмотренных направлений и заключающийся в разработке нового принципа, метода и языка в изучении, картографировании и интерпретации морфологии рельефа на системной основе.

§ 5. Приложение системных принципов к изучению рельефа. Понятие о морфологической системе

Завоевавшие всеобщее признание идеи системного подхода, активно проникающие сейчас в геологию [7 и др.], географию [23, 38 и др.] и геоморфологию [21, 15 и др.], встречаются вопросами, почему системными называются только исследования, использующие современный язык этой концепции, и разве все предшествующие работы являются бессистемными? Эти вопросы в геоморфологии [Герасимов И. П., 1983 г.] вполне оправданны, так как увлечение системным подходом в ней часто сводится лишь к механической смене традиционной терминологии на системную [Тимофеев Д. А., Трофимов А. М., 1983 г.] и не сопровождается необходимыми при этом четким определением объекта и предмета, формализацией входящих в систему элементов и обязательным использованием соответствующих принципов. Отсутствие формализованных понятий в описаниях рельефа и в легендах современных геоморфологических карт исключает применение тех и других в системных исследованиях. Для обеспечения успешности последних требуется создание нового понятийно-терминологического аппарата — строгого языка, который в равной мере может быть использован как при картографировании, так и при анализе, интерпретации карт и динамическом истолковании фактического материала. Вместе с тем это означает не игнорирование всего опыта и результатов региональных, теоретических и методических исследований рельефа и рельефообразующих процессов, а лишь перевод того и другого на новый формализованный язык. Более того, отдельные принципы системного подхода не являются чем-то новым в науке вообще и в геоморфологии в частности. Однако ранее чаще всего они проявлялись в систематичности при определении, изучении и классификации геоморфологических образований и процессов, которой отличались логически выдержанные работы геоморфологов, наделенных своеобразной дисциплиной и строгостью мышления (предвестников системного подхода, по [21]).

Системная концепция предоставляет возможность создать общенаучную, обязательную для всех *понятийно-терминологическую дисциплину*. Такая дисциплина, имеющая отношение прежде всего к фактологической базе геоморфологии (к строгому определению, систематизации, записи, картографированию морфологических элементов и их совокупностей), будет не препятствовать,

а способствовать анализу рельефа и развитию динамических, и в том числе генетических, исторических и других представлений. В результате введения системной основы геоморфология станет не просто знанием, а организованным знанием о рельефе и рельефообразующих процессах. Организация знания предусматривает перевод всего накопленного им багажа на новый системный язык и последующее более управляемое и целеустремленное приращение знания в соответствии с этой основой. Системная ориентация приведет, несомненно, к радикальным изменениям в направлении самих исследований и в методологии науки в целом.

С системных методологических позиций определить предмет исследования означает не указать на конкретные пространственные или (и) временные границы реально существующего в природе объекта, а выбрать существенные для этого исследования его взаимосвязанные параметры. Геоморфолог, стоящий на системных позициях, должен сознательно квалифицировать предмет своего изучения (рельеф) как «объект-заместитель» или «квазиобъект» [7], отражающий интересующие его стороны ЗП, отдавая себе отчет о невозможности изучить данную поверхность и показать на карте во всей ее сложности, многообразных соотношениях с другими явлениями и процессами. Это обстоятельство частично нашло естественное проявление, например, в уже отмеченном различии «квазиобъектов» в топографии (гидрографии) и геоморфологии при общем реально существующем в природе объекте — ЗП.

Следуя системным принципам, ход (технология) исследования рельефа можно представить в виде упорядоченного ряда строго последовательных действий [15, 16].

Первое из них — *конструирование* МС сводится к решению нескольких взаимосвязанных тектологических задач. Главная задача заключается в *отыскании способа элементаризации* — наиболее целесообразного членения ЗП на элементы по предварительно строго сформулированному принципу. В качестве второй задачи следует назвать *формализацию* — строгое определение этих элементов и их *систематизацию*. Третьей задачей является *собственно организация* элементов ЗП, включающая разработку их обозначений или индексирование — создание комплекса компактных, легко читаемых, взаимно связанных и однозначно понимаемых символов. Решение названных задач позволит в основном ответить на вопрос, из чего состоит (составлена или сложена) ЗП на наших моделях. Одновременно с этим определяется, *как составлена или сложена ЗП*, т. е. выявляются все принципиально возможные связи или отношения между выделенными элементами. Вся совокупность этих пространственных связей, установленных в МС в целом, составляет *морфологическую структуру*.

Практическое использование МС как познавательной конструкции или инструмента геоморфологических исследований заключается в морфологическом картографировании и структурном анализе рельефа исследуемой части ЗП. *Морфологическое картографирование* основано на универсальной легенде, предусматри-

вающей отражение на карте всех элементов ЗП и главных пространственных соотношений между ними. Оно осуществляется в результате выявления и фиксации на карте из всей совокупности элементов только тех, которые необходимы и достаточны для адекватного отражения состава ЗП исследуемой территории. *Структурный анализ* заключается в установлении всех имеющихся на этой части ЗП и предусмотренных морфологической структурой пространственных соотношений между элементами и базируется на морфологической карте и специальных построениях. На основе картографирования производится *морфологическое районирование* — выделение территориальных комплексов определенно связанных друг с другом элементов ЗП, которые называются *геоморфосистемами* (ГМС). Состав и структура каждой ГМС являются конкретным проявлением состава и структуры МС на данной части ЗП. На изучении строения и состава ГМС основана их динамическая интерпретация — определение кинематики и последовательности создавших и моделирующих их геологических процессов и агентов.

Рассматриваемые здесь представления о системе полностью соответствуют ее наиболее общему определению (система — комплекс взаимосвязанных, строго определенных элементов, образующих некоторую целостность) и предусматривают различия между системой, которая создается в качестве инструмента геоморфологических исследований на их статическом уровне (МС), и системы как объектами этих исследований (ГМС).

Для системной ориентации геоморфологии требуется переход от богатого, но крайне расплывчатого и необязательного языка качественных определений и громоздких легенд геоморфологических карт, а также от хотя и строгого, но неоправданно игнорирующего сложность рельефа языка морфометрических построений к новому языку, ограниченными средствами которого можно (правда, весьма упрощенно) отразить строение и состав ЗП в целом (МС) и любой обособленной части (ГМС), не теряя точности и непосредственной связи с ее реально существующими ингредиентами. Только используя главное свойство системного языка — его унифицированность, можно «обуздать» все разнообразие в составе и строении ЗП, привести его к конечному множеству элементов и их пространственных соотношений.

Системный подход предусматривает не произвольное упрощение ЗП, которое всегда имеет место при создании геоморфологических карт и о котором чаще всего умалчивается, а ее строгую научную идеализацию, проводимую с помощью *принципа упрощения*. Эта идеализация осуществляется в результате сознательного замещения неконтролируемой сложности ЗП системой, которая, будучи адекватной ей в отношении выбранных и анализируемых показателей, обладает уже вполне контролируемой и поддающейся организации сложностью [7]. Такой путь сознательного и строгого упрощения ЗП призван значительно расширить познавательный потенциал геоморфологии и соответствует широко используе-

мому в биологии, физике и в других науках одному из важнейших принципов кибернетики, по которому при изучении сложных систем выделяется то, что доступно изучению, что достижимо. Это отличает системный подход от большинства «несистемных» исследований, которые направлены на достижение невозможного [43], и в частности от традиционных геоморфологических исследований, стремящихся не упростить, а, наоборот, усложнить свои познавательные и понятийные конструкции. Примером такого усложнения может служить развитие концепции «овеществления» рельефа или понятия «морфоструктура».

Элементаризация ЗП является первоочередной задачей геоморфологии [21] и всегда осуществляется как необходимая процедура при создании геоморфологических карт, построенных по разным принципам. Как отмечалось, этому «дискретному» подходу И. Г. Черванев [21] противопоставляет изучение «единой и непрерывной» ЗП, что, естественно, вытекает из смешения им понятий «земная поверхность» и «рельеф». ЗП, как многим реально существующим изучаемым геолого-географическими науками объектам [Червяков В. А., 1978 г.], наряду с явно и повсеместно господствующей континуальностью присущи определенные черты дискретности. Последняя проявляется в разных по интенсивности изменениях или зонах повышенных и высоких градиентов отдельных ее показателей, которые позволяют мысленно членить ее на отдельные части: склоны, равнины, возвышенности и т. д. Дискретный аспект ЗП резко и искусственно усиливается при ее идеализации и элементаризации (при конструировании «квазиобъекта» или предмета геоморфологии).

Предлагаемое исследование «единой и неделимой» ЗП включает в себя известные построения [34], которые следует использовать при структурном анализе рельефа (см. § 27, 28), но нельзя противопоставлять и отделять от «дискретного» подхода. Считать структурный анализ в понимании И. Г. Черванева [21] самостоятельным направлением в геоморфологии нельзя хотя бы потому, что процедура структурирования и анализ в целом обязательно подразумевают предварительное мысленное разложение предмета исследования (дискретизацию) на составляющие его ингредиенты. «Разделить для того, чтобы объединить» — этот девиз и общий метод научного исследования [42], принятый за свои несомненные преимущества в качестве одного из важнейших приемов кибернетики [43], применительно к рельефу означает элементаризацию ЗП для последующей группировки выделенных элементов в ГМС и исследование последних как целостных образований.

До сих пор элементаризация ЗП на геоморфологических картах, составленных по любому принципу (в том числе по, казалось бы, самому объективному — по уклонам на «границах»), отличается не только произвольностью выделения и ограничения картировочных единиц, отсутствием строгих определений и выдержанных критериев при систематизации последних, но и принципиальной невозможностью их формализации [21]. Данные недо-

статки призвана устранить системная ориентация в изучении и картографировании рельефа. Она подготовлена многосторонними работами в геоморфологической теории и методике и достижениями смежных научных дисциплин, являясь естественным продолжением этих исследований, организующим накопленные геоморфологией обширные знания и придающим новый импульс в ее развитии.

Оформлению системного подхода к изучению рельефа способствуют:

а) хотя и редкие, но именно поэтому важные признания насущной необходимости самостоятельных исследований морфологии, сокращение разрыва между ними и традиционной историко-генетической геоморфологией, препятствующего успешному изучению рельефа и рельефообразующих процессов [19, 26, 36, и др.];

б) концепция «геометризации» рельефа, которая, в отличие от противоположной точки зрения на предмет геоморфологии, направляет на изучение поддающегося формализации «квазиобъекта»;

в) использование при геоморфологических исследованиях понятия о топографической поверхности [Соболевский П. К., 1932 г.] и теории поля [Девдариани А. С., 1964 г.; Арманд А. Д. 1975 г.; Червяков В. А., 1978 г., и др.], а также некоторых элементов методики анализа геофизических полей;

г) разработка ряда морфометрических построений, которые следует применять при выявлении и анализе структуры ЗП;

д) обнаружение в ЗП характерных точек и линий, которые могут быть использованы в качестве элементов МС;

е) создание представлений о рельефе и рельефообразующих процессах как системах [21, 26, 30, 15, 16], о прямых и обратных связях внутри них [Арманд А. Д., 1963 г.] и их саморазвитии [21, 26; Шукин И. С., 1934 г.; Спиридонов А. И., 1954 г., и др.].

Полученную в результате сознательного упрощения *ЗП геоморфологическую систему* в соответствии с аналогичными представлениями в геологии [7] *следует рассматривать в качестве формализованной познавательной конструкции — модели, универсально отражающей состав и строение ЗП.* При этом речь идет об инструменте изучения рельефа вообще и любой конкретной части или частей ЗП. Еще раз касаясь вопроса о соотношении МС с ГМС, следует отметить, что МС есть та общая основа, с помощью которой могут быть определены, выделены и соотнесены друг с другом отдельные ГМС и их категории.

В геоморфологической, как и в любой другой, системе кроме элементов, взаимоотношений между ними (межэлементных связей) имеется то целое, что выделяет ее из окружающей среды, определяя ее автономность. МС относится к статическим [Косыгин Ю. А., 1970 г.] системам. Принадлежность ее к классу статических систем определяется характером элементов ЗП и только пространственными отношениями между ними при фиксированном времени. МС, как любая статическая система, является *квазице-*

лостной [7], т. е. системой, для которой характерно отсутствие обратных связей между элементами.

Сложная, в том числе земная, поверхность может состоять из элементов, которые подразделяются по своей размерности на нуль-мерные (точечные), одномерные (линейные) и двумерные (площадные). Следует определить, что из всего множества этих составляющих следует считать элементами МС или какие составляющие создадут в своей совокупности конечное множество — ту конструкцию, которая хотя и упрощенно, но формализованно и адекватно может отразить все интересующее нас морфологическое многообразие рельефа. Среди их бесконечного множества элементами МС являются характерные точки (ХТ) и структурные линии (СЛ), которые выделяются по признаку экстремальности в них важнейших (наиболее существенных при изучении рельефа) показателей ЗП, а также заключенные между ними части последней — элементарные поверхности (ЭП). При определении этих составляющих должны быть соблюдены критерии их «элементности», а именно их: а) инвариантность, проявляющаяся в независимости от их гипсо- или батиметрического положения и других показателей ЗП; б) неделимость при данном масштабе картографирования или профилирования; в) адекватность положения и роли в МС соответствующим природным образованиям в ЗП и г) целостность их совокупности — МС.

МС выделяется по *принципу специализации* или в соответствии с определенным набором параметров, наиболее полно характеризующих рельеф ЗП. В соответствии с постулатами системной методологической концепции [7] ЗП, как любой реально существующий объект, может быть охарактеризована бесконечным множеством параметров, которые объективно равнозначны. Но для изучения состава и строения ЗП (при переходе от объекта к «квазиобъекту») они имеют различную важность или предпочтительность. Бесконечное множество и равнозначность этих параметров в некоторой степени иллюстрируются большим числом предложенных к настоящему времени морфометрических показателей. Однако среди них не только в морфометрии, но и во всем комплексе геоморфологических исследований и картографирования постоянное и особое внимание обращается на три характеристики ЗП. Распределение их значений (особенно экстремальных) по площади не только фиксируется при анализе морфологии рельефа (на карте и в описаниях), но и широко, хотя и довольно произвольно, интерпретируется с генетических и возрастных позиций.

Если при переходе от ЗП к топографическому (гидрографическому) «квазиобъекту» важнейшими являются параметры, отражающие положение каждой ее точки в пространстве (долгота, широта, абсолютная высота или глубина), то к показателям геоморфологического «квазиобъекта», называемыми ниже *основными*, относятся следующие [15].

1. *Абсолютная высота (глубина) ЗП*, рассматриваемая в виде непрерывной функции $H(x, y)$ плановых координат x и y [Собо-

левский П. К., 1932 г., Девдариани А. С., 1970 г., и др.]. Роль анализа данного показателя ЗП при изучении и картографировании ее рельефа очевидна.

2. *Первая производная* от этой функции $H'(x, y)$, модуль которой $|H'(x, y)|$ в качестве градиентов (уклонов) ЗП фигурирует под разными названиями в морфометрических построениях (вертикальная, суммарная расчлененность, «энергия рельефа» и др.), входит в формулы многих комплексных морфометрических коэффициентов, в качестве показателя морфологии используется в аналитическом картографировании при делении всех «граней» на поверхности выравнивания и разделяющие (осложняющие) их поверхности отступления и врезания («уступы»), со многих сторон анализируется с морфодинамических и других позиций.

3. *Вторая производная* от высоты (глубины) $H''(x, y)$, предпочтительность которой определяется тем, что практически все границы «граней» на современных геоморфологических (аналитических) картах проходят по максимальным значениям ее модуля $|H''(x, y)|$, фиксирующим выпуклые и вогнутые перегибы ЗП.

Наряду со своей экстремальностью в ХТ и на СЛ показатели $H(x, y)$, $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$ могут принимать самые разные значения как в пределах последних, так и внутри заключенных между ними элементов — ЭП, что позволяет рассматривать все точечные, линейные и площадные элементы в качестве *своеобразных инвариантов в ЗП*, неделимых при данном масштабе картографирования.

В выборе этих трех показателей ЗП, в стремлении расчленить ее в соответствии с их экстремальными значениями на составные части проявляется действие системного *принципа активной роли геоморфолога* в изучении и картографировании рельефа. Используя созданную при этом МС в качестве инструмента своих исследований, геоморфолог вынужден подчиниться тем правилам, которые вытекают из целостности этой системы. Целостность системы в общем виде определяется как теснота связей внутри нее, превышающая таковую между системой и средой. *Целостность МС* проявляется в единстве совокупности всех ее элементов и принципиально возможных взаимных соотношений между ними, не допускающем никаких произвольных исключений хотя бы одного из элементов (одной связи из морфологической структуры) или дополнений, взятых из «методической среды» чуждых или несовместимых с этими элементами (и связями между ними) ингредиентов ЗП и соотношений, установленных по какому-либо другому критерию или в результате анализа какого-либо четвертого показателя ЗП. Изменение основных показателей или их числа обязательно приведет к конструированию какой-то другой системы.

Целостность ГМС выражается в отличающем ее от окружающей части ЗП («среды») способе сочленения определенной совокупности элементов, которую надо определить и выделить в результате морфологического районирования. Таким образом, целостность как МС в общем, так и отдельных ГМС в частности

обуславливает методическую строгость проведения важнейших процедур в геоморфологических исследованиях — картографирования и районирования соответственно.

ГЛАВА II

СОСТАВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. ЭЛЕМЕНТЫ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

§ 6. Структурные линии, их систематика

Осуществляемое при картографировании рельефа членение ЗП по разным критериям обязательно предусматривает проведение границ ее частей. Последние в геоморфологии и картографии рассматриваются в качестве элементов или простейших неделимых составляющих ЗП. Однозначное выделение поверхностей требует не только строгого соблюдения предварительно сформулированных критериев и их определения, но и может быть осуществлено лишь через однозначное проведение их границ. Однозначность трассирования этих границ до сих пор не обеспечена наличием должной методики, из чего вытекает произвольность вычленения частей ЗП практически на всех геоморфологических картах. Это оправдывается «...стертостью морфологических границ, которая ставит исследователя в трудное положение» [36, с. 72] и часто является причиной запутанности геоморфологической терминологии, отсутствия систематики элементов ЗП и даже неверия в возможность создания последней [21, 29, 36, и др.].

Данная трудность может быть преодолена путем однозначного выделения СЛ на картах, отражающих основные параметры ЗП (табл. 1). Некоторые из этих линий выделялись ранее и назывались инвариантными [Соболевский П. К., 1932 г.; Krcho I., 1973 г.] или отличительными [11, 13]. Ниже все они рассматриваются в качестве *геометрического места или линий плановой корреляции отличительных точек* (ОТ), в которых основные показатели ЗП характеризуются экстремальными значениями по отношению к соседним достаточно близко расположенным к ним точкам на перпендикулярах, восстановленных к СЛ. Линейные элементы могут быть выделены на достаточно подробных для этого топографических, гипсо- или батиметрических картах и профилях визуально или в результате соответствующих преобразований этих материалов.

Относящиеся к элементам МС линейные элементы обозначаются индексом L . Среди них выделяются линии трех типов и шести видов (табл. 1). Первый тип включает гребневые L_1 и килевые L_2 линии, второй — линии максимальных L_3 и минимальных L_4 уклонов, третий — линии выпуклых L_5 и вогнутых L_6 перегибов склонов. Данная (неполная) систематика предлагается с учетом

ТАБЛИЦА 1

Основные показатели земной поверхности и отражающие их материалы, используемые для выделения структурных линий

Основные показатели земной поверхности	Материалы, используемые для выделения структурных линий		Структурные линии		
	На профиле	В плане	Тип	Вид	Индекс
Абсолютная высота или глубина	Гипсо- или батиметрический профиль [график $H(x)$]	Топографическая, гипсо- или батиметрическая карта — карта топографической поверхности [карта $H(x, y)$]	I	Гребневые	L_1
				Килевые	L_2
Первая производная от абсолютной высоты или глубины	График $H'(x)$	Карта векторного поля	II	Максимальных уклонов	L_3
				Минимальных уклонов	L_4
Вторая производная от абсолютной высоты или глубины	График $H''(x)$	Карта векторного поля	III	Выпуклых перегибов	L_5
				Вогнутых перегибов	L_6

только того из основных параметров ЗП, по экстремальным значениям которого выделена та или иная СЛ [15].

Обозначив все ОТ индексом O , можно сказать, что линии L_1 являются геометрическим местом точек O_1 , L_2 — точек O_2 , L_3 — точек O_3 , L_4 — точек O_4 , L_5 — точек O_5 , L_6 — точек O_6 . Так как ОТ группируются (сливаются) в СЛ, то они не выделяются в виде самостоятельных точечных элементов МС, а анализируются только в качестве проекций этих линий при элементаризации ЗП на морфологическом профиле (см. § 14) и при исследовании структуры ГМС (см. § 27). К точечным элементам относятся лишь «наиболее отличительные» (или характерные) точки (см. § 7).

Выделение линий L_1 и L_2 проводится в результате анализа абсолютных высот (глубин) непосредственно или на гипсо-, батиметрическом профиле, на котором фиксируются проекции этих

линий — ОТ O_1 и O_2 на графике функции $H(x)$, или в плане — на гипсо-, батиметрической основе (карта топографической поверхности по П. К. Соболевскому [1935 г.]). Однозначная и точная фиксация СЛ II и III типов даже в редких районах с контрастно выраженными этими линейными элементами, где на глаз видно чередование зон разной крутизны и разделяющих их вогнутых и выпуклых перегибов, требует осуществления специальных преобразований топографической поверхности. Выделение проекций линий L_3 и L_4 (ОТ O_3 и O_4) на гипсо- или батиметрическом профиле осуществляется с помощью сопровождающих профиль графиков первой $H'(x)$ и второй $H''(x)$ производных. В плане СЛ L_3 и L_4 трассируются на картах модулей первой производной, которая сама является функцией, меняющейся в зависимости от плановых координат. Если рассматривать достаточно малый отрезок поперечного профиля склона в направлении наибольшего изменения высот (свала глубин) как прямолинейный, то в его пределах модуль первой производной равняется тангенсу угла или модулю градиента топографической поверхности $||H'(x, y)||$.

Если подвергнуть дифференцированию первую производную как функцию одной (на профиле) или двух (в плане) пространственных координат, то в результате будет получена вторая производная от высоты (глубины), которая выражается сопровождающим профиль графиком $H''(x)$, а в плане — картой второй производной или модулей градиентов изогradientной, по М. В. Гзовскому [1971 г.], поверхности $|H''(x, y)|$. На этой карте трассируются СЛ L_5 и L_6 , а на графике по максимальным значениям $|H''(x)|$ — их проекции (ОТ O_5 и O_6).

Правила выделения СЛ на профиле и в плане с использованием всех перечисленных в табл. 1 материалов изложены в § 14, 16. Здесь же следует рассмотреть представления о линейных элементах, которые сформировались в геоморфологии и смежных науках.

Наиболее широко распространены визуальное выявление и использование при различных исследованиях *линий I типа*. Их трактовка в качестве элементов ЗП и названия существенно различаются. А. И. Спиридонов [24] называет эти элементы водораздельными или гребневыми (L_1) и тальвеговыми (L_2) линиями. Вслед за ним к данным СЛ обычно относят [Черванев И. Г., 1979 г.] только тальвеги долин постоянных и временных водотоков и водораздельные линии, что нельзя признать целесообразным по следующим соображениям.

1. Кроме тальвегов в рельефе гумидных областей существуют оси вытянутых понижений, не освоенных водотоками.

2. Нередко водораздельные линии смещены относительно осевых линий возвышенностей с наиболее высокими отметками.

3. Субаэральный (в аридных или, наоборот, в сильно заболоченных и заозеренных районах) и субаквальный рельеф также характеризуется наличием СЛ L_1 и L_2 , которые в совокупности часто не составляют древовидную сеть.

То, что И. Г. Черванев называет «структурой рельефа», больше относится к строению гидрографической сети. Эрозионная деятельность постоянных и временных водотоков способствует более яркому проявлению СЛ I типа, определяет их образование в значительной мере, но далеко не полностью. Такая постановка вопроса, в частности, игнорирует роль других процессов в формировании СЛ, а в целом резко сужает возможности элементаризации ЗП, фактически исключая ее за пределами территорий с развитой сетью речных долин.

Больше соответствуют представлениям об элементах этого типа выделяемые в субэаральном рельефе оро- и гидрографические линии, которые трассировались как по тальвегам и водоразделам (в зонах новейших опусканий и поднятий), так и вдоль осей тектонически обусловленных вытянутых низменностей и возвышенностей, не освоенных речными потоками и не реализованных в виде водоразделов [Ласточкин А. Н., 1976 г.]. В результате анализа морфографических признаков тектонических движений выделялись еще одни своеобразные прообразы СЛ I типа — оси морфоструктурных зон или волнообразных поднятий и опусканий [19, 11]. Для их прослеживания использовались методы гармонического анализа [Ласточкин А. Н., Одесский И. А., 1970 г.] и направленного суммирования с одновременной частотной фильтрацией [Абельский А. В., Ласточкин А. Н., 1969 г.] гипсометрических профилей. Понятиями о гребнях и киях складок, не всегда совпадающих с их шарнирами, оперируют в структурной геологии. Гребневые и килевые линии выявлялись на структурных картах по разным отражающим горизонтам в осадочной толще Западно-Сибирской плиты [Ласточкин А. Н., 1973 г.] и на картах новейшей тектоники территории СССР [13]. Установленные при этом правила их трассирования позволили выявить сеть гребневых и килевых линий в подводном рельефе южной части Каспийского моря [13]. В гидрографических наставлениях рекомендуется проводить такие линии в качестве вспомогательных при обработке эхограмм промерных галсов и последующей рисовке изобат. Те же линии используются при цифровом моделировании ЗП и называются структурными в топографии [Малявский Б. К., Жарновский А. А., 1974 г.].

Результаты данных работ, во-первых, свидетельствуют о том, что СЛ I типа являются важнейшими элементами, определяющими каркас ЗП (а также любой другой поверхности и геофизического поля), и должны быть поэтому использованы при организации геоморфологического (геологического, геофизического) пространства (см. § 17), во-вторых, показывают возможность их однозначного выделения и фиксации на карте, в-третьих, позволяют разработать методику этого выделения и, в-четвертых, приводят к выводу о том, что линии I типа нетождественны осям замкнутых и незамкнутых четко выраженных вытянутых неровностей (дислокаций, аномалий) разного знака, а, включая данные оси, могут быть строго прослежены далеко за их пределами, в том числе

в тех районах, где отсутствует явно видимая орографическая линейность и даже зональность. В таких районах они трассируют так называемые неявные формы ЗП, осложняющие склоны разных масштабов и крутизны в виде слабо выраженных заливов и выступов горизонталей на картах $H(x, y)$.

Вместе с тем на нерасчлененных прямолинейных склонах, а также на изометричных орографических образованиях линии L_1 и L_2 выделены быть не могут. В их пределах обычно трассируются СЛ II и III типов.

На *СЛ II типа* до сих пор должного внимания не обращается. Впервые они были выделены и названы отличительными линиями первого рода [Ласточкин А. Н., 1977 г.] в пределах выровненной, внешне монотонной аккумулятивно-абразионной поверхности шельфов. Их распространение определяется сложным характером поперечных профилей практически большинства склонов в субэвральном и субкавальном рельефе, в пределах которых чередуются зоны с меньшими и большими уклонами. Оси этих зон — СЛ II типа — проходят по ОТ с экстремальными (в этих зонах) значениями модулей градиентов на картах $|H'(x, y)|$. Они имеют большое значение в конструировании МС и в систематике ЭП. С их помощью можно определить и ограничить часто встречаемые категории площадных элементов с выпуклыми и вогнутыми поперечными профилями.

В генетическом и морфодинамическом отношении роль СЛ II типа определяется тем, что они фиксируют в пространстве поверхности выравнивания и разделяющие их уступы, зоны с наибольшей и наименьшей подвижностью перемещающегося по склону рыхлого материала.

По своему значению анализ *СЛ III типа* — выпуклых и вогнутых перегибов — в геоморфологическом картографировании сравнивается [6, 2] с изучением контактов в геологии. На аналитических картах перегибы разделяют ЗП на «границы», различные уклоны которых трактуются как основной морфологический признак их разного происхождения. Наиболее контрастно выраженные в батиметрии перегибы изображаются на некоторых морских картах в качестве линий (бровок, подножий), называемых и в гидрографии структурными. Разработаны количественные методы определения бровки шельфа по отдельным батиметрическим профилям (эхограммам) [Фролов Ю. С., 1974 г.] и трассирования перегибов на пологих внешне нетеррасированных поверхностях аккумулятивно-абразионного выравнивания в качестве отличительных линий второго рода [11].

Несмотря на то значение, которое придается линиям этого типа, в геоморфологии существует мнение [Черванев И. Г., 1979 г.], что они не могут быть использованы в структурном анализе рельефа, поскольку не образуют древовидных и связанных сетей и не могут быть упорядочены (расчленены на порядки) подобно тальвегам речных долин и водораздельным линиям. Эти соображения нельзя рассматривать в качестве аргументов за ис-

ключение данных линий (так же как СЛ L_3 и L_4) из состава ЗП при конструировании МС. Перегибы являются характерными элементами в пределах любого по генезису, в том числе эрозионно-аккумулятивного, рельефа, где широко развиты бровки и тыловые швы речных террас, несущие в себе ценную историко-генетическую информацию.

Линии как выпуклых, так и вогнутых перегибов являются геометрическим местом ОТ с максимальными значениями $|H''(x, y)|$. Минимальные значения $|H''(x, y)|$ на ранее выделяемых [11, 13] отличительных линиях «постоянных уклонов» при конструировании МС во внимание не принимаются, так как указанные линии не способствуют элементаризации ЗП и часто совпадают в плане со СЛ II типа.

Таким образом, СЛ I типа являются линиями плановой корреляции или геометрическим местом ОТ с экстремальными значениями высот или глубин, СЛ II типа — линиями плановой корреляции ОТ с экстремальными значениями уклонов, СЛ III типа — линиями плановой корреляции ОТ с максимальными значениями кривизны ЗП, разделяющими ЭП с существенно различными уклонами.

Рассмотренные выше СЛ различаются нами также по морфологии поперечного профиля (кривизне) тех ЭП, которые они разделяют. На рис. 1 представлены условные (батиметрические) профили, пересекающие СЛ разных видов, типов, классов и групп в качестве графиков функции $H(x)$, для которых ось абсцисс x направлена вправо, а ось ординат H — вниз. Сопровождающие их графики функций $H'(x)$ и $H''(x)$, которые теоретически могут быть непрерывными, кусочно-непрерывными или иметь бесконечные разрывы, построены в результате графического дифференцирования с однозначным доопределением функций в областях разрыва.

Те линейные элементы, по обе стороны от проекций которых на профиле (ОТ) характер поведения функций $H'(x)$ и $H''(x)$ (или кривизна разделяемых ими ЭП) не меняется, составляют класс линий принципиальной симметрии. При одинаковом характере кривизны разделяемых ЭП функции $H'(x)$ и $H''(x)$ могут отличаться друг от друга не только по знаку, но и по значениям модулей в точках, расположенных на равных расстояниях в обе стороны от ОТ. Поэтому здесь речь идет о принципиальной симметрии, представления о которой вытекают из понятия об относительном равенстве (см. § 23).

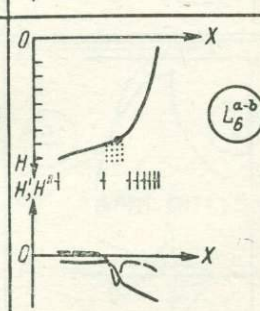
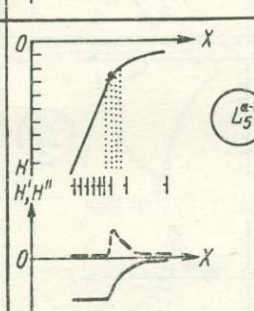
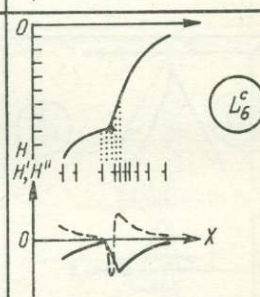
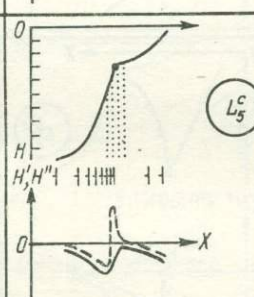
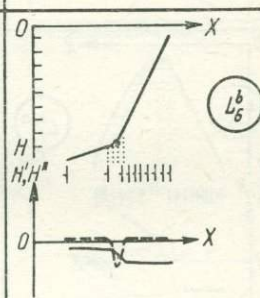
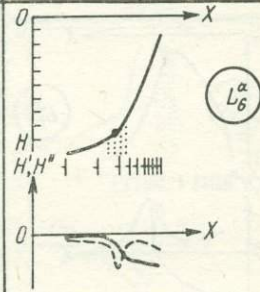
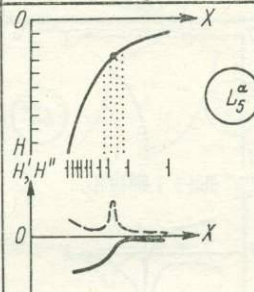
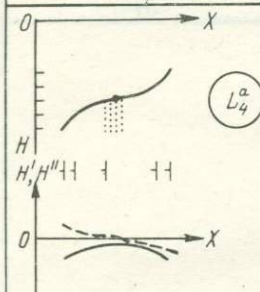
По характеру и степени морфологической выраженности СЛ принципиальной симметрии в поперечном профиле они делятся на три группы: плавные L^a , ломаные L^b и резко выраженные L^c . В дифференциальном исчислении ОТ — проекции СЛ I типа, относящиеся к группам L^a , L^b и L^c , называются соответственно гладким экстремумом, угловой точкой возврата и точкой возврата графика с вертикальной касательной. Полные индексы этих и всех других СЛ представлены на рис. 1 в кружочках.

Класс	Группа	I типа			II		
					Вид		
		Гребневые L_1	Килевые L_2	Максимальных уклонов L_3			
Линии принципиальной симметрии	Плавные в профиле L^a						
	Ломаные в профиле L^b						
	Резко выраженные L^c в профиле						
Линии принципиальной диссимметрии $L^{a,b}$ для L_1-L_2 L_5-L_6							

Минимальных уклонов
 L_4

выпуклых перегибов
 L_5

вогнутых перегибов
 L_6



Класс	Группа	Типа		II
		Гребневые L_1	Килевые L_2	Вид
				Максимальных уклонов L_3
Линии принципиальной диссиметрии	$L^{a,c}$ Для L_5-L_6 $L^{a,c}$ L_1-L_2			
	$L^{b,a}$ Для L_5-L_6 $L^{b,a}$ L_1-L_2			
	$L^{b,c}$ Для L_5-L_6 $L^{b,c}$ L_1-L_2			
	$L^{c,a}$ Для L_5-L_6 $L^{c,a}$ L_1-L_2			

типа	III типа	
Минимальных уклонов L_4	Выпуклых перегибов L_5	Вогнутых перегибов L_6
	<p style="text-align: right;">L_5^{a-c}</p>	<p style="text-align: right;">L_6^{a-c}</p>
	<p style="text-align: right;">L_5^{b-a}</p>	<p style="text-align: right;">L_6^{b-a}</p>
	<p style="text-align: right;">L_5^{b-c}</p>	<p style="text-align: right;">L_6^{b-c}</p>
	<p style="text-align: right;">L_5^{c-a}</p>	<p style="text-align: right;">L_6^{c-a}</p>

Класс	Группа	I типа		II
		Гребневые L_1	Килевые L_2	Максимальных уклонов L_3
Линии принципиальной диссимметрии	$L^{c,b}$ L_1-L_2 Для L_5-L_6			

$$\frac{\delta \sqrt{a}}{a} \quad 1 \qquad \frac{\delta \sqrt{a}}{a} \quad 2$$

Рис. 1. Полная группа и систе

1 — график функции $H(x)$: a — расчетный, b — достроенный; 2 — график функции $H''(x)$: линии; 5 — области достроения производ

Плавные СЛ L_1^a и L_5^a разделяют две выпуклые ЭП, линии L_2^a и L_6^a — две вогнутые ЭП, линия L_3^a — выпуклую от вогнутой ЭП вниз по склону, линия L_4^a — вогнутую от выпуклой ЭП вниз по склону. Линии L_3 и L_4 относятся только к группе плавных СЛ. Линии I и III типов, относящиеся к группе ломаных, являются границами между двумя линейчатыми (см. § 10) ЭП. В группе резко выраженных линии L_1^c и L_5^c разделяют две вогнутые, а линии L_2^c и L_6^c — две выпуклые ЭП.

Класс линий принципиальной диссимметрии содержит группы СЛ, по обе стороны от которых характер поведения функции $H(x)$ и ее двух первых производных (кривизны ЭП) принципиально отличается друг от друга. Группы линий этого класса можно представить в качестве всех возможных комбинаций, составленных из трех групп линейных элементов принципиальной симметрии. В соответствии с этим в полном индексе СЛ обозначения $a, b; b, a; a, c; c, a; b, c; c, b$ отражают право- и левостороннюю диссимметрию линий L_1 и L_2 , характер которой определяется в зависимости от направления уклона продольного профиля по этим линейным элементам (аналогично определению правого и левого берега реки). Обозначения $a-b, b-a, b-c$ и $c-b$ отражают относительное гипсо-, батиметрическое положение разделяемых линиями L_5 и L_6 площадных элементов. Первая буква обозначает кривизну ЭП, расположенной выше данной СЛ, а вторая — кривизну поверхности, расположенной ниже ее. Каждый из полных индексов СЛ на рис. 1 отражает ее принадлежность не только к одному из шести видов линейных элементов (L_1-L_6), но и

типа	III типа	
Минимальных уклонов L_4	Выпуклых перегибов L_5	Вогнутых перегибов L_6

||||| 3

L_6^{a-b} 4

5

матика структурных линий.

a — расчетный, b — достроенный; 3 — горизонтали (изобаты); 4 — полный индекс структурных и профиль [график функции $H(x)$].

к одной из трех (в классе линий принципиальной симметрии) или шести (в классе линий принципиальной диссимметрии) групп, установленных по характеру и степени их морфологической выраженности в поперечном профиле.

Приведенная на рис. 1 систематика СЛ и их определения учитывают не только экстремальные значения одного из трех основных параметров ЗП, но и поведение двух остальных ее показателей в поперечном профиле. Анализ всех трех параметров ЗП приведен в § 14. Предложенная классификация включает в себя все возможные разновидности линейных элементов, являясь их полной группой (см. § 7), из которой исключены варианты, лишенные смысла по определению. На этой исчерпывающей (в рамках МС) классификации основываются определения и систематика точечных и площадных элементов ЗП.

Встречаемость в рельефе линейных элементов рассмотренных категорий различная. Наиболее часто и повсеместно представлены СЛ L_1^a — L_6^a . Среди других гребневых и килевых линий чаще всего распространены L^c и менее широко L^b . В разных субэкральных и субаквальных условиях встречаются производные от них все группы СЛ принципиальной диссимметрии, а также все указанные СЛ L_5 и L_6 .

В морфодинамических исследованиях СЛ выполняют одновременно три функции. Во-первых, только с их помощью могут быть выделены, систематизированы и индексированы точечные и площадные элементы. Наряду с участием в элементаризации и организации этих элементов СЛ фиксируют пространственные отношения между ними (см. § 27). Кроме того, самые важные из них СЛ

I типа, являющиеся основой каркаса рельефа, играют в его структурном анализе роль одной из двух осей анизотропии и структурной координатной сети (см. § 17—19).

§ 7. Характерные точки, их систематика

Наряду со СЛ — ребрами жесткого каркаса рельефа, проведенными по ОТ, среди последних в качестве самостоятельных точечных элементов выделяются ХТ, обозначаемые индексом С.

А. И. Спиридонов [24] называет следующие точечные элементы ЗП: вершинные, седловинные, донные, устьевые, поворотные, развилочные точки, точки пересечения и слияния. Ниже типы ХТ выявлены дедуктивно методом полной группы, включающей *точечные элементы в качестве всех возможных пересечений и сочленений СЛ шести видов*. Это, во-первых, обеспечило исчерпывающий охват всех, в том числе перечисленных выше, точечных элементов и, самое главное, позволило установить их соотношение друг с другом и с линейными элементами ЗП.

Совокупность всех мыслимых видов ХТ очерчивает так называемое пространство возможностей [7], которое может содержать больше их разновидностей, чем существует в реальном рельефе. *Метод полной группы* позволяет выявить все возможные элементы ЗП, упорядочить и сопоставить их друг с другом, определить всю совокупность их взаимных соотношений, т. е. морфологическую структуру. Этот метод, позволяющий выявить и отразить целостность МС, используется нами также для формализации и систематики линейных и площадных элементов и их совокупностей (сочетаний; см. § 11).

В данном случае он реализован с помощью матрицы — прямоугольной таблицы, показывающей взаимные отношения между выделяемыми точечными и рассмотренными выше линейными элементами (рис. 2, а). Матрица делится главной диагональю на две равные части. В левой нижней половине перечислены и соотношены друг с другом и с линейными элементами *точки пересечения* двух одноименных (C_{n-n}) и двух разноименных (C_{n-m})* СЛ, продолжающихся без перерыва по обе стороны относительно друг друга (рис. 2, б, вариант II). В правой верхней половине приведены *точки сочленения*, фиксирующие соединение линий одного вида (\bar{C}_{n-n}) или разных видов (\bar{C}_{n-m}) (рис. 2, б, вариант IV).

Еще одна особенность этой матрицы заключается в том, что для полного отражения всех точечных элементов ЗП в нее включены ХТ, никак не связанные со СЛ (C_0^- и C_0^+) или связанные только с одной из них: L_1 (C_1, C_1^- и C_1^+) или L_2 (C_2, C_2^- и C_2^+).

Продолжая широко используемую в геоморфологии [6 и др.] аналогию между элементами ЗП и конечных фигур — кристал-

* Здесь и ниже, за исключением специально оговоренных вариантов, $n=1, 2, \dots, 6$ и $m=1, 2, \dots, 6$ при $n \neq m$.

а

Тур СЛ		Тур СЛ	I		II		III		
		Вид СЛ	L_1	L_2					
		Вид СЛ	C_0^-	C_1	C_2	L_3	L_4	L_5	L_6
			C_0^+						
I	L_1		C_1^+	\bar{C}_{1-1}	\bar{C}_{1-2}	\bar{C}_{1-3}	\bar{C}_{1-4}	\bar{C}_{1-5}	\bar{C}_{1-6}
	L_2		C_1^-	C_{1-1}					
II	L_3		C_2^+	\bar{C}_{2-2}	\bar{C}_{2-3}	\bar{C}_{2-4}	\bar{C}_{2-5}	\bar{C}_{2-6}	
	L_4		C_2^-	C_{2-2}					
III	L_5		C_3^+	C_{3-3}	\bar{C}_{3-4}	\bar{C}_{3-5}	\bar{C}_{3-6}		
	L_6		C_3^-	C_{3-4}	\bar{C}_{4-4}	\bar{C}_{4-5}	\bar{C}_{4-6}		
			C_4^+	C_{4-5}	C_{4-5}	C_{4-5}	\bar{C}_{5-5}	\bar{C}_{5-6}	
			C_4^-	C_{4-6}	C_{4-6}	C_{4-6}	C_{5-5}	\bar{C}_{6-6}	
			C_5^+	C_{5-6}	C_{5-6}	C_{5-6}	C_{5-6}	C_{6-6}	
			C_5^-	C_{6-6}	C_{6-6}	C_{6-6}	C_{6-6}	C_{6-6}	

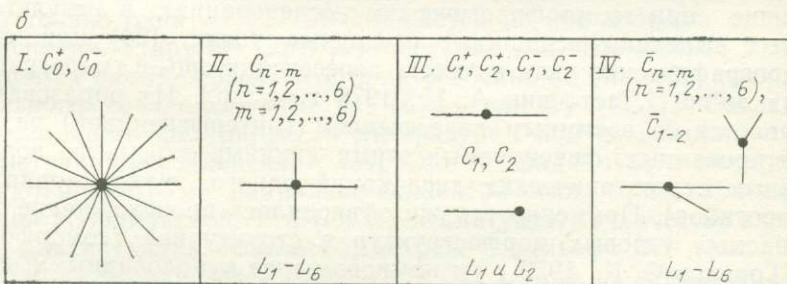


Рис. 2. Полная группа характерных точек (а) и их плановые соотношения со структурными линиями (б).

1 — вершины; 2 — узлы; 3 — вершины-узлы; 4 — торцевые точки; 5 — индексы точек сочленения; 6 — индексы всех остальных характерных точек; 7 — соотношения в плане характерных точек и структурных линий.

лов*, некоторые из ХТ можно назвать *вершинами* (рис. 2, а). К вершинам относятся: а) единственные расположенные за пределами СЛ и наиболее важные в составе и структуре ЗП точки с экстремальными значениями $H(x, y)$ на изометричных положительных (C_0^+) и отрицательных (C_0^-) формах; б) точки с экстремальными значениями $H(x, y)$ на положительных и отрицательных изгибах (ундуляциях) гребневых (C_1^+ и C_1^-) и килевых (C_2^+ и C_2^-) линий (вершины ундуляций). *Узлами* называются точки пересечения и сочленения линий I и III типов со СЛ L_3 и L_4 . На матрице они расположены симметрично относительно ее главной диагонали. ХТ, образованные при взаимном пересечении гребневых и килевых линий (C_{1-1} , C_{1-2} , C_{2-2}), линий выпуклых и вогнутых перегибов (C_{5-5} , C_{5-6} , C_{6-6}) и всех этих линий I и III типов (C_{1-5} , C_{2-5} , C_{1-6} , C_{2-6}), относятся как к вершинам, так и к узлам (*вершинам-узлам*). Симметрично им на матрице расположены вершины-узлы, относящиеся к точкам сочленения.

Рассматривая точки пересечения СЛ, следует отметить, что вершины-узлы C_{1-1} и C_{2-2} образуются на пересечении продольной (соответствующей общему простиранию форм ЗП) и поперечной к ней линий одного вида: L_1 или L_2 . Они чаще всего отражают согласованные ундуляции продольных линий L_1 и L_2 и, в отличие от вершин C_1^+ , C_1^- , C_2^+ и C_2^- , коррелируются в плане поперечными линиями L_1 и L_2 того же знака (вида). Эти ундуляции усиливают контрастность гипсо- и батиметрического проявления фиксируемых продольными линиями L_1 и L_2 положительных и отрицательных форм (их относительные превышения) и одновременно могут снижать степень их вытянутости и анизотропию рельефа (см. § 19). На данные характерные элементы ЗП обращалось внимание при геоморфологических исследованиях, в результате которых выделены вершинные и донные точки [24] или оро- и гидрографические узлы на месте пересечения оро- и гидрографических линий [Ласточкин А. Н., 1976 г., и др.]. Их образование связывается со взаимным пересечением (интерференцией) разноориентированных, фиксируемых этими линиями в рельефе волнообразных неотектонических дислокаций одного знака (поднятий или прогибов). Примерно так же объяснялось происхождение так называемых узловых морфоструктур в структурной геоморфологии [Горелов С. К., 1972 г.] и намного ранее куполовидных и крестовых структур в неотектонике (П. И. Кротовым, А. В. Нечаевым и др.). Центральные точки этих орографических, морфотектонических и тектонических образований можно с определенной долей условности считать аналогами вершин-узлов C_{1-1} и C_{2-2} .

Вершины-узлы C_{1-2} (или седловинные точки [24]) отражают

* Условность использованной аналогии заключается в том, что чаще всего «ребра ЗП» непрямолинейны, а заключенные между ними поверхности не являются гранями.

ундуляции линий L_1 и L_2 , которые, наоборот, уменьшают контрастность проявления по вертикали положительных и отрицательных вытянутых форм и одновременно могут сказаться на увеличении их ширины. На эти ХТ приходится максимальные снижения гребневых и воздымания килевых линий. Каждая из них является центральной точкой седла и называется в математике минимаксом.

К вершинам-узлам относятся также точки пересечения линий I и III типов C_{1-5} , C_{2-5} , C_{1-6} и C_{2-6} . Наиболее ярко точки C_{1-5} и C_{2-6} проявляются при переходе от вытянутых относительно выполюженных привершинных частей возвышенностей (C_{1-5}) или дниц впадин и желобов (C_{2-6}) к их проксимальным склонам и бортам. Характерными примерами вершин-узлов C_{2-5} и C_{2-6} являются верхняя и нижняя точки порога в речной долине, секущей литологически обусловленный уступ. Вершина-узел C_{1-6} фиксирует, например, точку вогнутого перегиба водораздельной линии. Мыслимы, хотя и встречаются значительно реже, вогнутые и выпуклые перегибы, пересекающие линии L_5 и L_6 в вершинах-узлах C_{5-5} , C_{5-6} и C_{6-6} . Они образуются, например, при пересечении бровок и тыловых швов речной долины, которая осложняет склон, приуроченный к серии неотектонически активных сбросов.

Собственно узлами следует называть точки взаимного пересечения линий L_3 и L_4 (C_{3-3} , C_{3-4} , C_{4-4}) и точки их пересечения со всеми линиями других видов (C_{1-3} , C_{2-3} , C_{1-4} , C_{2-4} , C_{3-5} , C_{4-5} , C_{3-6} , C_{4-6}). Нетрудно представить идущие вдоль склона линии L_3 и L_4 , пересекающие тальвеги, тыловые швы и бровки террас в осложняющих этот склон речных долинах, а также разделяющие водоразделы.

Точки сочленения одноименных СЛ фиксируют такие соединения линейных элементов (рис. 2, б, вариант IV), при которых: а) ни одна из линий не продолжается по обе стороны от ХТ и б) только одна из СЛ продолжается по обе стороны от точки сочленения, а другие (другая) берут из нее свое начало или замыкаются ею. В первой категории особенно выделяются *точки радиального сочленения СЛ* L_1 (\bar{C}_{1-1}) или L_2 (\bar{C}_{2-2}). Последняя разновидность фигурирует в литературе под названием «точка симметричного сочленения» [34]. Эти ХТ радиального сочленения являются центрами радиально-концентрических рисунков структурной координатной сети (СКС) и выступают в качестве элементов, фиксирующих осевую симметрию в рельефе ЗП (см. § 22). Другая категория точек сочленения СЛ L_1 или L_2 характерна для эллипсовидных и стреловидных рисунков СКС.

Точки сочленения разноименных СЛ образуются обычно при ограничении ЭП в проксимальном направлении склонов (при «боквом ограничении ЭП»), когда один из линейных элементов сетчат горизонталей и встречается с другой ограничивающей эту поверхность линией, занимающей положение, более близкое к горизонтальному.

По своему отношению к СЛ точечные элементы образуют четыре группы (варианта; рис. 2, б). В первую, самую малую из них

по количеству разновидностей, входят вершины изометричных форм ЗП C_0^+ и C_0^- , через которые может быть проведено бесчисленное множество СЛ L_1 или L_2 . Так как это лишено какого-либо смысла, принимается, что ХТ C_0^+ и C_0^- вообще не связаны со СЛ. Вторая группа включает ХТ, в которых пересекаются всего две СЛ любого вида. Через ХТ третьей группы C_1^+ , C_2^+ , C_1^- и C_2^- проходит всего одна СЛ (L_1 или L_2). К этой же группе относятся конечные или торцевые (на линиях I типа) точки C_1 и C_2 , которые не относятся ни к вершинам, ни к узлам. Они служат центрами окружностей, дуги которых, являясь фрагментами горизонталей, отрисовывают изометричные торцевые окончания («периклинали» или «центриклинали») в целом вытянутых или неправильных в плане положительных и отрицательных форм ЗП (см. рис. 19). ХТ четвертой группы являются точками сочленения СЛ одного (C_{n-n}) или двух (C_{n-m}) видов. Сюда же относятся точки C_{1-2} .

При выделении и индексации площадных элементов точки C_1 и C_2 отождествляются с ХТ C_0^+ и C_0^- соответственно. Такое же отождествление с точечными элементами C_0^+ и C_0^- оправдано для ХТ C_1^+ , C_2^+ и C_1^- , C_2^- в тех случаях, когда они являются центрами изометричных положительных или отрицательных форм, осложняющих более крупную вытянутую форму, фиксируемую СЛ L_1 или L_2 . Названные ХТ, а также вершины-узлы C_{1-2} , выступающие в качестве центров изометричных форм, в рассмотренном аспекте могут считаться аналогами ХТ C_0^+ и C_0^- .

К полным или исчерпывающим определениям ХТ, предусматривающим не только экстремальность одной из трех основных характеристик ЗП в отдельности, но и поведение всех этих показателей (в поперечном профиле) вместе взятых, нетрудно перейти, зафиксировав все возможные варианты пересечения и сочленения СЛ, перечисленных на рис. 1. Так же как линии L_1 и L_2 , вершины C_0^+ и C_0^- по характеру выраженности в проходящих через них поперечных сечениях подразделяются на плавные (полные индексы C_0^{+a} и C_0^{-a}), ломаные (C_0^{+b} и C_0^{-b}) и резкие (C_0^{+c} и C_0^{-c}). В отличие от СЛ I типа, ХТ C_0^+ и C_0^- относятся только к классу элементов принципиальной симметрии. К этому же классу точечных элементов могут быть причислены те виды ХТ, которые образованы при симметричном пересечении СЛ L_1 и L_2 , относящихся к одной и той же группе линий принципиальной симметрии. Все остальные точечные элементы по своим определениям относятся к ХТ принципиальной диссимметрии. При этом, однако, они могут выступать в роли особых элементов, являющихся инвариантными при всех видах симметричных преобразований (см. § 22).

§ 8. Элементарные поверхности

В современном геоморфологическом картографировании широко используется способ отражения рельефа на карте совокупностью вычлененных поверхностей — частей ЗП. Лежащая в основе картографирования и исследования рельефа элементаризация ЗП осуществляется по двум критериям: гипсо- и батиметрическому положению и (или) по уклонам этих поверхностей, т. е. в соответствии с двумя ее основными параметрами: $H(x, y)$ и $|H'(x, y)|$. Вычлененным согласно произвольно или условно установленным их грациям частям ЗП и их совокупностям предлагается та или иная генетическая и возрастная трактовка. Идя этим путем в выделении объектов своего картографирования, геоморфология, по сути дела, послушно следует за топографией и гидрографией, определяющими положение ЗП относительно поверхности геоида.

По гипсометрическому признаку субэаральный рельеф делится на горный (высоко-, средне- и низко-) и равнинный (возвышенности, низменности). Этот же признак (с одновременным учетом уклонов) используется при самой общей систематике субаквального рельефа — при разделении его на шельф, материковый склон, материковое подножие, океанические котловины, поднятия, хребты и т. д. Изображаемое на гипсографической кривой распределение высот и глубин на земном шаре часто рассматривается в качестве основания для вычленения основных элементов поверхности Земли в общепланетарном масштабе. В справедливой критике такой упрощенной интерпретации гипсо- и батиграфических кривых [Леонтьев О. К., 1982 г.] отмечалось, что границы этих элементов не связаны жестко с определенными высотами и глубинами, а располагаются в довольно широких гипсо- и батиметрических диапазонах.

Так же как абсолютные высоты (глубины), *уклоны ЗП* являются характеристикой не морфологии (как это обычно считается), а положения поверхности в трехмерно-ортогональной системе координат. Использование уклонов в качестве морфологического показателя при аналитическом картографировании (в сочетании с трассированием выпуклых и вогнутых перегибов) не обеспечивает однозначности в элементаризации ЗП. Приближенное выражение (аппроксимация) ЗП набором генетически однородных поверхностей, называемых гранями, является методической основой составления современных средне- и крупномасштабных аналитических карт [2; 6; Борисевич Д. В., 1950 г.; Спиридонов А. И., 1951 г., 1961 г., и др.]. Этот наиболее прогрессивный в настоящее время подход к геоморфологическому картографированию обладает, однако, рядом недостатков. К ним прежде всего относится отмеченное выше отсутствие способа точного и однозначного трассирования границ «граней» — линий L_5 и L_6 , что приводит часто к их произвольному вычленению особенно в областях со слабо террасированной и расчлененной ЗП. Такой способ разработан

недавно [11] и пока применяется лишь для выделения отличительных линий на абразионно-аккумулятивных шельфах.

Выделение и типизация «граней» по признаку их положения в пространстве (по уклонам) на субгоризонтальные и наклонные производятся произвольно. Казалось бы, простая задача приближенного отражения рельефа на карте совокупностью «граней» со строгим разделением их на основе количественной оценки уклонов оказалась неразрешимой, так как общие интервалы значений уклонов для каждой из двух групп «граней» (поверхностей выравнивания и разделяющих их уступов) даже на соседних, но по-разному террасированных и расчлененных участках ЗП установить невозможно.

Составление аналитических карт иногда предусматривает членение ЗП сразу по двум чаще всего несовместимым друг с другом признакам: по уклонам «граней» и по их положению относительно явно выраженных выпуклых и вогнутых перегибов. *Выдержать одновременно оба эти принципа, связь между которыми может быть установлена только на ограниченных пространствах, во многих случаях не удается.* И это естественно, так как первый из них направлен на определение положения «граней» в общей абстрагированной от реальной ЗП трехмерно-ортогональной системе координат, а второй — на определение их положения относительно других конкретных (линейных) элементов ЗП, которые находятся вне какой-либо зависимости от этой координатной системы и являются инвариантными линиями.

Если отказаться от второго признака и осуществлять элементаризацию ЗП в соответствии с формально установленными грациями уклонов, то и с этих позиций не удалось бы создать единую шкалу, универсальную для любых территорий и масштабов карт, подобно тому как не удалось определить диапазоны абсолютных высот и глубин для разных категорий рельефа.

Таким образом, использование в качестве основных признаков элементаризации ЗП значений абсолютных высот (глубин) и уклонов не может обеспечить решение задач геоморфологического картографирования, так как общих (универсальных) интервалов этих значений, отражающих положение в трехмерно-ортогональном пространстве ее частей, установить невозможно. Полная зависимость выделения «граней» от условно выбранных (на разных территориях, разными авторами и при разных масштабах картографирования) диапазонов уклонов только резко уменьшает объективность, сравнимость, информативность и, как следствие этого, прикладное значение аналитических карт.

Именно поэтому если при определении возраста различных геологических образований естественным является стремление к переходу от относительных к абсолютным датировкам, то при системной ориентации в изучении и картографировании рельефа не менее естественно обратное направление — переход от уже известных абсолютных значений основных параметров ЗП к выделению независимых от них (инвариантных) ее элементов, а затем к опре-

делению их относительного положения по вертикали или их позиции по отношению к другим элементам.

Ниже в развитие опыта аналитического картографирования [2, 6 и др.] предлагается в качестве *единственного принципа членения ЗП на части использовать их положение относительно линейных и точечных элементов разных категорий*. Такой принцип позволяет однозначно и строго определить, систематизировать и оконтурить площадные элементы, которые отличаются друг от друга не только по своей позиции в конкретном рельефе, но и, как следствие этого, по направленности, интенсивности и другим особенностям создавших и моделирующих их рельефообразующих процессов.

Изображение рельефа на карте в виде набора частей ЗП (или «граней») всего двух категорий (поверхностей выравнивания и разделяющих их уступов) не только не может обеспечить полного отражения всего его многообразия, но и часто находится в явном противоречии с составом и строением ЗП. Признание такого ограниченного набора «граней» достаточным для аналитического картографирования исходит не из каких-либо реальных особенностей рельефа, а из субъективных, хотя и господствующих, представлений о повсеместной террасированности ЗП. В соответствии с ними последняя может быть представлена только чередованием близких к горизонтальным поверхностей выравнивания и разделяющих (расчленяющих) их наклонных и субвертикальных поверхностей.

Кроме этого общего замечания о методологически ошибочном пути изучения и картографирования морфологии, основанных на какой-либо генетической гипотезе, отметим, что данные представления практически неприменимы к субкавальному рельефу. Террасированность абразионно-аккумулятивных и других поверхностей на шельфе при общей его выположенности проявляется крайне редко и в очень ослабленном виде, что объясняется [11, 13] особенностями общего хода эвстатических колебаний уровня Мирового океана в плейстоцене. Нет никаких данных о рельефообразующих процессах, механизм воздействия которых на подводную поверхность континентальных склонов, подножий и ложа океанов приводил бы к ее террасированности. Нельзя признать универсальными представления о повсеместной террасированности ЗП суши (например, горного альпийского или равнинного ледникового рельефа).

Если субгоризонтальные поверхности выравнивания на составляемых ныне аналитических картах с большой долей условности можно называть гранями, то существенно преобладающие по площади (см., например, Карту поверхностей выравнивания и кор выветривания СССР, 1972 г.) наклонные или субвертикальные поверхности, имеющие на этих картах обычно криволинейные границы, при всех допущениях не могут считаться гранями (плоскостями). С помощью термина «границы» в свое время удачно подчеркивалась используемая и ныне (в том числе нами; см. § 7) аналогия между создававшимися тогда относительно строгими и несомненно прогрессивными принципами аналитического картографирования и кристаллографией [Борисевич Д. В., 1950 г.; Спиридо-

нов А. И., 1952 г., и др.]. Однако до сих пор широкое использование этого утратившего первоначальный (в основном образный и иллюстративный) смысл термина для обозначения выделяемых по разным принципам частей ЗП недопустимо.

На геоморфологической карте, претендующей на достоверное отражение рельефа, последний не может быть представлен в виде набора плоскостей, особенно в пределах тех широко распространенных фрагментов ЗП, которые описываются уравнениями второго порядка и соответствуют частям эллипсоида, конуса, эллиптического и гиперболического параболоидов. Сам путь аппроксимации ЗП набором каких-либо, в том числе самых сложных, аналитически описываемых поверхностей нельзя признать целесообразным при системной ориентации геоморфологического картографирования не столько в связи с его трудоемкостью, сколько потому, что такой набор не является совокупностью площадных элементов, связанных с другими элементами МС и полученных в результате строгого и целенаправленного упрощения и элементаризации ЗП. На геоморфологической карте ЗП должна быть аппроксимирована площадными элементами, которые, во-первых, однозначно и строго выделяются, во-вторых, точно соответствуют (адекватны) реально существующим ее ингредиентам и, в-третьих, находятся в установленных соотношениях с другими, точечными и линейными, элементами и в совокупности с ними составляют МС. Такая постановка вопроса позволяет разработать технологию и совместить операциональную воспроизводимость процедур картографирования рельефа с некоторыми привычными представлениями о составных частях ЗП и картировочных единицах в геоморфологии.

Выделение, систематизацию и индексацию ЭП предлагается осуществлять в соответствии с ограничивающими их СЛ и ХТ — вершинами с использованием метода полной группы. По способу вычленения площадные элементы разделяются на ЭП, ограниченные СЛ с двух сторон (сверху и снизу), и ЭП, ограниченные СЛ только с одной стороны (сверху или снизу) (рис. 3). К первой категории, основываясь на приведенной в § 10 систематике площадных элементов, следует отнести пригребневые, прикилевые и все собственно склоновые ЭП, ко второй — привершинные и плосковершинные ЭП.

Индексация ЭП первой категории осуществляется в зависимости от индексов ограничивающих их с двух сторон линейных элементов. Индекс P_{n-m} означает, что линия L_n ($n \neq 2$) ограничивает эту поверхность сверху, а линия L_m ($m \neq 1$) — снизу. Двусторонне вычлененные линейными элементами ЭП P_{n-m} картировались ранее лишь на шельфе и разграничивались друг от друга отличительными линиями [11, 13]. В продольном направлении склона они разделялись одной из СЛ (L_n или L_m), которая, ограничивая одну из ЭП сверху или снизу, сечет склон (горизонталь) и проходит вплоть до точки ее сочленения с другой линией (\bar{C}_{n-m}). Эти точки на рис. 3, а представлены точечными элементами \bar{C}_{1-5} , \bar{C}_{3-6} и

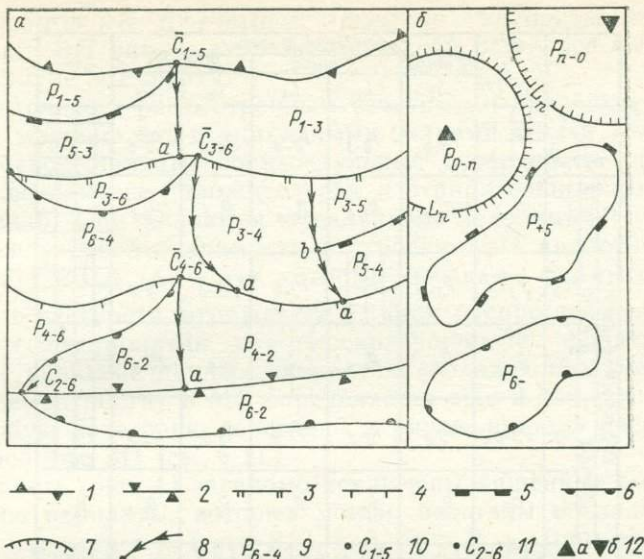


Рис. 3. Стандартные способы ограничения и индексации элементарных поверхностей.

a — собственно склоновые ЭП, ограниченные двумя структурными линиями; *b* — привершинные и плосковершинные верхние и нижние ЭП, вычлененные одной структурной линией. 1—7 — структурные линии: 1 — гребневые, 2 — килевые, 3 — максимальных уклонов, 4 — минимальных уклонов, 5 — выпуклых перегибов, 6 — вогнутых перегибов, 7 — линии L_n при $n \neq 1$ (для ЭП P_{0-n}) и $n \neq 2$ (для ЭП P_{n-0}); 8 — боковые ограничения ЭП (поперечные и векторные линии); 9—11 — индексы: 9 — площадных элементов, 10 — точек сочленения, 11 — точек пересечения; 12 — вершины C_0^+ (*a*) и C_0^- (*b*).

\bar{C}_{4-6} . При отсутствии такого естественного ограничения в проксимальном направлении площадные элементы отделяются друг от друга или поперечными (ЭП P_{1-n} и P_{n-2}), или векторными (ЭП P_{n-m} при $n, m \neq 1, 2$) линиями. Относящиеся к отражаемой на морфологической карте СКС (см. § 17—19) поперечные линии подходят по нормали к СЛ L_1 и L_2 (их касательным) и продолжают вниз или вверх по склону вплоть до их сочленения со смежной СЛ в точке *a* (рис. 3, *a*). Векторные линии (линии тока; см. § 14) восстанавливаются из точек сочленения или торцевых ОТ (точка *b* на рис. 3, *a*) вверх или вниз по склону вплоть до их пересечения со смежными СЛ. В зависимости от геометрии склона или конфигурации горизонталей и дополнительных линий (см. § 18) боковые ограничения могут быть представлены как прямыми, так и кривыми линиями.

Среди ЭП, вычлененных одной СЛ, имеются (рис. 3, *b*): а) наклонные поверхности, заключенные между вершинами C_0^+ и C_0^- (или их аналогами) — ХТ, с экстремальными значениями высот (глубин) на изометричных в плане положительных или отрицательных формах ЗП (или их фрагментах) и замкнутой или дугообразной СЛ L_n (например, поверхности вулканов, карстовых во-

	C_0^- (C_2, C_{1-2})	Структурные линии					"-"	
		I типа		II типа		III типа		
		L_2	L_3	L_4	L_6	L_5		
C_0^+ (C_1, C_{1-2})		P_{0-2}	P_{0-3}	P_{0-4}	P_{0-6}	P_{0-5}		
Структурные линии	I типа	L_1	P_{1-0}	P_{1-2}	P_{1-3}	P_{1-4}	P_{1-6}	P_{1-5}
	II типа	L_3	P_{3-0}	P_{3-2}		P_{3-4}	P_{3-6}	P_{3-5}
		L_4	P_{4-0}	P_{4-2}	P_{4-3}		P_{4-6}	P_{4-5}
	III типа	L_5	P_{5-0}	P_{5-2}	P_{5-3}	P_{5-4}	P_{5-6}	P_{5-5}
		L_6	P_{6-0}	P_{6-2}	P_{6-3}	P_{6-4}	P_{6-6}	P_{6-5}
"+"						P_{+5}		

Рис. 4. Полная группа элементарных поверхностей, составленная на основе разделения структурных линий на виды и типы (см. табл. 1).

Заштрихованные квадраты — варианты, лишенные смысла по определению или представляющие собой делимые (неэлементарные) поверхности.

ронок, бугров пучения) и б) вытянутые, изометричные и неправильные в плане горизонтальные поверхности, ограниченные замкнутыми СЛ III типа без вершины внутри оконтуренных ими пространств (например, останцы структурно-денудационных плато, ограниченные СЛ L_5 , днища бессточных котловин, ограниченные СЛ L_6). Индексация ЭП, ограниченных одной СЛ, осуществляется с помощью символов: P_{0-n} , P_{+5} ($n \neq 1$ для положительных форм) и P_{n-0} , P_{6-} ($n \neq 2$, для отрицательных форм).

ЭП P_{0-n} и P_{n-0} вычленяются также на изометрических формах, увенчанных точками сочленения C_{1-2} , на периклиналях и центриклиналях вытянутых форм, а также в «заливах» и «выступах» дугообразных горизонталей на неправильных в плане формах ЗП, геометрические центры которых (окружностей) расположены в ХТ C_1 и C_2 (аналогах вершин C_0^+ и C_0^-). Боковыми ограничениями ЭП двух последних категорий являются радиусы, которыми описываются дугообразные фрагменты горизонталей, — прямые линии тока, выходящие из ХТ C_1 и C_2 . Другие нестандартные варианты вычленения ЭП рассмотрены в § 19.

Полная группа площадных элементов представлена в виде матрицы, показывающей позиционные соотношения ЭП и ограничивающих их СЛ и ХТ (рис. 4). По ее горизонтальной оси перечис-

лены все возможные точечные и линейные элементы, которые ограничивают ЭП снизу, а по вертикальной оси — все СЛ и ХТ, ограничивающие ЭП сверху.

Дополнительно к рассмотренным точечным и линейным элементам ЗП на матрице под специальными знаками «+» и «-» понимаются плосковершинные горизонтальные поверхности (плоские вершины), венчающие положительные и отрицательные формы ЗП соответственно. Они являются ареальными неделимыми элементами и в силу своей значимости в строении ЗП аналогичны тем ХТ (C_0^+ и C_0^-) и СЛ (L_1 и L_2), которые замыкают формы сверху и снизу. Это, в частности, отражается в таком распространенном геоморфологическом понятии, как плосковершинные формы. Самостоятельное значение данных элементов (обладающих всеми признаками элементности) в МС определяется еще и тем, что они образуют особую категорию сочетаний и рядов, широко распространенных в рельефе ЗП (см. § 11).

Из матрицы (рис. 4) заведомо исключены лишние смысла по определению варианты, которые можно было бы обозначить индексами P_{n-m} (при $m=1, n=2, 3, 4, 5, 6$) и P_{n-m} (при $n=2, m=1, 3, 4, 5, 6$). Лишены смысла, не будучи элементарными, поверхности, которые следовало бы разместить в нижней строке и седьмом столбце матрицы, так как переход от плоских поверхностей к ЭП других видов может осуществляться только через СЛ L_5 и L_6 , замыкающие ареальные элементы P_{+5} и P_{-6} снизу и сверху соответственно. Поэтому все остальные варианты P_{n-} ($n \neq 6$) и P_{+n} ($n \neq 5$), предусматриваемые полной группой, не следует рассматривать в качестве неделимых площадных элементов. Кроме того, исключаются не имеющие места варианты поверхностей, заключенных между двумя вершинами C_0^+ и C_0^- . Не могут также фигурировать в качестве неделимых площадных элементов поверхности P_{3-3} и P_{4-4} , выделяемые в субареальном рельефе под названиями «вогнуто-выпуклые» и «выпукло-вогнутые» [Спирidonov А. И., 1970 г.; Емельянова Е. П., 1978 г.], «сложные» [Востряков А. В. и др., 1974 г.] склоны. Их поперечные профили обязательно включают в себя две части (выпуклую и вогнутую), которые разделяются ОТ — проекциями на эти профили линий L_3 или L_4 .

В результате исключения из полной группы перечисленных разновидностей остается 35 принципиально возможных видов ЭП. Эта совокупность составляет основу для последующей систематики площадных элементов ЗП.

Если СЛ как линии связи отражают господствующую в ЗП непрерывность, то в результате выделения ЭП *проступает резко усиливаемый аспект ее дискретности*. Каждая из выделяемых на картах $H(x, y)$, $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$ границ между ЭП является естественным комплексным разделом ЗП — линией, проведенной не только по экстремальным значениям (в ОТ) одного из трех основных показателей ЗП, но и по характеру поведения в ОТ двух

других ее параметров, которые или равняются нулю [например, $H'(x, y)$ на L_1^a и L_2^a , $H''(x, y)$ на L_3^a и L_4^a], или также характеризуются экстремальными значениями [например, $H''(x, y)$ на L_1^a и L_2^a] или терпят разрывы [например, $H'(x, y)$ на L_1^b и L_2^b] и бесконечные разрывы [например, $H'(x, y)$ на L_1^c и L_2^c] (см. § 14, рис. 1). Процедура однозначного вычленения ЭП обеспечивается строгим трассированием СЛ, которые существенно различаются контрастностью проявления в ЗП. Контрастность каждого линейного элемента можно установить качественно (и оценить количественно) по характеру изменения основных параметров ЗП [по значениям $H'(x, y)$ и $H''(x, y)$] в ОТ. При прочих равных условиях контрастность линий принципиальной симметрии возрастает следующим образом: $L^a \rightarrow L^b \rightarrow L^c$, а линий принципиальной диссимметрии в направлениях $L^{a,b}(L^{b,c}) \rightarrow L^{b,c}(L^{c,b}) \rightarrow L^{a,c}(L^{c,a})$ и $L^{a-b}(L^{b-a}) \rightarrow L^{a-c}(L^{c-a}) \rightarrow L^{b-c}(L^{c-b})$.

ГЛАВА III СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА

Одновременно с элементаризацией и рассмотрением состава ЗП с помощью метода полной группы были выявлены также важнейшие принципиально возможные соотношения между точечными, линейными и площадными элементами. Но если о составе ЗП было сказано практически все необходимое для начального ознакомления с МС, то ее строение (морфологическая структура) раскрыто далеко не полностью. В этой главе существенно дополняются представления о морфологической структуре и параллельно уточняются и развиваются представления об элементах ЗП. Одновременность выявления состава и строения, естественно, вытекает из единства того и другого, отражающего целостность МС. Целесообразное в методическом отношении разделение содержания этой и предыдущей глав условно в той мере, в какой условно отделение в МС состава (совокупности элементов) от ее строения (межэлементных связей).

§ 9. Принципиально возможные соотношения между линейными элементами

Матрица на рис. 4 отражает не только пространственные соотношения между ЭП и ограничивающими их СЛ (вершинами), но и через это общие принципиально возможные взаимосвязи внутри категории линейных элементов. Выделение 35 видов ЭП из всех предусмотренных матрицей разновидностей означает наличие только 35 вариантов взаимной смежности (непосредственного со-

седства) на склоне между ограничивающими ЭП элементами (СЛ, а также вершинами C_0^+ и C_0^- , «+» и «—»). Среди них имеются 23 разновидности ЭП (P_{n-m}) или варианта взаимной смежности между не полностью определенными (разделенными только на виды и типы) линейными элементами.

К исключенным разновидностям на матрице относятся, например, варианты смежности двух СЛ L_3 или двух СЛ L_4 , а к заведомо исключенным из матрицы — варианты непосредственного соседства на склоне двух СЛ L_1 или двух СЛ L_2 , а также все варианты смежности, при которых L_2 предполагается гипсо- и батиметрически выше любой другой СЛ или при которых L_1 ниже любой другой СЛ.

Разделение СЛ не только на виды и типы (табл. 1), но и на группы и классы (см. рис. 1) позволяет создать более полное представление о принципиально возможных соотношениях внутри категории линейных элементов или о том, какие линии могут быть непосредственно смежными с каждым данным (анализируемым) линейным элементом и располагаться гипсо- и батиметрически выше или ниже его на склоне. Из таких представлений следует, например, исключить непосредственное соседство линий L_3 и L_4 с линиями L_n^b (при $n=1, 2, \dots, 6$).

Анализ принципиально возможных взаимных пространственных соотношений между линейными элементами (разделенными на виды, типы, группы и классы) показывает, что эти соотношения, с одной стороны, характеризуются значительным разнообразием, а с другой — строго ограничены и отражают соответствующие связи в рамках МС. Все варианты этих связей можно представить в виде полной группы ЭП, отличающейся от таковой на рис. 4 учетом систематики линейных элементов (и вершин C_0^+ и C_0^-) по их выраженности в поперечном профиле (на группы и классы). На отражающей эту полную группу матрице (рис. 5) даются полные определения площадных элементов и тем самым с исчерпывающей (в рамках МС) детальностью устанавливаются их принципиально возможные связи с линейными и точечными элементами ЗП.

Например, ЭП P_{1-4} может быть ограничена сверху только СЛ принципиальной симметрии L_1^c и СЛ принципиальной диссимметрии $L_1^{a,c}$, $L_1^{c,a}$, $L_1^{b,c}$ и $L_1^{c,b}$ (лишь со стороны c), а снизу — L_1^a . С учетом того, что верхняя граница во всех случаях должна быть резко выраженной СЛ (принадлежащей к группам c ; a, c ; c, a ; b, c или c, b), полный индекс данной поверхности записывается следующим образом: P_{1-4}^{c-a} . В результате анализа всех возможных вариантов поведения на поперечном профиле функций $H(x)$, $H'(x)$ и $H''(x)$ были получены и размещены на матрице (рис. 5) полные индексы для всех площадных элементов.

Из полной группы ЭП, составленной на основе исчерпывающих определений и систематики СЛ на виды, типы, группы и классы, кроме исключенных ранее (см. § 9, рис. 4) разновидностей, изъяты

В § 22, 26 и 28 с помощью аппарата симметрии устанавливаются взаимные связи между линейными элементами по латерали.

§ 10. Принципиально возможные соотношения между площадными элементами. Систематика элементарных поверхностей

При создании полной группы ЭП (см. рис. 4, 5) установлены принципиально возможные соотношения, связывающие ареальные элементы ЗП с их точечными и линейными ограничениями. Развитие представлений о МС позволяет также выявить принципиально возможные связи внутри группы площадных элементов — между ЭП — и, более того, классифицировать последние в соответствии с наиболее важной и показательной их морфологической особенностью — формой поперечного профиля. Таким образом, и здесь с использованием системных принципов изучаются все возможные соотношения между ЭП в рамках МС в целом для того, чтобы затем перейти к изучению реально существующих пространственных связей между ЭП на конкретных площадях.

Так же как ХТ и СЛ, ареальные элементы ЗП четко группируются в определенные типы и классы. Важнейший из критериев систематики ЭП заключается в их относительном пространственном положении. Для решения вопроса о том, как связаны и соотносятся друг с другом ареальные элементы, изучаются не значения $H(x, y)$ и $H'(x, y)$ в их пределах, а относительное взаимное положение ЭП по вертикали (общая позиция) и по уклонам (частная позиция).

Возможность и целесообразность перехода на определение и анализ относительных позиций ЭП, естественно, вытекают из их независимости от трехмерно-ортогональной системы координат, которая определяется общей пространственной инвариантностью СЛ, ограничивающих ареальные элементы. Однако такой переход не означает допустимость каких-либо нечетких определений положения ЭП относительно друг друга и других элементов ЗП.

Ниже приводится классификация не полностью (рис. 6) и полностью (рис. 7) определенных ЭП, осуществленная по их общей и частной позициям и по морфологии поперечного профиля. Эти классификационные схемы, составленные по единым принципам, но на двух разных уровнях конструирования МС, с различной детальностью отражают взаимные соотношения полностью и не полностью определенных площадных элементов.

Общая позиция проявляется в систематике ЭП по их относительному гипсо- и батиметрическому положению. Среди 35 не полностью (рис. 6) и 65 полностью (рис. 7) определенных ареальных элементов выделяются следующие типы.

1. *Плосковершинные верхние поверхности* P_{+5} , ограниченные снизу СЛ L_5 .

		Вид		
Путь	Тип	С вогнутыми поперечными профилями	С выпуклыми поперечными профилями	С прямыми и криволинейными профилями
		А. Верхние	Плосковершинные	
Привершинные				
В. Собственно склоновые	Вдольскрепные			
	Вдольскрепные			
С. Нижние	Вдольскрепные			
	Привершинные			
Склоновые	Плосковершинные			
	Привершинные			

Рис. 6. Систематика не полностью определенных элементарных поверхностей.

2. *Привершинные верхние поверхности* P_{0-n} , сверху ограниченные ХТ C_0^+ и их аналогами, а снизу — одной из СЛ (кроме линий L_1 и L_2).

3. *Вдольгребневые поверхности* P_{1-n} , ограниченные сверху линией L_1 , а снизу одной из СЛ L_n ($n \neq 1, 2$).

4. *Собственно склоновые поверхности* P_{n-m} ($n \neq 1, 2$ и $m \neq 1, 2$), ограниченные снизу и сверху СЛ II и III типов.

5. *Вдолькилевые поверхности* P_{n-2} , ограниченные снизу линией L_2 , а сверху — одной из СЛ L_n ($n \neq 1, 2$).

6. *Привершинные нижние поверхности* P_{n-0} , оконтуренные сверху одной из СЛ (кроме линий L_2 и L_1), а снизу — ограниченные ХТ C_0^- (и их аналогами).

























































7. *Плосковершинные нижние поверхности* P_{6-} , ограниченные сверху СЛ L_6 .

Три первых и три последних типа ЭП в свою очередь образуют две группы: *верхние* (группа А) и *нижние* (группа С) *площадные элементы*. Промежуточное положение между ними в классификационных схемах (рис. 6, 7), так же как и в любом конкретном рельефе, занимают *собственно склоновые ЭП* (группа В), которые названы так, потому что практически все части ЗП имеют какой-то уклон и могут обозначаться терминами свободного пользования «склоновые» или «склоны».

Ни к одной из названных трех групп не принадлежат и занимают особое положение в МС *сквозные ЭП*, заключенные между антиподальными СЛ L_1 и L_2 и ХТ C_0^+ и C_0^- . Эти площадные элементы отражают простейшие недифференцированные (в масштабе картографирования и профилирования) склоны. ЭП P_{1-2} , например, могут быть выделены как на крупномасштабных картах в районах развития куэст или песчаных волн в субаквальном рельефе, так и на мелкомасштабных и обзорных картах в качестве поверхностей, отражающих горные хребты и их отроги.

Обращает на себя внимание симметричное положение в классификационных схемах (рис. 6, 7) нижних и верхних плоско- и привершинных, вдольгребневых и вдолькилевых ЭП относительно поверхностей группы В.

Некоторые площадные элементы, относящиеся к перечисленным типам, выделялись и ранее и фигурировали в геоморфологической литературе под разными названиями [Тимофеев Д. А., 1978 г.]. Так, привершинные поверхности называются привершинными сегментами, вдольгребневые — вершинными склонами, вдолькилевые — склонами или бортами долин. Однако предлагаемая *единая систематика всех ЭП*, основанная на строго выдержанном принципе их относительного гипсо- и батиметрического положения, потребовала новую терминологию, при разработке которой по возможности учитывались широко используемые названия. Понимая, что особенно «режут слух» такие термины, как «привершинные и плосковершинные нижние поверхности», следует оговорить, что более удачных для обозначения данных ЭП слов не найдено и что

		Вид		
Форма	Тип	С вогнутыми поперечными профилями	С выпуклыми поперечными профилями	С прямыми поперечными профилями
А. Верхние	Плоскодер- шинные			
	Привер- шинные	  	  	 
В. Собственно склоновые	Вдольскле- вые	  	  	 
		  	  	 
С. Нижние	Вдольскле- вые	  	  	
	Привершинные	  	  	 
	Плоскодер- шинные	  	  	 
		  	  	 
				










		Вид		
Группа	Тип	С вогнутыми поперечными профилями	С выпуклыми поперечными профилями	С прямыми поперечными профилями
Сквозные				
				
				

Рис. 7. Систематика полностью определенных элементарных поверхностей.

они, естественно, вытекают из аналогичного по смыслу использования термина «вершина» применительно к ХТ не только C_0^+ , но и C_0^- .

Другим важным критерием группировки ЭП является морфология поперечного профиля. Данный критерий реализуется на двух классификационных схемах по-разному (рис. 6, 7). Среди не полностью определенных ЭП выделяются площадные элементы с выпуклыми и вогнутыми поперечными профилями, а также поверхности, поперечные профили которых могут быть прямо- и криволинейными (рис. 6). Однако на другой, более совершенной, классификационной схеме (рис. 7) все 65 полностью определенных ЭП удается четко подразделить на три вида. Относящиеся к первым двум видам ЭП характеризуются криволинейными, вогнутыми и выпуклыми, поперечными профилями — линиями второго порядка, описываемыми в аналитической геометрии уравнениями второй степени и образующими поверхности второго порядка. Хотя ЭП третьего вида имеют прямолинейные поперечные профили, они чаще всего не могут быть названы прямолинейными (прямыми, плоскими) склонами [Емельянова Е. П., 1972 г. и др.] или гранями, так как обычно (за исключением ЭП на выдержанных по простиранной склонах) являются не плоскостями, а фрагментами конической и других поверхностей, называемых линейчатыми (однополостного гиперboloида, гиперболического параболоида).

На схеме (рис. 7) видно, что к поверхностям с вогнутыми поперечными профилями относятся ЭП P_{n-2} и P_{n-0} , ограниченные СЛ L_2^a и ХТ C_0^- , все ЭП P_{n-4} (как из группы А, так и из группы В), P_{n-5} , ограниченные снизу СЛ L_5^c , и P_{n-6} , ограниченные снизу СЛ L_6^a . Выпуклыми профилями характеризуются ЭП P_{n-2} и P_{n-0} , ограниченные СЛ L_2^c и ХТ C_0^- , все P_{n-3} (из группы А и В), ЭП P_{n-5} , ограниченные снизу СЛ L_5^a , и P_{n-6} , ограниченные снизу СЛ L_6^c . Точно так же может опознаваться на морфологической

карте (см. § 19, 20) характер поперечного профиля ЭП по их верхним ограничениям. Вогнутый поперечный профиль имеют ЭП P_{0-n} и P_{1-n} , ограниченные ХТ C_0^{+c} и СЛ L_1^c , все P_{3-n} , P_{5-n} , ограниченные сверху СЛ L_5^c , P_{6-n} , ограниченные сверху СЛ L_6^a . К поверхностям с выпуклыми поперечными профилями относятся ЭП P_{0-n} и P_{1-n} , ограниченные ХТ C_0^{+a} и СЛ L_1^a , все ЭП P_{4-n} , P_{5-n} , ограниченные сверху СЛ L_5^a , P_{6-n} , ограниченные сверху СЛ L_6^c . Площадные элементы, ограниченные сверху и снизу ХТ $C_0^{\pm b}$ и СЛ L_n^b , характеризуются прямыми поперечными профилями.

Расплывчатость терминологии склонов до сих пор приводит к смешению понятий о вогнутых и выпуклых склонах с понятиями о вогнутых и выпуклых перегибах склона. В соответствии с предлагаемой систематикой элементов ЗП выделяются линии вогнутых и выпуклых перегибов L_6 и L_5 и поверхности с вогнутыми и выпуклыми поперечными профилями (I и II видов), многие из которых могут быть пространственно никак не связаны с этими линиями (P_{n-3} , P_{n-4} при $n \neq 5, 6$).

Таким образом, в результате использования двух критериев (общей позиции и морфологии поперечного профиля) все предусмотренные полной группой (см. рис. 4, 5) ЭП сгруппированы в классы, включающие от одной до четырех (см. рис. 6) или от одной до девяти (см. рис. 7) их разновидностей. Внутри классов разновидности ЭП в этих двух классификационных схемах расположены в зависимости от их *частной позиции*. Как и в первом из рассмотренных принципов систематики ЭП, здесь речь идет не о значениях $|H'(x, y)|$, а об относительной оценке их крутизны, соотнесенной с уклонами смежных (ниже- и вышерасположенных на склоне) поверхностей. Переход от абсолютных значений к относительным оценкам и в данном случае вытекает из инвариантности ЭП — их независимости от $|H'(x, y)|$ — и диктуется необходимостью сравнивать ареальные элементы по крутизне не вообще [для этого нужны были бы как раз значения $|H'(x, y)|$], а только между собой. Именно такая трансформация значений $H(x, y)$ и $|H'(x, y)|$ в их относительные оценки позволяет затем проводить широкие сравнения содержащих эти ЭП, разных по условиям развития, положению и размерам ГМС между собой.

Внутриклассное размещение разновидностей ЭП на рис. 6 и 7 по вертикали отражает оценку уклонов каждой из них относительно крутизны вышерасположенных поверхностей. В большую сторону отличается крутизна верхних в этих рядах видов ЭП (P_{5-n}), и наоборот, поверхности P_{6-n} по сравнению с вышерасположенными характеризуются меньшими уклонами. Занимающие промежуточное положение поверхности P_{3-4} и P_{4-3} в своих верхних частях в значительной мере «наследуют» уклоны вышерасположенных ЭП. Сравнительная оценка уклонов ЭП относительно крутизны смежных нижерасположенных ареальных элементов МС дана во внутриклассном размещении видов ЭП по горизонтали.

В разных классах поверхности P_{n-5} характеризуются тем, что их уклоны меньше крутизны нижерасположенных поверхностей, в то время как поверхности P_{n-6} отличаются от последних большими уклонами.

С учетом установленных особенностей в положении и морфологии ЭП разных видов и их соотношений со СЛ и ХТ каждому из площадных элементов может быть дано словесное строгое определение, в котором отражаются: а) общая позиция, б) положение ЭП относительно ограничивающих ее СЛ и ХТ, в) частная позиция и г) морфология поперечного профиля. Например, P_{+5}^b — верхняя плосковершинная ЭП, вычлененная СЛ L_5 , отличающаяся от нижерасположенной поверхности меньшими уклонами и характеризующаяся прямым поперечным профилем, P_{-4}^{a-a} — собственно склоновая ЭП, ограниченная СЛ L_3 (сверху) и L_4 (снизу), отличающаяся от вышерасположенной поверхности большими, а от нижерасположенной меньшими уклонами, характеризующаяся вогнутым поперечным профилем, P_{6-0}^{c-c} — нижняя привершинная ЭП с выпуклым поперечным профилем, ограниченная резко выраженными СЛ L_6^c (сверху) и ХТ C_0^- (снизу), отличающаяся от вышерасположенной поверхности меньшими уклонами.

§ 11. Принципиально возможные соотношения между всеми элементами морфологической системы. Систематика сочетаний

Продолжая выявление морфологической структуры, рассмотрим все возможные соотношения между ЭП, СЛ и важнейшими ХТ (вершинами C_0^+ и C_0^-). Эти соотношения можно представить в виде сочетаний и рядов сопряженных в пространстве площадных, линейных и точечных элементов, пересекаемых линиями, по которым производится их регистрация. Такие линии, аналогичные векторам с направленной сменой минерализации, по которым изучается зональность эндогенных рудных месторождений [Рундквист Д. В., Неженский И. А., 1975 г.], ниже будут называться *регистрирующими линиями*. Они проходят в соответствии с осями одной или двух систем СКС, по которым наиболее полно и четко могут быть зафиксированы пересекаемые этими осями элементы и их пространственные соотношения (см. § 17, 18). Совокупности элементов составляют определенные сочетания, из которых состоят фиксируемые по регистрирующим линиям ряды [16].

Сочетания различаются по составу, числу членов и по особенностям группировки последних в пространстве (в плане и по вертикали). Под членом сочетания понимается ЭП с ограничивающими ее: а) двумя СЛ (P_{n-m}), б) одной вершиной (C_0^+ или C_0^-) и одной СЛ (P_{0-n} или P_{n-0}) и в) одной СЛ L_5 или L_6 (P_{+5} или P_{6-}). Таким образом, один член сочетания — это не одна ЭП, а совокупность взаимосвязанных элементов, обязательно включающая в себя одну поверхность. В записи любого сочетания СЛ названные ХТ и плоские вершины («+» и «-») отделяются друг от

друга точками, каждая из которых означает один его член. Число точек в обозначении сочетания указывает на число его членов. Например, одночленное сочетание записывается так: 0.2 или 1.2; двухчленное +.5.2 или 1.4.2; трехчленное 1.3.6.—или 0.4.3.2 (табл. 2). В этих записях под знаком «0» понимаются ХТ C_0^+ или

ТАБЛИЦА 2

Систематика двухчленных и трехчленных крайних и сквозных сочетаний

Типы сочетаний по числу членов и составу		Типы сочетаний по группировке их членов в пространстве								
		I категория		II категория		III категория				
		(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)			
Двучленные	B=0	AC	0.3.2	1.3.0	+.5.2	1.6.—	1.3.2			
			0.4.2	1.4.0						
			0.5.2	1.5.0						
			0.6.2	1.6.0						
	B=1	AB (+)	0.3.4	4.3.0	+.5.3 +.5.4 +.5.5 +.5.6			1.3.4	4.3.2	
			0.3.5	5.3.0				1.3.5	5.3.2	
			0.3.6	6.3.0				1.3.6	6.3.2	
			0.4.3	3.4.0				1.4.3	3.4.2	
			0.4.5	5.4.0				1.4.5	5.4.2	
			0.4.6	6.4.0				1.4.6	6.4.2	
		BC (-)	0.5.3	3.5.0				1.5.3	3.5.2	
			0.5.4	4.5.0				1.5.4	4.5.2	
			0.5.5	5.5.0				1.5.5	5.5.2	
			0.5.6	6.5.0				1.5.6	6.5.2	
			0.6.3	3.6.0				3.6.—	1.6.3	3.6.2
			0.6.4	4.6.0				4.6.—	1.6.4	4.6.2
			0.6.6	6.6.0				6.6.—	1.6.6	6.6.2
Трехчленные	B=2	ABC	0.3.4.2	1.4.3.0	+.5.3.2 +.5.4.2 +.5.5.2 +.5.6.2 1.3.6.— 1.4.6.— 1.5.6.— 1.6.6.— +.5.3.2 +.5.4.2 +.5.5.2 +.5.6.2 1.3.6.— 1.4.6.— 1.5.6.— 1.6.6.— +.5.6.—			1.3.4.2		
			0.3.5.2	1.5.3.0				1.3.5.2		
			0.3.6.2	1.6.3.0				1.3.6.2		
			0.4.3.2	1.3.4.0				1.4.3.2		
			0.4.5.2	1.5.4.0				1.4.5.2		
			0.4.6.2	1.6.4.0				1.4.6.2		
			0.5.3.2	1.3.5.0				1.5.3.2		
			0.5.4.2	1.4.5.0				1.5.4.2		
			0.5.5.2	1.5.5.0				1.5.5.2		
			0.5.6.2	1.6.5.0				1.5.6.2		
			0.6.3.2	1.3.6.0				1.6.3.2		
			0.6.4.2	1.4.6.0				1.6.4.2		
			0.6.5.2	1.5.6.0				1.6.5.2		
			0.6.6.2	1.6.6.0				1.6.6.2		

Примечание. Под знаками «+» (плюс) и «-» (минус) понимаются положительные и отрицательные формы ЗП, состав и структура которых описываются перечисленными сочетаниями.

P_0^- , под знаками «+.5» и «6.—» — площадные элементы $P_{4.5}$ и P_{6-} с ограничивающими их линиями L_5 и L_6 соответственно.

Совокупность различных сочетаний образует *ряд*, фиксируемый по регистрирующей линии и записываемый как непрерывный перечень сочетаний. Соподчиненность категорий, используемых при выявлении принципиально возможных соотношений между всеми элементами МС, можно показать в виде следующей схемы: элементы МС → члены сочетаний → сочетания → ряды. В этой последовательности каждая предыдущая категория входит составной частью в последующую.

Под *составом сочетания* понимается наличие в нем верхних (группы А), собственно склоновых (группы В) и нижних (группы С) поверхностей (см. рис. 6, 7) с ограничивающими их линейными и точечными элементами (или членами). По этому признаку выделяются неполные сочетания, в которых отсутствуют собственно склоновые (данные сочетания относятся к типам А, С и АС), верхние (типы В, С и ВС) и нижние (типы А, В и АВ) площадные элементы (или члены), а также полные сочетания, включающие в себя ЭП или члены всех трех групп (тип АВС).

По числу членов сочетания разделены на одно-, дву-, трехчленные и т. д. Все одно- и двучленные сочетания являются неполными. Одночленные сочетания относятся к типам А или В или С и включают в себя по одной ЭП, входящей в соответствующую группу площадных элементов. Их символы практически представляют собой другую запись индекса ЭП, входящих в соответствующее сочетание. Так, ЭП P_{5-2} входит в одночленное сочетание 5.2. Двучленные сочетания могут относиться к типам АС, АВ, ВС и В. Двучленные сочетания последнего типа включают в себя две собственно склоновые ЭП, что можно записать в кратком виде так: $V=2$. Трехчленные сочетания могут быть выявлены среди типов АВС (при $V=1$), АВ и ВС (при $V=2$) и В (при $V=3$). К только что перечисленным типам относятся и все остальные многочленные сочетания с $V > 3$. Они могут включать в себя не более одной ЭП (одного члена), относящейся к группе А и (или) С.

По особенностям группировки членов по вертикали следует различать сквозные и несквозные сочетания, а также сочетания на изолированных друг от друга и сопряженных формах ЗП.

К *сквозным сочетаниям* относятся полные многочленные сочетания типа АВС (при $V \geq 1$), неполные двучленные сочетания типа АС и одночленные сочетания, включающие в себя по одной сквозной ЭП (1.2, 1.0 и 0.2). Все остальные сочетания (А, В, С, АВ и ВС) следует считать *несквозными*.

Совокупность положительных и отрицательных изолированных друг от друга форм в областях с субгоризонтально залегающими породами называется в структурной геологии прерывистой (идиоморфной) складчатостью. *Прерывистые ряды*, состоящие из сочетаний типа АВ на подобных положительных и типа ВС на изолированных отрицательных формах ЗП записываются с соблюдением относительного гипсо-, батиметрического положения (сверху

вниз) входящих в них членов. Запись первых из них начинается со знаков «1», «0» или «+5» и заканчивается знаком «6», а запись вторых — «5» и заканчивается знаками «2», «0» или «6.—». Наряду с этим видом имеют место сочетания на сопряженных друг с другом, не поддающихся строгому разграничению положительных и отрицательных формах, совокупность которых в структурной геологии рассматривается в качестве непрерывной (голоморфной) складчатости. Записи таких наиболее распространенных *непрерывных сочетаний* в ЗП начинаются верхними и кончаются нижними членами. В табл. 2 записи сочетаний этого вида располагаются посередине вертикальных столбцов, в которых перечислены сочетания II и III категорий, разделенные по их принадлежности к положительным и отрицательным формам ЗП.

По группировке членов в плане сочетания делятся на три категории. К первой относятся сочетания правильно концентрически расположенных (кольцевых, дугообразных) в виде лент или полос ЭП и ограничивающих их СЛ (членов) на изометричных формах ЗП и их фрагментах. Эти формы и части таких форм увенчаны вершинами C_0^+ или C_0^- и их аналогами (\bar{C}_{1-2} , C_1 , C_2) и характеризуются осевой симметрией (см. § 22). Члены этих сочетаний фиксируются по прямолинейным регистрирующим линиям — радиусам, выходящим из названных ХТ. Вторая категория состоит из сочетаний, включающих в себя плосковершинные ЭП P_{45} и P_{6-} . Эти поверхности и сопряженные с ними другие линейные и площадные элементы могут образовывать как изометричные (с осевой симметрией), так и вытянутые в плане группировки, характеризующиеся билатеральной (зеркальной) симметрией и симметрией бордюров (см. § 22). В третью категорию входят сочетания, состоящие из членов, которые в совокупности образуют только вытянутые группировки с зеркальной и трансляционной симметрией.

Для выявления принципиально возможных *двучленных сочетаний* все не полностью определенные ЭП (см. рис. 4) расположены на объемной матрице (рис. 8). На ее вертикальной оси в определенном порядке дважды перечислены ЭП группы А, а на горизонтальных осях — ЭП групп В и С. Эти перечни ЭП в совокупности соответствуют списку всех одночленных сочетаний. При двойном перечислении собственно склоновых ЭП они записаны в двух строках вдоль оси В в разном порядке из соображения более наглядного и удобного показа двучленных сочетаний на плоскости ВС (рис. 8).

В основании осей А, В и С расположены три вида сквозных ЭП, каждая из которых входит в одночленное неполное сквозное сочетание на изолированных положительных (0.2) и отрицательных (1.0), а также вытянутых сопряженных (1.2) формах ЗП. Сочетания 0.2 и 1.0 не могут образовать сплошной ряд. То же можно сказать о всех прерывистых одно- и многочленных сочетаниях первой категории, которые фиксируются на изолированных друг от друга положительных или отрицательных формах ЗП. Теорети-

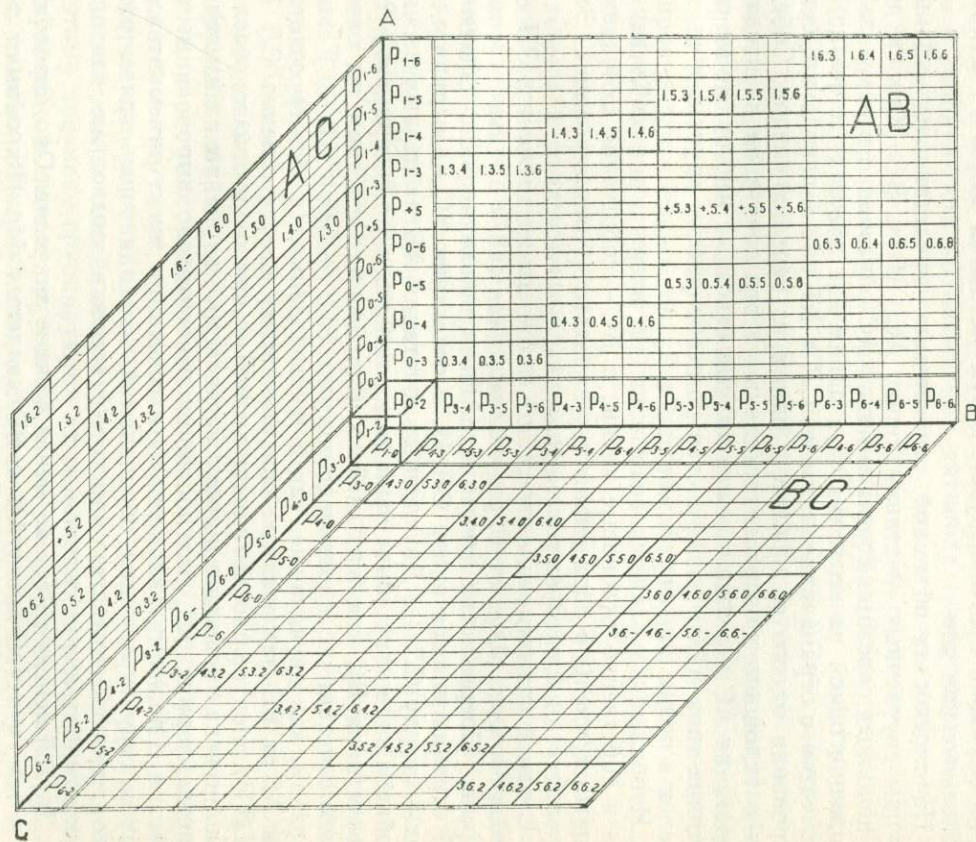


Рис. 8. Полные группы двучленных сочетаний типов АВ, ВС и АС.

чески мыслимым исключением из этого может быть ряд сочетаний, фиксируемых только на одной регистрирующей линии, соединяющей ХТ C_0^+ и C_0^- на сопряженных изометричных положительных и отрицательных формах ЗП с точкой касания концентрических одноименных СЛ. Вместе с тем ряд 1.2.1.2.1.2., ..., образованный в результате повторения одночленного сочетания 1.2, можно не только представить теоретически, но и часто встретить при морфологическом картографировании или профилировании. В структуре осадочной толщи такой ряд может быть использован для описания совокупности дислокаций, названной шевронной складчатостью. В рельефе рядом 1.2.1.2. ... могут быть описаны серии бархан в пустыне, куэст, аккумулятивных валов на шельфе и океаническом дне.

На плоскостях объемной диаграммы представлены полные группы двучленных сочетаний типов АС, АВ и ВС. Каждое из 14 неполных сквозных сочетаний типа АС образовано в результате сложения одной из верхних ЭП с одним из нижних площадных элементов с ограничивающими их СЛ и ХТ или в результате суммирования одного из нижних с одним из верхних членов. Собственно склоновые поверхности (члены) в эти сочетания не входят. Сочетания АС (так же как все полные сквозные многочленные сочетания типа АВС) различаются по особенностям группировки их членов в плане и по вертикали (табл. 2).

Неполные двучленные сочетания АВ включают в себя верхние и собственно склоновые члены, а ВС — собственно склоновые и нижние члены и образованы в результате их суммирования. *Эти типы сочетаний следует рассматривать в двух аспектах.*

С одной стороны, они отражают соотношения элементов ЗП на изолированных друг от друга положительных и отрицательных формах. Прерывистые сочетания АВ на положительных формах ЗП ограничиваются снизу СЛ L_6 , а сочетания ВС на отрицательных — сверху СЛ L_5 . Двучленные сочетания АВ на первых из них в общем виде могут быть записаны как 0.n.6 и 1.n.6 (при $n \neq 1, 2$), а сочетания ВС как 5.n.0 и 5.n.2 (при $n \neq 1, 2$). К ним же относятся сочетания с плосковершинными ЭП: +.5.6 и 5.6.— Таким образом, как двучленные, так и многочленные (с $V > 1$) сочетания АВ и ВС замыкаются снизу и сверху соответственно СЛ L_6 и L_5 . Их следует рассматривать не только как теоретически мыслимые, но и как довольно широко встречаемые варианты на изолированных формах ЗП, осложняющих относительно выровненные ее участки с разными уклонами. Эти сочетания могут описывать состав и структуру таких образований, как одиночные гряды разного генезиса, вулканы, карстовые воронки, подводные каньоны на континентальном склоне и т. д.

Другой аспект имеет не менее важное значение. Оно определяется тем, что сочетания АВ и ВС являются двумя крайними парами членов во всех сочетаниях: АВС, АВ и ВС (при $V = 1, 2, 3, \dots$). Это означает, что ими описываются наиболее характерные

морфологические особенности рельефа, в первую очередь бросающиеся в глаза и изучаемые при геоморфологических исследованиях. В рельефе, так же как у всего, что развивается в условиях земного тяготения, имеются «верх» и «низ» (см. § 31). Особое внимание к «верхам» и «низам» как к доминантам и важнейшим морфодинамическим признакам в рельефе изучаемой территории проявляется в развитой терминологии, освещающей морфологические черты, с одной стороны, водораздельных пространств (альпийский, гольцовый рельеф, поверхности выравнивания разного генезиса, шатровая форма водоразделов и др.), а с другой — долин (каньоны, трюги, долины с V- и U-образными поперечными профилями и др.) и котловин (бессточные впадины и др.). Сочетания АВ и ВС называются соответственно верхними и нижними, а в совокупности крайними или антиподальными сочетаниями.

Все возможные *трехчленные полные сквозные сочетания* типа АВС, включающие в себя одну собственно склоновую ЭП и ее ограничения ($B=1$), на прерывистых формах ЗП могут быть выведены в результате прибавления к двучленным сочетаниям АВ крайнего нижнего члена «2» и к сочетаниям ВС — крайнего верхнего члена «1.». Для сочетаний третьей категории достаточно только одного суммирования — прибавления одного из этих двух крайних членов к двучленным сочетаниям АВ или ВС. Непрерывные сочетания +.5.6.—, а также +.5.n.2 и 1.n.6.— отличаются от прочих трехчленных сочетаний второй категории тем, что они описывают состав и структуру не изолированных, а сопряженных друг с другом форм ЗП.

Четырехчленные сочетания типа АВС ($B=2$) могут быть получены в результате суммирования сопряженных друг с другом двучленных сочетаний АВ и ВС. Общее количество четырехчленных сочетаний (182) складывается за счет трехкратного числа сочетаний (150) членов группы В в первой (для положительных и отрицательных изолированных форм) и третьей категориях и числа сочетаний второй категории (32). При всем многообразии четырехчленных сочетаний число вариантов крайних (верхних и нижних) пар членов (АВ и ВС) в них остается прежним и равно 64 ($32+32$) (рис. 8). Это число не меняется во всех многочленных сочетаниях типа АВС с $B > 2$.

Количество типов сочетаний, выделяемых по числу членов, определяется возможным количеством сочетаний в группе В или, другими словами, сложностью склонов, соединяющих антиподальные, верхние и нижние, члены. Собственно склоновые сочетания систематизируются, так же как другие сочетания и ЭП, по общей форме поперечного профиля, секущего входящие в эти сочетания площадные и линейные элементы. Если площадные элементы по этому признаку группируются в три категории (см. рис. 7), то полученные в полной группе 50 возможных совокупностей из двух склоновых ЭП (двучленные сочетания группы В) могут быть подразделены на четыре типа (табл. 3). Различаются они по виду СЛ, которая в каждом из этих сочетаний занимает среднее поло-

ТАБЛИЦА 3

Полная группа и систематика двучленных собственно склоновых сочетаний

ЭП группы В	P_{4-3}	P_{5-3}	P_{6-3}	P_{3-4}	P_{5-4}	P_{6-4}	P_{3-5}	P_{4-5}	P_{5-5}	P_{6-5}	P_{3-6}	P_{4-6}	P_{5-6}	P_{6-6}	Типы сочетаний
P_{4-3} P_{5-3} P_{6-3}				4.3.4 5.3.4 6.3.4			4.3.5 5.3.5 6.3.5				4.3.6 5.3.6 6.3.6				С выпукло-вогнутым поперечным профилем
P_{3-4} P_{5-4} P_{6-4}	3.4.3 5.4.3 6.4.3							3.4.5 5.4.5 6.4.5				3.4.6 5.4.6 6.4.6			С вогнуто-выпуклым поперечным профилем
P_{3-5} P_{4-5} P_{5-5} P_{6-5}		3.5.3 4.5.3 5.5.3 6.5.3			3.5.4 4.5.4 5.5.4 6.5.4				3.5.5 4.5.5 5.5.5 6.5.5				3.5.6 4.5.6 5.5.6 6.5.6		С выпуклым поперечным профилем
P_{3-6} P_{4-6} P_{5-6} P_{6-6}			3.6.3 4.6.3 5.6.3 6.6.3			3.6.4 4.6.4 5.6.4 6.6.4				3.6.5 4.6.5 5.6.5 6.6.5				3.6.6 4.6.6 5.6.6 6.6.6	С вогнутым поперечным профилем

жение. Для сочетаний с выпукло-вогнутым поперечным профилем такой линией будет L_3 , с вогнуто-выпуклым — L_4 , с выпуклым — L_5 , а с вогнутым — L_6 .

Представления о рядах и составляющих их сочетаниях позволяют осуществлять *закодированные описания состава и структуры ЗП*, проведенные на определенном масштабном уровне (по морфологическим картам или профилям определенного масштаба), и на основе этого реализацию номенклатурного критерия выделения и последующей систематизации ГМС (см. § 25). Отражение разных типов субэарального и субаквального рельефа в виде рядов — формализованных описательных символических моделей — проиллюстрируем следующими записями:

а) куэстовый рельеф в горах Каратау — 1.2.1.2.1.2. ... (масштаб 1 : 200 000);

б) рельеф бессточных впадин (суффозионных цирков [13]) Западного Казахстана — +.5.6.6.—.6.6.5.+... (масштаб 1 : 100 000);

в) эрозионный рельеф в Приуралье — 1.3.4.3.4.5.6.5.2.5.6.3.4.5.4.3.4.1. ... (масштаб 1 : 50 000);

г) рельеф восточного континентального склона Северной Америки (по продольному профилю) — +.5.6.4.5.2.6.3.5.+5.6.6.5.2.4.3.4.5.+... (масштаб 1 : 400 000);

д) рельеф приосевой части Атлантического срединно-океанического хребта — 1.5.3.6.6.2.6.3.5.1.5.3.6.2.6.3.4.6.4.1.6.2. ... (масштаб 1 : 2 000 000);

е) рельеф Центральноамериканского желоба — 1.5.3.6.6.2.6.6.5. ... (масштаб 1 : 50 000).

Ряды можно записать исходя из полных определений элементов МС (например, $1^c, a, 3^a, 4^a, 2^c, 5^{a-b}, 6^{b-c}, 1^c, a, \dots$). Описания рельефа могут сопровождаться количественной оценкой превышений h и ширины s ЭП или уклонами ($\operatorname{tg} \alpha = h/s$) между точками пересечения СЛ (ХТ C_0^+ и C_0^-) регистрирующими линиями. В качестве иллюстрации этого приведем ряды $1^{(5/8)}3^{(7/6)}4^{(11/3)}2^{(9/2)}4^{(7/4)}3^{(8/5)}1 \dots$, где в числителе записанной между символами СЛ и заменяющей точку дроби (в скобках) дано h (в метрах), а в знаменателе этой дроби — s (в километрах), или $1(0,007)5(0,011)6(0,003)2 \times \times 2(0,005)6(0,004)3 \dots$, где в скобках дан $\operatorname{tg} \alpha$.

Записи с фиксацией на них элементов ЗП и значений указанных характеристик сопоставимы друг с другом, так как они осуществлены по одним и тем же направлениям СКС с учетом анизотропии рельефа (см. § 18, 19).

Предлагаемый путь в описательной геоморфологии кроме использования рядов и сочетаний при морфологическом районировании и классификации ГМС обеспечивает создание банка эталонов и осуществление в его пределах ручного и машинного поиска эталонов и аналогов при динамической интерпретации состава и структуры ГМС.

ВЫВОДЫ

1. От определения начальных понятий, являющихся основой понятийно-терминологического аппарата геоморфологии, зависят выбор общей стратегии в познании рельефа и рельефообразующих процессов и тактики решения отдельных прикладных задач, а также развитие в ней системных исследований, успех которых возможен только в науке с четко определенным предметом. Дефиниция рельефа в качестве состава и структуры ЗП обязала нас сформулировать принципы и критерии строгого определения ее элементов и их пространственных соотношений друг с другом. Изложенные процедуры элементаризации, формализации и собственно организации привели к созданию МС — познавательной конструкции для изучения статического аспекта в предмете геоморфологии — рельефа.

2. Конструирование МС осуществлено на двух уровнях. Если первый из них (неполный) предусматривает неполные определения элементов и межэлементных связей, основанные лишь на экстремальных значениях одного из трех основных показателей ЗП (см. рис. 2, 4, 6, 8, табл. 1—3), то второй (полный и более сложный) включает в себя их исчерпывающие (в рамках предлагаемой системы) определения с комплексным учетом поведения всех трех основных показателей в поперечном профиле (см. рис. 1, 5, 7). Исчерпывающие определения точечных, линейных и площадных элементов и соотношений между ними используются нами при морфологическом картографировании и профилировании, а также в структурном анализе рельефа и предлагаются в качестве методического резерва для решения будущих теоретических и прикладных задач. Вместе с тем для освещения некоторых рассматриваемых ниже и других вопросов можно считать достаточным первый (неполный) уровень конструирования МС.

3. Осуществленные процедуры позволяют точно назвать любую часть ЗП в соответствии с предложенным перечнем ХТ, СЛ и ЭП. Этот перечень является своеобразным каталогом деталей, из которых могут быть построены различные формализованные модели, отражающие рельеф ЗП (карты, профили, описания). Он аналогичен совокупности химических знаков и коэффициентов, различные сочетания которых (формулы) позволяют отразить строение, качественный и количественный состав любого по сложности вещества. Совокупность взаимно связанных интерпретированных знаков отвечает представлениям о системном языке, «...с помощью которого наука достигает основного источника своей мощи — объективности и универсальности» [38, с. 38]. На первом уровне конструирования МС весь язык практически основан на 10 исходных знаках, отражающих шесть видов СЛ, два вида ХТ (C_0^+ и C_0^-) и два вида плосковершинных поверхностей («+» и «—»). Из них выводятся все остальные обозначения точечных и площадных элементов ЗП. В этой совокупности особое внимание обращается на

важнейшие ХТ (C_0^+ и C_0^- и их аналоги), СЛ (L_1 и L_2) и ЭП (групп А и С). Несмотря на свою простоту, предлагаемый язык полностью обеспечивает описание, картографирование, анализ и сравнение состава и структуры ЗП, выделение ГМС и их динамическую интерпретацию. Он задан в строго определенной форме, исключая неоднозначность его понимания и обеспечивающей универсальность при изучении и картографировании состава и строения земной и любой другой поверхности в любом районе и в любом масштабе. Еще одно преимущество предлагаемого языка заключается в его независимости от историко-генетических представлений, опыта исследователей и особенностей изучаемой территории. Единый комплекс обозначенных соответствующими символами понятий благодаря адекватности каждого из них определенной части ЗП дает возможность интерпретировать частные и общие характеристики как отдельно взятых элементов, так и их территориальных совокупностей. Системный язык, поднимающий на более высокий уровень описательную геоморфологию, позволяет сделать новый шаг вперед в объяснительной и сравнительной геоморфологии. Его создание находится в полном соответствии с «доминирующим направлением» современной геоморфологии, которое заключается в «генетическом истолковании орографии, т. е. морфологии, взятой в чистом виде» [36, с. 38].

4. МС, как всякая система, характеризуется целостностью, которая «уживается с составленностью ее» [7] из точечных, линейных и площадных элементов (элементаризацией ЗП) и их многочисленных и разнообразных связей. Эта совокупность элементов и их соотношений представляет в данной конструкции не простую сумму тех и других, а их единство, в котором, образно говоря, элементы и межэлементные связи выступают «один за всех и все за одного». Изъятие хотя бы одного из них (или одной из них) из МС повлечет полную ликвидацию последней. Вместе с тем МС «не допустит» механического включения в нее «несовместимого» со всем ее содержанием элемента или связи. МС, с одной стороны, не является аддитивной (или «несистемной» в строгом смысле этого слова [7]) системой, с другой — характеризуется неполной целостностью. Ее квазичелостность, однако, не исключает главного следствия целостности — эмерджентных свойств, которые не проявляются при изучении каждого из элементов и их соотношений, но дают о себе знать при (и способствуют) реализации МС на конкретных территориях, сравнениях и динамической интерпретации состава и структуры территориальных комплексов — ГМС — и решении различных прикладных задач.

МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

ГЛАВА IV

ТЕХНОЛОГИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И ПРОФИЛИРОВАНИЯ

§ 12. Уровни механизации морфологического картографирования

МС предлагается использовать в качестве познавательной конструкции при создании региональных и частных морфодинамических моделей. Региональное моделирование прежде всего заключается в составлении морфологической карты — геоморфологической карты, построенной по морфологическому принципу.

Процедура морфологического картографирования направлена на выявление как состава, так и структуры конкретной части ЗП, единство которых рассматривается в качестве реализации МС на изучаемой территории. Однако если состав на морфологической карте отражается с исчерпывающей (при данном масштабе картографирования) полнотой и не нуждается в дополнительном исследовании, то строение ЗП может быть выявлено в результате последующего структурного анализа запечатленного на ней рельефа. Так же как при конструировании МС в целом, отделение в региональном и частном моделировании друг от друга операций, направленных на фиксацию состава и анализ строения конкретной части ЗП, является в значительной мере условным и оправдано лишь методическими соображениями. Ведь выделение и определение картируемых единиц в соответствии с МС подразумевают не только фиксацию на карте элементов ЗП, но и одновременно с этим установление пространственных взаимоотношений между ними. Однако наряду с осознанием единства состава и строения конкретной части ЗП не менее очевидна необходимость установления определенной последовательности операций в региональных морфодинамических исследованиях, начинать которые надо с создания морфологической карты. Частное (эталонное, экспериментальное и теоретическое) морфодинамическое моделирование, наоборот, имеет противоположную очередность и завершается созданием морфологической карты.

Морфологическое картографирование заключается в шести последовательных (рассмотренных в § 13, 15, 16, 18—20) операциях, которые полностью или частично осуществляются на разных уров-

нях механизации, устанавливаемых в зависимости от используемых технических средств обработки картографических материалов [1] (рис. 9).

На самом низком, *визуальном*, уровне преобразования топографической поверхности не производится. СЛ L_1 и L_2 на этом уровне, так же как и на всех других (кроме автоматического), выделяются непосредственно на картах топографической поверхности путем плановой корреляции ОТ O_1 и O_2 (см. § 16). Трассирование СЛ $L_3—L_6$, предшествующее выделению ХТ и ЭП, осуществляется также непосредственно на картах топографической поверхности в результате глазомерной оценки $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$ соответственно по заложениям между горизонталями и по изменениям этих заложений. При тщательном анализе заложений можно выделить практически все явно выраженные СЛ, хотя точность их фиксации на карте не гарантируется. Боковые ограничения ЭП при отсутствии сочленений двух смежных СЛ осуществляются по одиночным поперечным линиям и линиям тока, проведенным вверх или вниз по склону от торцевых ОТ и точек сочленения (см. рис. 3, § 15, 19). Данный уровень не обеспечивает трассирования слабо или неявно выраженных СЛ $L_3—L_6$ (со слабой плановой корреляцией ОТ $O_3—O_6$) и в связи с этим установления всех пространственных соотношений между элементами ЗП и строгого и однозначного выделения ЭП.

Полуинструментальный уровень отличается от предыдущего преобразованием скалярного поля (топографической поверхности) в векторное поле—карту линий тока, требующим применения построений с помощью простейших инструментов (угольника и др.) для проведения векторных линий (см. § 15, 16). Используя точки пересечения их с горизонталями, можно последовательно трассировать СЛ $L_3—L_6$ вдоль склонов от одной линии тока до другой, что делает эту операцию более строгой и управляемой, хотя и не гарантирующей их полное выявление в областях со слабой корреляцией $O_3—O_6$. Для бокового ограничения ЭП может потребоваться проведение дополнительных векторных линий.

На инструментальном уровне, предусматривающем использование измерительных инструментов и настольных вычислительных машин, кроме карты линий тока вручную составляются карты модулей градиентов топографической и изоградиентной поверхностей.

Автоматизированный уровень предусматривает осуществление трех преобразований [построение карт векторного поля, $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$] с помощью комплекса обработки графической информации. Данный комплекс, примененный ранее [13] нами совместно с А. Г. Зинченко и В. М. Омелиным лишь для выделения отличительных линий на шельфе, к настоящему времени используется при морфологическом картографировании в целом. Разработка технологии, технического комплекса и программного обеспечения, используемого для морфологического картографирования на этом уровне, выполнена в рамках автоматизированной системы моделирования геологического строения территории (АС

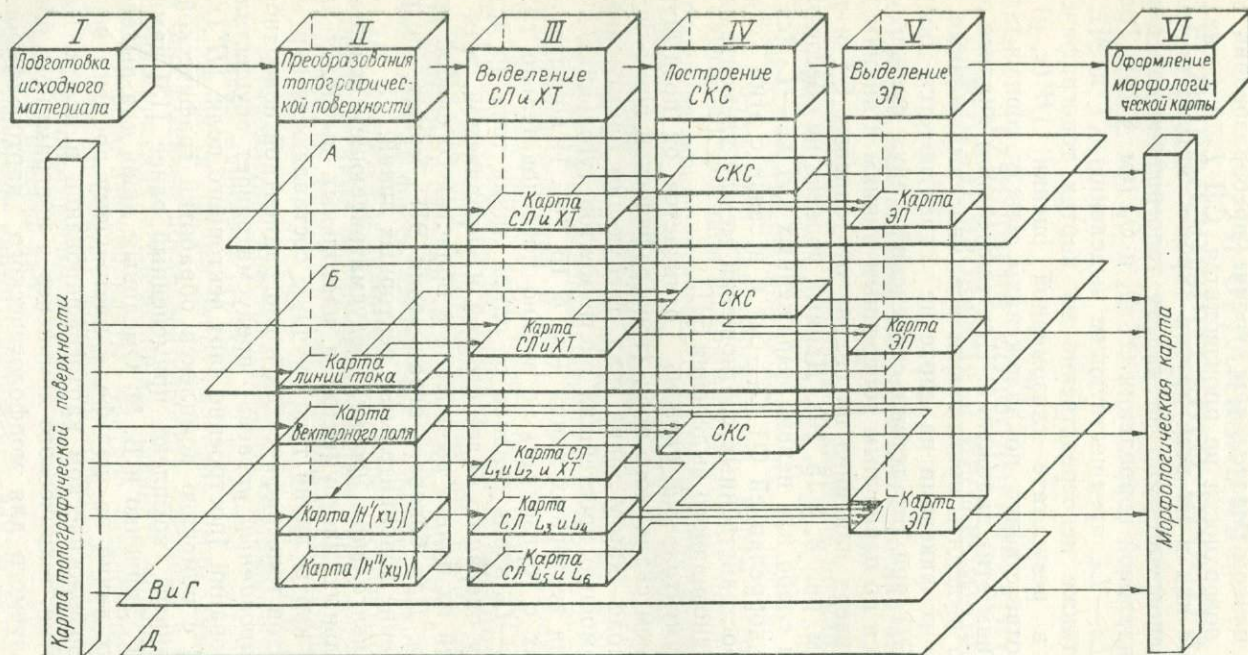


Рис. 9. Последовательность операций и уровни механизации морфологического картографирования. Уровни механизации: А — визуальный, Б — полунструментальный, В — инструментальный, Г — автоматизированный, Д — автоматический.

ГЕОМОД, разработчик — отдел автоматизации ВНИГРИ, руководитель В. М. Омелин).

Технология работ, по В. М. Омелину и др. [1982 г.], включает в себя: а) кодирование отметок дискретно записанных высот (глубин) на исходных материалах [функции $H(x, y)$] и запись информации на перфоленту; б) формирование информационных массивов на магнитной ленте; в) обработку исходных массивов (двумерная интерполяция, фильтрация и вычисление градиентов); г) графическое отображение результатов — вывод их на графопостроитель или экран дисплея.

Технический комплекс разработан на основе базового комплекса ЭВМ «Минск-32» и включает в себя дополнительные устройства графического ввода (вывода): кодирующий планшет «Шифратор-2» (разработчик Казгеофизприбор), графопостроитель планшетного типа «Атлас-2» и полутонный дисплей (разработчик кафедры телевидения Ленинградского электротехнического института — ЛЭТИ).

Программное обеспечение состоит из программных модулей, работающих под управлением монитора (управляющей программы) АС ГЕОМОД и обеспечивающих выполнение рассмотренной технологии. Данные «Шифратора-2» корректируются с помощью программы КОРШ, предназначенной для ввода данных с перфоленты, их корректировки и записи результатов на магнитную ленту. Вычисление значений функции $H(x, y)$ в узлах регулярной сети по совокупности произвольно расположенных отметок высот (глубин) производится при помощи программы SPLIN. Вычисление градиентов топографической поверхности и их графическое представление в виде карты векторов (см. рис. 12, б) производится с помощью программы ПОЛЕ G. Эта программа вычисляет для каждого узла регулярной сети значения $|H'(x, y)|$ и направление векторов. С помощью программы РИСКА осуществляется вычерчивание на графопостроителе двумерных функций $H(x, y)$ (рис. 12, а), а также $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$ в виде карт изолиний. Две последние из этих карт демонстрировались нами ранее [13]. Данная программа использует базовый программный комплекс ГРАФОР, разработанный Институтом прикладной математики (ИПМ) АН СССР. Для автоматизации морфологического картографирования в дальнейшем целесообразно привлечение оптической техники (см. § 16).

В связи с тем что содержание морфологической карты включает в себя только формализованные элементы, вполне реально полностью автоматизировать процесс морфологического картографирования — поднять его на *автоматический уровень*. Для достижения этого уровня предполагается привлечь математический аппарат прослеживания гребня на поверхностях критерия или, как это называется в биометрии, на поверхностях отклика (response surface), которые отражают реакцию (отклик) живого организма на два внешних фактора: x и y [Уйалд Д. Дж., 1967 г.]. На поверхностях отклика, выражающих в виде линий равных значений

функции этих аргументов [в нашем случае $H(x, y)$, $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$], прослеживание СЛ всех шести видов и расположенных на них ХТ C_1^+ , C_1^- , C_2^+ и C_2^- может осуществляться методом поисков с помощью конфигураций, методом поиска с осторожной тактикой, методом вращающих координат и т. д.

В зависимости от уровня механизации морфологическое картографирование включает в себя разный набор операций (рис. 9). Подготовка исходного (вторичного, см. § 13) материала, обязательная для всех уровней, означает сбор всех топо- или гидрографических материалов и составление максимально подробной карты топографической поверхности в изолинейной (для уровней А, Б и В) и дискретной (для уровней Г и Д) формах. Преобразование топографической поверхности с составлением промежуточных карт осуществляется на уровнях В, Г, Д и частично Б. На визуальном уровне эти преобразования проводятся мысленно и интегрально.

Осуществление последних четырех операций (рис. 9) практически сводится к последовательному составлению морфологической карты. Сначала на ее основу выносятся выделенные на топографической поверхности СЛ L_1 и L_2 , а затем с карт $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$ — СЛ L_3 , L_4 и СЛ L_5 , L_6 соответственно. Далее на этой же основе фиксируются важнейшие ХТ. Обязательной операцией для всех уровней является построение СКС (см. гл. VI). Только вслед за этим осуществляются выделение (боковое ограничение, если оно необходимо) и индексация ЭП, а затем оформление карты — отражение на ней в соответствующих условных знаках выделенных точечных, линейных и площадных элементов, а также линий двух систем СКС. Главная тенденция в данной последовательности — от трассирования СЛ к выделению ЭП — соблюдается и при создании современных аналитических карт, составление которых сводится к прослеживанию границ (бровок и подножий), а затем к выделению и определению заключенных между ними «граней».

§ 13. Исходные материалы

Большое значение для морфологического картографирования имеет первая операция — подготовка и подбор исходных материалов, качеством которых в значительной мере определяются однозначность выделения и строгость в фиксации на карте элементов ЗП. К ним на суше относятся аэрофото- и фотокосмические материалы, топографические и гипсометрические карты, а на морях и океанах — батиметрические (эхолотные и сейсмоакустические) профили и карты, а также планшеты промера.

Общими требованиями к исходным материалам являются точность, детальность и объективность отражения на них топографической поверхности. Максимально эти требования удовлетворяются при использовании *первичных материалов*: аэрофото- и космических снимков на суше, эхолотных и сейсмоакустических про-

филей на морях и океанах при условии соблюдения точностей высотной привязки на первых и горизонтальной привязки вторых.

Контрастно выраженные СЛ и важнейшие ХТ могут выделяться в результате использования стереофотограмметрических методов обработки *аэрофото- и фотокосмических материалов*. Однако этим не исчерпываются возможности их морфологического дешифрирования. Они могут быть значительно расширены за счет использования тесной зависимости спектрально-отражательных параметров от увлажненности пород (коэффициент яркости одних и тех же пород с разной увлажненностью изменяется в 2—3 раза), связанной с грунтовыми (водозными), а не подземными водами [12, 14] (см. § 38). Кроме того, увлажненность в свою очередь определяет отраженные в распределении фототона, цвета и рисунка на космических снимках дифференциацию почв и компонентов почвенного покрова, видовой состав, обилие, жизнность и другие физиологические и морфологические характеристики растительности. Все это — дренаж территории, баланс атмосферных вод и соответственно биоценозы и процессы почвообразования — находится под жестким контролем со стороны уклонов и экспозиции ЗП, что позволяет фиксировать на фотокосмических материалах даже слабо выраженные в гипсометрии линейные элементы. Наиболее уверенно трассируются по ним СЛ L_5 и L_6 , отражающие резкую смену уклонов ЗП.

На суше перечисленные требования в значительной мере удовлетворяются за счет наличия *вторичных исходных материалов* — разномасштабной топографической основы. Точность высотной и горизонтальной привязки на топокартах определяется масштабом, ошибками съемки и картосоставления, но никак не зависит от каких-либо точек зрения на происхождение рельефа и от не имеющих прямого отношения к рельефу геолого-геофизических данных.

Иное положение имеет место при составлении батиметрических, особенно мелкомасштабных и обзорных, карт. В силу неизбежных погрешностей измерения глубин, определения места при промере и картосоставления в процессе их создания часто прибегают к использованию различной геолого-геофизической информации и вытекающих из нее генетических представлений. Такой подход, сформулированный еще в 1957 г. как метод геоморфологической интерполяции [Удинцев Г. Б., 1972 г.] и использованный при создании серии генеральных батиметрических карт океанов, быстро и широко распространился вплоть до специальных гидрографических наставлений и пособий.

Широкое применение этого метода в значительной мере было оправдано малым объемом гидрографических данных (прежде всего океанского систематического промера), стремлением обобщить материалы маршрутного промера и показать связную картину подводной поверхности на обширных регионах. Составленные таким образом батиметрические карты рассматриваются в качестве итога проведения не только гидрографических, но и гео-

морфологических исследований. Однако в разной степени они имеют гипотетическую основу, скрытую под внешне правдоподобным изображением ЗП, характеризующимся малыми сечениями и подробным рисунком изобат, которые не соответствуют точности и детальности материалов промера. Так как в гидрографии до самого недавнего времени батиметрические карты в основном служили лишь для обзорных целей и не использовались для обеспечения безопасности плавания, это несоответствие считалось допустимым.

Не умаляя значения метода геоморфологической интерполяции, сыгравшего и до сих пор играющего большую роль в формировании общих представлений о рельефе, геологическом строении и развитии океанического дна, необходимо указать на то, что его применение по мере осуществляемой уже сейчас детализации геоморфологических исследований играет и будет играть все более отрицательную роль. Использование генетических представлений (мобилистских или фикситских, маринистских или гляциалистских и др.) и геолого-геофизических материалов (гравиметрических или магнитных съемок, сейсмопрофилирования, донного опробования и др.), которые не обнаруживают повсеместной и (или) одинаковой корреляции с глубинами ЗП, приведет к порочному замкнутому кругу. При этом в батиметрической карте, призванной служить первоисточником информации о рельефе, а через него о геологических процессах, изначально закладываются гипотетические сведения о последних, отделить которые от объективных гидрографических данных не представляется возможным.

Батиметрическая карта, так же как топооснова на суше, должна служить независимым от других материалов источником информации о рельефе и рельефообразующих процессах. Всякий элемент субъективизма при ее составлении должен быть исключен. Это согласуется с призывом А. И. Сорокина [1972 г.] не допускать при обработке гидрографических материалов выполнения такой интерполяции, которая не позволяет оценить ее достоверность и точность. Так же как данные входящих в комплекс геолого-поисковых работ гравиметрических и магнитных съемок основываются только на наблюдаемых значениях и никак не зависят (за исключением поправок за рельеф) от гидрографических материалов, среди последних независимыми являются не только эхограммы, но и построенные по ним батиметрические карты, на которых эти материалы лишь обобщаются и переводятся в другую (изолинейную, полностью непрерывную) форму.

Два основных вида исходных материалов — батиметрические профили и карты — определяют *два уровня исследования рельефа: морфологическое профилирование и картографирование*. Эти уровни характеризуются разными возможностями выявления и анализа состава и структуры ЗП. Построенные на основе батиметрических профилей морфологические профили предоставляют хотя и объективную, но неполную информацию о морфологии рельефа, так как ее дискретно-непрерывная форма и несоответствие галсов

регистрирующим линиям (осям СКС; см. § 17, 18) резко сужают возможности выявления латеральных соотношений между элементами ЗП и могут даже привести к неверным представлениям о их взаимных пространственных связях.

Как показал опыт геоморфологического картографирования океанического дна [Бочарова Е. В., 1985 г.], составить крупномасштабные морфологические карты можно минуя создание батиметрической основы в результате плановой корреляции зафиксированных на профилях (эхограммах) морфологических элементов. На базе построенной таким образом морфологической карты, используя инвариантность и вытекающую из нее более тесную (в отличие от глубин) плановую коррелируемость морфологических элементов, можно прогнозировать глубины и более обоснованно проводить изобаты на междугалсовых пространствах (см. § 14). Такой прогноз с большим основанием, чем рассмотренный метод Г. Б. Удинцева, может считаться геоморфологической интерполяцией, базирующейся на установленных на галсах морфологических закономерностях (данных о составе и строении ЗП).

Батиметрическая карта, составленная на основе достаточного промера, так же как и гипсометрическая, позволяет выявить все (на данном масштабном уровне) имеющиеся на изучаемой части ЗП морфологические элементы и вертикальные и латеральные связи между ними. Для перехода от батиметрических профилей к батиметрической карте необходимо определить: а) минимальный объем гидрографической информации, при котором возможно построение батиметрической карты на район с данной сложностью рельефа или максимальные междугалсовые расстояния, обеспечивающие составление карты; б) способы и приемы интерполяции. При отсутствии необходимого объема информации она должна отражаться и обрабатываться на отдельных профилях или, что лучше, на картах профилей (аналогичных картам графиков в геофизике) в рамках морфологического профилирования (см. § 14).

Вопросы интерполяции применительно к составлению топографических карт суши успешно решаются на основе инструментальной обработки аэрофото- и фотокосмических материалов. В гидрографии же повсеместно используемый (часто вне зависимости от междугалсовых расстояний) метод *линейной интерполяции* сейчас в полной мере допускается лишь при проведении изобат по материалам прибрежного систематического промера. Материалы систематических морского и океанского промеров позволяют использовать этот метод только при фиксации изобат на промерных галсах (при отсутствии эхограмм), но не между ними. Линейная интерполяция между далеко отстоящими друг от друга отметками глубин и промерными галсами в значительной мере препятствует выявлению и картографированию состава и структуры ЗП. Серии равноотстоящих друг от друга изобат, проведенных по интерполированным значениям между отметками глубин, часто создают неверное представление о преобладании ЭП с прямыми поперечными профилями и СЛ L_5 и L_6 . Более совершенная *параболическая ин-*

терполяция отражает изменение $H(x, y)$ с учетом изменения значений $H'(x, y)$. Учет углов наклона ЗП при расстояниях между отметками глубин (галсами) меньше предельных может резко (в несколько раз) снизить ошибки интерполяции.

При использовании планшетов промера и вообще дискретной информации о топографической поверхности на автоматизированном уровне морфологического картографирования особого внимания заслуживает *сплайн-интерполяция*. Она осуществляется с помощью сплайн-функций, по методу Бриггса [Briggs I. S., 1974 г.], использованных В. М. Омелиным [1984 г.] при составлении программы SPLIN (см. § 12).

По А. Г. Зинченко [1984 г.], интерполяция сплайнами применительно к карте топографической поверхности отвечает четырем ограничениям П. К. Соболевского [1932 г.], учитываемым при выборе интерполирующих функций: конечности, однозначности, непрерывности и гладкости. Преимуществами сплайна являются вычислительная простота, отсутствие краевых эффектов и то, что сплайн-поверхность имеет минимальную кривизну.

На результаты мелкомасштабного морфологического картографирования существенное влияние оказывает *генерализация* исходных бати- и гипсометрических карт, в ходе которой неизбежно утрачивается геометрическая точность изображения за счет вынужденных сдвигов (вверх или вниз по склону), искусственных затяжек (вдоль килевых линий) и сглаживания горизонталей, потери многих линейных элементов (в частности, «потери густоты» речной сети), укрупнения ограниченных изолиниями ареалов [1]. Если наряду с нарушениями геометрической точности при резком уменьшении масштаба удачно решается вопрос о сохранении географического соответствия и правдоподобия, генерализованная исходная карта определяет относительно правильное, хотя и качественно новое представление (на другом масштабном уровне) о составе и структуре ЗП по сравнению с тем, что выявляется при анализе более крупномасштабных исходных материалов на ту же территорию. Более строгой генерализация гипсо- и батиметрических карт может быть только тогда, когда она будет основываться на масштабной универсальности МС и симметрии подобия (см. § 23, 35) и заключаться в передаче на карты более мелкого масштаба основных особенностей структуры и строения ЗП, выявленных на крупномасштабной топооснове. В этом проявляется *одна из возможных сфер использования МС в картографии и гидрографии*.

Частные требования к исходным материалам существенно различаются в зависимости от масштаба и уровня механизации морфологического картографирования. Говоря о зависимости последнего от качества исходных материалов, следует указать и на другие аспекты использования результатов морфологического профилирования и картографирования для решения гидрографических и картографических задач (см. § 14, 19).

§ 14. Выделение морфологических элементов на профиле. Морфологическое профилирование

Вопросу о выделении морфологических элементов на карте предшествует рассмотрение разработанной нами совместно с Е. В. Бочаровой и Э. А. Ваниевой методики их фиксации на профиле. Наряду с очевидной методической целесообразностью такой последовательности оговорим и самостоятельное значение морфологического профилирования для изучения не только субаквального рельефа, основная (а во многих случаях и единственная) информация о котором содержится на батиметрических профилях, но и рельефа суши с учетом того, что именно профили дают нам возможность «физиологического ощущения рельефа и совмещенного показа его и геологического субстрата» [36, с. 91]. Кроме того, именно с помощью морфологического профилирования может быть установлена и изучена наиболее распространенная в рельефе трансляционная симметрия (см. § 22).

Выделение линейных элементов при морфологическом профилировании заключается в фиксации их проекций — ОТ на профиле, который рассматривается в качестве графика функции $H(x)$ и сопровождается графиками функций $H'(x)$ и $H''(x)$. Первая функция, отражающая непрерывность ЗП, является непрерывной. На практике ее значения задаются конечным числом дискретных точек с равномерным шагом. Как указывалось в § 6, хотя функции $H'(x)$ и $H''(x)$ теоретически могут быть непрерывными, кусочно-непрерывными и иметь бесконечные разрывы, практически они определяются численным или графическим дифференцированием. При этом значения $H'(x)$ в точках разрыва (проекциях СЛ групп L^b и L^c) однозначно доопределяются, а $H''(x)$ в области доопределения функции $H'(x)$ имеет дополнительные («ложные») экстремумы. Данные обстоятельства предусмотрены при изображении функций $H'(x)$ и $H''(x)$ на рис. 1, графики которых вблизи проекций СЛ групп L^b и L^c на профиль (в областях доопределения) изображены тонкими линиями.

Положение СЛ I типа (ОТ O_1 и O_2) на профиле обусловлено экстремумами функции $H(x)$, для чего находятся корни уравнения $H'(x)=0$, которые определяют положение искомого ОТ. Вид СЛ устанавливается по смене знака $H'(x)$ при переходе через данную ОТ. СЛ L_1 выделяются при условии, если знак функции $H'(x)$ меняется с «—» на «+», а СЛ L_2 — при обратной смене знаков. Принадлежность линий L_1 и L_2 к конкретному классу и группе определяется по характеру изменения значений $H''(x)$ в ближайшей окрестности ОТ O_1 и O_2 . При визуальном определении принадлежности СЛ I типа к соответствующей группе следует руководствоваться графиками $H'(x)$ и $H''(x)$ на рис. 1 и вспомогательной табл. 4, показывающей изменение знака в ближайшей окрестности ОТ O_1 и O_2 .

Из определения СЛ II типа следует, что их положение на профиле фиксируется экстремумами модуля первой производной:

Изменение знака функции $H''(x)$ в окрестности про

Структурные линии I типа		Группы струк			
		L^a	L^b	L^c	$L^{a,b}$ L^{a-b}
Виды структурных линий	L_1	+++	0+0	-+-	++0
	L_2	---	0-0	+ - +	--0

Примечание. Из трех знаков для каждой группы и каждого вида СЛ средний функции $H''(x)$ в ближайших слева и справа расположенных от нее точках на профиле.

СЛ L_3 — положением максимума $|H'(x, y)|$, а СЛ L_4 — положением минимума $|H'(x, y)|$. Для определения экстремумов функции $H'(x)$ отыскиваются корни уравнения $H''(x) = 0$ на отрезках профиля, заключенных между уже выделенными ОТ O_1 и O_2 . Производится анализ найденных корней с целью выбора тех из них, которые соответствуют положению искомым ОТ O_3 и O_4 — проекциям линий L_3 и L_4 . При этом необходимо использовать дополнительный критерий выделения O_3 и O_4 , который заключается в том, что вблизи этих точек кривая $H'(x)$ должна иметь вид, близкий к симметричному. Этим критерием является отношение значений $|H'(x)|$ в точках профиля, симметрично расположенных относительно O_3 и O_4 .

СЛ L_3 и L_4 фиксируются на профиле ОТ с нулевой кривизной, а разделяемые ими отрезки профиля характеризуются наименьшей разницей в уклонах. Нами эмпирически принято, что положение ОТ O_3 и O_4 определяется теми и только теми экстремумами модуля первой производной, при которых отношение значений $|H'(x)|$ в симметрично удаленных от каждого из экстремумов точках находится в пределах от 1 до 2, т. е.

$$1 \leq |H'(x_{i-1})|/|H'(x_{i+1})| \leq 2 \quad (\text{для } O_3) \quad \text{и} \quad 1 \leq |H'(x_{i+1})|/|H'(x_{i-1})| \leq 2 \quad (\text{для } O_4),$$

где x_i — положение i -го экстремума функции $|H'(x)|$; x_{i-1} и x_{i+1} — точки слева и справа в ближайшей окрестности от него на графике этой функции. Не исключается принятие других предельных отношений значений $|H'(x)|$.

Формальное опознание линий III типа осуществляется в результате фиксации максимумов $|H''(x)|$, для чего следует найти корни

екций структурных линий I и III типов на профиле

турных линий						
$L^{a, c}$	$L^{b, a}$	$L^{b, c}$	$L^{c, a}$	$L^{c, b}$	Структурные линии I типа	
L^{a-c}	L^{b-a}	L^{b-c}	L^{c-a}	L^{c-b}	Структурные линии III типа	
++-	0++	0+-	-++	-+0	L_5	Виды структурных линий
--+	0--	0-+	+--	+ -0	L_6	

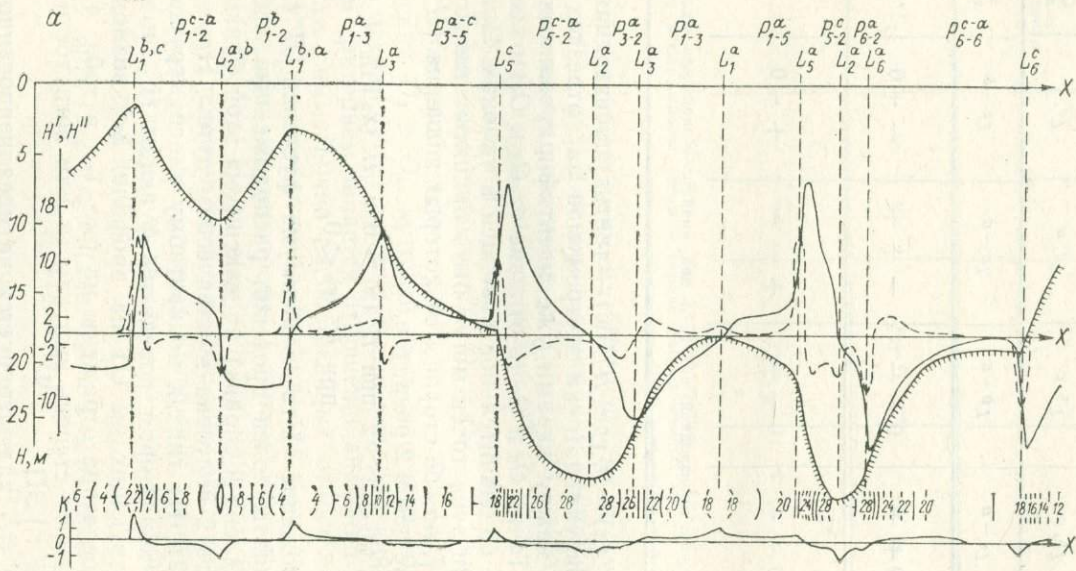
отражает знак второй производной в ОТ, а два крайних — знак или нулевое значение

уравнения $H'''(x) = 0$, где $H'''(x)$ — третья производная от $H(x)$. Затем анализируются точки экстремумов на отрезках профиля, заключенных между парами уже идентифицированных СЛ (ОТ) I и II типов. Точки O_5 и O_6 (в отличие от O_3 и O_4) разделяют участки профиля со значительной разницей в уклонах. При формальном выделении этих точек могут быть приняты только те максимумы $|H''(x)|$, по обе стороны от которых значения $|H'(x)|$ отличаются больше чем в 2 раза, т. е.

$$\begin{aligned} |H'(x_{k-1})|/|H'(x_{k+1})| > 2 \text{ при } H'(x) > 0 \text{ и } |H'(x_{k+1})|/|H'(x_{k-1})| > 2 \\ \text{при } H'(x) < 0, \end{aligned}$$

где x_k — положение k -го максимума функции $|H''(x)|$; x_{k-1} и x_{k+1} — координаты точек профиля, расположенные в ближайшей окрестности (слева и справа) от максимума этой функции в точке x_k , а константа 2 получена эмпирическим путем. Принадлежность выделенных СЛ III типа к конкретному классу, группе и виду определяется характером поведения функции $H''(x)$ в окрестностях соответствующих им ОТ на профиле. Все возможные варианты этого поведения отражены на рис. 1 и в табл. 4. Значения $|H''(x)|$ отражают степень выпуклости или вогнутости [Девдариани А. С., 1967 г.] ЭП.

Выделение СЛ иллюстрируется на идеализированном и реальных батиметрических профилях. Идеализированный профиль (рис. 10, а), составленный с учетом наиболее часто встречаемых сочетаний морфологических элементов, продифференцирован с шагом 2 мм и сопровождается графиком функции $K(x) = H''(x)/[1 + H'^2(x)]^{1/2}$, используемой в аналитической геометрии для оценки



кривизны линий. Экстремальные значения $K(x)$ являются дополнительным критерием, используемым при анализе профиля с целью выделения СЛ I и III типов. Максимумы функции $K(x)$ соответствуют O_1 и O_5 , а минимумы — O_2 и O_6 .

При морфологическом профилировании целесообразно отражать среднюю квадратичную ошибку в определении значений $H'(x)$ и $H''(x)$, откладывая ее на оси абсцисс графиков этих функций, как это сделано при выделении элементов ЗП на реальном батиметрическом профиле (рис. 10, б). Все фрагменты кривых функций $H'(x)$ и $H''(x)$, попадающие в данный интервал, рассматриваются как нулевые значения, отражающие или горизонтальность, или прямолинейность профиля.

Рассмотренные приемы и критерии позволяют однозначно выделить на профиле и идентифицировать не только СЛ, но и заключенные между ними ЭП (рис. 10, а, б). За счет использования непрерывного характера информации по профилю даются полные определения как линейных, так и площадных морфологических элементов, учитывающие поведение всех трех основных показателей ЗП.

Изложенные принципы и методика морфологического профилирования послужили основой для составления алгоритма и программы автоматизированной обработки профильной информации. Программа МОРФО составлена Э. А. Ваниевой на языке ФОРТРАН для ЭВМ «Минск-32» и специально предназначена для автоматизированного выделения на профиле СЛ (ОТ). Исходными данными служат значения $H(x)$, заданные в конечном числе равноотстоящих точек на профиле. Величина $H(x)$ может быть задана либо в абсолютном виде (в метрах), либо в условных единицах, например в миллиметрах графика $H(x)$.

Значение морфологического профилирования определяется его использованием для решения важных геоморфологических и гидрографических задач. К первым из них относится *описание рельефа*, которое практически сводится к морфологическому профилированию — записи состава и структуры ЗП по регистрирующим линиям СКС (см. § 17). На основе этой записи реализуется номенклатурный критерий в морфологическом районировании (см. § 25) и может осуществляться сравнение морфодинамических моделей.

Кроме того, морфологический профиль может служить геоморфологической основой геоботанического, почвенного, ландшафтного профилирования с привязкой биогеоценозов, почвенных разностей, географических фаций и урочищ к площадным элементам ЗП и их совокупностям (сочетаниям). В субкавальном рельефе к этим элементам на морфологическом профиле следует привязывать станции донного опробования, располагая их на промерных галсах и осуществляя промер при подходе к станции, на ней самой и некоторое время после наблюдения. Такая *геоморфологическая привязка* и универсальность самой МС в свою очередь дают возможность проводить сравнительный анализ экологических, литологических, металлогенических и любых других параметров

в зависимости от приуроченности станций к различным элементам ЗП как на одном профиле, так и на серии профилей (рис. 10, в) или (и) на площади.

В гидрографии морфологическое профилирование целесообразно использовать при *интерполяции глубин между промерными галсами*. Предлагается расширить и конкретизировать применяемую сейчас гидрографами взаимную корреляцию (кросс-корреляцию) на серии эхограмм гребневых и килевых линий до полного выделения на них всех видов СЛ (ОТ) и распространения на междугалсовые пространства полученных на профилях объективных данных о составе и строении ЗП (рис. 10, в). Такая морфологическая интерполяция основана на инвариантности трассируемых от профиля к профилю СЛ и вытекающей из нее высокой степени коррелируемости выделенных на них ОТ всех видов. Хотя вопрос о допустимых междугалсовых расстояниях при составлении батиметрической карты не снимается (см. § 13), морфологическое профилирование и последующая морфологическая интерполяция открывают новые возможности для более полного и более объективного использования имеющихся гидрографических материалов.

При этом может быть применен используемый для корреляции геологических разрезов *метод взаимосвязей* [Девис Дж., 1977 г.]. Данный метод предусматривает передвижение относительно друг друга двух закодированных цифрами последовательностей (чередований литологических типов пород, а в нашем случае — записанных по параллельным профилям рядов сочетаний; рис. 10, в) и оценку степени соответствия для перекрывающихся фрагментов (разреза или профилей). Для каждого взаимного положения двух рядов подсчитывается общее число сравнений и количество совпадающих членов, а затем вычисляется коэффициент сходства двух рядов — отношение числа совпадений к общему числу сравнений. В результате осуществляется кросс-корреляция выделенных на двух профилях ОТ всех видов и групп и между ними проводятся соответствующие СЛ, а по распространенным на междугалсовые расстояния данным о составе и строении ЗП рисуются горизонталы. Метод обеспечен специальной программой XASSOC, составленной на языке ФОРТРАН [Девис Дж., 1977 г.].

Переходя от выделения ОТ на профиле к трассированию соответствующих СЛ в плане, следует учитывать богатый опыт выявления осей аномалий геофизических полей с помощью *кросс-корреляции значений поля* на соседних профилях [Шауб Ю. Б., 1963, г.; Фуллер М. Д., 1966 г.; Коган А. Б., 1967 г., и др.]. Н. Н. Боровко [1971 г.] отметил, что данные приемы наиболее пригодны для прослеживания тех осей, простирающие которых мало отличается от нормали к профилям. Отрицательная сторона кросс-корреляции связана с тем, что сам способ задания *геофизических полей или положения ЗП в виде профилей является анизотропным*. Эта «субъективная анизотропность» накладывается на «объективную», повсеместно проявляющуюся как в полях, так и в рельефе ЗП неоднородную анизотропию (см. § 19). Данное наложение за-

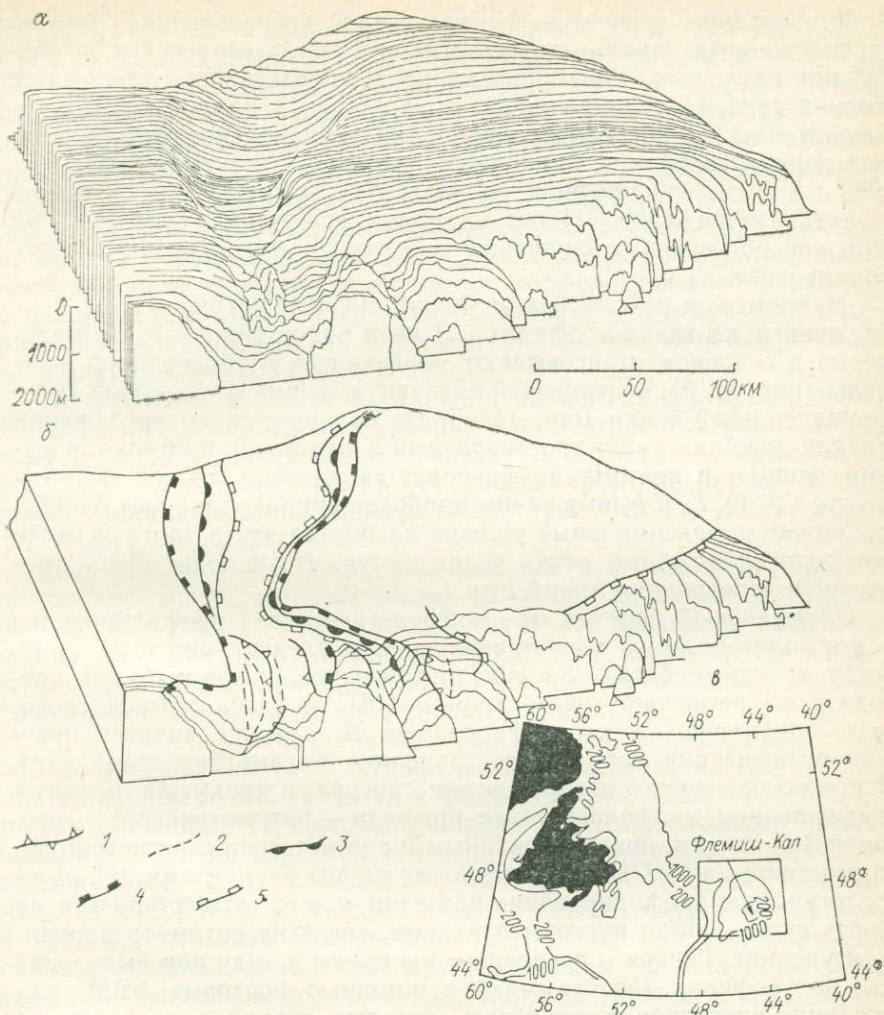


Рис. 11. Схемы вертикально расположенных батиметрических параллельных профилей (а) на участке в районе банки Флемиш-Кап (в), по Р. Ф. Макнабу [44], и выделенных по ним структурных линий (б).

Структурные линии: 1 — гребневые; 2 — килевые; 3 — максимальных уклонов; 4 — выпуклых перегибов; 5 — вогнутых перегибов.

трудняет корреляцию выделенных на профиле ОТ и трассирование в плане СЛ. Снижение эффекта такой «двойной» анизотропности может осуществляться в результате: а) исключения влияния неоднородной анизотропии рельефа за счет проведения морфологического профилирования по осям этой анизотропии — регистрирующим линиям СКС (см. § 17, 18) или по аппроксимирующим их ломаными линиями и б) использования способов трехмерного картографирования.

К последним относится создание серий перспективно и близко расположенных параллельных бати- или гипсометрических профилей или карт, на которых положение ЗП представлено следами ее сечения серией равноотстоящих друг от друга наклоненных к горизонту плоскостей. Такое сечение ЗП названо способом наклонных горизонталей или наклонных профилей [Смирнов Л. Е., 1982 г.]. Если эти профили располагать вертикально, то можно создать изображение ЗП без плановых искажений, сохранив при этом способствующую снижению анизотропности иллюзию неортогональности.

Например, в районе банки Флемиш-Кап [44] (рис. 11, а) прослеженные на таких профилях СЛ пяти видов (линии L_4 не выделены) в основном отрисовывают морфологию глубоководной ложбины (рис. 11, б), отделяющей названную форму от Большой Ньюфаундлендской банки (рис. 11, в). На большем своем протяжении данная ложбина имеет трогообразный поперечный профиль с плоским дном и поэтому не фиксируется килевой линией. Наряду с этим СЛ L_5 , L_6 и L_3 выражены наиболее ярко и отражают бровку, подножие и максимальные уклоны на бортах этого трога. Южнее морфология ложбины резко усложняется, что находит свое отражение в чередовании линий L_1 и L_2 .

Оптимальный переход от морфологического профилирования к морфологическому картографированию следует ожидать тогда, когда исходные бати- или гипсометрические профили будут проходить по регистрирующим линиям СКС и изображаться способами трехмерного картографирования. В этом же видится будущая оптимизация процесса составления батиметрических карт. В его основе лежат изображенные способами трехмерного картографирования морфологические профили — батиметрические профили (по галсам, ориентированным в соответствии с регистрирующими линиями СКС) с вычлененными на них элементами ЗП. Морфологическое профилирование при этом может осуществляться на борту судна как на инструментальном, так и на автоматизированном уровнях. Говоря о последнем, мы имеем в виду или выделение СЛ на профилях (эхограммах) с помощью бортовых ЭВМ, или создание приставок к эхолотам, которые позволят получать на ленте самописца наряду с кривой $H(x)$ графики функций $H'(x)$, $H''(x)$, а также $K(x)$.

§ 15. Преобразования топографической поверхности

Исходный материал содержит в себе в явном виде только информацию об одном из основных показателей ЗП — $H(x, y)$, по экстремальным значениям которого выделяются важнейшие линейные (L_1 и L_2) и точечные (C_0^+ , C_0^- , C_1^+ , C_2^+ , C_1^- и C_2^-) элементы. Для анализа двух других основных показателей ЗП и выделения остальных СЛ и ХТ, а также всех ЭП (кроме P_{1-2} , P_{0-2} и P_{1-0}) требуются преобразования топографической поверхности. $H'(x, y)$,

$H''(x, y)$ являются векторными величинами. При трассировании СЛ L_5 и L_6 достаточен анализ лишь модуля второй производной — $|H''(x, y)|$, отвлеченный от направления этой векторной величины. Что касается первой производной, то на автоматизированном и инструментальном уровнях картографирования (при выделении не только СЛ L_3 и L_4 , но и СЛ L_5 и L_6 , а также собственно склоновых ЭП) в частности и в морфодинамическом анализе в целом в равной мере важными являются как ее модули, так и направления (см. § 33). Указанные обстоятельства обуславливают необходимость проведения в рамках морфологического картографирования (см. табл. 1) трех преобразований, в результате которых определяются модули первой и второй производных от $H(x, y)$ и направление $H'(x, y)$.

Направление $H'(x, y)$ отражается на картах векторного поля. На двух инструментальных уровнях к ним относится карта линий тока (рис. 12, в), а на автоматизированном уровне — карта векторов (рис. 12, б), получаемая на графопостроителе наряду с картами топографической поверхности (рис. 12, а), $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$ (см. § 12).

Под *линией тока (векторной линией)* понимается кривая, в каждой точке которой вектор $H'(x, y)$ касается ее [Червяков В. А., 1978 г.]. Через каждую точку ЗП проходит лишь одна линия тока. Векторные линии между собой не пересекаются. Совокупность векторных линий отражает токовое направление, перпендикулярное к основному направлению горизонталей.

При сечении, обеспечивающем достаточно малые заложения на изолинейной карте топографической поверхности, трассирование векторных линий сводится к фиксации кратчайших расстояний между смежными горизонталями путем последовательного приращения достаточно коротких отрезков восстановленных к ним перпендикуляров. Для проведения линий тока при больших заложениях на карте $H(x, y)$ следует использовать дуговую палетку (см. § 18). В результате сглаживания полученной при том и другом способе ломаной линии трассируется кривая — линия тока. Учитывая многоцелевое использование *карт векторных линий*, их целесообразно составлять на прозрачной основе, пригодной для совмещения с другими картами.

Дополнительными составляющими содержания карты линий тока (рис. 12, в) предлагается считать ХТ C_0^+ и C_0^- (и их аналоги), а также точечные элементы C_1^+ , C_1^- , C_2^+ и C_2^- . Те и другие рассматриваются теорией поля в качестве особых точек в векторном поле (точек стока или источников). Отходящие от СЛ L_1 и подходящие к СЛ L_2 линии тока обычно приближаются к ним асимптотически, не соединяясь с ними. Сами линии L_1 и L_2 , в отличие от линейных элементов II и III типов, являются векторными. Углы подхода векторной линии к линейному элементу I типа определяются различиями уклонов ЗП в направлении плановой корреляции ОТ с экстремальными значениями $H(x, y)$, т. е. укло-

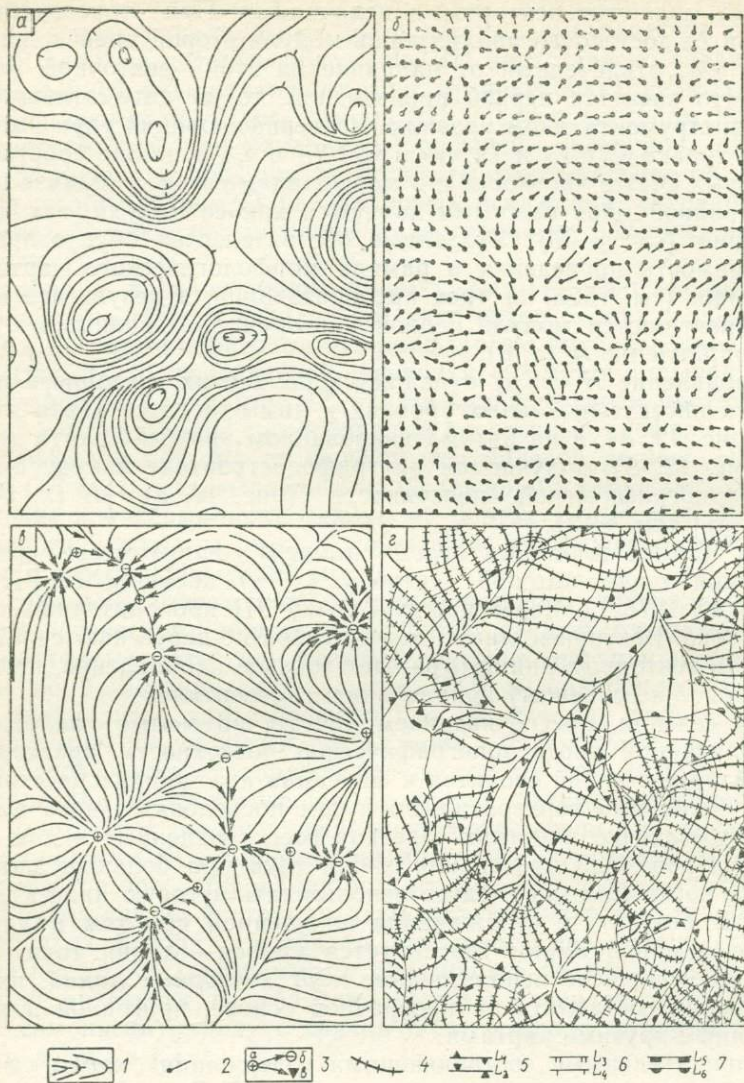


Рис. 12. Построение и преобразования карт топографической поверхности и их использование при выделении морфологических элементов.

a, б — построения, выполненные графопроектировщиком на автоматизированном уровне картографирования: *a* — фрагмент карты топографической поверхности, построенной с использованием сплайн-интерполяции; *б* — фрагмент карты векторов; *в* — карта линий тока; *г* — использование линий тока при трассировании структурных линий. Карты *a, б, в* выполнены на одну и ту же территорию.

1 — горизонтали; 2 — векторы; 3 — линии тока (на рис. *в*) и характерные точки C_1^+ и C_2^+ (*a*), C_1^- и C_2^- (*б*) и C_0^- (*в*); 4 — линии тока с фиксацией на них штрихами точек их пересечения с горизонталями (на рис. *г*); 5–7 — структурные линии: 5 — I типа, 6 — II типа, 7 — III типа.

нами самой СЛ, и в направлении, перпендикулярном к первому (по осям y и x СКС; см. § 17). Под прямым углом векторные линии непосредственно подходят к (отходят от) СЛ I типа лишь в ХТ C_1^+ , C_1^- , C_2^+ и C_2^- (рис. 12, в) и в пределах тех редких отрезков гребневых и килевых линий, которые занимают горизонтальное положение и в связи с этим сами не являются линиями тока. Сочетание векторных линий и ХТ способствует лучшему восприятию особенностей строения ЗП на карте линий тока. На данной карте возможно также отразить модули $H'(x, y)$, значения которых обратно пропорциональны длинам отрезков линий тока, заключенных между точками их пересечения с горизонталями (рис. 12, г).

Следует отметить хотя и непривычное, но образное восприятие ЗП на карте линий тока, непрерывно отражающей ее в качестве не скалярного, а векторного поля (рис. 12, в). Данная карта имеет самостоятельное значение и не только способствует построению морфологической карты, но и во многих отношениях существенно дополняет ее в морфодинамическом анализе. Совокупность векторных линий наиболее ярко показывает важнейшие атрибуты ЗП — ее пластичность и непрерывность, от отражения которых мы вынуждены сознательно отказаться при конструировании МС.

Рисунок горизонталей на карте топографической поверхности также создает представление о пластичности и континуальности ЗП. Однако изогипсы или изобаты, проведение которых (с условно выбранным сечением) подчинено очень важной, но практически единственной цели — отражению положения ЗП в никак не связанной с ее строением ортогональной системе координат (см. § 17), не подчеркивают соотношения между ее отдельными частями. Их совокупность отражает эти связи в скрытом виде.

Структурные линейные элементы на морфологической карте, как линии связи, фиксируют соотношения в направлениях плановой корреляции ОТ с экстремальными значениями $H(x, y)$, $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$, минимально (или не) реализуемых нисходящими литодинамическими потоками. В то же время карты линий тока отражают связи по противоположным простирациям и в общем случае расположены вкрест по отношению к первым. О динамическом истолковании карт векторных линий говорится в § 33.

Значение данного построения при морфологическом картографировании определяется тем, что отдельные линии тока и вся их совокупность используются, во-первых, в качестве вспомогательных элементов при трассировании СЛ L_3-L_6 (на инструментальном уровне; см § 16, рис. 12, г), во-вторых, как боковые ограничения собственно склоновых площадных элементов при выделении последних на всех уровнях (см. § 8, 20), в-третьих, в качестве осей СКС, продолжающих структурные (L_1 и L_2) и дополнительные линии на прямолинейных и нерасчлененных склонах и изометричных формах ЗП (см. § 17, 18).

Карта векторов $H'(x, y)$ строится на автоматизированном уровне с помощью программы ПОЛЕ G (см. § 12), которая, по

В. М. Омелину [1984 г.], вычисляет для каждого узла регулярной сети значения градиента $\text{grad } Z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}$ и его

направление $Q = \text{arctg}\left(\frac{\partial z}{\partial y} / \frac{\partial z}{\partial x}\right)$. В заданном масштабе графопостроитель вычерчивает векторное поле в виде совокупности стрелок, направленных из каждого узла регулярной сети. Длина стрелки пропорциональна $\text{grad } Z$, а направление определяется значением Q (рис. 12, б).

Если на карте линий тока векторное поле отражается непрерывно, то карта векторов дает дискретное графическое представление о нем. Рисунки векторов и их протяженность, а также смена того и другого позволяют выделить или уточнить положение трассируемых на картах $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$ линейных элементов всех видов. Между расходящимися и сходящимися векторами проходят СЛ L_1 и L_2 соответственно. Линии II типа трассируются по узлам регулярной сети с экстремальными по протяженности векторами, а линии III типа — между узлами с наиболее отличающимися по длине направленными отрезками. Аналогично этому в рисунке векторов проявляются и могут быть зафиксированы важнейшие ХТ C_0^+ и C_0^- , а также C_1^+ , C_1^- , C_2^+ и C_2^- .

Карта модулей первой производной от высоты (глубины) ЗП на инструментальном уровне может строиться путем определения $|H'(x, y)|$ на изолинейной карте топографической поверхности в результате оценки заложений между горизонталями на одинаково удаленных друг от друга линиях тока. Для оценки $|H'(x, y)|$ на исходной карте с дискретными значениями $H(x, y)$ (например, на планшете промера с отметками глубин) последняя совмещается с картой линий тока. Каждое значение $|H'(x, y)|$ определяется для отрезка векторной линии, заключенного между двумя ближайшими точками с наблюдаемыми или интерполированными значениями $H(x, y)$ путем деления их разности на длину отрезка. Вычисленные таким образом значения $|H'(x, y)|$ или обратно пропорциональные им величины заложений отражаются на карте модулей градиентов топографической поверхности в виде изолиний.

В отличие от широко распространенных карт модулей градиентов анализируемых на площади параметров $[H(x, y)]$, амплитуд новейших движений и др.] *карты модулей второй производной* до сих пор использовались в геоморфологии и смежных дисциплинах редко. Примером этого является построение карты $|H''(x, y)|$ с целью трассирования по ней отличительных линий на шельфе [11]. Ее построению на инструментальном уровне предшествует определение $|H''(x, y)|$ путем деления разности значений $|H'(x, y)|$ в каждых двух расположенных на одной векторной линии точках на длину заключенного между ними отрезка.

Создаваемые на автоматизированном уровне карты $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$ рассматривались нами ранее [13].

§ 16. Выделение структурных линий и характерных точек в плане

СЛ трассируются в соответствии с опытом проведения осей геофизических аномалий на картах изоаномал, структурных и неоструктурных линий по структурным картам и картам новейшей тектоники [13] и отличительных линий — на батиметрической основе и картах $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$.

Все перечисленные линейные элементы (полей, структурных поверхностей и подводной поверхности шельфа) выделяются в качестве *линий плановой корреляции точек с экстремальными значениями тех или иных параметров*. Слово «корреляция» используется здесь в том же смысле, который вкладывается в понятие о кросс-корреляции значений поля на соседних профилях и в котором отождествляются при анализе геофизических полей термины «ось аномалии» и «ось корреляции» [Боровко Н. Н., 1971 г., и др.]. Под корреляцией в данном случае понимается не соотношение между разными параметрами одной поверхности (например, уклонами и расчлененностью ЗП) или одинаковыми параметрами нескольких поверхностей (например, при анализе соотношения структурных планов в осадочной толще [Бухарцев В. П., 1962 г.]), а пространственная связь между ОТ с экстремальными значениями $H(x, y)$, $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$ в пределах ограниченных по ширине зон разной вытянутости. Ось каждой такой зоны или линия плановой корреляции представляет собой СЛ — непрерывное множество или геометрическое место ОТ. Трассирование СЛ сводится к их непосредственному прослеживанию — последовательному приращению к каждой из них новых ОТ, для которых действительно условие экстремальности значений $H(x, y)$, $|H'(x, y)|$ или $|H''(x, y)|$ на перпендикулярах, восстановленных к направлению корреляции.

Для ОТ O_1 и O_2 направление корреляции называется гребнекилевым или осью Y , а перпендикуляры к геометрическому месту этих точек (СЛ L_1 и L_2) отражают поперечное направление или ось X в КС (см. § 17).

Рассмотрим приемы трассирования линейных элементов, различающиеся в зависимости от рисунков горизонталей, на примере выделения СЛ L_1 и L_2 на картах топографической поверхности (батиметрических картах). Следует оговорить, что все эти приемы могут быть полностью использованы для трассирования СЛ L_1 и L_2 на гипсо- или топографических картах, а также СЛ L_3 — L_6 на картах $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$ соответственно.

Уверенно СЛ могут быть проведены в соответствии с рисовкой изолиний при достаточном малых заложениях и сечении. По отношению к преобладающим простираниям они могут быть продольными, соответствующими по направлению коррелируемым формам ЗП (аномалиям градиентов), и поперечными или секущими их. Продольные линии трассируются по длинным осям линейных или вытянутых замкнутых и незамкнутых (выступов, заливов изоли-

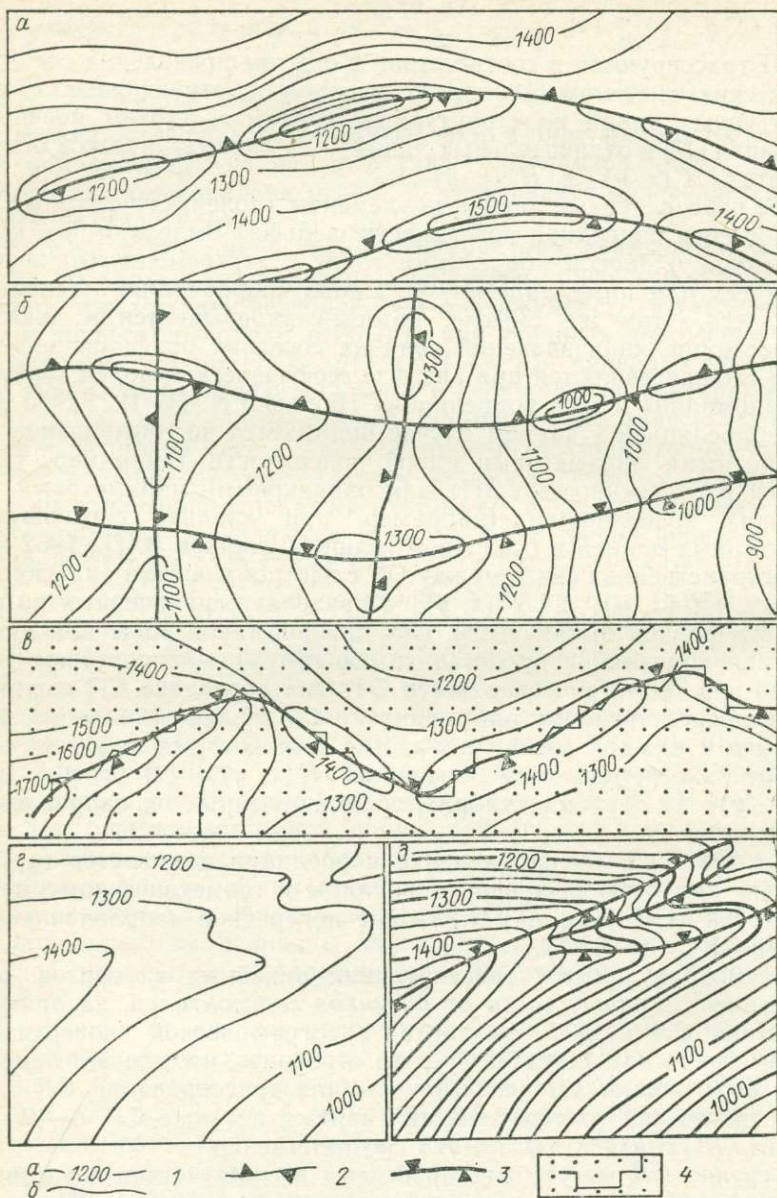


Рис. 13. Трассирование структурных линий в зависимости от рисунков горизонталей (а—д).

1 — горизонталы (изобаты, м): а — основные, б — дополнительные; 2 — гребневые линии; 3 — килевые линии; 4 — точки — отметки глубин и ломаная кривая, соединяющая точки с их экстремальными значениями $H(x, y)$.

ний) форм ЗП (аномалий градиентов) и разделяющим их седловинам (рис. 13, а). Поперечные линии, отражая обычно менее уверенную корреляцию, соединяют согласованные изгибы (ундуляции) ряда смежных продольных линий L_1 и L_2 (изменения значений градиентов на смежных линиях II и III типов). Эти изгибы и изменения выражаются в замыкании изолиний, а также в сужении и расширении форм (аномалий градиентов) в плане (рис. 13, б). При пересечении продольных и поперечных одноименных (одного вида) СЛ образуются ХТ C_{n-n} ($n=1, 2, \dots, 6$), а при пересечении однотипных линий, относящихся к разным видам, $C_{n-(n+1)}$ ($n=1, 3, 5$). Коррелируются также между собой цепочки положительных и отрицательных форм ЗП и аномалий.

Любой из линейных элементов может быть предварительно нанесен в виде ломаной линии, соединяющей точки, на которых экстремальные значения основных характеристик ЗП определены дискретно, с последующим ее сглаживанием (рис. 13, в). Сглаженная кривая отражает уточненное положение СЛ.

На участках потери корреляции (с редкими изолиниями; рис. 13, г) допускается увеличение числа изолиний за счет уменьшения сечения между ними (рис. 13, д). Это может осуществляться вплоть до полного выявления корреляции между ОТ, если таковая имеется и может быть обнаружена при данной точности исходного материала, аппаратурных (на автоматизированном уровне) или расчетных погрешностях.

Менее уверенная корреляция осуществляется по широким слабо выдающимся заливам («центриклиналям») и выдающимся выступам («периклиналям») изолиний, каждая из которых имеет дугообразную форму. Для трассирования по ним СЛ может быть использован простейший геометрический прием отыскания центра дуги окружности (рис. 14, а). На каждой дуге (отрезке изолинии) выбираются максимально отстоящие друг от друга три точки: A , B и C . Проводятся перпендикуляры ED и KL к отрезкам AB и BC через их середины. Точка пересечения этих перпендикуляров O есть центр искомой окружности. СЛ последовательно проводится через ОТ — центры дуг (дугообразных изолиний) окружностей (рис. 14, б). Совпадение в плане центров дугообразных изолиний и изолиний-окружностей означает, что в ограниченной ими части ЗП может быть проведено бесчисленное множество СЛ данного вида и все точки в ее пределах могут считаться отличительными с экстремальными значениями $H(x, y)$, а сама их плановая корреляция лишена какого-либо смысла (рис. 14, в) и единый центр приурочен к ХТ C_0^+ или C_0^- или к их аналогам C_1 или C_2 .

Отсутствие ОТ и, естественно, какой-либо корреляции между ними отмечается также на тех участках, где изменение одного из основных параметров ЗП выражается в прямолинейных субпараллельно расположенных изолиниях (рис. 14, г). На топографической поверхности к этим участкам относятся выдержанные по проектированию нерасчлененные склоны разной крутизны и протяжен-

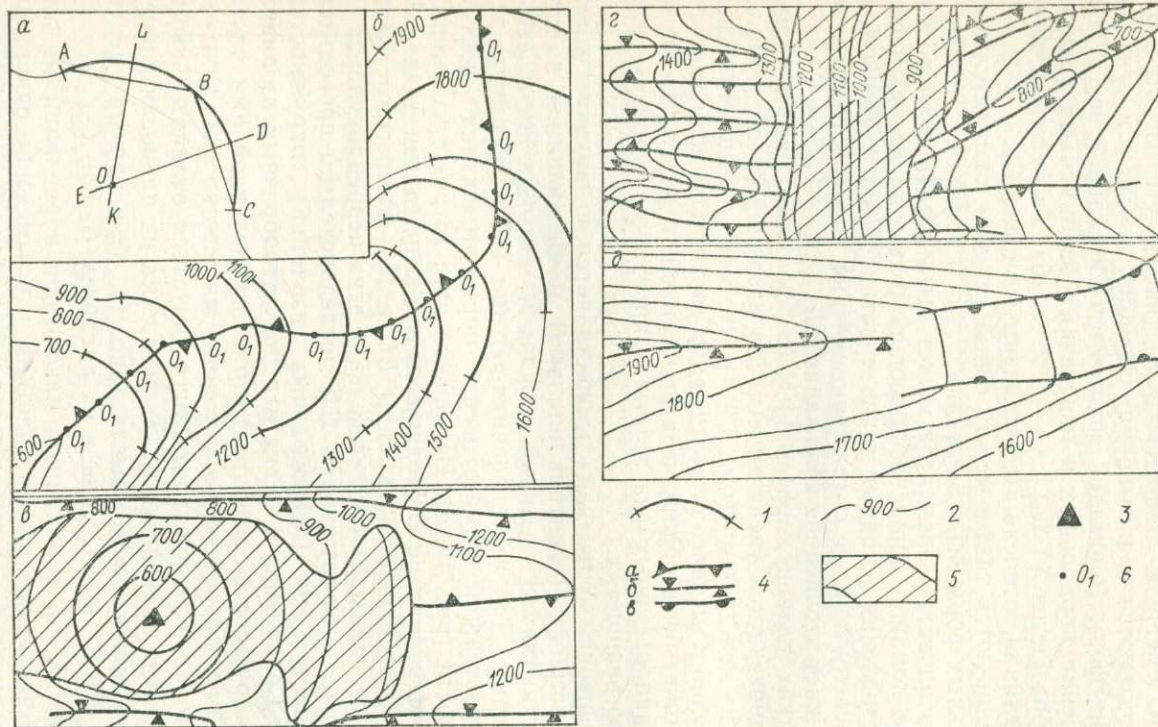


Рис. 14. Трассирование структурных линий в зависимости от рисунков горизонталей в условиях слабой корреляции отличительных точек (а—д).

1 — дуги — фрагменты горизонталей (изобат, м); 2 — горизонтали (изобаты, м); 3 — вершины C_0^+ ; 4 — структурные линии; а — гребневые, б — килевые, в — вогнутых перегибов; 5 — участки земной поверхности, где структурные линии I типа отсутствуют; б — отличительные точки O_1 .

ности, а на картах градиентов топографической и изоградиентной поверхностей — прямолинейные в плане зоны отсутствия изменения этих параметров вдоль основного направления изолиний при разных их изменениях в поперечном к нему направлении.

В геометрии недр [Рыжов П. А., 1964 г.] инвариантные линии (СЛ L_1 и L_2) определяются как геометрические места положительных и отрицательных минимумов радиусов кривизны; условно считается, что изогипсы и их радиусы кривизны положительные, если последние направлены внутрь фигуры (формы ЗП), и отрицательные, если радиусы направлены от фигуры.

Вытянутые формы ЗП фиксируются не только гребнями и клямами, но и венчающими их плосковершинными поверхностями P_{+5} и P_{6-} . На изолинейной карте трассирование линий L_1 и L_2 осуществляется только по острым или округлым вершинам заливов и выступов горизонталей. В тех случаях, когда эти формы выражаются ломаными горизонталями, составленными из прямолинейных отрезков (например, на днищах трогов, грабенов или на плосковершинных вытянутых останцах и горстах), вместо СЛ L_1 или L_2 по точкам переломов горизонталей проводятся СЛ L_5 или L_6 соответственно (рис. 14, д). Однако наличия острых или округлых вершин выступов и заливов горизонталей не всегда достаточно для проведения по ним СЛ L_1 или L_2 .

Эти СЛ и линейные элементы II и III типов трассируются также в зависимости от количества горизонталей и заложений между ними. На рис. 1 показано положение СЛ не только на профилях, но и в плане — в заложениях горизонталей. Сечение последних выбрано произвольно, но с таким расчетом, чтобы с исчерпывающей полнотой отразить в изобатах (изогипсах) морфологию каждого поперечного профиля. При этом учитывалось то обстоятельство, что заложения не должны превышать величины двух «шагов», с которыми снимались с профилей — графиков значения функции $H(x)$ для расчета двух ее производных.

При разработке методики морфологического профилирования (см. § 14) эмпирически установлено, что линии I типа могут практически выделяться на карте $H(x, y)$ только при условии, если отношение расстояния от намечаемой СЛ L_1 или L_2 до ближайшей горизонтали (e на рис. 15, а, б) к длине ближайшего заложения изобат f по оси X СКС (см. § 17) не превышает определенных значений. Для проведения СЛ I типа достаточно не менее двух горизонталей. Эмпирически установлено и принимается для гребневых линий соотношение $e_1/f_1 \leq 3$ (рис. 15, а), а для килевых — $e_2/f_2 \leq 3$ (рис. 15, б). Если указанные соотношения не выполняются, то СЛ L_1 или L_2 проведены быть не могут, а те части ЗП, на которых выделить и осуществить корреляцию ОТ O_1 и O_2 не удается, относятся к ЭП P_{+5} или P_{6-} соответственно (рис. 15, а, б).

Для проведения СЛ II типа на склонах последние должны быть охарактеризованы как минимум шестью горизонталями (рис. 15, в, г). Это число горизонталей позволяет сделать вывод о равномерности изменения уклонов или заложений между ними.

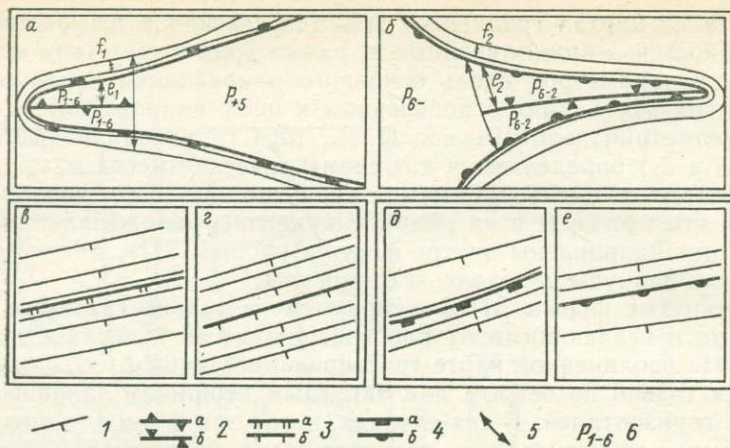


Рис. 15. Трассирование структурных линий в зависимости от заложений и числа горизонталей (а—е).

1 — горизонтали; 2—4 — структурные линии: 2 — I типа (а — гребневые, б — впадинные), 3 — II типа (а — максимальных, б — минимальных уклонов), 4 — III типа (а — выпуклых, б — вогнутых перегибов); 5 — боковые ограничения элементарных поверхностей — поперечные линии; 6 — индекс элементарных поверхностей.

Линия L_3 проводится между горизонталями с наименьшими заложениями между ними при условии, что по обе стороны от нее (вверх и вниз по склону) происходит равномерное увеличение заложений. СЛ L_4 трассируется между горизонталями с наибольшими заложениями между ними при условии равномерного уменьшения заложений по обе стороны от нее.

Изменение уклона на склоне можно проследить при минимальном числе горизонталей, равном четырем. Следовательно, трассирование СЛ III типа возможно лишь при условии как минимум этого числа горизонталей (рис. 15, д, е). СЛ L_5 и L_6 разделяют ЭП с существенно различными уклонами. Исходя из эмпирически установленных в § 14 соотношений значений функции $H'(x)$ заложения горизонталей на ограничиваемых этими линиями ЭП должны различаться не менее чем в 2 раза.

Минимальное число горизонталей, необходимое для трассирования СЛ всех типов, определяет требования к детальности исходного материала — изолинейной карты топографической поверхности.

Использование оптической техники позволяет построить карты $|H'(x, y)|$ и $H''(x, y)$ и протрассировать на них СЛ $L_3—L_6$, если будут выполнены:

а) выделение из исходной изолинейной карты $H(x, y)$ отрезков горизонталей, ориентированных в соответствии с направлением последовательно перемещающейся оптической щели, и фиксация их на серии карт избранных простираций [11], построенных, например, по 18 направлениям (через 10°);

б) оценка плотности одинаково ориентированных горизонталей, прямо пропорциональной значениям $|H'(x, y)|$, и отражение ее в изолиниях;

в) проведение фрагментов СЛ L_3 и L_4 на 18 картах избранных простираций и сложение их на единой основе — карте СЛ L_3 и L_4 ;

г) дифференцирование плотности с получением серии из 18 карт линий равных значений $|H''(x, y)|$, проведение на них фрагментов СЛ L_5 и L_6 и сложение их на карте линейных элементов III типа. При этом, однако, следует иметь в виду существенные «шумы», которые могут получаться в результате попадания в щель не только соответственно ориентированных ей горизонталей, но и всех изогипс (изобат), которые секут эту щель под разными углами. Максимальное проявление таких «шумов» надо ожидать на сложно построенных, сильно расчлененных участках ЗП.

При малом антропогенном воздействии на ландшафт для трассирования СЛ L_3 — L_6 могут быть использованы фотометрические карты, полученные в результате измерения оптических плотностей на космических снимках с помощью микроденситометров (см. § 13, 38).

Трассирование СЛ II и III типов с помощью карт линий тока на инструментальных уровнях картографирования осуществляется следующим образом. Линии тока проводят через примерно равные расстояния, достаточные для последующего трассирования СЛ L_3 — L_6 . Затем их совмещают с картой $H(x, y)$ для фиксации точек взаимного пересечения горизонталей с векторными линиями короткими штрихами (см. рис. 12, г). СЛ L_3 и L_4 проводят в результате соединения центров соответственно минимальных и максимальных по длине ограниченных соседними разноименными горизонталями отрезков на смежных линиях тока. СЛ III типа соединяют концы тех отрезков на смежных линиях тока, которые максимально отличаются друг от друга по длине. Если нижерасположенный на склоне такой отрезок короче соседнего, расположенного выше его отрезка, то через разделяющую их ОТ O_5 проходит линия L_5 , и наоборот, линия L_6 трассируется через ОТ O_6 , отделяющую относительно короткий, расположенный выше отрезок от более длинного, расположенного ниже отрезка линии тока.

Сравнение этого построения с результатами трассирования СЛ на основе только глазомерной оценки заложений между горизонталями показывает, что использование карт линий тока на инструментальных уровнях значительно повышает точность проведения СЛ (по сравнению с визуальным картографированием), делает эту операцию более строгой, контролируемой и воспроизводимой, что положительно отражается на качестве морфологической карты в целом.

Большинство ХТ фиксируется на карте СЛ и затем переносится на морфологическую карту автоматически в результате пересечения или сочленения трассируемых линейных элементов, в то время как для не выраженных пересечениями и сочленениями важней-

ших ХТ и вершин ундуляций СЛ L_1 и L_2 требуется анализ векторных полей и несложных дополнительных построений. Каждая из ХТ $C_0^+(C_1)$ и $C_0^-(C_2)$ на карте векторных полей является точкой схождения и расхождения соответственно центростремительно и центробежно направленных по радиусам линий тока (или векторов), а на картах $H(x, y)$ — единым центром вложенных друг в друга окружностей или дуг окружностей, которые описываются горизонталями. ХТ \bar{C}_{1-2} фиксируют точки сочленения радиально подходящих друг к другу СЛ L_1 и L_2 .

Для отыскания ХТ C_1^+ , C_1^- и C_2^+ , C_2^- следует определять геометрические центры последних (верхних или нижних) замкнутых вытянутых горизонталей на картах $H(x, y)$, а в случае диссимметричности форм ЗП строить профили сначала по СЛ L_1 или L_2 , а затем по перпендикуляру, восстановленному к ОТ O_1 или O_2 с экстремальными значениями $H(y)$ на первом профиле. ХТ C_0^+ и C_0^- , а также вершины ундуляций СЛ I типа отражаются, кроме того, в изменении направленности векторов или во взаимном положении асимптотически приближающихся к ним (подходящих или отходящих от них) векторных линий (см. рис. 12, б, в). Данные ХТ являются точками пересечения линий тока со СЛ L_1 и L_2 под углом в 90° .

ГЛАВА V

СТРУКТУРНАЯ КООРДИНАТНАЯ СЕТЬ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

§ 17. Ортогональная и структурная системы координат

Прежде чем продолжить описание технологии морфологического картографирования, следует остановиться на организации геоморфологического пространства, без чего не могут быть рассмотрены вопросы об анизотропии рельефа и членении ЗП на площадные элементы.

Для оценки анизотропии, привлечения аппарата симметрии, создания и сравнения морфодинамических моделей ортогональная сеть параллелей и меридианов использована быть не может. Отказ в данном случае от географических координат оправдан тем, что искусственно созданная система последних не способствует изучению структуры ЗП*. Неоднократно отмечаемые в географии [Бунге В., 1967 г.; Харвей Д., 1974 г.; Боков В. А., 1977 г.] недостатки использования географических координат в качестве координат географического пространства имеют прямое отношение как

* Возможно, за исключением установления взаимных соотношений между элементами планетарного рельефа, генетически связанного с ротационным режимом Земли (критические параллели и меридианы, общепланетарная сеть линеаментов).

к структуре ЗП, так и к отраженным в ней рельефообразующим процессам. В геологии также приходят к выводу [22] о том, что традиционные представления об ортогональном пространстве не являются единственно возможными и что, в частности, было бы неверно, да и вряд ли осуществимо изучать симметрию геологических структур в этой системе координат. По сути дела, на этих позициях уже давно стоят исследователи трещинных коллекторов нефти и газа, изучающие изменения в пространстве их различных характеристик не относительно ортогональной системы координат, а по отношению к элементам залегания слоев и геологических дислокаций.

Все это, и прежде всего независимость морфологических элементов от географических координат, свидетельствует о целесообразности изучения их взаимного положения не в абстрактном по отношению к каждому участку ЗП, организованном человеком для решения других задач ортогональном, геодезическом, пространстве, а в конкретном, определяемом самой структурой данного участка *геоморфологическом пространстве*, характеризующемся местными или структурными координатами. Называя такие координаты местными, мы не вступаем в противоречия с утверждением о необходимости разработки универсальных принципов и методики структурного анализа, единых для всей ЗП, и не исключаем, а, наоборот, обеспечиваем возможность сравнимости его результатов и выделяемых в итоге его проведения ГМС друг с другом. Местными эти координаты названы только в том смысле, что они в каждой точке ЗП могут принимать самое разное положение относительно привычной и общей для всей Земли системы географических координат. Единство местной или структурной координатной сети, обеспечивающее универсальность структурного анализа рельефа и повсеместную сравнимость его результатов, заключается в том, что в каждой точке и на каждом ограниченном участке ее оси представлены одними и теми же направлениями в структуре ЗП.

Решая вопрос о СКС, следует иметь в виду рекомендацию Б. М. Петрова [22] о том, что в общем случае такая *система координат должна связывать вектор напряженности и положение эквипотенциальных поверхностей действующего в изучаемом пространстве силового поля*. В структурной геологии эта система представлена двумя направлениями, характеризующими залегание слоев (азимуты простираения и падения). Однако эти направления применяются (за уже отмеченным исключением в учении о трещинных коллекторах) в качестве не самостоятельной координатной сети, а лишь вспомогательных образов, позволяющих привязать залегание слоев к системе географических координат. Данные направления нельзя использовать для определения не только взаимного планового соотношения элементов складок, но и положения каждой из них по отношению к географическим координатам. Азимуты простираения слоев и простираения дислокаций часто отражают совершенно разные углы, которые на шарнире и периклиналях (центриклиналях) последних могут различаться на 90° .

По отношению к рельефу реализация этих рекомендаций не вызвала бы особенных трудностей. Одно из двух взаимно перпендикулярных направлений в этом случае проявлялось бы в линиях тока, а другое в горизонталях — линиях пересечения эквиравитационных поверхностей с ЗП. Однако *такая координатная сеть не является универсальной и не может повсеместно обеспечить необходимую основу для структурного анализа рельефа*. Следуя по представляющим два ее направления регистрирующим линиям (см. § 12), нельзя получить исчерпывающую информацию о взаимных пространственных соотношениях между всеми морфологическими элементами.

Так как линии тока в большинстве случаев не могут пересекать СЛ L_1 и L_2 (см. § 16), токовое направление, полно отражающее взаимное положение СЛ $L_3—L_6$ и членов в сочетаниях В, не является информативным в отношении пространственных связей СЛ L_1 и L_2 и ограниченных ими важнейших вдольребневых и вдолькилевых ЭП (членов в сочетаниях А, С, АВ, ВС и АВС). Иными словами, векторные линии не могут повсеместно выступать в качестве регистрирующих.

Горизонтالي, хотя и секут СЛ I типа, часто вообще не пересекают и поэтому «не регистрируют» СЛ $L_3—L_6$ (члены сочетаний В). Практически по отношению ко всем линейным и площадным элементам ЗП основные направления горизонталей в большинстве случаев также нельзя считать информативными, так как по ним невозможно фиксировать пространственные связи между СЛ, ЭП и членами сочетаний. Данное обстоятельство определяет стремление изучать геоморфологическое (геологическое, ландшафтное и др.) строение по профилям, ориентированным не вдоль, а вкрест основному направлению изолиний. Информативность основного направления горизонталей как регистрирующих линий возрастает лишь на относительно крутых и сильно расчлененных склонах, где горизонтали секут осложняющие эти склоны контрастно выраженные СЛ L_1 и L_2 и сопровождающие их линии $L_3—L_6$.

На таких склонах токовое и эквиравитационное направления дают в своей совокупности наиболее полную информацию о составе и структуре ЗП. Однако в целом удобный лишь в техническом отношении (не требующий специальных построений) *выбор линий тока и горизонталей в качестве осей СКС и регистрирующих линий нельзя признать оптимальным*.

Учитывая малую информативность этих направлений на всех прочих участках ЗП, невозможность использования состоящей из горизонталей и векторных линий сети для последующего структурного анализа и сравнения ГМС, а также опыт геоморфологических исследований (в частности, профилирования), *под СКС предлагается понимать сеть из: а) линейных элементов L_1 и L_2 и дополняющих их линий, в совокупности представляющих гребне-килевое направление (или ось Y) и б) поперечных линий, проведенных по нормали к касательным в любой ОТ на СЛ I типа и в любой точке на дополнительных линиях и представляющих поперечное*

направление (или ось X). Наряду с этими латеральными осями в СКС имеется *третье направление геоморфологического пространства*, которое (так же как в ортогональной системе координат) является *нормальным по отношению к поверхности геоида (ось H)*.

Гребне-килевое направление отражает простираания и взаимные соотношения главных каркасных элементов ЗП—СЛ L_1 и L_2 , фиксирующих пространственные связи между ОТ с экстремальными значениями $H(x, y)$, а через них — между всеми (в том числе важнейшими) вершинами и вершинами-узлами и площадными элементами групп А и С. Фиксация и анализ гребне-килевого направления играют важнейшую роль при выявлении общих пространственных соотношений между точечными, линейными и площадными элементами, а также в выделении и ограничении ГМС. На наиболее распространенных участках развития вытянутых и линейных контрастных форм ЗП СЛ L_1 и L_2 , близкие по своим направлениям или субпараллельные горизонталям, контролируют простираания СЛ $L_3—L_6$ и одновременно с этим пересекают их на торцевых окончаниях данных форм, а также на неглубоко расчлененных склонах разной крутизны. В пределах последних направление Y , приближаясь к простирааниям векторных линий, обеспечивает исчерпывающую информацию о пространственных связях между СЛ $L_3—L_6$ и заключенных между ними собственно склоновых ЭП (в сочетаниях группы В).

Таким образом, гребне-килевое направление образует с токовым разные углы. На территориях с линейными и вытянутыми формами ЗП, фиксируемыми теоретически мыслимыми и редко встречаемыми в природе отрезками СЛ I типа с $H(y) = \text{const}$ (а также в ХТ C_1^+ , C_1^- , C_2^+ и C_2^-), эти углы равны 90° . По мере увеличения уклонов СЛ I типа $||H'(y)||$ по отношению к уклонам в поперечном направлении $||H'(x)||$ угол между гребне-килевым и токовым направлениями уменьшается, приближаясь на слабо расчлененных и крутых склонах (со слабой корреляцией ОТ O_1 и O_2) к нулю. На нерасчлененных прямолинейных склонах оба эти направления сливаются в единое, токовое, направление.

Используя представления об анизотропии рельефа (см. § 19), можно сказать, что при переходе из районов с положительной анизотропией в районы с отрицательной анизотропией гребне-килевое направление меняет свою информативность в отношении пространственных связей между элементами и регистрации этих элементов и их сочетаний. В пределах первых оно может быть использовано в структурном анализе рельефа как эквигравитационное, а во вторых — как токовое. Учитывая все это, следует считать, что на участках ЗП, где СЛ L_1 и L_2 не выделяются (прямолинейные нерасчлененные склоны, изометричные формы ЗП), гребне-килевое направление представлено векторными линиями (превращается в токовое). Морфодинамический смысл такого взаимоотношения между гребне-килевым и токовым направлениями заключается в том, что линии тока являются потенциальными трассами, по

которым могут быть заложены тальвеги долин разного генезиса, или разделяющими последние водоразделами, ледоразделами и гребнями другого происхождения.

Для выявления и анализа структуры ЗП не меньшее значение имеет *поперечное направление*. На участках с малыми общими уклонами и вытянутыми контрастными формами (с большой положительной анизотропией) по поперечному направлению могут фиксироваться все элементы ЗП и соотношения между ними. Это направление по своей информативности не только близко к токовому, но и превышает его, так как поперечные линии пересекают линейные элементы всех видов вне зависимости от поведения функции $H(y)$. При переходе на слабо расчлененные склоны (участки со слабой плановой корреляцией OT O_1 и O_2 или с меньшей и тем более с отрицательной анизотропией) поперечное направление меняет информативность и по своей «специализации» в отношении регистрации элементов ЗП и пространственных связей между ними приближается к эквигравитационному. Для участков ЗП, где СЛ L_1 и L_2 не выделяются, поперечное направление совпадает с основным простираем горизонталей и представлено изогипсами или изобатами.

Таким образом, *обе латеральные оси СКС при изменении анизотропии рельефа меняют свою «специализацию» и информативность в противоположных направлениях*. Снижение информативности одной из них в отношении фиксации определенных элементов и их пространственных связей компенсируется увеличением таковой по другой оси. В итоге при описании, проведении структурного анализа рельефа и количественной оценке различных характеристик ЗП сразу по двум направлениям может быть получена исчерпывающая информация о составе и пространственных соотношениях между всеми морфологическими элементами.

При этом СКС представлена хотя и менее удобной для привязки совокупностью чаще всего кривых (а не прямых) линий, она *в целом адекватно отражает основные черты структуры ЗП*, что широко используется нами в структурном анализе рельефа. Используя эту сеть, положение тех или иных элементов относительно важнейших СЛ можно определить непосредственно, а не через их соотношение с ортогональной системой координат.

Криволинейная СКС находится в строгом соответствии с криволинейным геоморфологическим пространством, для которого прямые линии являются скорее исключением, чем правилом. Именно на исключительном характере прямолинейности в рельефе основаны геоморфологические приемы выделения разрывных нарушений.

§ 18. Построение и использование структурной координатной сети

Построение СКС заключается в проведении дополнительных линий и восстановленных к ним и к СЛ I типа поперечных линий. В связи с тем что СЛ L_1 и L_2 могут находиться на значительном

удалении друг от друга и их редкая сеть не дает полного, повсеместного и равномерного по территории представления о системе Y (рис. 16, а), карта СЛ L_1 и L_2 обогащается *дополнительными линиями с помощью интерполяционной палетки*. Палетка, сделанная на прозрачной жесткой основе и имеющая форму равнобедренного треугольника (рис. 16, б), каждый раз устанавливается на карте СЛ L_1 и L_2 таким образом, чтобы: а) ее средняя линия (биссектриса меньшего угла треугольника) проходила в направлении, по возможности близком к простираению двух СЛ, между которыми проводятся дополнительные линии, б) равные, боковые, стороны треугольника касались этих линейных элементов в точках, которые соединяются на палетке одной из прямых, параллельных основанию треугольника. Разные по длине отрезки прямых, заключенные между смежными СЛ, делятся на палетке на равное число с фиксацией разделяющих эти части точек. Значение делителя на палетке устанавливается в зависимости от детальности исследования и требуемой густоты линий СКС. Перемещение палетки между смежными СЛ позволит без измерений и вычислений и с необходимой точностью определять и фиксировать (накальвать) точки, разделяющие на равные отрезки кратчайшие расстояния между СЛ I типа. В результате соединения наколотых и находящихся на достаточно близком расстоянии друг от друга точек в направлении Y проводятся ломаные кривые, которые после сглаживания могут рассматриваться в качестве линий, дополняющих линейные элементы L_1 и L_2 для равномерного и повсеместного отражения системы Y .

Сеть структурных и дополнительных линий используется для проведения *поперечных линий*, которые трассируются аналогично линиям тока на достаточно малых (для полного отражения системы X), равных или близких друг к другу расстояниях путем последовательного приращения перпендикуляров к структурным и дополнительным линиям (к их касательным). Поперечные линии могут быть проведены с помощью *дуговой палетки* (рис. 16, в). Палетка перемещается под прозрачной основой с нанесенными на ней дополнительными и структурными линиями и совмещается с ними так, чтобы в каждой точке линии совпадали с одной из дуг окружностей, проведенных из единого центра (вершины палетки). Проходящий через эту точку радиус в ближайшей ее окрестности будет частью поперечной линии, которая последовательно восстанавливается при переходе от одной структурной (дополнительной) линии к другой. В результате этого образуются ломаные кривые, которые после сглаживания используются в качестве поперечных линий, в своей совокупности отражающих систему X .

На участках отсутствия СЛ I типа направление Y выражено векторными линиями, а направление X — горизонталями топографической поверхности. Следует также указать на особенности построения СКС на тех участках ЗП, где фиксируются плосковершинные нижние и (или) верхние площадные элементы. Если ЭП

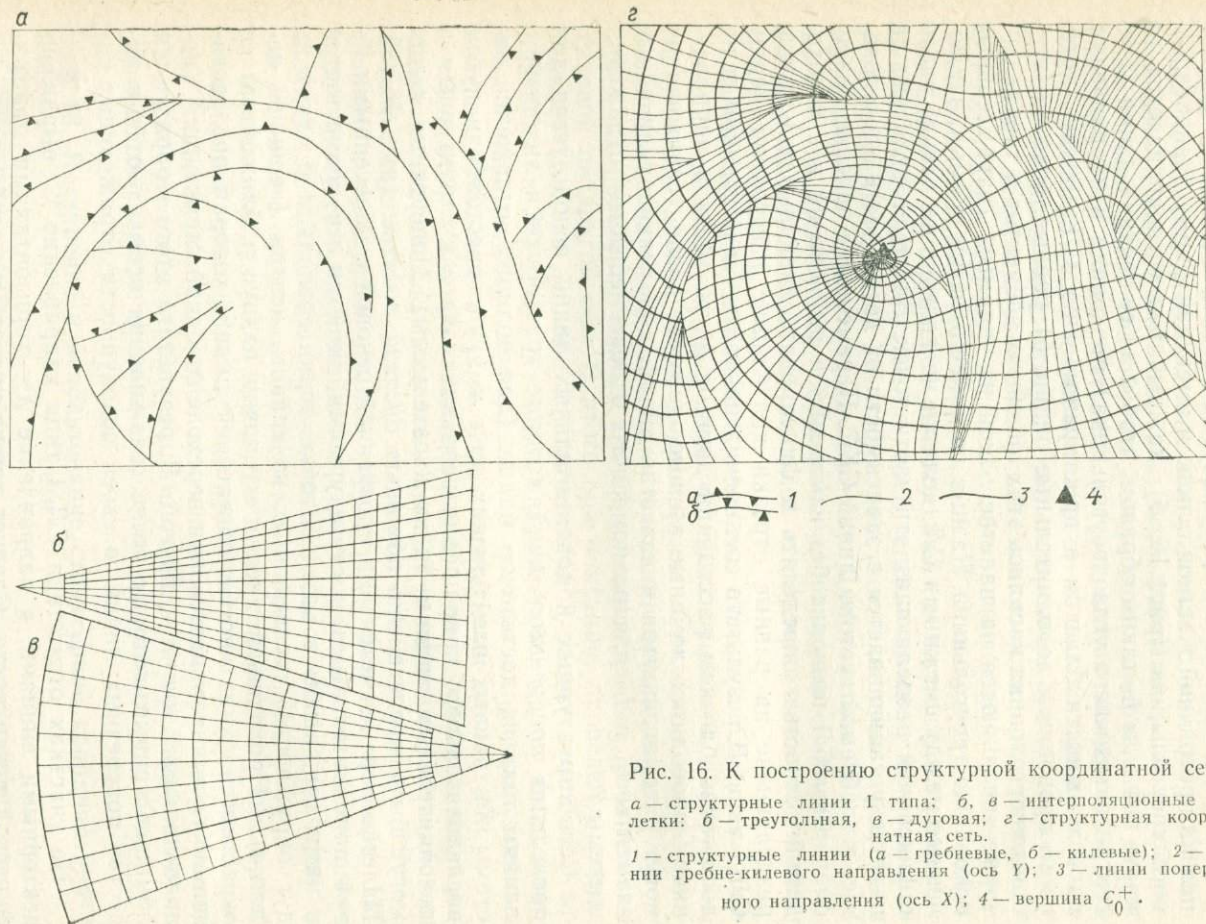


Рис. 16. К построению структурной координатной сети.

a — структурные линии I типа; b, v — интерполяционные палетки: b — треугольная, v — дуговая; z — структурная координатная сеть.

1 — структурные линии (a — гребневые, b — килевые); 2 — линии гребне-килевого направления (ось Y); 3 — линии поперечного направления (ось X); 4 — вершина C_0^+ .

P_{+5} и P_{6-} изометричны в плане (например, на гайотах или в бессточных котловинах), то ограничивающие их линии L_5 и L_6 следует рассматривать в качестве аналогов поперечных линий, к которым восстанавливаются линии системы Y до их пересечения в особой точке n_y (об особых точках и линиях см. § 22). Для широко распространенных вытянутых в плане нижних (например, днища трогов, грабенов) и верхних (например, останцы денудационных плато, горсты) площадных элементов P_{+5} и P_{6-} среднюю (медианную) линию между двумя ограничивающими эти поверхности СЛ L_5 или L_6 следует считать аналогом СЛ L_1 или L_2 .

СКС может иметь самые разнообразные рисунки. Примером сложного рисунка является построенная сеть структурных, дополнительных и поперечных линий (рис. 16, z), отражающая концентрическое, радиальное и взаимно перпендикулярное положение СЛ L_1 и L_2 на рис. 16, a .

Построение СКС осуществляется на карте СЛ и ХТ (на визуальном и полуинструментальном уровнях) или на карте СЛ L_1 и L_2 и ХТ (на инструментальном и автоматизированном уровнях) в результате: а) проведения дополнительных линий; б) фиксации особых * точек в системе $Y(n_y$ и $2_y)$, в) выделения среди структурных и дополнительных линий особых * линий m_y , m_y и m_y ; г) проведения поперечных линий; д) фиксации особых точек (n_x и 2_x) и линий (m_x , m_x и m_x) в системе X ; е) отражения стрелками направлений падения линий СКС. При этом предусматривается принадлежность одной особой линии к двум расположенным по обе стороны от нее фигурам СКС разного типа (см. § 22). Для отражения направлений X и Y СКС, а также входящих в них особых линий и точек в легенде к морфологической карте предлагается специальная система условных знаков.

Говоря о значении СКС в морфодинамическом анализе, следует прежде всего отметить, что она является основой для выделения, ограничения, сравнения и систематики ГМС, а также морфодинамических систем по структурному и структурно-динамическому признакам (часть четвертая). Рисунки СКС являются предметом структурного анализа и динамической интерпретации, в результате которых решаются вопросы о кинематических особенностях участвующих в рельефообразовании геологических процессов — их направленности и локализованности.

Если система географических координат разработана в целом для планеты, выступающей в качестве естественной системы отсчета, то полная группа идеальных рисунков СКС (см. § 22) представляет собой перечень сопутствующих систем отсчета, для каждой из которых может быть разработана своя система координат. Во избежание отмеченного В. Ю. Забродиным [1981 г.] часто неправильного понимания этих двух терминов (системы отсчета и

* Особые точки и линии рассмотрены в § 22.

координат) укажем на то, что сопутствующие системы отсчета для целей морфодинамического анализа являются естественными, так как они связывают определенное положение точки (объекта) и (или) ее перемещение относительно структуры ЗП на каждом данном участке.

Значение СКС в геоморфологических исследованиях определяется еще и тем, что она, с одной стороны, сама *отражает главные особенности структуры ЗП* (латеральные и вертикальные взаимоотношения между важнейшими элементами; см. § 22, 23), а с другой — позволяет осуществить целый ряд приемов и построений, входящих в арсенал структурного анализа рельефа. К таковым относятся использование аппарата симметрии, составление карты анизотропии рельефа, регистрация сочетаний и рядов и определение взаимных угловых соотношений между СЛ L_1 и L_2 и $L_3—L_6$.

Оценивая в целом роль СКС, важно отметить, что только она *обеспечивает однозначность качественного описания и количественной оценки геоморфологических характеристик*, значения которых в связи с неоднородной анизотропией рельефа (см. § 19) зависят от направления их фиксации или измерения. Форма и структура кристаллов, их физические характеристики и свойства не могут быть описаны и изучены без создания своей координатной сети — совокупности кристаллографических и кристаллофизических осей (для разных метрических систем: триклинной, моноклинной, ромбической и др.). Аналогично этому утверждать с определенностью, что рельеф характеризуется теми или иными значениями любого показателя, можно лишь предварительно условившись о выборе осей (направлений), а затем указав, вдоль какой из них он измерен. Для морфометрических преобразований обычно используются «изотропные» операторы (сетки, палетки), не согласующиеся с повсеместной анизотропией рельефа (см. § 4). Эта анизотропия учитывается только при составлении профилей вкрест простирания основных морфотектонических образований или речных долин. «Анизотропные» операторы используются в геоморфологии лишь при составлении карт избранных простираний или при оценке уклонов и расчлененности на абразивно-аккумулятивных поверхностях шельфа [11].

Результаты измерений (фиксации) морфологических характеристик рельефа оказываются сопоставимыми только в тех случаях, когда они отнесены к регистрирующим линиям, представляющим одну и ту же систему (одно направление) СКС, или к этой стандартным образом установленной сети в целом. Измерения морфометрических характеристик и закодированные описания, выполненные без соблюдения данного требования, не имеют большой цены, особенно когда речь идет об «изометричных» операторах, прилагаемых к рельефу с высокой анизотропией, и об «анизотропных» преобразованиях по произвольно расположенным профилям. Последнее наиболее распространено при морфометрических исследованиях рельефа океанического дна, которые осуществляются по

эхограммам галсов, ориентированных вне зависимости от структуры ЗП.

И наконец, что очень важно, СКС используется *при качественной или количественной оценке сходства ГМС* на частных (эталонных, экспериментальных, теоретических) и региональных морфодинамических моделях. Такая оценка возможна лишь при условии, если морфологические карты (схемы), отражающие состав и структуру сравниваемых ГМС, будут одинаково сориентированы относительно направлений X и Y при их совмещении друг с другом.

§ 19. Анизотропия рельефа

Для ограничения и индексации верхних и нижних ЭП необходимо определение анизотропии рельефа, выполнение которого возможно на основе представлений об СКС.

Анизотропия и симметрия являются основными взаимосвязанными характеристиками структуры ЗП. Эти понятия, разработанные в кристаллографии, в настоящее время широко используются в физике, химии и биологии и лишь недавно начали проникать в другие геолого-географические науки [22, 39]. Если применительно к телу (кристаллу) под анизотропией (изотропией) понимается зависимость (независимость) оптических, механических и других свойств от направления соответствующих физических воздействий, то для рельефа понятие «анизотропия» отражает зависимость изменения значений главного параметра ЗП $[H(x, y)]$ от направлений, по которым они измеряются. Анизотропия в природе тесно связана с симметрией. Чем выше симметрия у кристаллов, тем они более изотропны. Абсолютно изотропными, например, являются шаровые формы простейших организмов (живущих во взвешенном состоянии в воде) или минеральных конкреций. Те и другие развиваются соответственно или при минимальном воздействии на них гравитационного поля Земли, или в результате резкого преобладания над последним электростатических кулоновых сил [39].

В обычных условиях субаэрального и субаквального рельефообразования развитие форм ЗП, для которых были бы характерны симметрия шара и полная изотропия, исключается. Земное тяготение практически повсеместно определяет анизотропию в изменении $H(x, y)$. Об изотропном изменении этого параметра можно говорить только применительно к вершинам C_0^+ и C_0^- , венчающим изометричные положительные и отрицательные формы ЗП. Господство анизотропии в рельефе проявляется в том, что он практически повсеместно представлен склонами разных масштабов и направлений, в том числе склонами изометричных в плане форм. Изменение $H(x, y)$ в любой их точке будет наибольшим в направлении линии тока, равняться нулю в направлении линии уровня — горизонтали (на прямолинейных склонах) или наименьшим в направлении, касательном к горизонтали (на криволинейных склонах).

В отличие от однородных анизотропных сред, в пределах которых зависимость физических свойств от направлений соответствующих воздействий одинакова в ее различных точках, рельеф характеризуется *неоднородностью в отношении анизотропии*, которая проявляется в разной и меняющейся ориентировке разнонаправленных склонов (выдержанных по простиранию) и нерасчлененных склонов, являющихся хотя и анизотропными, но однородными в отношении анизотропии. В пределах такого склона зависимость изменения $H(x, y)$ от выбранных постоянных направлений одинакова в любой его точке. На всех остальных частях ЗП изменение $H(x, y)$ по одним и тем же постоянным направлениям в разных и даже близко расположенных точках различное.

Неоднородность анизотропии, присущая не только рельефу, но и всем геофизическим полям, определила трудности ее количественной оценки и специального анализа как в геофизике, так и в геоморфологии. Казалось бы, можно задаться какими-либо двумя условно выбранными постоянными направлениями и для каждой точки, определяя по ним изменения интересующих нас параметров, оценивать отношение этих изменений друг к другу. Однако распределение такого коэффициента по площади не дало бы должной характеристики анизотропии ни рельефа, ни какого-либо потенциального поля вследствие их неоднородности.

В геофизике термин «анизотропия» иногда используют для отражения вытянутости аномалий. При изучении и районировании геофизических полей устанавливаются (обычно на глаз) степень, наличие или отсутствие вытянутости аномалий, в то время как слабо выраженная (неявная) их вытянутость, представляющая возможно не меньший практический интерес, пропускается. Вытянутость аномалий определяется визуально путем разделения полей на линейные, полосовые, изометричные и др. В тектонике удлиненность пликативных структур, по сути дела, является главным морфологическим критерием их систематики. По отношению длинной оси к короткой эти дислокации делятся на куполовидные, брахиантиклинальные, антиклинальные (или изометричные, вытянутые и линейные). Этот же принцип иногда используется при разделении морфоструктур, например, на ареальные (изометричные) и линейные [Дибнер В. Д., 1978 г.].

Если анизотропия геофизического поля содержит информацию об анизотропии геологических объектов, с которыми связаны те или иные аномалии, то *анизотропия рельефа отражает рельефообразующий эффект разных по направленности геологических процессов*. Этим определяется значение данной характеристики при анализе и динамической интерпретации структуры ЗП.

Степень вытянутости той или иной формы ЗП в определенной мере выражается протяженностью каждой из СЛ L_1 или L_2 , а также расстоянием между смежными близкими по простиранию линиями I типа. Данные характеристики не нуждаются в специальной количественной оценке, а факт существования линий L_1 и

L_2 уже свидетельствует об анизотропном изменении $H(x, y)$. Однако степень вытянутости форм ЗП (так же как геологических дислокаций и аномалий ΔT и Δg) не характеризует анизотропию рельефа (геологической структуры, потенциального поля), а лишь отражает (и то не полностью и качественно) изменение $H(x, y)$ в одном направлении СКС (по оси Y). Эта характеристика не позволяет оценивать и сравнивать анизотропию на различных по контрастности формах ЗП. Ведь зависимость изменения $H(x, y)$ от направлений будет разная, например на равных по вытянутости, но разных по относительным превышениям формах ЗП.

Наиболее полно отражает анизотропию рельефа показатель, с помощью которого соотносятся изменения $H(x, y)$ по двум направлениям СКС. Целесообразность рассмотрения *двух латеральных осей СКС в качестве осей анизотропии* определяется тем, что именно по ним наиболее существенно различаются изменения $H(x, y)$. Обе оси СКС повсеместно отражают одни и те же направления в структуре ЗП и однозначно выделяются, что обеспечивает сравнимость полученных значений показателя анизотропии рельефа любого генезиса.

Количественная оценка различий в изменении $H(x, y)$ по двум направлениям СКС одновременно решает задачи морфологического картографирования (выделения ЭП) и структурного анализа рельефа. При этом определяются, во-первых, теснота латеральных связей между ОТ O_1 и O_2 или степень (уверенность) их плановой корреляции, осуществляемой при трассировании линий L_1 и L_2 и, во-вторых, отношения между ЭП, которые могут быть или ограниченными разными по своей морфологической выраженности СЛ I типа, или включать в себя их отдельные фрагменты. Чем выше анизотропия или чем ярче выражены в морфологии рельефа линии L_1 и L_2 , тем теснее связи ОТ O_1 и O_2 по латерали и тем четче отделяются друг от друга ЭП P_{1-n} и P_{n-2} . Слабая морфологическая выраженность отдельных линий L_1 и L_2 или их фрагментов приводит к тому, что эти линии уже не могут выполнять функции границ (линий, ограничивающих верхние и нижние ЭП), а лишь осложняют площадные элементы разных видов (линии, осложняющие ЭП). Данное разделение линий I типа на две категории имеет большое значение при картографировании состава и структуры ЗП и поэтому отражено специальными знаками в легенде морфологической карты (см. § 20).

Анизотропию рельефа можно оценивать на изолинейной карте топографической поверхности, наложенной на карту СКС. Сначала оценим эту характеристику в точках пересечения горизонталями линий L_1 и L_2 . В каждой из них определяется изменение абсолютной высоты (глубины) по соответствующей СЛ $[|H'(y)|]$, уклон продольного профиля формы ЗП по линии L_1 или L_2 и по восстановленной к ней нормали $[|H'(x)|]$, уклон поперечного профиля формы ЗП.

Для точки M_4 (рис. 17, а) характерна относительная изотропия. Относительной она названа, чтобы отличить ее от абсолютной

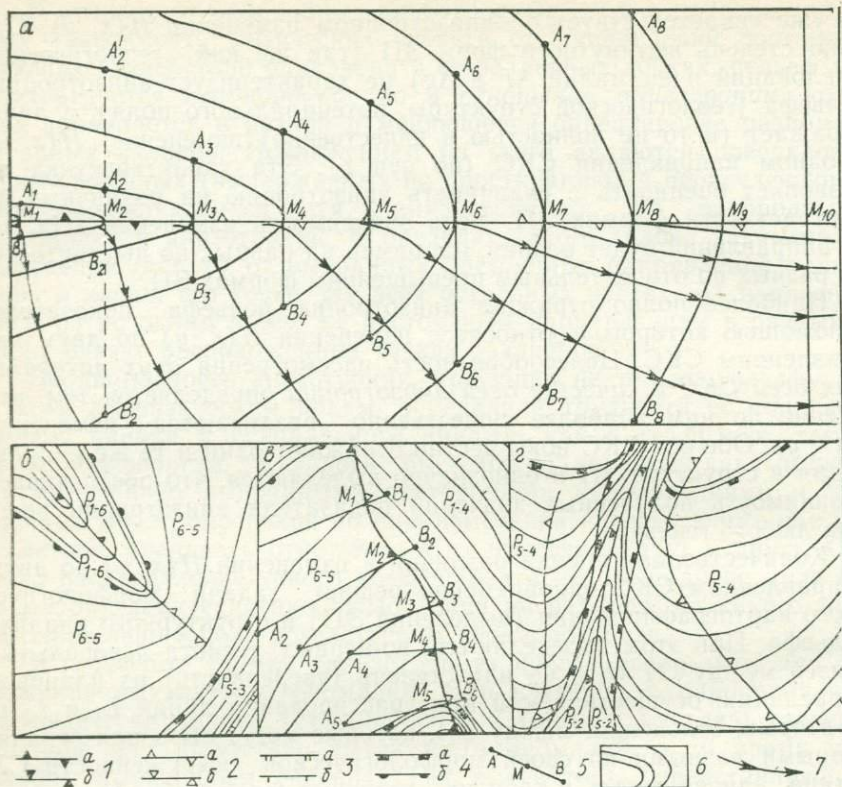


Рис. 17. Оценка анизотропии рельефа и выделение элементарных поверхностей (а-б).

1—4—структурные линии: 1—гребневые L_1 (а) и килевые L_2 (б), ограничивающие элементарные поверхности, 2—гребневые L_1 (а) и килевые L_2 (б), осложняющие элементарные поверхности, 3—максимальных L_3 (а) и минимальных L_4 (б) уклонов, 4—выпуклых L_3 (а) и вогнутых L_4 (б) перегибов; 5—поперечные линии и точки их пересечения с гребневыми или килевыми линиями (M_i) и одноименными горизонталями (A_i, B_i); 6—горизонтали; 7—линии тока.

изотропии в ХТ C_0^+ и C_0^- , по отношению к которым можно сказать, что $H(x, y)$ изменяется одинаково в любом исходящем из этих точек направлении, а не только в направлениях X и Y СКС. В точке M_4 уклон продольного профиля $[|H'(y)|]$ равен уклону поперечного профиля $[|H'(x)|]$, что на изолинейной карте выражается в равенстве отрезков $M_4M_5 = M_4A_4 = M_4B_4$. В точках M_1, M_2 и M_3 уклоны продольного профиля меньше уклонов поперечного профиля $[|H'(y)| < |H'(x)|]$. Отрезки M_1M_2, M_2M_3, M_3M_4 длиннее отрезков M_1A_1, M_2A_2, M_3A_3 и M_1B_1, M_2B_2, M_3B_3 . Анизотропия в изменении $H(x, y)$ для подобных фрагментов СЛ L_1 и L_2 , фиксирующих вытянутые (положительные и негативные) формы ЗП с более крутым поперечным и относительно его более пологим продольным профилями, может быть названа положительной и оце-

нена с помощью коэффициента $K_{ан} = 1 - |H'(y)|/|H'(x)|$. Учитывая обратно пропорциональную зависимость между уклонами продольного и поперечного профилей и соответственно длинами l отрезков $M_i M_{i+1}$, $M_i A_i$ (или $M_i B_i$), а также частую диссимметрию форм ЗП ($l_{M_i A_i} \neq l_{M_i B_i}$), этот коэффициент удобнее определять по формуле

$$K_{ан} = 1 - l_{A_i B_i} / (2l_{M_i M_{i+1}}).$$

В точках M_5, M_6, \dots, M_9 продольный профиль вытянутой формы круче поперечного. Анизотропия для таких фрагментов СЛ может быть названа отрицательной и оценена коэффициентом

$$K_{ан} = |H'(x)|/|H'(y)| - 1 = 2l_{M_i M_{i+1}} / l_{A_i B_i} - 1.$$

Коэффициент анизотропии вычисляется с определением $|H'(y)|$ и $|H'(x)|$ в точке M_i для любых отрезков СЛ и восстановленного к ней перпендикуляра, ограниченных одноименной горизонталью. Так, значение $K_{ан}$ для точки M_2 (рис. 17, а) определяется следующим образом:

$$K_{ан} = 1 - l_{A'_2 B'_2} / (2l_{M_2 M_5}).$$

$K_{ан} = 1$ на тех мыслимых участках линий L_1 или L_2 , вдоль которых не происходит изменения $H(y)$ [$|H'(y)| = 0$]. $K_{ан} = -1$ можно представить для крайних точек на линиях I типа (точка M_{10} на рис. 17, а), ниже или выше которых начинаются прямолинейные (в плане) склоны, характеризующиеся однородностью анизотропии.

Изменение $K_{ан}$ от 1 до -1 вдоль СЛ L_1 или L_2 отражает уменьшение степени корреляции (тесноты связи) между ОТ O_1 или O_2 . Положительная анизотропия устанавливается на фрагментах СЛ, фиксирующих четко обособленные орографически явно выраженные и часто замкнутые формы ЗП. Отрицательная анизотропия характерна для тех СЛ, которые фиксируют обычно незамкнутые, во многих случаях явно орографически невыраженные формы, осложняющие более крупный по масштабам склон с большей крутизной, чем крутизна их поперечного профиля.

К рассмотренным в § 18 областям использования СКС следует добавить, что она *позволяет не только количественно оценить анизотропию вдоль СЛ I типа, но и изучить ее изменение на всей исследуемой площади*. Для этого достаточно в любой точке пересечения дополнительных и поперечных линий определить ее расстояние до ближайшей горизонтали по направлениям X и Y и вычислить $K_{ан}$ по приведенным выше формулам. Так как точки пересечения этих линий могут быть получены на сколь угодно малом удалении друг от друга, определение анизотропии может осуществляться практически непрерывно. В результате этого строится карта линий равных значений $K_{ан}$ (рис. 18), которая позволяет определить, какие из осей СКС и на каких участках исследуемой

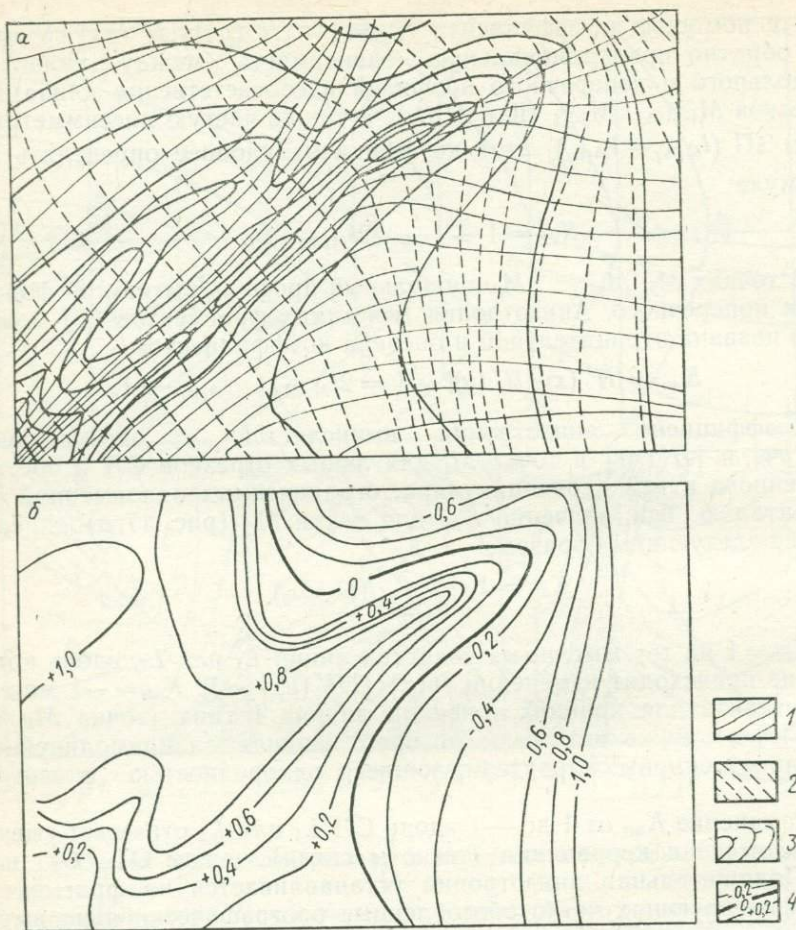


Рис. 18. Построение карты коэффициента анизотропии рельефа.

a — структурная координатная сеть и горизонтали; *b* — карта коэффициента анизотропии. 1, 2 — линии структурной координатной сети: 1 — системы *Y*, 2 — системы *X*; 3 — горизонтали; 4 — линии равных значений $K_{ан}$.

территории могут быть использованы в качестве регистрирующих линий, содержащих наибольшую информацию о рельефе.

Представления о СКС и разной морфологической информативности ее осей на участках с положительной и отрицательной анизотропией следует использовать в гидрографии при сгущении промера и определении направлений дополнительных галсов или при планировании более подробного промера на районы, для которых имеются данные гидрографической съемки малой (меньшей) подробности. На полученной в результате проведения основного или предварительного промера батиметрической карте проводятся СЛ L_1 и L_2 , строится СКС и определяются значения $K_{ан}$. Дополни-

тельные галсы с необходимым междугалсовым расстоянием прокладываются или по направлению Y (на участках с $K_{ан} < 0$), или по направлению X (на участках с $K_{ан} > 0$). С учетом того, что направления X и Y чаще всего представлены кривыми линиями с разными радиусами кривизны, а прокладка пути корабля осуществляется по прямым линиям (локсодромиям) на картах в проекции Меркатора, речь может идти пока о галсах в виде ломаных кривых на этих картах, аппроксимирующих структурные, дополнительные или поперечные линии.

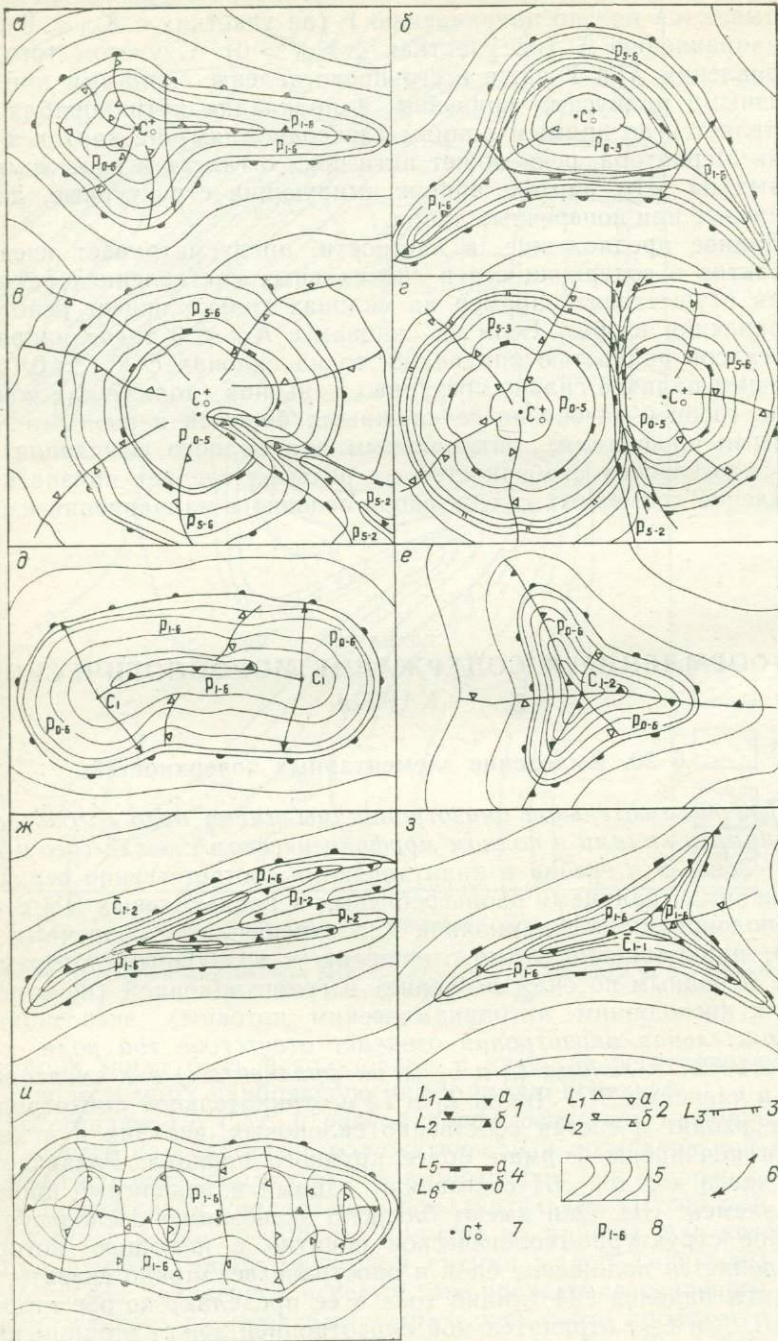
Данное предложение, в частности, предусматривает введение корректив в содержащиеся в специальных наставлениях рекомендации осуществлять промер на склонах только вкрест основного направления изобат. Если на склонах с $K_{ан} < 0$ такое направление галсов полностью оправдано, то на склонах с $K_{ан} > 0$, отражающим наличие сильно врезанных каньонов (долин) или контрастных гребней (особенно со сложными бортами и разными поперечными профилями), оптимальным для полного выявления всех морфологических особенностей их рельефа следует признать направление промерных галсов вдоль основного направления изобат.

ГЛАВА VI

ОФОРМЛЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ

§ 20. Выделение элементарных поверхностей

При положительной анизотропии мы имеем дело с собственно гребнями и киями в полном морфологическом смысле того и другого слова. Эти гребни и кили являются соответственно верхними и нижними границами вдольгребневых и вдолькилевых ЭП с противоположными инсоляционной (по отношению к солнечным лучам), циркуляционной (по отношению к воздушным потокам на суше и водным потокам в океане) и гравитационной (по отношению к нисходящим литодинамическим потокам) экспозициями. Отрицательная анизотропия означает отсутствие той роли, которая отводится линиям L_1 и L_2 (и их фрагментам) в элементаризации и членении ЗП. Линии L_1 и L_2 с отрицательной анизотропией лишь входят в состав собственно склоновых, верхних и нижних, ЭП и подчинены формам более крупного порядка. Разделяемые ими части каждой ЭП составляют единый и неделимый площадной элемент ЗП. Они имеют близкую экспозицию. Используя известное структурно-геологическое понятие, с помощью которого определяется положение слоя в пространстве, можно сказать, что азимуты падения ЭП (линий тока в ее пределах) по обе стороны от СЛ L_1 и L_2 с отрицательной анизотропией лежат в одном квадранте. При $K_{ан} > 0$, наоборот, азимуты падения векторных линий



в пределах двух разделенных СЛ L_1 или L_2 площадных элементов P_{1-n} или P_{n-2} различаются более чем на 90° .

Рис. 17, б иллюстрирует разную роль СЛ L_1 в членении ЗП, на участке которой с $K_{ан} > 0$ выделяются ЭП P_{1-6} , а на участке с $K_{ан} < 0$ — поверхность P_{6-5} . Последняя осложнена фрагментом гребневой линии, не являющейся границей двух площадных элементов.

На диссимметричных формах анизотропия по обе стороны от одной и той же СЛ может существенно различаться, что определяет принципиально разный подход к выделению ЭП на противоположных склонах. На рис. 17, в СЛ L_1 является верхней границей ЭП P_{1-4} , в то время как слева от этой линии площадной элемент P_{6-5} ограничивается СЛ L_6 и L_5 . В этих довольно редких случаях СЛ I типа L_1 и L_2 выступают в качестве бокового ограничения одной ЭП и верхней (или нижней) границы другой ЭП одновременно.

Следует также оговорить вариант, по которому положительной анизотропией характеризуется только одна СЛ I типа, в то время как сопряженная с ней, противоположная по знаку, другая СЛ обладает отрицательной анизотропией. Например, СЛ L_2 в левой части рис. 17, г и сопровождающая ее СЛ L_5 образуют две ЭП P_{5-2} с разной экспозицией. Показанные на этом рисунке СЛ L_1 характеризуются отрицательной анизотропией и поэтому не разделяют ЗП на два площадных элемента, а лишь осложняют ЭП P_{5-4} .

Наиболее распространенные стандартные способы вычленения ЭП предусматривают сочленения ограничивающих их сверху и снизу СЛ в ХТ \bar{C}_{n-m} , а также боковое ограничение их поперечными и векторными линиями (см. § 8, рис. 3). В отличие от линий тока, поперечные линии повсеместно пересекают СЛ I типа под прямым углом и в общем случае разделяют смежные (расположенные вдоль склона) ЭП P_{1-n} или P_{n-2} в направлении X СКС. Такое же в общем случае нормальное направление к СЛ L_3-L_6 имеют векторные линии — боковые ограничения собственно склоновых площадных элементов.

Специальных пояснений требуют случаи различных нарушений круговой симметрии форм ЗП и сопряженность последних с формами, подчиняющимися разным видам билатеральной симметрии, что, например, часто наблюдается в районах развития подводного вулканизма. К формам с круговой симметрией могут приключаться «языки» (фестоны), обладающие положительной анизотропией (например, лавовые потоки; рис. 19, а, б). Созданные в результате такого приключения неправильные формы могут описываться

Рис. 19. Нестандартные способы (а—и) вычленения элементарных поверхностей.

1—4 — структурные линии: 1 — гребневые (а) и килевые (б), ограничивающие элементарные поверхности, 2 — гребневые (а) и килевые (б), осложняющие элементарные поверхности, 3 — максимальных уклонов, 4 — выпуклых (а) и вогнутых (б) перегибов; 5 — горизонтали; 6 — боковые ограничения элементарных поверхностей; 7, 8 — индексы: 7 — характерных точек, 8 — элементарных поверхностей.

ЭП P_{n-0} и P_{n-2} (на отрицательных формах) или P_{0-n} и P_{1-n} (на положительных формах), которые разграничиваются по поперечным линиям, отходящим от (подходящим к) торцевой ОТ на СЛ L_1 или L_2 (рис. 19, а) или ОТ с $K_{ан} = 0$ (рис. 19, б). Осложняющие позитивную или негативную форму с симметрией круга линейные образования противоположного знака с положительной анизотропией описываются совокупностью ЭП P_{n-2} или P_{1-n} (рис. 19, в). При этом СЛ с отрицательной анизотропией осложняют верхние или нижние (P_{0-n} или P_{n-0}), а также собственно склоновые площадные элементы и не принимают участия в членении ЗП. В результате наложения друг на друга форм с круговой симметрией (вулканических конусов, их главных и паразитических кратеров, карстовых воронок и др.) могут образовываться разделяющие их формы с билатеральной симметрией, описываемые ЭП P_{n-2} и P_{1-n} (рис. 19, г).

Вытянутые и неправильные в плане формы (как положительные, так и отрицательные) могут осложняться частями более мелких форм с круговой симметрией (секторами) — «периклиналями» или «центриклиналями» (рис. 19, д). Их поверхности (P_{0-n} и P_{n-0}) сверху замкнуты ХТ C_1 или C_2 — геометрическими центрами окружностей, дуги которых совпадают с горизонталями. Боковыми ограничениями таких секториальных ЭП являются радиусы этих окружностей — прямые поперечные или векторные линии, исходящие из ХТ C_1 или C_2 , которые выступают в качестве аналогов вершин C_0^+ или C_0^- . ЭП P_{0-n} и P_{n-0} могут быть ограничены сверху точкой сочленения \bar{C}_{1-2} на формах с «ромашковой» симметрией, в пределах которых один из видов СЛ I типа характеризуется положительной анизотропией (рис. 19, е). И здесь ХТ \bar{C}_{1-2} выступает в качестве аналога вершин C_0^+ или C_0^- , что и определяет индексацию вычлененных ЭП.

В других случаях ХТ \bar{C}_{1-2} является точками выклинивания ЭП P_{1-2} (рис. 19, ж). Если в точке сочленения подходят СЛ лишь одного вида (L_1 или L_2), то этот узел-вершина, относящийся к ХТ \bar{C}_{1-1} или \bar{C}_{2-2} , не участвует в вычленении ЭП (рис. 19, з).

При наличии продольных и поперечных СЛ выделение и индексация ЭП осуществляется с учетом лишь продольной зональности (линейности) форм ЗП (рис. 19, и).

С учетом стандартных и нестандартных способов членения ЗП на карте СЛ и ХТ с привлечением карт векторных линий и СКС осуществляются боковое ограничение площадных элементов и их индексация. После этого следует перейти к завершающему этапу составления морфологической карты — к ее оформлению в соответствии с универсальной легендой.

§ 21. Легенда и особенности морфологической карты

В содержание морфологической карты входят отражение всех точечных, линейных и площадных элементов, выделенных на картографируемой части ЗП, а также важнейшие особенности строе-

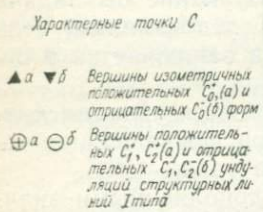
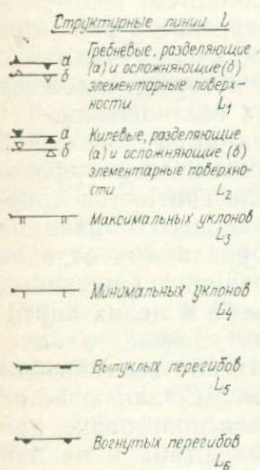
ния последней. Подбор изобразительных средств подчинен цели оптимального совместного отражения как состава, так и структуры ЗП. Если состав ЗП на морфологической карте показывается непосредственно и с исчерпывающей полнотой, соответствующей масштабу картографирования, то ее строение отражается двойко: прямо (с помощью СКС) и косвенно, «через состав» — совокупность всех элементов, в определении которых заложена характеристика их взаимных пространственных соотношений.

Данному содержанию соответствует легенда морфологической карты (рис. 20). В отличие от обычно предлагаемых геоморфологических легенд, которые часто называются или считаются типовыми и предусматривают при соблюдении общего принципа (принципов) картографирования возможность различных отходов от перечня и систематики картографируемых единиц (связанных с различными масштабами, различиями в рельефе и целях картографирования), *данная легенда должна рассматриваться в качестве универсальной*. Ее универсальность, естественно вытекающая не из претензий автора, а из универсальности МС, заключается в том, что она может быть с равным успехом использована при составлении морфологической карты любого масштаба и на любую территорию, для отражения субаквального и субаэрального, горного и равнинного, аридного, гумидного и всякого другого рельефа. При всех этих мыслимых вариантах, какие бы задачи ни ставились перед геоморфологическими исследованиями, цель составления морфологической карты одна. Она заключается в отражении состава и структуры ЗП.

Легенда, разработанная в соответствии с *полным уровнем конструирования МС*, состоит из четырех разделов, посвященных точечным, линейным и площадным элементам, а также СКС.

СЛ разного вида обозначаются линиями, дополненными знаками. Залитые и направленные по обе стороны от СЛ I типа треугольники означают то, что эти линии или их фрагменты являются границами вдольребневых и вдолькилевых ЭП, имеющих разную экспозицию. СЛ I типа с незалитыми треугольниками характеризуются отрицательной анизотропией и лишь осложняют ЭП разных категорий. На обозначениях СЛ L_3 — L_6 значки, играющие роль бергштрихов располагаются по одну сторону каждой линии и отражают направление уклонов ЗП. Допускается прерывистость знака СЛ, показывающая неуверенность ее проведения в связи с малым объемом или отсутствием исходных материалов необходимой детальности и (или) с низким (визуальным) уровнем механизации картографирования. Группы и классы СЛ выражаются через категории ЭП, которые они разделяют.

Для ЭП отводятся самые сильные средства картографического отображения. Их условные обозначения расположены в легенде в полном соответствии с классификационной схемой полностью определенных площадных элементов (см. рис. 7). Общая позиция ЭП разных групп и типов вычитывается на карте по привычному чередованию цветов и тонов в зависимости от гипсометрического



Элементарные поверхности P

	С вогнутыми поперечными профилями	С выпуклыми поперечными профилями	С прямыми поперечными профилями
Варие	Плосковершинные		P_5^b
	Привершинные	$P_{0-3}^a, P_{0-4}^a, P_{0-6}^a$	$P_{0-5}^a, P_{0-3}^a, P_{0-6}^a$
	Вдоль-средневые	$P_{1-3}^a, P_{1-4}^a, P_{1-6}^a$	$P_{1-5}^a, P_{1-3}^a, P_{1-6}^a$
Собственно склоновые	$P_{3-3}^a, P_{3-4}^a, P_{3-6}^a, P_{3-5}^a, P_{3-4}^a, P_{3-6}^a, P_{3-5}^a, P_{3-4}^a, P_{3-6}^a, P_{3-5}^a, P_{3-4}^a, P_{3-6}^a$	$P_{3-5}^a, P_{3-3}^a, P_{3-6}^a, P_{3-5}^a, P_{3-3}^a, P_{3-6}^a, P_{3-5}^a, P_{3-3}^a, P_{3-6}^a$	P_{3-5}^b, P_{3-6}^b
			P_{6-5}^b, P_{6-6}^b
Линные	Вдоль-кливые	$P_{3-2}^a, P_{3-2}^a, P_{6-2}^a$	$P_{3-2}^a, P_{4-2}^a, P_{6-2}^a$
	Привершинные	$P_{3-0}^a, P_{3-0}^a, P_{6-0}^a$	$P_{3-0}^a, P_{4-0}^a, P_{6-0}^a$
	Плоско-вершинные		P_6^b
Сквозные	$P_{0-2}^a, P_{1-2}^a, P_{1-0}^a$	$P_{0-2}^a, P_{1-2}^a, P_{1-0}^a$	$P_{0-2}^b, P_{1-2}^b, P_{1-0}^b$

Боковые ограничения элементарных поверхностей

Структурная координатная сеть

Типы рисунков СКС	Направления (системы)	
	У	Х
Радиально-концентрические	Особые точки u , $\times T(C_0^+, C_0^-)$ и их аналог, а также точки радиального сочленения C_{1-1} и C_{1-2}	Особые точки u
Эллипсоидные	Особые точки u , \Rightarrow а $m_x(a)$ и $m_x(b)$	Особые точки u , \Rightarrow а $m_x(a)$ и $m_x(b)$
Стреловидные	\Rightarrow а m_x	Особые линии m_x
Решетчатые	Дополнительные линии (при $K_{ан} = -1$ - линии тока)	Прочие поперечные линии (при $K_{ан} = -1$ - горизонтали)
Все рисунки СКС		

Рис. 20. Легенда морфологической карты.

положения: темно- (ЭП P_{0-n}) и светло- (ЭП P_{1-n}) коричневые (верхние ЭП) → желтые (собственно склоновые ЭП) → светло- (ЭП P_{n-2}) и темно- (ЭП P_{n-0}) зеленые (нижние ЭП). Для антиподальных плосковершинных поверхностей предлагаются красный (ЭП P_{+5}) и синий (ЭП P_{6-}) цвета. Сквозным ЭП отведены тона серого цвета. Различные виды ЭП отражаются знаками, условно передающими морфологию их поперечного профиля.

Частная позиция площадных элементов отражается на карте разными видами ограничивающих их СЛ. Из рис. 6 и 7 видно, что верхние границы (линии L_5) ограничивают ЭП, которые круче вышележащих, а линии L_6 — ЭП, которые положе вышележащих. Нижние границы (линии L_5) ограничивают ЭП, которые положе нижележащих, линии L_6 — ЭП, которые круче нижележащих. Поверхности, ограниченные сверху и снизу СЛ L_3 и L_4 , по своей крутизне принципиально не отличаются от выше- и ниже-расположенных площадных элементов.

Из всей совокупности точечных элементов специальные знаки предусмотрены для вершин изометричных форм ЗП, которые находятся за пределами СЛ любого вида, и для их аналогов, а также для вершин ундуляций СЛ I типа. Без фиксации ХТ C_1^+ , C_2^+ , C_1^- и C_2^- они не получили бы своего отражения на карте, в то время как все остальные вершины-узлы и узлы проявляются на ней в виде пересечений и сочленений линейных элементов и поэтому не нуждаются в специальном обозначении. Важнейшие ХТ C_0^+ и C_0^- , характеризующие основную особенность строения ЗП в их окрестности — симметрию круга, являются одновременно (наряду с их аналогами и точками радиального сочленения \bar{C}_{1-1} и \bar{C}_{2-2}) и элементами СКС — ее особыми точками. Об обозначении на морфологической карте СКС говорится в § 22 и 26.

Говоря об особенностях морфологической карты, следует отметить, что исходный материал [карта $H(x, y)$], какой бы детальный он ни был, лишь отражает положение ЗП относительно трех пространственных координат. Состав и строение ЗП на ней не раскрываются. Информацию о рельефе гипсо- или батиметрическая карта содержит в скрытом виде. Извлечение ее при геоморфологических исследованиях осуществляется интуитивно в зависимости от опыта составителей, контрастности проявления различных частей ЗП и связей между ними, наличия и качества геолого-геофизических материалов и других объективных и субъективных факторов. Даже при самом благоприятном сочетании всех этих факторов на полноту и строгость при извлечении и анализе заложенной в исходной карте информации о составе и строении ЗП рассчитывать не приходится, так как ни то и ни другое не сопровождается необходимой для этого формализацией и универсальностью.

Взаимоотношения между картой топографической поверхности и геоморфологической картой (картой рельефа) близки к тому, как соотносятся друг с другом в геотектонике структурная карта

по опорному горизонту и составленная на ее основе тектоническая карта. Гипсо- или батиметрическая и структурная карты являются соответственно исходным материалом для геоморфологического и тектонического картографирования — выявления и ограничения частей ЗП или объемов в земной коре, пространственных и динамических связей между ними. Однако данной аналогией сходство между этими парами картографических моделей в геоморфологии и геотектонике исчерпывается.

В то время как гипсо- или батиметрическая карты «...не отвечают задачам планового изображения форм ЗП с точки зрения их происхождения, взаимоотношения и возраста...», геоморфологическая карта в общем случае отказалась (парадокс) от показа морфологии ЗП, введя условные знаки, устраняющие наглядность и утверждающие символическую простоту. На существующих картах реальные формы рельефа (ЗП.— А. Л.) не изображаются, а как бы подразумеваются. Таким общим условием условное возводится в квадрат» [36, с. 83]. В последовательном операционном ряду исследования и картографирования рельефа между являющейся лишь исходной основой этого исследования гипсо- или батиметрической картой и сразу же показывающей генезис и возраст рельефа современной геоморфологической картой должно быть выделено место для картографического документа, содержание которого направлено на полное и всестороннее морфологическое отражение состава и структуры ЗП. Именно этот документ и представляется фактологической базой для последующего создания морфодинамической региональной модели, чем и определяется его значение в геоморфологии.

Построенная по морфологическому принципу геоморфологическая карта, являясь условным идеализированным образом рельефа, обладает всеми свойствами картографической модели [1]: абстрактностью, метричностью, однозначностью, непрерывностью, наглядностью, геометрическим подобием и географическим соответствием. Эти свойства являются необходимыми, но недостаточными для того, чтобы данная модель соответствовала системной ориентации геоморфологического картографирования. Исходя из соотношений между моделью и системой [7], системному уровню картографирования может отвечать только формализованная картографическая модель, находящаяся в гомоморфных соотношениях с любыми отраженными на ней объектами (в нашем случае с ингредиентами ЗП). Если любая современная геоморфологическая карта может рассматриваться в качестве картографической модели рельефа, то предлагаемая морфологическая карта как модель, основанная на универсальном и формализованном языке, может быть отнесена к картографическим системам. Примером последней является фрагмент морфологической карты, представленной на рис. 21.

Единицы картографирования на существующих геоморфологических картах обычно строго не определены. Являясь частями ЗП, выделенными по генетическому и (или) историческому прин-

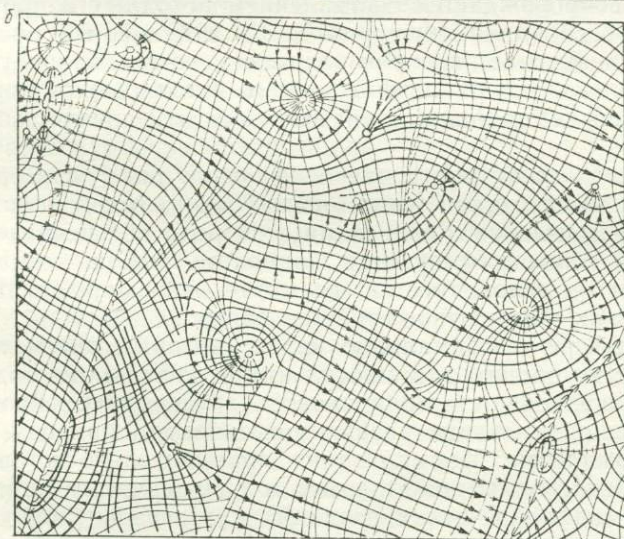
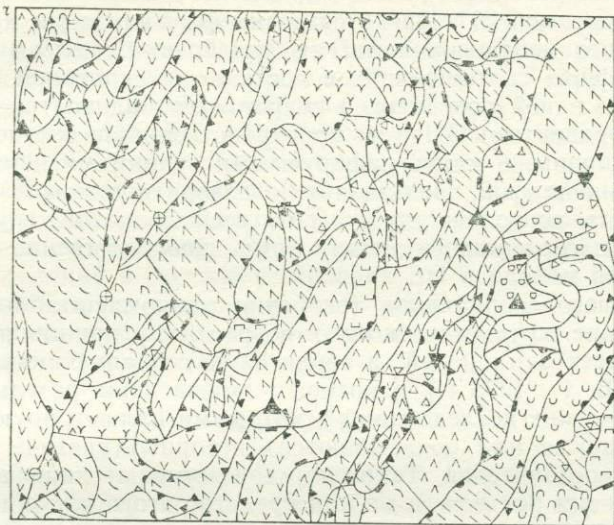


Рис. 21. Фрагмент морфологической карты (а) и построенной на этот участок структурной координатной сети (б).

Усл. обозначения см. на рис. 20.

ципам, они чаще всего вообще не поддаются формализации. Вследствие неоднозначности в их определении и ограничении совокупность картографируемых единиц не может быть гомоморфной моделируемой ЗП. При отсутствии формализации и вытекающей из этого неоднозначности их выделения нельзя говорить о гомоморфных соотношениях с составом и строением ЗП в том смысле, что в ней повсеместно сохраняется адекватность между всеми ингредиентами ЗП и их пространственными соотношениями, с одной стороны, и картографируемыми единицами и их связями на карте — с другой. Нельзя также говорить о том, что такая адекватность позволяет строго и со всей полнотой изучать элементы ЗП и соотношения между ними непосредственно на картографической модели.

Чаще всего современное (особенно мелкомасштабное) картографирование по генетическому и возрастному принципам вообще не преследует этих целей, а сводится к созданию карт-выводов [Федоров Б. Г., 1975 г.], в которых запечатлены результаты геоморфологических исследований и которыми иллюстрируются (а не подтверждаются или доказываются) историко-генетические представления составителей. Такие карты выступают лишь в качестве итога изучения рельефа, а не как средство этого изучения. Их создание не сопровождается составлением исходных и промежуточных карт-обоснований [Федоров Б. Г., 1975 г.], что практически полностью исключает воспроизводимость самих процедур картографирования и историко-генетического истолкования морфологии рельефа, соответственно делая невозможным контроль над тем и другим.

Морфологическая карта призвана играть роль карты-обоснования или фактологической основы последующих морфодинамических построений и выводов. Реализация этой роли обеспечивается формализацией картографируемых элементов МС и гомоморфным отражением их совокупностью на карте ингредиентов ЗП и пространственных взаимоотношений последних.

Речь идет не о формализме карты, который рассматривается [1] в качестве общего для многих картографических моделей недостатка и заключается в одинаковой картографической интерпретации явлений, имеющих разную генетическую природу. В отличие от формализма, формализация применительно к рассматриваемой карте сводится к строгому и однозначному определению (только с морфологических позиций) картографируемых элементов и имеет положительное значение как раз потому, что направлена на устранение упомянутого недостатка в геоморфологическом картографировании по генетическому и возрастному принципам.

Так как морфологическая карта относится не к синтетическим, а к аналитическим картам, она не обладает синтетичностью в том смысле, которое вкладывает в это понятие А. М. Берлянт [1]. Если вслед за ним рассматривать синтетичность как свойство карты, проявляющееся в целостности изображения на ней изоли-

рованных в природе явлений и процессов, то следует признать, что *морфологическая карта — это не результат такого синтеза, а материал для него*. Иными словами, карта выступает в роли, подобную которой играет, например, геологическая карта при создании на ее основе тектонической карты. Синтетичность в этом понимании — обязательное свойство карт-выводов, а не карт-оснований. Наряду с этим *морфологическая карта отражает цельную совокупность элементов ЗП с их многообразными пространственными связями*. Ее синтетичность определяется не целостностью каких-либо разнородных явлений и процессов, выраженной в виде обобщающих понятий и показателей в легенде, а пространственной связностью различных морфологических элементов при единстве представлений о составе и строении ЗП в рамках МС. И эта пространственная связность отражает морфодинамические (генетические, функциональные, возрастные и кинематические) взаимные соотношения между элементами.

ВЫВОДЫ

1. Однозначность выделения элементов ЗП на морфологической карте (профиле) определяется: а) достигнутой при конструировании МС однозначностью их определения; б) выполнением необходимых требований к исходным материалам (их точностью, детальностью и объективностью); в) соблюдением технологии картографирования (профилирования), под которой понимаются последовательность и методика проведения всех рассмотренных операций на разных уровнях механизации.

2. Морфологическая карта, в отличие от других геоморфологических карт, является формализованной картографической моделью, находящейся в строго гомоморфных соотношениях с реальной ЗП. Предложенные принципы элементаризации ЗП и методика картографирования ее элементов устраняют отмеченную выше одну из главных трудностей геоморфологии — «стертость» геоморфологических границ. Она может быть преодолена не только в районах с контрастно выраженными границами, но и на тех территориях, где визуально эти границы провести не удается и даже сам факт существования многих из них не может быть установлен.

3. Кроме участия в решении морфодинамических задач (см. § 1) прикладное значение морфологического картографирования и профилирования заключается: а) в использовании морфологических карт и профилей при создании более детальной гипсо- или батиметрической основы и планировании гидрографических работ; б) в использовании выделенных на карте или профиле морфологических элементов наряду с привязкой к системе географических координат в качестве элементов геоморфологической привязки любой точки (станции, точки наблюдения и т. д.), линии (профиля, галса и т. д.), ареала (контура месторождения, биоценоза, будущего водохранилища, населенного пункта и т. д.), что имеет осо-

бое значение при исследовании и эксплуатации природных ресурсов и прежде всего в океане; в) в перспективности применения предлагаемой элементаризации и методики картографирования и профилирования для определения местонахождения судов в рамках навигационной геоморфологии, что, в частности, следует учитывать при составлении топографических карт шельфа; г) в установлении пространственных, а через это и причинно-следственных связей между элементами ЗП и их совокупностями на морфологической карте и различными физико-географическими, биогеографическими, экологическими, инженерно-геологическими и другими процессами, явлениями и территориальными комплексами разного ранга; д) в самостоятельном значении при геолого-поисковых, инженерно-геологических, землеустроительных и других исследованиях и работах промежуточных построений, проводимых при составлении морфологической карты — карты векторных полей, первой и второй производных от высоты (глубины), СКС и анизотропии рельефа. Эти промежуточные построения, а также сама морфологическая карта содержат в себе информацию, интересующую гораздо более широкий круг возможных потребителей, чем информация, заложенная в геоморфологической карте, составленной по генетическому или(и) возрастному принципам. Кроме того, все они должны обязательно использоваться при структурном анализе рельефа.

4. Наряду с осуществленной в первой части организацией морфологических элементов не менее важной является в морфодинамических исследованиях на системной основе организация пространства, в котором фиксируются эти элементы. Решение двух данных тектологических задач может быть успешным только тогда, когда оно осуществляется согласованно. Организация пространства позволяет полностью реализовать и использовать важнейшую особенность МС (как и любой другой системы) — ее универсальность. Эта универсальность должна проявиться в целом в создании единого методического аппарата, пригодного для описания, структурного анализа и динамической интерпретации любого рельефа и на любом масштабном уровне, а в частности, в возможности широкого использования в данном аппарате методов аналогий, моделирования и симметрии. *Если без организации морфологических элементов невозможно строго закартографировать и исследовать состав ЗП, то без организации пространства не может быть выявлена и изучена ее структура.*

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА И МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

Структура не существует без составляющих систему элементов. Вместе с тем она может быть абстрагирована от их совокупности и изучаться как бы обособленно [Косыгин Ю. А. и др., 1977 г.]. Используя это методологическое обстоятельство, необходимо разработать представления об анализе строения ЗП, на результатах которого базируется динамическая интерпретация рельефа.

В то время как морфологическое картографирование (профиллирование) направлено главным образом на выявление состава конкретной части ЗП, изучение ее строения требует проведения структурного исследования морфологической карты (профиля), а также осуществления и использования других специальных построений.

Структурный анализ предлагается проводить в два этапа — от общего к частному. Цели первого этапа заключаются: а) в выявлении самых главных (отраженных в СКС) черт в структуре изучаемой части ЗП и б) в ее районировании (на основе анализа этих черт строения) или в реализации структурного критерия при выделении ГМС. Второй этап заключается в последующем более тонком исследовании всех предусмотренных морфологической структурой пространственных соотношений между закартированными элементами ЗП уже в пределах вычлененных ГМС. Такая последовательность определяется не только разными стоящими перед этими этапами задачами и путями их решения, но и тем, что установленные на первом этапе главные черты обуславливают остальные особенности строения ЗП, а через это и содержание (методику, приемы) направленного на их выявления структурного анализа ГМС. Оба эти этапа не могут быть осуществлены без привлечения методического аппарата учения о симметрии, который рассматривается [36] в качестве одного из первых звеньев исследования морфологии рельефа и который призван участвовать в решении целого ряда взаимосвязанных задач — от описания отдельных элементов и структуры изучаемой части ЗП в целом до ее динамической интерпретации и сравнения со строением эталонных участков, экспериментальных и теоретических моделей.

ГЛАВА VII

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА СИММЕТРИИ В СТРУКТУРНОМ АНАЛИЗЕ РЕЛЬЕФА

Методический аппарат симметрии в морфодинамическом анализе направлен на описание структуры объектов и выявление причинно-следственных связей между их строением и создавшими

(преобразовавшими) данные объекты процессами. Эти два аспекта симметрии — геометрический (метрический) и динамический — согласуются с двумя уровнями изучения геоморфологией своего предмета (статическим и динамическим; см. § 2), а сама возможность перехода от одного аспекта к другому в значительной мере обеспечивает в рамках морфодинамического анализа переход от исследования морфологии рельефа к изучению рельефообразующих процессов без привлечения каких-либо геолого-геофизических материалов, т. е. автономность геоморфологии (см. § 2). Описание структуры объектов с помощью аппарата симметрии позволяет проводить их сопоставление и идентификацию методами моделирования и аналогий.

До настоящего времени в геоморфологии практически применяются лишь два самых общих понятия данного учения: симметрия и асимметрия, и в основном по отношению к речным долинам и междуречьям (водоразделам). Нарушения зеркальной симметрии (диссимметрию, которую неточно называют асимметрией) связывают с проявлением силы Кориолиса (закона Бэра—Бабине), неотектонической активностью положительных геологических дислокаций или воздействием интенсивных гравитационных аномалий [Щукин И. С., 1964 г.; Философов В. П., 1960 г., и др.]. В недавних работах по использованию учения о симметрии в географии [40, 23 и др.], структурной и общей геологии [22, 39, и др.] фигурируют примеры его приложения к некоторым другим геоморфологическим объектам. Особое место в геоморфологии ему отводит Н. А. Флоренсов, справедливо отмечая, что исследовать симметрию «...возможно и необходимо, если по-настоящему углубляться в сущность морфологического подхода как основы изучения ЗП (рельефа.— А. Л.)» [36, с. 92]. При этом Л. П. Шубаев [40] и Н. А. Флоренсов [36] призывают к широкому применению не только метрического, но и динамического аспектов симметрии.

Однако даже *метрический аспект симметрии без решения двух рассмотренных выше тектологических задач до сих пор не мог получить в геоморфологии должного развития*. Объясняется это тем, что он основан на сопоставлении (соотнесении) друг с другом и выявлении порядка в размерах и положении строго определенных и выделенных фигур и (или) их частей. Для геоморфологии это означает, что *в основу применения принципов и аппарата симметрии должна быть положена прежде всего организация элементов ЗП*, обеспечивающая однозначность ограничения каждого из них и их совокупностей. Именно в связи с отсутствием последнего использование данного общенаучного метода ограничивалось анализом симметрии долин и водоразделов, который также не мог осуществляться со всей полнотой и строгостью, так как границы тех и других определялись произвольно и по-разному.

Еще одним *необходимым условием использования аппарата симметрии является организация геоморфологического пространства*, на описание структуры которого он направлен. Без выявления

ния в этом пространстве инвариантных, непреобразующихся при операциях симметрии элементов (особых точек и линий), невозможно осуществить эти преобразования и определить вид симметрии и различные ее нарушения.

§ 22. Классическая симметрия и идеальные рисунки структурной координатной сети

Под симметрией в рельефе понимается связанный с особенностями симметрии рельефообразующих процессов определенный порядок (правильность, однообразность, одинаковость, закономерная повторяемость) в расположении точечных, линейных и площадных элементов ЗП и их совокупностей, установленный в пределах одного или ряда сравниваемых участков (ГМС). Изображенные на морфологической карте рисунки СКС, элементы ЗП и их совокупности, как и геологические дислокации [39], при неизбежных допущениях могут быть уподоблены фигурам, в разной степени подчиняющимся определенным законам симметрии.

В качестве основного методического приема учения о симметрии для выявления геометрических закономерностей в геологическом строении предлагается [39] создание полученных статистическим путем эмпирических моделей, которые являются обобщенными идеализациями реально существующих дислокаций. К данному предложению близко понятие В. А. Бокова [23] о потенциальной симметрии, которая рассматривается как мыслимая модель или как гипотеза, аналогичная нулевой гипотезе в математической статистике. Оба эти предложения приближаются к представлениям, разработанным при создании и внедрении аппарата симметрии сначала в кристаллографии, а затем в физике и биологии. В основу их положено конструирование *идеальных геометрических образов*, с которыми идентифицируется структура реальных, изучаемых данными науками объектов.

В структурном анализе и последующей динамической интерпретации рельефа использование аппарата симметрии сводится к: а) созданию полной группы идеальных фигур (потенциальной симметрии [23] или обобщенных идеализаций [39]), отражающих все встречаемые в рельефе универсальные виды симметрии, б) динамическому истолкованию идеальных фигур или рисунков на основе динамического принципа симметрии, в) идентификации несовершенной симметрии реальных фигур с классической симметрией идеальных рисунков, г) определению характера и степени отклонения реальной симметрии от идеальной и д) динамической интерпретации нарушений идеальной симметрии в реальных фигурах или диссимметрии последних.

Полная группа идеальных рисунков должна включать в себя исчерпывающее и вместе с тем вполне обозримое число вариантов, а идеальные и реальные фигуры должны содержать в себе вспомогательные геометрические образы, с помощью которых осуществляются операции (выявляются законы) симметрии, показы-

ваться на картах или схемах в приемлемой для их сравнения и идентификации форме и отражать при этом главные структурные черты ЗП или взаимное положение важнейших ее элементов. Создать полную группу идеальных фигур, сложенных из всех элементов ЗП, общее число которых (даже при их неполном определении) составляет 89, не представляется возможным. Варианты этой группы в таком случае являлись бы своеобразными идеализированными морфологическими схемами, которые в сумме составляли бы, вероятно, некое конечное, но вряд ли обозримое множество, отражающее все многочисленные, предусмотренные морфологической структурой соотношения между точечными, линейными и площадными элементами ЗП.

Удовлетворить перечисленные требования к полной группе идеальных фигур можно *путем еще большего* (чем при конструировании МС; см. § 5) *упрощения — сознательного и строгого замещения необозримого множества вариантов морфологических схем вполне обозримой совокупностью рисунков*, которые адекватны этим схемам в отношении лишь самых главных связей в рельефе между не всеми, а только важнейшими элементами ЗП. Данным требованиям удовлетворяет СКС, которую в этом отношении можно назвать моделью модели (морфологической карты). Ее рисунки представлены всего двумя типами линий: осями X и Y . Они упрощенно и вместе с тем с достаточной для наших целей полнотой и строгостью отражают основные в рельефе взаимные пространственные соотношения важнейших элементов: $СЛ I$ типа, $XТ$ C_0^+ и C_0^- (и их аналоги), а через это — верхних и нижних ЭП, игнорируя при этом показ зафиксированного на морфологической карте состава ЗП. Не менее важно то, что в СКС возможно установление вспомогательных геометрических образов, не преобразующихся при операциях симметрии.

Использование приемов учения о симметрии для сравнения, выделения и систематики ГМС по отношению не к морфологическим картам, а к рисункам СКС согласуется с представлениями о сетях или комбинаторных структурах объектов [32], по которым два объекта допустимо отнести к одному типу, если один из них можно преобразовать в другой так, что совпадут не только элементы симметрии, но и сети объектов.

Идеализацию рисунков СКС и создание их полной группы целесообразно осуществить, обратившись к аналитической геометрии на плоскости, которая, во-первых, позволяет выявить *все возможные идеальные фигуры, составленные из пяти известных элементарных линий* (прямых, окружностей, эллипсов, гипербол и парабол), и, во-вторых, предусматривает подчиненность последних законам симметрии. Составленные из таких линий идеальные рисунки СКС будут характеризоваться и отличаться друг от друга наличием определенных элементов симметрии и возможностями определенных симметричных преобразований. Прямая, а также каждая из линий второго порядка полностью отвечают нашим целям, являясь геометрическим местом симметрично расположен-

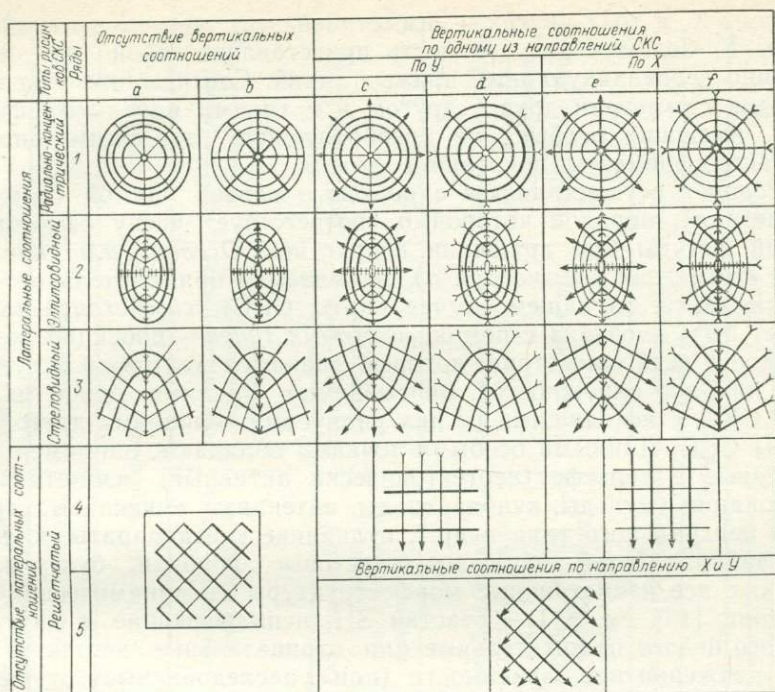


Рис. 22. Полная группа идеальных рисунков структурной координатной сети, отражающих симметрию рельефообразующих процессов.

Усл. обозначения см. на рис. 20.

ных точек. В качестве элементов симметрии у линий второго порядка (конических сечений; § 31) выступают центры, фокусы, директрисы, вершины и оси. Простейшим преобразованием симметрии, приводящим к бесконечным фигурам, является параллельный перенос прямой вдоль нее самой.

Из определения гиперболы и эллипса вытекает, что если линии одного из направлений (системы) СКС в идеальном рисунке составлены из серии гипербол, то расположенные по нормали к ним линии другого направления должны в этом рисунке быть представлены вложенными друг в друга эллипсами. Учитывая это и то, что оба эти вида линий характеризуются одной и той же группой симметрии (2m, см. ниже), один из них (гиперболы) можно исключить из полной группы идеальных рисунков СКС.

Симметрия составленных из четырех видов линий идеальных рисунков СКС не выходит за рамки трех элементарных преобразований (операций): вращения вокруг оси (поворота), отражения в плоскости (отражения) и переноса (трансляции). Полная группа идеальных рисунков (без учета вертикальных соотношений; см. § 26) состоит всего из семи их разновидностей (рис. 22, столбцы a, b). Симметрия трех из них определяется симметрией линий второго порядка (окружностей, эллипсов и парабол)

системы X , а трех других — симметрией этих же видов линий системы Y . Седьмая разновидность представляет собой две серии взаимно перпендикулярных прямых линий. Соотношение операций и видов симметрии друг с другом и с типами идеальных фигур СКС, имеющих особые, не преобразующие при симметричных операциях элементы, показано в табл. 5.

Поворот осуществляется с помощью особой прямой (или оси симметрии), порядок которой n соответствует числу самосовмещений фигуры при вращении вокруг нее. *Осевая, или коническая, симметрия (симметрия n)*, называемая применительно к плоскости карты (в нашем случае карты СКС) *симметрией круга*, может быть опознана с помощью *особых точек* — проекций на эту плоскость осей симметрии, которые являются центрами окружностей или дуг окружностей, описываемых линиями одной из систем СКС, с исходящими из них радиусами — линиями другой системы СКС. Данными особыми точками обладают, например, выраженные в рельефе (неотектонически активные) изометричные дислокации (мульды, купола, своды, антеклизы, синеклизы, структуры центрального типа и др.), вулканические аппараты, кольцевые дайки, гайоты, терриконы, карстовые воронки, булгуньяхи, а также все изометричные морфоструктуры (в динамическом понимании [13], см. § 1) — участки ЗП, испытывающие в качестве единого целого положительные или отрицательные неотектонические движения вне зависимости (или унаследованные) от развития геологических структур. В субаэральном рельефе такие морфоструктуры характеризуются центробежным, центростремительным, кольцевым расположением речных долин и их «симметричными» (по [34]) сочленениями.

К особым точкам на перечисленных и неперечисленных здесь подобных, изометрических, геоморфологических образованиях в системе Y относятся точки n_y — $X\bar{T} C_0^+$, C_0^- и их аналоги, а также точки радиального сочленения \bar{C}_{1-1} и \bar{C}_{2-2} (см. § 7), а в системе X — точки n_x (например, центры морфоструктур центрального типа или кольцевых рисунков речной сети). В целом перечисленные в предыдущем абзаце образования на разномасштабных морфологических картах отражаются в виде *радиально-концентрических рисунков СКС* (или их фрагментов) (рис. 22, столбцы a , b , ряд 1). К симметрии n относятся поворотная симметрия разных порядков (с $n > 2$), в том числе радиально-лучевая или ромашково-грибная, а также симметрия фигур типа детских вертушек (без плоскостей симметрии).

Операция *отражения* предусматривает наличие хотя бы одной особой плоскости, делящей фигуру на две зеркально равные части. Ей соответствует *зеркальная симметрия (симметрия m)*, которая применительно к плоскости карты часто называется *билатеральной* и может быть опознана в СКС по наличию *особых линий* — проекций на нее плоскостей зеркального отражения. В СКС *этому виду симметрии* кроме уже рассмотренных осесимметричных фигур *подчиняются две категории рисунков*.

ТАБЛИЦА 5

Соотношение симметричных линий в аналитической геометрии, операций, видов и элементов классической симметрии с типами идеальных рисунков и элементами симметрии в структурной координатной сети

Симметричные линии—геометрические места симметрично расположенных точек	Окружность	Эллипс, гипербола	Парабола	Прямая
Операции симметрии	Поворот	Отражение		Перенос
Виды классической симметрии	Осевая (симметрия конуса или круга) n	Зеркальная (билатеральная) m	Зеркальная (билатеральная) m . Симметрия стрелы	Трансляционная (симметрия бордюров) T
Элементы классической симметрии	Ось симметрии n -го порядка ($n > 2$)	Ось симметрии 2-го порядка, две плоскости симметрии	Одна плоскость симметрии	Оси трансляции
Элементы симметрии в СКС: направление Y	Особая точка n_y	Особая точка 2_y , особые линии m_{y_1} и m_{y_2}	Особая линия \vec{m}_y	Структурные (I типа) и дополнительные линии
направление X	Особая точка n_x	Особая точка 2_x , особые линии m_{x_1} и m_{x_2}	Особая линия \vec{m}_x	Поперечные линии
Типы идеальных рисунков СКС и (в скобках) символы групп их симметрии	Радially-концентрические или осесимметричные (n или nm)			
	Эллипсовидные ($2m$)			
	Стреловидные (m)			
	Решетчатые (T)			

Первые из них, более распространенные, чем осесимметричные, идентифицируются с двумя идеальными рисунками СКС, характеризующимися наличием двух плоскостей зеркального отражения и осью симметрии второго порядка. Группа их симметрии обозначается символом $2m$. К ним относятся рисунки СКС, отражающие вытянутые и линейные неотектонически активные дислокации (антиклинали, синклинали, антиклинории, мегавалы, прогибы и др.) и такие же в плане морфоструктуры, созданные автономными неотектоническими движениями, а также все другие орографически замкнутые образования разного генезиса: аккумулятивные песчаные и илистые валы (вдольбереговые, на шельфе, океаническом дне), гряды и межгрядовые понижения и т. д.

В идеальных рисунках данной группы симметрии одна система координат представлена серией параллельных замкнутых эллипсовидных контуров, являющихся результатом неравномерного сжатия соответствующих окружностей (рис. 22, столбцы a , b , ряд 2). Эллипсы отражают их равномерное сжатие и являются частным случаем в этой группе симметрии. Другая система координат представлена двумя взаимно перпендикулярными особыми линиями — проекциями на карту СКС плоскостей отражения, а также сериями гипербол или направленными друг против друга двумя сериями линий, подходящих к длинной проекции (большой оси эллипса) под разными, закономерно увеличивающимися по направлению к особой точке (2_x или 2_y) углами. Особые точки находятся на равных расстояниях от двух наиболее удаленных и двух наименее удаленных от нее точек на эллипсовидных линиях.

Реальные рисунки СКС идентифицируются с идеальной фигурой по наличию двух взаимно перпендикулярных особых линий: большой (m_x или m_y), представляющей в системе Y (m_y) фрагмент СЛ L_1 или L_2 , и малой (m_x или m_y) осей фигуры, а также по особой точке их пересечения (2_x или 2_y).

Вторая разновидность двух идеальных фигур с билатеральной симметрией отличается всего одной плоскостью отражения или ее проекцией на карту СКС — особой линией \vec{m}_x или \vec{m}_y . Этот вид, называемый [40] симметрией стрелы, развит в рельефе еще более широко, чем рассмотренные выше. В идеальном рисунке он выражен особой линией («стрелой») с причлениющимися к ней под острыми или тупыми (но не прямыми) углами сериями линий («оперением стрелы»), составляющими одну систему СКС (рис. 22, ряд 3). Вторая система СКС представлена параболой, единая ось которых является особой линией.

Симметрии стрелы подчиняются выраженные в рельефе неотектонические активные полужамкнутые геологические дислокации (полусвод, выступ), осложняющие обычно моноклинали или склоны в прибортовых зонах плит или впадин, многие горные отроги, отходящие от главных хребтов, а также наиболее распространенные рисунки речной сети (ветвистый, перистый, веерооб-

разный, древовидный), дельт и конусов выноса. Различия в рисунках, характеризующихся симметрией стрелы, определяются знаком (положительным или отрицательным) полузамкнутого геоморфологического (тектонического) образования. На позитивных формах образуется «стрела» с неправильно расположенным по отношению к ней «оперением» (под тупым углом), на негативных, наоборот, соотношение «стрелы» и ее «оперения» является нормальным.

Если рассмотренные операции имеют отношение к симметрии рисунков СКС, соответствующих в плане (с разной четкостью очерченным) формам ЗП конечных размеров и различной конфигурации (замкнутым изометричным или вытянутым, а также незамкнутым), то ниже речь пойдет о выявлении с помощью *операции переноса* пространственных соотношений между элементами ЗП, совокупность которых может как создавать (идиоморфизм; см. § 11), так и не создавать (голоморфизм) какого-либо единого орографически выраженного образования. Возможная лишь в бесконечных фигурах, отсутствующих в рельефе, операция переноса осуществима на построенных по линиям СКС морфологических профилях, которые могут рассматриваться в качестве *бордюров* [42] с присущей им симметрией трансляции.

Операция трансляции, заключающаяся в *поступательном параллельном переносе и совмещении элементов ЗП*, позволяет установить определенную устойчиво сохраняющуюся периодичность их пространственного распределения [39]. Этот наиболее часто встречаемый в рельефе вид симметрии описывается с помощью направленных соответственно поступанию *осей трансляции и периодом трансляции* — величиной наименьшего переноса вдоль оси, приводящего к самосовмещению элементов одной категории. Закономерная повторяемость элементов одной категории с установленным периодом, а также особенности взаимного расположения осей трансляции (линий СКС) отражают структуру исследуемого участка ЗП и запечатленные в ней особенности рельефообразующих процессов. Соответствующий только этому виду симметрии идеальный рисунок СКС представлен *решеткой*, составленной из взаимно перпендикулярных линий — осей X и Y .

Изучение трансляций позволяет установить этот вид симметрии и различные ее нарушения у голоморфных совокупностей элементов, у которых отсутствует осевая и зеркальная симметрия. В качестве осей трансляции выступают *регистрирующие линии, на которых фиксируются ряды сочетаний*. При положительной анизотропии этими осями являются поперечные линии СКС, проходящие в направлении X и регистрирующие повторяемость полных сквозных и крайних сочетаний. В районах с отрицательной анизотропией в качестве осей трансляции выступают структурные (L_1 и L_2) и дополнительные линии, фиксирующие повторяемость склоновых сочетаний в направлении Y . Не исключаются варианты, при которых осями трансляции могут одновременно являться линии двух систем СКС.

Установление трансляции на серии однонаправленных морфологических профилей позволяет выявить плоскость скользящего отражения, действующего совместно с параллельным ее поступанием, и интерпретировать ее в качестве плоскости сместителя (сдвига) с определением амплитуды горизонтального смещения (периода трансляции).

Оси трансляции могут быть полярными, для которых физически различаются направления вперед и назад, и *неполярными* [42]. По аналогии с этим следует выделять записанные по регистрирующим линиям полярные и неполярные ряды. Полярный ряд, например, отражает согласованное правильное чередование более крутых и более пологих склонов на приуроченных к моноклиналям куэстах и записывается так: 1.2.4.1.2.4.1.2. ... Неполярный ряд записывается так: 1.3.6.4.2.4.6.3.1.3.6.4.2. ... Нетрудно представить ряды, аналогичные «полярным» тензорам, например, на куэстах, отражающих чередование разных по устойчивости к денудации пород в пределах двух крыльев неотектонически активной антиклинали.

Таким образом, рассмотренным операциям и видам симметрии соответствуют семь типов симметричных идеальных фигур в СКС (табл. 5, рис. 22, столбцы *a*, *b*). К первым двум идеальным фигурам относятся радиально-концентрические рисунки с обязательным наличием у них оси симметрии или ее проекции на карту СКС — особой точки *n*-го порядка (при $n > 2$). Они могут подчиняться не только осевой, но и всем другим видам симметрии и содержать необходимые для соответствующих преобразований элементы — особые плоскости (линии) и оси трансляции. Эллипсоидные фигуры могут рассматриваться в качестве суммы двух зеркально симметричных и противоположно направленных стреловидных рисунков. Они отличаются обязательным наличием двух взаимно перпендикулярных плоскостей симметрии или особых линий и оси симметрии (особой точки) 2-го порядка и вместе с тем могут содержать оси трансляции. Стреловидные фигуры характеризуются непрерывным присутствием одной плоскости симметрии или особой линии и возможным наличием осей трансляции. К последнему типу относятся решетчатые рисунки, характеризующиеся наличием только осей трансляции. Идеальные фигуры перечислены (табл. 5) в порядке снижения уровней симметрии — убывания числа возможных для них симметричных преобразований.

Для идентификации с ними реальных рисунков СКС в легенде морфологической карты (см. рис. 20) отражены все присущие им элементы симметрии — особые линии и точки. Эти элементы, линии двух направлений СКС, а также вертикальные отношения по ним (см. § 26) следует показывать на карте цветными значковыми и линейными обозначениями и учитывать, что в определенных случаях они дублируют некоторые точки и фрагменты линейных элементов.

§ 23. Расширенная симметрия в структурном анализе рельефа

Решение вопросов об идентификации реальных рисунков СКС с идеальными и использованием трансляции в структурном анализе рельефа требуют рассмотрения некоторых важнейших понятий расширенной симметрии. Под последней понимается учение о симметрии в его полном объеме, включающем в себя классическую симметрию в качестве частного случая.

Если с позиций классической симметрии следует говорить о метрическом равенстве фигур СКС, элементов ЗП и их совокупностей, то в расширенной симметрии основное значение имеет понятие «относительное равенство» [42]. Оно исходит из отсутствия в природе абсолютного равенства и предусматривает в качестве обязательного указание критерия или меры равенства сравниваемых объектов с позиций расширенной симметрии. Рисунки СКС, элементы ЗП и их совокупности считаются равными в отношении того или иного имеющегося у них количественного или качественного признака.

Данное понятие позволяет считать *симметричной любую фигуру, которая имеет хотя бы один элемент симметрии* [42]. Симметрия в природе никогда не проявляется с математической точностью. Различные нарушения (расстройства) осевой (осесимметричные отклонения), зеркальной (например, так называемая асимметрия долин) и трансляционной симметрии или разность между потенциальной и фактической симметрией, по В. А. Бокову [23] (по отношению к СКС между идеальными и реальными фигурами), *есть проявление не асимметрии, а диссимметрии. Под асимметрией же понимается [42] полное отсутствие симметрии.*

Учитывая особое значение для морфодинамического анализа представлений о *диссимметрии*, укажем на разные толкования этого термина. Если П. Кюри [39] считал диссимметрией отсутствие каких-либо элементов симметрии, то А. В. Шубников [1951 г.] понимал под диссимметрией их выпадение, оговаривая, что исчезнувшие элементы существуют в скрытом виде и при благоприятных условиях могут проявиться. А уже позднее И. И. Шафрановский [39], исходя из закона сохраняемости элементов симметрии, писал о том, что элементы классической симметрии не уничтожаются, а переходят в элементы неклассической симметрии: гомологии, криволинейной симметрии или симметрии подобия. Исчезнувшие элементы классической симметрии и являются диссимметрией.

Использование понятия «диссимметрия» в геоморфологии также нуждается в существенных коррективах. Н. А. Флоренсов [36] считает, например, что продольные профили долин являются «царством диссимметрии», в то время как их поперечные профили часто характеризуются симметрией. Это неверно, так как на разных своих отрезках долины могут подчиняться двум рассмотренным выше видам билатеральной (а также трансляционной) симметрии, отклонения от которых и составляют их диссимметрию.

А их продольные профили могут отличаться гораздо большей «правильностью» (малыми отклонениями от симметрии трансляции), чем поперечные, для которых характерны существенные нарушения билатеральной симметрии. Таким образом, применительно к поперечным и продольным профилям следует говорить не о господстве симметрии у первых и диссимметрии у вторых, а о двух разных уровнях симметрии, которым они подчиняются.

Понятие об относительном равенстве предусматривает наличие не только совместимого (при осевой или трансляционной симметрии) и зеркального равенства классической симметрии, но и представления *о симметрии подобия* [Шубников А. В., 1975 г.]. В них равными считаются подобные фигуры или части одной и той же фигуры. Эти представления дают возможность сравнивать состав и структуру ЗП исследуемого района с эталоном вне зависимости от различий в размерах того и другого на одномасштабных и разномасштабных картах. При этом, например, может быть установлено подобие в составе и структуре конечно-моренных комплексов небольшого современного покровного глетчера и обширного древнего ледникового покрова, дельты большой реки и временного водотока первого порядка, конуса выноса небольшой долины в предгорье и подводного конуса выноса мощной водной артерии на континентальном склоне. Данное сравнение может привести к определенным выводам об общности или качественных и количественных различиях в формировании сравниваемых образований.

Главное методическое следствие симметрии подобия заключается в возможности широкого поиска аналогов по составу и структуре изучаемой ГМС, независимо от размеров последней, а также в сравнении результатов натуральных и лабораторных экспериментов с наблюдаемыми в природе и исследуемыми ГМС. Такое сравнение записей состава и структуры может быть осуществлено в результате самой простейшей операции симметрии подобия, которая заключается в переносе (прямолинейном перемещении) подобных частей или элементов ЗП в параллельное положение с одновременным увеличением или уменьшением их размеров и расстояний между ними в n раз. Технически это нетрудно осуществить с помощью любого проектора. Операции симметрии подобия позволяют реализовать масштабную универсальность МС (см. § 36).

Если в классической симметрии и симметрии подобия устанавливаются соотношения между равными или подобными фигурами, их частями и расстояниями между ними, то в гомологии кристаллов две гомологичные фигуры не равны друг другу, а сходны [Михеев В. И., 1961 г.]. Это сходство заключается в том, что любой прямой или плоскости в одной фигуре соответствует единственная прямая или плоскость в другой. *По отношению к рельефу под гомологией следует понимать однозначное сходство между записями состава и структуры двух сравниваемых участков, эта-*

лона (теоретической или экспериментальной модели) и исследуемого района, при котором их соответственные элементы ЗП являются однородными, но не обязательно равными или подобными. Каждому точечному, линейному и площадному элементу ЗП (теоретической или экспериментальной модели) однозначно соответствуют ХТ, СЛ и ЭП тех же категорий в рельефе ЗП исследуемого района. Используя терминологию кристаллографии, соответствующие элементы двух сравниваемых записей (карт, схем, рядов) можно назвать *однородными*, а сами эти записи и отраженные на них состав и структуру ЗП — *гомологичными*.

При сравнении двух записей состава и строения ЗП возможно использование разработанных в кристаллографии гомологичных операций, преобразующих одну фигуру в другую, и элементов гомологии (плоскости, оси гомологии и сложной гомологии, центр инверсии). *Гомологичные преобразования* могут указать на характер геологических процессов, нарушивших равенство или подобие сравниваемых записей. Более того, операции гомологии в определенном отношении следует рассматривать в качестве моделей геологических (диссиметреобразующих; см. § 31, 32) процессов, приводящих к нарушениям того или иного уровня симметрии без принципиального изменения состава ЗП. Иными словами, гомологичные преобразования могут рассматриваться в качестве операций, имитирующих геологические процессы.

Яркими проявлениями симметрии подобия и гомологии могут служить сходные в различной мере записи состава и структуры конусов выноса, дельт, вулканов, срединно-океанических хребтов (на разных отрезках и стадиях их развития) и других образований. Гомология выявлена при анализе рельефа пустынь Средней Азии, в котором отдельные элементы ЗП с точностью копируют не только собственную форму, но и место расположения в ГМС [27]. При этом выделены гомологичные «бассейны» (или субсистемы [27]) с составляющими их однородными элементами (гомологичными субструктурами [27]), а также установлены проявления симметрии подобия на конусах выноса (рис. 23). В пределах последних более мелкие формы подобны и гомологичны более крупным включающим их образованиям. Проведенное исследование подтверждает «...устойчивое сохранение форм рельефа (ЗП.— А. Л.) в различных геосистемах и природных поясах и свидетельствует об их инвариантном характере. Инвариантность демонстрирует наличие определенной закономерности, управляющей функционированием геосубсистем (гомологичных бассейнов.— А. Л.) и их частей (однородных элементов.— А. Л.) и выражающейся в периодической повторяемости геоморфологических ситуаций» [27, с. 1218]. Результаты этого исследования были бы еще более впечатляющими, если бы сравнивались не произвольно выделенные части ЗП («субструктуры» или «повышенные формы мезорельефа») и их группировки, а формализованные и однозначно выделенные элементы ЗП и их территориальные комплексы (ГМС).

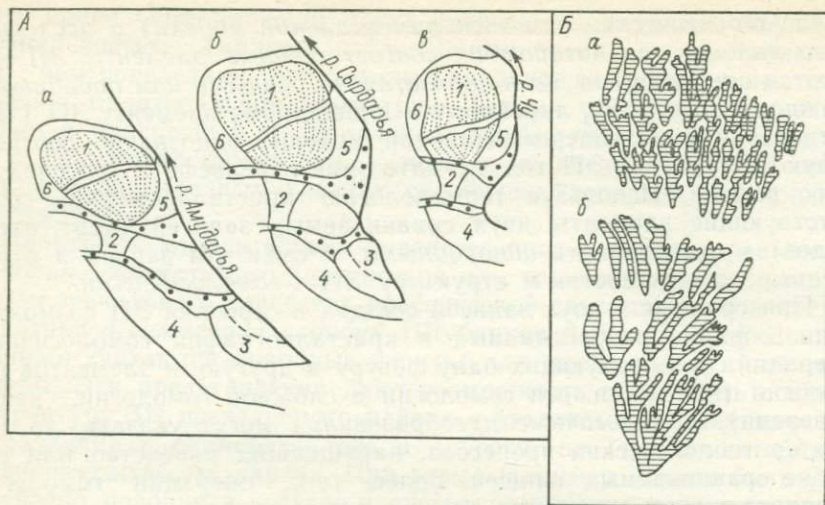


Рис. 23. Примеры симметрии, гомологии и подобия в рельефе Средней Азии.
По И. Н. Степанову и др. [27].

А — гомологичные бассейны Амударья (а), Сырдарья (б) и Чу-Таласса (в) и составляющие их однородные элементы (1—6); Б — симметрия подобия в конфигурации и размещении положительных форм ЗП на конусах выноса: Чу-Таласском (пески Мулюнкумы; а) и Зеравшанском (Каширская степь; б).

Примеры симметрии подобия и гомологии могут привести многие геоморфологи, работающие в самых разных регионах. Более того, неоднократно отмечалось геоморфологическое сходство между самыми, казалось бы, различными по генезису рельефа районами. Сейчас задача состоит в переходе от отдельных и стихийных регистраций такого сходства (как неких редких феноменов) к систематическому выявлению симметрии подобия и гомологии в том числе и там, где они явно не выражены и визуальным путем установлены быть не могут. Необходимость проведения специальных построений, направленных на выявление этих видов симметрии, определяется тем, что подобие и гомология в рельефе близких и разных по геоморфологическим условиям районов отражают кинематическое сходство рельефообразующих процессов или (и) их последовательность, характеризующуюся одним и тем же (или близким) чередованием в воздействии на рельеф разных агентов (изменением интенсивности воздействия одного и того же процесса).

Наиболее широко развит в рельефе частный случай гомологии — *криволинейная симметрия*, представления о которой впервые были разработаны [Наливкин Д. В., 1951 г.] в палеонтологии. Элементы криволинейной симметрии представляют собой закономерно изогнутые элементы классической симметрии (плоскости отражения и оси трансляции). Замена плоскостей симметрии изогнутыми цилиндрическими поверхностями, проектирующимися на карту в виде круговой дуги, зафиксирована, например, у дви-

жущегося бархана, форма которого описывается [39] (вопреки мнению [36] о несопоставимости его наветренной и подветренной частей) с помощью одной плоскости симметрии, совпадающей с господствующим направлением в розе ветров, и криволинейной поверхности, расположенной по нормали к этому направлению. Такая замена особых прямых линий на криволинейные отмечается на карте СКС в районах развития долин огибания активно растущих локальных поднятий [11], конечных морен, островных дуг гляциотектонических (скибовых) и других образований, созданных или преобразованных процессами, в направлении воздействия которых преобладает горизонтальная составляющая. Криволинейная симметрия выражается в виде многочисленных криволинейных производных от эллипсовидных и стреловидных рисунков СКС. Учитывая обычную криволинейность СКС, большое значение следует отвести трансляции по составляющим ее определенным образом искривленным регистрирующим линиям. Совокупность кривых осей трансляции может указать на направление, источник и изменение интенсивности диссимметреобразующих процессов.

На основе представлений об относительном равенстве в § 6 введено понятие о линейных элементах принципиальной симметрии и диссимметрии. Линии принципиальной симметрии разделяют две ЭП, равные по характеру своей кривизны. Площадные элементы, разграниченные СЛ принципиальной диссимметрии, не равны по названному признаку. Вместе с тем наличие последних не свидетельствует о полном отсутствии симметрии (об асимметрии) на данном участке ЗП. Исходя из этих понятий следует выделять *принципиально симметричные и диссимметричные двучленные и многочленные сочетания*, симметрия или диссимметрия которых устанавливаются относительно некой средней СЛ, разделяющей сочетание на две равные по числу членов половины.

Несомненно плодотворным будет использование в структурном анализе рельефа аппарата *двучетной (антисимметрии) и цветной (многоцветной) симметрии* [42], представлений о морфологической ритмичности и периодичности (см. § 29).

С трансляцией тесно связано представление о *законах эквидистанции*, которое включает в себя понятие «шаг». Эквидистанция проявляется не только в периоде трансляции, но и в равных расстояниях по направлениям, секущим оси трансляции. Этим законам часто подчиняются строение пегматитовых жил, распределение участков с сосредоточением в повышенных количествах колчеданного оруденения («колчеданный шаг»), вулканических аппаратов («вулканический шаг») [22], трещинно-разрывных дислокаций одного простиранения и размеры ограниченных ими блоков на щитах. Целесообразно выявление эквидистантных закономерностей в рельефе путем изучения взаимных соотношений между точечными и линейными элементами.

§ 24. Принцип морфологического районирования

Состав и структура ЗП в разной степени меняются при переходе с одного ее участка на другой. Каждый конкретный участок отличается от своих непосредственных соседей характерными для него (и различных его аналогов) составом, который, как правило, содержит лишь малую часть от всей совокупности элементов в МС, и строением, обычно реализующим лишь некоторые из принципиально возможных соотношений в морфологической структуре. *Состав и соответствующие ему пространственные соотношения между выделенными элементами в пределах ограниченного участка, обуславливающие его внутреннее единство и отличие от соседних (характеризующихся другим составом и строением) частей ЗП, являются основанием рассматривать этот участок в качестве ГМС — морфологически целостного и обособленного территориального комплекса элементов ЗП и их связей.*

Исходя из данного определения морфологическое районирование (выделение ГМС) представляется процедурой, в определенном смысле обратной элементаризации ЗП и заключающейся в пространственной группировке (объединении) ранее вычлененных элементов. Это отличает его от районирования ландшафтной оболочки, осуществляемого одновременно как «сверху» (путем деления на все более простые и более однородные территориальные комплексы), так и «снизу» (в результате последовательного объединения последних в единицы все более и более высокого порядка) [8].

Другая особенность в выделении ГМС вытекает из того, что предшествующая ему элементаризация ЗП не ставится в зависимость от размеров вычлененных элементов и может осуществляться на любом масштабном уровне (масштабная универсальность; см. § 35). Для современных исследований и районирования характерна тенденция выделять «самые элементарные», простейшие или «абсолютно неделимые» ингредиенты. В ландшафтоведении в качестве таких единиц выступают географические фации, в географии почв — элементарные почвенные ареалы, в геоботанике — фитоценозы, а вообще в биогеографии — биогеоценозы. Предложенная В. Б. Сочавой [1974 г.] концепция минимум-ареала применительно к геосистемам до сих пор не имеет четких критериев выделения мельчайших элементарных хронологических единиц. Считать таковым биогеоценоз, внутри которого не проходит ни одной (биоценотической, геоморфологической и т. д.) «существенной» границы [Тимофеев-Ресовский Н. В., 1973 г.], или геосистему, внутри которой совершается «элементарный круговорот субстанции» и которая «лимитирована определенным пространством и функциональными нормативами» [Сочава В. Б., 1974 г.], вероятно, нельзя до тех пор, пока не будут количественно оценена

«существенность» (резкость) границ и прослежены эти круговороты.

В геоморфологии такими элементарными единицами считаются генетически однородные элементы (или «границы») ЗП, которые под этими или другими (склоны, уступы, площадки террас и т. д.) названиями выделяются обычно лишь на крупно- и, реже, среднемасштабных аналитических картах. Предполагается, что на синтетических средне-, мелкомасштабных и обзорных картах выделяются единицы по принципиально другому критерию, который существует и может быть использован только на высоких таксономических уровнях. Однако и на этих картах часто отражаются «границы», которые отличаются от единиц крупно- и среднемасштабного аналитического картографирования только тем, что адекватные им образования в реальной ЗП занимают значительно более обширные пространства, фигурируя при этом в легендах как в явном (например, шельф, континентальный склон, уступ, подножие, плато, низкая и высокая равнины), так и в скрытом (под генетическими, в том числе морфоструктурными, а также историческими терминами) виде.

Рассматриваемая тенденция в географии и в определенном отношении искусственные различия между картографируемыми единицами на разномасштабных аналитических и синтетических картах в геоморфологии вряд ли могут считаться оправданными, так как *степень элементаризации всегда находится в зависимости от масштабного уровня исследований и картографирования*. Нижним пределом такой элементаризации, за которым исчерпываются функции геоморфологии, является переход от ЗП к поверхностям экспонированных на нее минеральных частиц, а верхним — переход от крупнейшего элементов ЗП, слагающих планетарный рельеф, к поверхности геоида. Универсальность элементаризации ЗП на уровнях наноформ и геотектур И. П. Герасимова [1959 г.], а также на множестве промежуточных уровней определяет общий подход к морфологическому районированию на разных масштабных уровнях, обеспечивающий возможности и преимущества последующего строгого сопоставления разнопорядковых ГМС и формирующих их геологических процессов. Это преимущество не менее важно в системном подходе, чем значение иерархической (таксономической или размерной) классификации форм ЗП, которая рассматривается [21] в качестве необходимого условия системной ориентации геоморфологии.

Абстрагировавшись от масштабности единиц картографирования и районирования, площадной элемент ЗП с существенными оговорками можно сравнить с географической фацией, характеризующейся однородными условиями местоположения (в пределах одного «элемента мезорельефа или одной формы микрорельефа» [8], а территориальный комплекс взаимосвязанных элементов ЗП (сочетания) — с понятием в ландшафтоведении об урочищах («сопряженных системах фаций, приуроченных к формам ЗП» [8]). Эта приблизительная аналогия касается в большей степени со-

става, чем строения геоморфологических и физико-географических комплексов.

Если до недавнего времени под физико-географическим районированием понималось деление ландшафтной оболочки на части, обладающие относительно однородным составом, то сейчас начинают преобладать представления о геосистемах — территориальных комплексах элементов, объединяемых в функционально целостные системы [23]. Принцип функциональной целостности группируемых разнородных элементов, направленный на установление связей между строением ландшафтов и создающими их физико-географическими процессами, следует заимствовать и геоморфологии, в которой до сих пор под районированием понимается лишь выявление частей ЗП по относительной однородности разных характеристик рельефа и рельефообразующих процессов в их пределах.

Привлекательность использования при морфодинамическом анализе сформулированного А. Ю. Ретеюмом [23] принципа функциональной целостности заключается в его ориентации на: а) исследование пространственной организации ландшафтной оболочки, которая в конечном счете обусловлена движением вещества и энергии, б) выделение геосистем, границы которых совпадают с границами потоков и областей выноса и поступления вещества. Практически на этих позициях уже стоят О. А. Борсук и Ю. Г. Симонов [23], выделяющие «экзогенные морфосистемы» (комплексы форм и элементов ЗП, размещенных в пространстве так, что их совместное развитие определяется нисходящим литодинамическим потоком), и З. М. Хворостова и Л. С. Миляева [21], принимающие за элементарные геоморфологические системы сочетания генетически разнородных элементов рельефа, объединенных парагенетическими связями.

Однако рассмотренный принцип может выйти за пределы сугубо теоретических построений и быть реализован в практике геоморфологических исследований только тогда, когда он будет основан на: 1) строгом определении и выделении группируемых элементов ЗП и 2) не менее строгом объединении и ограничении их территориальных комплексов — ГМС. Первое условие выполнимо в результате реализации рассмотренных выше представлений о МС и морфологическом картографировании. Второе условие может быть соблюдено только при выделении территориальных комплексов элементов ЗП и их связей по *морфологической целостности комплексов, которая отражает целостность функциональную.*

Принцип морфологической целостности предусматривает целостность в отношении не только строения ГМС (структурная целостность), но и ее состава (номенклатурная целостность), а также то единство территориального комплекса, которое вытекает из взаимной обусловленности выделяемого в его пределах набора элементов ЗП и определенной закономерности в их пространственном соотношении. Если *структурная целостность*, наиболее ярко отражающая функциональное единство, проявляется в какой-то еди-

ной закономерности построения (составления) элементов ЗП, то *номенклатурная целостность* есть не что иное, как относительная однородность состава ЗП — одинаковые или близкие наборы этих элементов на всей территории ГМС.

Прямое использование принципа функциональной целостности при выделении ГМС может основываться только на представлениях о сформировавшихся их процессах, т. е. на осужденной выше (см. § 1, 2) направленности геоморфологических исследований, игнорирующей первичность изучения морфологии рельефа по отношению к изучению рельефообразующих процессов. ГМС могут быть строго выделены и ограничены только на основании установленной в результате морфологического картографирования и структурного анализа рельефа их морфологической целостности. При этом никакие априорные представления о процессах (в частности, о генезисе и возрасте) не должны приниматься во внимание, так как все они в разной степени субъективны и не поддаются формализации. И лишь на базе строго установленной морфологической целостности и представлений о том, что она в конечном счете обусловлена строго соответствующими ей по направленности, степени локализации (канализированности), интенсивности и другим кинематическим характеристикам перемещениями литосферного вещества и ЗП, в результате динамической интерпретации структуры и состава ГМС может быть установлена функциональная целостность между определенным образом сгруппированными элементами и определившими эту целостность и обособленность геологическими процессами. Только такой подход может обеспечить решение вопроса об ограничении геоморфологических систем, который сейчас «...представляет собой неподнятую тему» [21, с. 124].

Таким образом, *выделение и ограничение ГМС предлагается осуществлять в соответствии с единым системным принципом морфологической целостности, заключающимся в одновременном использовании двух взаимосвязанных критериев: номенклатурного (по составу) и структурного*. Среди структурных признаков в морфологическом районировании следует (в соответствии с рекомендациями [21]) принимать во внимание не случайные, а существенные, не производные, а определяющие.

§ 25. Номенклатурный критерий выделения геоморфосистем

Практическая реализация номенклатурного критерия заключается в выделении частей ЗП, однородных по составу. В их пределах по регистрирующим линиям одной или двух систем СКС фиксируются ряды с одинаковыми или близкими сочетаниями. Под *номенклатурной однородностью* ГМС понимается не сходство входящих в нее элементов, а однородность их сочетаний. Каждое из последних может включать в себя резко различающиеся по выраженности в поперечном профиле и по уклонам СЛ и ЭП (члены). В пределах одной ГМС могут быть, например, зафикси-

рованы наряду с плоскими вершинами (ЭП P_{+5}) резко врезанные долины (ЭП P_{4-2}), сложные (описываемые рядами 3.4.5.3.6. ...) и простые (P_{5-2}) склоны.

В результате сравнения сочетаний, фиксируемых одной регистрирующей линией (в одном ряду) или серией регистрирующих линий (в серии рядов), возможно выделение *четырех уровней номенклатурной однородности ГМС*. *Высшая однородность* отмечается для тех ГМС, в пределах которых сочетания в одном ряду или в серии рядов полностью идентичны. *Высоким уровнем* однородности характеризуются те ГМС, в которых в одном или во всех регистрируемых рядах повторяются одни и те же пары крайних сочетаний АВ и ВС, а склоновые сочетания В различаются последовательностью и числом членов. ГМС, в пределах которых повторяются пары только верхних или только нижних сочетаний, а их антиподы близки друг к другу по морфологической выраженности, различаются *средним уровнем* номенклатурной однородности. *Низший уровень* однородности свойствен тем ГМС, в которых пары крайних и склоновые сочетания отличаются друг от друга, но первые из них близки по своей морфологической выраженности.

Первый уровень номенклатурной однородности пояснений не требует. Для второго уровня характерно повторение принципиально симметричных или диссимметричных пар нижних и верхних сочетаний при различиях в сочетаниях группы В. Примером высокой однородности могут быть те ГМС, в пределах которых фиксируются ряды 4. 3.1.3. 5.5.6.5. 4.2.4. 3.4.6.5. 4. 3.1.3. 5. ... (симметричные крайние сочетания) или 4. 3.1.4.5.5. 6.5. 4.2.3. 4.5.6.5.4. 3.1.4. 5.6.6.5. 4.2.3. 5. ... (диссимметричные крайние сочетания)*. В третьем и четвертом уровнях однородности под близкими по своей морфологической выраженности (в поперечном профиле) парами крайних сочетаний понимаются те, в которых СЛ L_5 отвечает СЛ L_3 , а СЛ L_6 — СЛ L_4 . Примером третьего уровня может служить ряд 4. 3.1.3.5.5.6.5. 4.2.4. 5.4.6.5.4. 5.1.5. 4.6.5.4.5.4. 2.4. 5. ..., а четвертого — 4. 3.1.3. 4.5.6.5. 4.2.4. 5.4.6.5.4. 5.1.5. 4.6.5.4.5. 6.2.6. 5. ...

Для выявления уровня однородности и районирования ЗП по номенклатурному критерию предлагается записывать ряды вдоль регистрирующих линий на карте СКС. Затем в результате последовательного изучения рядов полосами разного цвета фиксируются пары верхних (красный цвет) и нижних (синий цвет) сочетаний и склоновые (желтый цвет) сочетания, а также устанавливаются уровни однородности. Следующая операция заключается в таком же последовательном ограничении каждой из регистрирующих линий в том месте, где зафиксированные ряды меняют свой состав по отношению к любому сочетанию (при высшем уровне однородности), по отношению к крайним сочетаниям (при высоком уровне

* В этой и нижеприведенных записях рядов крайние сочетания набраны полужирным.

однородности), только к верхним или только к нижним (при среднем уровне однородности) и к близким по морфологической выраженности сочетаниям (при низшем уровне однородности). Для большей уверенности в полосе наиболее вероятного прохождения границы, выделяемой по номенклатурному критерию ГМС, следует увеличить плотность регистрирующих линий и осуществлять регистрацию элементов по противоположной системе СКС.

§ 26. Структурный критерий выделения геоморфосистем

Структурный критерий в геотектоническом районировании обычно сводится к выделению конкретных дислокаций в пределах структурных этажей (комплексов), структурно-формационных зон, областей с разной историей, продолжительностью и типом развития. Критерий с таким же названием в физико-географическом районировании имеет смысл, более точно отвечающий общенаучному понятию «структура» и непосредственно приводящий к ее динамическому истолкованию. В. Н. Солнцев, например, различает три типа природных комплексов — геосистем, обладающих векторной (ориентированной вдоль линий тока), изопотенциальной (ориентированной вдоль силовых линий гравитационного и инсоляционного полей) и ячеистой (образовавшейся в результате обособления сходных по положению элементов) структурой (см. § 33). А. Ю. Ретеюм выделяет геосистемы с элементами, соединенными друг с другом по принципу каскада (в результате однонаправленного потока вещества). В. М. Фридланд разделяет элементарные почвенные ареалы по характеру изменения почв внутри их границ (с центробежным и сквозным трендом) и генетико-геометрическим формам (на округлые, струйчатые, полигональные, древовидные, линейные, кольцевые, неупорядоченные и др.) [23].

Используя этот опыт, а также аппарат учения о симметрии, представления об СКС и латеральных и вертикальных соотношениях между элементами ЗП (см. ниже), *реализацию структурного критерия следует осуществлять путем выявления и систематики всех принципиально возможных вариантов строения ГМС.* Пока можно наметить первые шаги в выявлении единой закономерности составления каждой ГМС из важнейших элементов ЗП, отражающей ее структурную целостность — совокупность пространственных соотношений между этими элементами. При этом особое значение в выделении ГМС отводится фиксации симметрии и диссимметрии рельефа, так как само понятие «симметрия» отражает известный порядок, соразмерность частей каждой ГМС, ее равновесие, единство и целостность, термин «диссимметрия» — развитие структуры ГМС, удаляющее ее от равновесного состояния.

В пространственных отношениях между всеми элементами ЗП выделяются *латеральные и вертикальные связи.*

В рисунках СКС, отражающих существенные или определяющие (от которых зависят другие связи в ГМС) соотношения

между важнейшими элементами ЗП, под *латеральными связями* понимаются: а) подчиненность их взаимного положения законам симметрии, что проявляется в наличии в этих рисунках элементов симметрии и вытекающей из этого возможности их идентификации с идеальными симметричными фигурами СКС, и б) сочленение и пересечение линий одной из ее систем. Если первый признак действителен для всех семи идеальных фигур СКС (см. рис. 22, столбцы *a*, *b*), то второй (топологическая связность) не применим к решетчатой фигуре. Последняя отражает не какую-либо орографически обособленную (латерально связную) форму ЗП, а голоморфное строение ее участка. Поэтому по отношению к решетчатому рисунку (а не ко всем подчиненным ему в своем взаимном положении элементам ЗП) можно говорить об отсутствии в нем латеральных связей между линиями СКС.

Под *вертикальными связями* понимаются пространственные соотношения между всеми элементами ЗП, устанавливаемыми по нормали к поверхности геоида (по оси *H* СКС), а для линий СКС — единая тенденция (тренд) в изменении $H(x, y)$ на слагающих их точках. Взаимное положение элементов СКС по вертикали в радиально-концентрических, эллипсовидных и стреловидных рисунках обязательно сопровождается их определенными латеральными соотношениями, в то время как латеральные связи могут существовать без каких-либо вертикальных соотношений (см. рис. 22, столбцы *a*, *b*). Примерами последнего служат соответствующие этим рисункам системы диаклаз, аккумулятивных валов и такыры. С учетом этого *вертикальные связи следует выявлять* не независимо от латеральных соотношений, а *по горизонтально направленным осям X и Y СКС (осям анизотропии)*. Для латерально связных фигур, принимая во внимание повсеместную анизотропию рельефа, можно, во-первых, говорить о том, что вертикальные соотношения наиболее устойчиво проявляются лишь по одному из двух направлений СКС (нормальному по отношению к той системе, которая представлена окружностями, эллипсами или эллипсовидными линиями и параболоми), и, во-вторых, допустить, что другое направление характеризуется отсутствием этих соотношений, или пренебречь ими. Для решетчатых рисунков такое допущение неприемлемо, так как в них вертикальные связи могут иметь место как по одному направлению СКС (см. рис. 22, строка 4), так и сразу по двум независимым друг от друга (см. рис. 22, строка 5).

Наличие вертикальных соотношений по направлению *Y* означает ориентировку в гипсо-, батиметрическом положении СЛ I типа (вертикальные соотношения между O_1 и O_2). Вертикальные соотношения по направлению *X* устанавливаются между СЛ I типа по поперечным линиям СКС. В идеальных (см. рис. 22, столбцы *c—f*) и реальных (на морфологической карте; см. рис. 20, 21) фигурах вертикальные соотношения отражаются стрелками на линиях СКС, указывающих на тенденцию в изменении значений $H(x, y)$. Отсутствие таких стрелок на линиях одной

или сразу двух систем СКС означает, что устойчивые вертикальные связи по ним не устанавливаются.

Составленная с учетом вышеизложенного полная группа идеальных рисунков СКС (см. рис. 22) предусматривает отсутствие и наличие латеральных и вертикальных (по направлениям X и Y) соотношений. Они рассматриваются в качестве реперов, относительно которых можно определить симметрию и диссимметрию реальных рисунков с целью реализации структурного критерия выделения ГМС и их последующей динамической интерпретации. Четыре типа идеальных рисунков являются разными уровнями потенциальной, по В. А. Бокову [23], симметрии, с которой сравнивается фактическая симметрия СКС.

Отказ от обязательного для классической симметрии сохранения метрики исследуемых фигур СКС, элементов ЗП и их совокупностей позволяет описать и исследовать их свойства, которые сохраняются при проективных, аффинных и топологических преобразованиях. Применяя эти представления [42], в частности, к реальным рисункам СКС, имеющим элементы симметрии (особые точки и линии), эквивалентные в смысле относительного равенства таким же элементам в идеальных рисунках, мы можем идентифицировать их, определив группу или уровень симметрии рисунка.

Реализация структурного критерия выделения ГМС сводится к исследованию симметрии СКС — разбиению ее на реальные рисунки, которые идентифицируются с составляющими полную группу идеальными фигурами (см. рис. 22). При таком разбиении предполагаются: а) наличие «разрывов сплошности» в СКС, когда линии двух или одной из ее систем прерываются и не могут быть продолжены при переходе от одного рисунка к другому; б) возможное взаимное наложение выделенных рисунков друг на друга и в) пропуски в СКС в виде зон или участков, структура которых при данной деятельности исследования (масштабе карты) не выявляется.

Реальные рисунки СКС могут иметь сложный композиционный характер, отличаться взаимопроникновением, определенной координатной и (или) субординатной. Все это выдвигает на первое место задачу их обособления, решение которой (реализация структурного критерия выделения ГМС) сводится к определению, во-первых, наличия в реальных рисунках элементов симметрии — особых точек и линий — и принадлежности данных рисунков к одному из уровней симметрии (т. е. к идентифицированию реального рисунка с идеальным) и, во-вторых, их диссимметрии — характера и степени отклонения от идеальных фигур СКС.

Наличие особых точек n_y или n_x с расходящимися от них осями Y или X и кольцевыми линиями другой системы СКС свидетельствует о принадлежности реального рисунка к типу *радиально-концентрических*. В одной разновидности радиально-концентрических рисунков направление Y представлено радиально расходящимися (сходящимися) векторными, структурными

(I типа) и дополнительными линиями. Они встречаются в особой точке n_y , из которой разными радиусами проведены окружности или дуги, измеряемые в градусах центрального угла. Эти окружности или дуги являются концентрическими поперечными линиями (горизонталями) или их дугообразными фрагментами, относящимися к системе X . Данная разновидность радиально-концентрических рисунков в реальной СКС идентифицируется с идеальными фигурами c и d в ряду 1 (см. рис. 22). В другой разновидности радиально-концентрических реальных рисунков, идентифицирующихся с идеальными фигурами e и f в ряду 1, наоборот, в качестве радиусов выступают линии системы X , а окружностей или их дуг — линии системы Y .

Принадлежность реального рисунка к одному из видов идеальных радиально-концентрических фигур в ряду 1 устанавливается даже тогда, когда радиусы и окружности (дуги окружностей) представлены искривленными линиями, а сам реальный рисунок имеет форму не круга, а какой-либо его правильной (сектора, сегмента) или неправильной в плане части. Более того, определение радиально-концентрического (или близкого к нему) расположения линий СКС может не сопровождаться обнаружением особых точек n_y или n_x . В таких случаях эти точки называются мнимыми, а их положение за пределами реального рисунка (части радиально-концентрической фигуры) устанавливается в результате продолжения радиальных линий СКС и фиксации их взаимного пересечения.

Чтобы отнести реальный рисунок к типу *эллипсоидных*, необходимо обнаружить в нем две взаимно перпендикулярные особые линии — большие (m_{y_1} или m_{x_1}) и малые (m_{y_2} или m_{x_2}) оси вытянутой замкнутой фигуры и точки их пересечения (2_y или 2_x). При этом могут быть варианты, при которых одна из осей или сразу две особые линии являются искривленными, а также случаи, когда реальный рисунок представляет собой лишь фрагмент идеального, в том числе не включающий в себя особую точку. Положение последней (мнимые точки 2_y или 2_x) и вообще идентификация сильно разрушенного эллипсоидного рисунка при этом осуществляются в результате мысленного или графического восстановления его большой и малой осей (их продолжения вплоть до взаимного пересечения в мнимых точках 2_y или 2_x) и согласованно с ними деформированных линий другой системы СКС. Этот тип рисунка отличается от стреловидного типа фигур изменением в его пределах углов сочленения с большой осью линий этой же системы СКС от острых к прямым и далее к тупым (см. рис. 22, ряд 2).

Стреловидный рисунок должен иметь особую линию m_y или m_x , с которой сочленяются линии этой же системы СКС («оперение»). При этом углы их сочленения должны быть или острыми (см. рис. 22, столбцы d и f), или тупыми (столбцы c и e), но не прямыми. Наличие последних является признаком принадлежно-

сти реального рисунка к эллипсовидному типу фигур СКС. Стреловидный рисунок в реальной СКС может быть изогнут или представлен каким-либо фрагментом, в том числе с «односторонним оперением», когда одна из его границ проходит по особой линии m_y или m_x .

В *решетчатом* рисунке в качестве элементов симметрии (осей трансляции) выступают линии двух систем СКС, которые могут быть правильно или неправильно изогнутыми. Если согласованные плановые деформации осей трансляции осуществлены из единого центра или в одном направлении, то образованные при этом рисунки приобретают особые линии и точки и уже относятся к трем рассмотренным выше типам.

Диссимметрию реальных рисунков СКС следует определять как нарушение симметрии в латеральных и вертикальных соотношениях идеальных фигур.

Латеральная диссимметрия представлена следующими основными видами (и их комбинациями).

1. Реальный рисунок является правильно или неправильно вычлененной частью одной из семи идеальных фигур (см. рис. 22, столбцы *a* и *b*). Наиболее часто и правильно вычленяются сектор радиально-концентрического рисунка (например, при радиальном сочленении речных долин) и половины эллипсовидного или стреловидного рисунка, «отрезанные» одной из особых линий.

2. Реальный рисунок гомологичен идеальному, является криволинейной производной от идеальной фигуры и характеризуется согласованно искривленными (в том числе особыми) линиями двух систем СКС. Несогласованность в латеральных деформациях линий СКС не позволяет установить и тем более оценить диссимметрию. И если эти несистематические плановые деформации невелики, можно только говорить о принадлежности рисунка к одному из семи типов идеальных фигур.

3. В реальном рисунке проявляется несколько фигур, относящихся к одному и тому же типу, но имеющих свои собственные элементы симметрии. Данный вариант особенно характерен для наложения решетчатых рисунков друг на друга.

4. В реальном рисунке соединено несколько по-разному проявляющихся рисунков, относящихся к разным типам фигур.

Латеральная диссимметрия третьего и четвертого видов является суммарной от латеральной диссимметрии составляющих ее рисунков. При наложении реальных рисунков друг на друга могут быть выделены две или несколько ГМС разных размеров. При этом одна из них осложняет другую, входя в нее полностью или частично.

Диссимметрия вертикальных соотношений означает нарушения согласованности (порядка) в изменении $H(x, y)$ по линиям одной из двух систем СКС, отраженные на идеальных рисунках (см. рис. 22, столбцы *c—f*). Выделяются следующие основные виды таких нарушений.

1. По одному из диаметров радиально-концентрического или по одной из двух осей эллипсовидного рисунка фиксируется не местное (в границах рисунка) двустороннее (от особых точек или к особым точкам) изменение $H(x, y)$, а транзитная, односторонняя, тенденция в этом изменении, т. е. данный диаметр или ось имеют в пределах рисунка вид не тензора, а вектора.

2. На стреловидных рисунках, наоборот, вместо характерной для них односторонней тенденции в изменении $H(x, y)$ по особой линии (\vec{m}_y или \vec{m}_x) фиксируется ундуляция последней и, как следствие этого, двусторонняя направленность в изменении $H(x, y)$.

3. На трех латерально связанных фигурах один из диаметров, или особая линия, отличается от других линий этой же системы СКС противоположной двусторонней (на радиально-концентрических и эллипсовидных рисунках) или односторонней (на стреловидных рисунках) направленностью в изменении $H(x, y)$.

4. На латерально связанных рисунках вертикальная ориентировка гребневых и килевых линий в системе Y СКС не согласована друг с другом.

5. На решетчатых рисунках линии СКС ориентированы по вертикали в противоположные стороны и подчиняются одному из семи видов симметрии односторонних плоских семиконтинуумов [42]. Если для всей совокупности этих линий в пределах рисунка фиксируется положительная или отрицательная ундуляция, уровень симметрии данного реального рисунка увеличивается за счет появления новых элементов — особой линии или даже точки.

Границы ГМС — реальных рисунков, вычленяемых в СКС, устанавливаются с учетом всех возможных нарушений симметрий их латеральных и вертикальных связей. Это осуществляется в результате учащения линий СКС в зоне предполагаемого положения границы и анализа поведения данных линий в плане и по вертикали. Если приграничные линии подчиняются симметрии идеальной фигуры (с которой идентифицируется структура выделяемой ГМС) и отклонение от этой симметрии согласовано с диссимметрией всего рисунка, то они включаются в его пределы. В противном случае данные линии и расположенные между ними участки ЗП относятся к соседней ГМС.

Пока критерии идентификации реальных рисунков с идеальными фигурами до конца не установлены, а методика определения и оценки диссимметрии сводится к самым общим рекомендациям [Боков В. А., 1977 г.], приходится довольствоваться визуальным уровнем морфологического районирования. Этот уровень позволяет выделять ГМС, отклонения рисунка СКС в которых от соответствующей идеальной фигуры не столь велики и сложны и несут систематический характер.

Структурный критерий является главным в морфологическом районировании. Участки ЗП с разными основными особенностями строения относятся к различным ГМС даже в тех случаях, если

по своему составу они однородны или близки. Главенствующее значение структурный критерий будет иметь и при систематике ГМС, в основу которой должны быть положены установленные группы симметричных преобразований рисунков СКС и их диссимметрия.

Вместе с тем морфологическая целостность ГМС обеспечивается *единством ее состава и строения*. Это единство проявляется в том, что каждому уровню симметрии и типу идеальных фигур, с которыми отождествляются реальные рисунки СКС, соответствуют определенные категории сочетаний элементов (выделенные по группировке их членов в плане и по вертикали; см. § 11), и в частности, крайние (верхние или нижние) члены, являющиеся своеобразными ядрами ГМС. Площадные элементы P_{0-n} и P_{n-0} фиксируются только в ГМС с радиально-концентрическим рисунком, хотя это и не означает, что данные ГМС всегда должны содержать привершинные поверхности. ГМС с эллипсовидными рисунками СКС характеризуются наличием ЭП P_{1-n} (для варианта c на рис. 22) или P_{n-2} (для варианта d на рис. 22), которые выступают по отношению к другим элементам в качестве «ядер» и чаще всего преобладают по площади. То же самое можно сказать о ГМС со стреловидными рисунками СКС.

ГЛАВА IX

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СООТНОШЕНИЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

При рассмотрении МС говорилось о составе и структуре ЗП, вообще, примерно так, как может быть сказано, что данный тип строительных конструкций создается из таких и только таких унифицированных деталей, которые могут соединяться друг с другом таким и только таким образом. Аналогично тому, как перечень (каталог) этих деталей и вариантов их сочленения отражает состав и структуру не конкретных сооружений, а всей их совокупности, выделенные элементы МС и рассмотренные в полных группах и классификационных схемах (см. рис. 1, 2, 4—8) их принципиально возможные соотношения отражают состав и структуру ЗП вообще.

Морфологическая структура включает в себя все вероятные и вместе с тем строго ограниченные и определенные варианты (конечное множество) взаимных соотношений между точечными, линейными и площадными элементами. Структурный анализ ГМС должен базироваться на рассмотренных в гл. IV представлениях о морфологической структуре. Такая логика целиком соответствует основной методологической установке в системной ориентации морфодинамических исследований, требующей *изначальной полноты и общности* при выявлении всех принципиально возможных соотношений между элементами МС. Лишь на основе указанного воз-

ТАБЛИЦА 6

Содержание структурного анализа рельефа

Элементы, между которыми устанавливаются связи	Виды пространственных соотношений	
	Латеральные	Вертикальные
Установление связей		
ОТ (по линейным элементам)	Плановая корреляция ОТ — трассирование СЛ всех видов (построение карты СЛ)	Построение и анализ карт поливершинных и полибазисных поверхностей (для СЛ L_1 и L_2) и карт деформаций СЛ $L_3—L_6$, а также продольных профилей по СЛ всех видов
Оценка тесноты связей		
	Построение и анализ карт коэффициентов анизотропии (для СЛ L_1 и L_2) и плановой корреляции (для СЛ $L_3—L_6$). Определение принадлежности СЛ к одной из групп линейных элементов	Построение и анализ карт заложений изобазит и гипсизобазит (для СЛ L_1 и L_2) и карт градиентов деформаций СЛ $L_3—L_6$, а также графиков первой производной на продольных профилях по СЛ всех видов
Установление связей		
ХТ	Определение подчиненности в расположении ХТ параллелограмматическим системам, сетчатым орнаментам и изогонам. Выявление эквидистантных закономерностей в расположении ХТ. Использование разбиения Дирихле	Построение и анализ кривых распределения и карт гипсизобазит батиметрического положения ХТ
ХТ и СЛ I типа	Выявление элементов симметрии — особых точек для радиально-концентрических и эллипсовидных рисунков СКС	Определение направлений падения линий системы У СКС
СЛ I типа	Определение типов рисунков СКС. Выявление конгруэнтности и регулярности в расположении СЛ I типа Анализ угловых соотношений между СЛ I типа (линиями системы У СКС) и СЛ II и III типов на морфологической карте	Построение и анализ карты разностей поливершинно-базисной поверхности. Построение и анализ поперечных профилей по регистрирующим линиям СКС

Элементы, между которыми устанавливаются связи	Виды пространственных соотношений	
	Латеральные	Вертикальные

Оценка тесноты связей

Все СЛ	Построение и анализ сводной розы-диаграммы и карты тангенсов углов между СЛ I типа (линиями системы У СКС) и СЛ II и III типов	Построение и анализ карт градиентов разностей поливершинно-базисной поверхности, карты коэффициентов картографической корреляции. Определение коэффициентов корреляции между высотами (глубинами) полибазисной и поливершинной поверхностей в плане и на профиле
--------	--	--

Установление связей

ЭП	Анализ конфигурации, соотношений конфигурации и площадей ЭП на морфологической карте	Анализ рядов и отдельных сочетаний по регистрирующим линиям — выявление морфологической ритмичности и периодичности
Все элементы ЗП	Выявление и фиксация симметрии и диссимметрии реальных рисунков СКС. Оценка сложности строения (структурно-номенклатурной неоднородности)	

возможен переход к изучению конкретных реализаций этих соотношений на исследуемой территории. Ниже изложена методика анализа структуры выделенных ГМС — совокупностей многочисленных и разнообразных взаимоотношений между точечными, линейными и площадными элементами в их пределах. Пространственные соотношения между ними не только не противоречат принципиально возможным связям в МС, а основываются на них как на обязательных во взаимоотношениях элементов. *Морфологическая структура есть тот остов, на котором базируются выявление и анализ строения всех конкретных ГМС.*

Морфологическое картографирование и структурный анализ ГМС при региональных морфодинамических исследованиях связаны отношением, однозначным лишь в одну сторону. При структурном анализе используются практически все исходные и промежуточные материалы и построения, выполненные в ходе картографирования, и в том числе морфологическая карта. Структура ГМС изучается на морфологической карте и других специально осуществляемых для этого построениях как качественно, так и количественно. Количественная оценка может быть дана тесноте

связей между элементами, сложности строения ГМС, взаимному положению отдельных элементов и их групп в пространстве и другим структурным характеристикам.

Структурный анализ ГМС предусматривает установление связей между элементами ЗП и оценку их тесноты. Кроме того, в его задачи входят определение видов связей — латеральных и вертикальных (для всех элементов ЗП, кроме площадных), прямых и обратных (между СЛ L_1 и L_2) и др., — оценка сложности строения ГМС, выявление закономерностей в их строении. Установление и оценка связей могут быть осуществлены последовательно в результате перехода от анализа пространственных соотношений между ОТ (по линейным элементам) к анализу их между ХТ и далее между СЛ и ЭП в отдельности и между всеми перечисленными элементами, вместе взятыми. Данной последовательности соответствует нарастающее усложнение этих связей и методов их выявления. Содержание и последовательность структурного анализа рельефа отражены в табл. 6.

§ 27. Анализ соотношений между отличительными и характерными точками

Особо важное значение в структуре ГМС отводится СЛ. Это определяется тем, что пространственные соотношения в ГМС проявляются прежде всего в форме линейных элементов и их совокупностей. Основным свойством СЛ является их общая инвариантность, которая, в отличие от инвариантности особых линий по отношению к симметричным преобразованиям, проявляется в их независимости от основных параметров и положения ЗП в ортогональном пространстве (см. § 5, 6). Каждый из линейных элементов включает в себя ОТ, характеризующиеся самыми разными значениями $H(x, y)$, $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$ при неизменной экстремальности по отношению к значениям этих параметров в соседних точках на поперечных к ним линиях. Одна и та же СЛ может быть прослежена, например, на мелкомасштабной карте из орогенной области в равнинную, с надводной части континента на шельф, континентальный склон и далее на ложе океана. СЛ разного вида соединяют часто удаленные друг от друга и с разной контрастностью выраженные в рельефе линейные элементы, которые обычно отражаются на аналитических картах в виде бровок, подножий (тыловых швов), внесматштабных обозначений уступов и площадок террас.

СЛ являются не только неделимыми ингредиентами ЗП, они отражают на карте соотношения между точечными и площадными элементами, выступая в буквальном смысле слова в роли *линий связи*. Линейные элементы служат *прямым средством связи* между всеми ХТ (за исключением вершин C_0^+ и C_0^-).

Смежные ЭП также соотносятся друг с другом через линейные элементы. Каждый из последних, разграничивая две сопряженные поверхности, вместе с тем является их общей частью. Таким образом, в результате трассирования и фиксации СЛ создается не чисто дискретная, а *дискретно-непрерывная* геоморфологическая модель (морфологическая карта), на которой уживается составленность ЗП из разобщенных площадных элементов с объединением других элементов в линии и их связные сети. В создании такой модели первостепенная роль отводится СЛ, каждая из которых (кроме линий L_1 и L_2 при $K_{ан} < 0$) выполняет как бы две функции: делителя ЗП и объединителя ее точечных элементов.

Однако прежде всего СЛ фиксируют разные по дальности и тесноте связи между ОТ, геометрическим местом которых является каждая из линий. Теснота латеральных связей между ОТ, или уверенность в их плановой корреляции, проявляется при трассировании линейных элементов. Для ОТ O_1 и O_2 она ко-

личественно оценивается с помощью коэффициента анизотропии (см. § 19), изменение значений которого от +1 до -1 указывает на уменьшение тесноты связи между ними вплоть до ее полного отсутствия. Карта коэффициентов анизотропии, отражающая эту тесноту на всей исследуемой площади, является одним из важнейших для динамической интерпретации структурных построений (см. § 33).

На прямолинейных и нерасчлененных склонах, а также на изометричных формах, где СЛ L_1 и L_2 отсутствуют, структура ЗП в значительной мере предопределена наличием линий II и III типов, трассирующих ОТ $O_3—O_6$. Для оценки тесноты связи между отличительными точками может быть использовано отношение значений $|H'(x, y)|$ или $|H''(x, y)|$ в ОТ $O_3—O_4$ или $O_5—O_6$ соответственно к значениям этих основных параметров ЗП в двух равноудаленных от них вверх и вниз по склону точках, расположенных в ближайшей их окрестности на единой векторной линии. Коэффициент плановой корреляции $K_{кор}$ ОТ $O_3—O_6$ характеризует контрастность проявления в рельефе СЛ $L_3—L_6$. Зоны резких градиентов $K_{ан}$ и (или) $K_{кор}$ часто приурочены к границам ГМС.

На тесноту связи между ОТ разного вида указывает морфологическая выраженность СЛ в поперечном профиле или их принадлежности к одной из групп линейных элементов (см. § 6). При прочих равных условиях теснота связи между ОТ, или контрастность проявления линейных элементов в рельефе, уменьшается в направлении $L^c \rightarrow L^b \rightarrow L^a$ (для СЛ принципиальной симметрии), для линий принципиальной диссимметрии I типа в направлении $L^{a,b}(L^{b,a}) \rightarrow L^{a,c}(L^{c,a}) \rightarrow L^{b,c}(L^{c,b})$ и для линий принципиальной диссимметрии III типа в направлении $L^{a-b}(L^{b-a}) \rightarrow L^{a-c}(L^{c-a}) \rightarrow L^{b-c}(L^{c-b})$.

Чем теснее связи между объединенными в линейные элементы ОТ с экстремальными значениями $H(x, y)$, $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$, тем большая разобщенность у разделяемых этими линиями ЭП. Степень непрерывности ЗП в одном направлении СКС прямо связана с уровнем ее дискретности по другому направлению СКС. При $K_{ан} > 0$ непрерывность максимально проявляется по направлению Y в виде СЛ I типа и подчиненных им линий $L_3—L_6$. В районах с отрицательной анизотропией рельефа континуальность ЗП больше выражается в СЛ $L_3—L_6$, ориентированных в основном в направлении X.

Анализ латеральных соотношений между ОТ $O_1—O_6$ осуществлялся обычно в геоморфологии в результате прослеживания на аэрофото- и топографических материалах бровок и подножий, оро- и гидрографических линий на качественном уровне без каких-либо преобразований и оценки тесноты связей. Этот пробел восполнен изложенной в гл. V методикой трассирования СЛ всех типов. В то же время для изучения вертикальных соотношений между ОТ (по линейным элементам) следует использовать разработанную [19, 34 и др.] и широко используемую в геоморфологических исследованиях методику построения карт базисных и вершинных поверхностей, а также деформаций исходных уровней (поверхностей выравнивания).

Под вертикальными соотношениями между ОТ O_1 и O_2 следует понимать наличие тенденции (тренда) в изменении $H(x, y)$ на продольных профилях по СЛ I типа. На фоне этой тенденции могут фиксироваться относительно мелкие положительные или отрицательные ундуляции. Частным случаем следует считать строгую ориентировку СЛ I типа по вертикали, при которой наблюдается обязательная выдержанность в изменении $H(x, y)$ — в расположении ОТ O_1 и O_2 так, что каждая из них обязательно ниже (или выше) любой соседней ОТ на этой линии. Такая ориентировка проявляется повсеместно только у СЛ L_2 , соответствующих тальвегам долин постоянных и временных водотоков.

Карты базисных (вершинных) поверхностей n -го порядка строятся, по [34], путем соединения точек с равными значениями высот на тальвегах (водораздельных линиях), порядок которых равен и больше n . Для учета эрозионного воздействия на гипсометрическое положение этих линий автором предложена методика составления карт монобазисных и моновершинных поверхностей [34], на которых изобазиты (изогнисобазиты) проводятся только по тальвегам (водоразделам) n -го порядка. Здесь же речь идет о картах полибазисных и поливершинных поверхностей, которые составляются по разработанному В. П. Философовым [34] правилам, но без разделения СЛ L_1 и L_2 на порядки.

Карта полибазисной поверхности [карта $H_2(x, y)$] представляет собой обобщенную в плане картину гипсо- или батиметрического положения продольных профилей килевых линий. Под последними при этом понимаются не только тальвеги разбитых на порядки речных долин, а линии плановой корреляции всех ОТ O_2 в любом по генезису рельефе. Данная карта отражает вертикальные соотношения между ОТ O_2 в пределах всей исследуемой площади. Производная от этого построения карта заложений изобазит [карта $|H_2'(x, y)|$] характеризует тесноту вертикальных связей между ОТ O_2 и ее изменчивость в плане.

Для СЛ L_1 по тем же правилам [34] может быть построена аналогичная пара карт: поливершинной поверхности [карта $H_1(x, y)$] и заложений гипсоизобазит [карта $|H_1'(x, y)|$]. Первая из них отражает вертикальные соотношения между всеми ОТ O_1 в пределах исследуемой части ЗП, а вторая — тесноту этих связей.

Теснота вертикальных связей между ОТ O_1 или O_2 может находиться в обратном и прямом соотношениях с теснотой латеральных связей между этими точками на СЛ I типа. На относительно крутом и слабо расчлененном склоне (с низкими значениями $K_{ан}$) подчиненные этому склону продольные профили по гребневым и килевым линиям характеризуются повышенными уклонами, отражая обратные соотношения между теснотой латеральных и вертикальных связей. На сильно расчлененных и крутых склонах эти соотношения прямые. Соотношение тесноты латеральных и вертикальных связей между ОТ O_1 или O_2 имеет существенное морфодинамическое значение.

Наиболее устойчивы вертикальные соотношения между ОТ $O_3—O_6$, в отличие от этих связей между O_1 или O_2 , следует считать на тех СЛ II и III типов, положение которых наименее изменчиво относительно абсолютных высот или глубин (близко к горизонтальному). Вертикальные связи между ОТ $O_3—O_6$ устанавливаются в результате составления гипсо- или батиметрического профиля по соответствующим линейным элементам или единой, построенной для всех ОТ $O_3—O_6$ карты деформаций СЛ $L_3—L_6$, отражающей гипсо- или батиметрическое положение этих профилей относительно средних (нормальных) значений высот (глубин) каждой СЛ, выраженное в абсолютных (в метрах) или в безразмерных величинах. Примером последней служит карта деформаций отличительных линий Рижского залива с нанесенными на ней линиями равных значений коэффициента деформированности [11]. Использование этого коэффициента дает возможность сопоставлять деформации на СЛ разного вида (и возраста). На относительно просто устроенных (например, абразионно-аккумулятивных) склонах вертикальные связи между ОТ $O_3—O_6$ качественно или количественно оцениваются в результате наложения карты СЛ $L_3—L_6$ на гипсо- или батиметрическую основу и анализа угловых соотношений между горизонталями и этими линейными элементами [13].

Теснота вертикальных связей между ОТ $O_3—O_6$ выражается в градиентах деформаций, определенных как на профилях для отдельных линий $L_3—L_6$, так и на всей площади их распространения.

Таким образом, анализ карт $H_1(x, y)$ и $H_2(x, y)$ позволяет установить вертикальные связи между ОТ O_1 и O_2 — наличие общей тенденции в ориентировке СЛ L_1 и L_2 по вертикали, выдержанность этой ориентировки и осложняющие ее положительные и отрицательные ундуляции. На карте деформаций линейных элементов II и III типов отражаются вертикальные соотношения ОТ $O_3—O_6$ — выдержанность положения СЛ $L_3—L_6$ относительно определенных гипсо- или батиметрических уровней и отклонения от них. Построение карт $|H_1'(x, y)|$ и $|H_2'(x, y)|$, а также карты деформаций СЛ $L_3—L_6$ направлено на оценку тесноты связей между ОТ.

Наименее разработанными в геоморфологии являются приемы анализа пространственных соотношений между точечными элементами ЗП. Среди последних внимание уделялось лишь положению оро- и гидрографических узлов, фиксирующих взаимные пересечения разнонаправленных морфоструктурных зон одного знака, а также устьев рек (ХТ \overline{C}_{2-2}), для которых строились карты густоты

и условных индексов [Гвин В. Я., 1963 г.]. Положение ХТ разных категорий относительно друг друга и линейных элементов характеризует строение ГМС и может служить ценной информацией, которую необходимо использовать при анализе структуры ЗП и ее динамической интерпретации.

Плановая позиция вершин и вершин-узлов C_0^+ и C_0^- , C_1 и C_2 , \bar{C}_{1-2} и точек радиального сочленения \bar{C}_{1-1} и \bar{C}_{2-2} относительно концентрически и радиально расположенных структурных (I типа), дополнительных и векторных линий системы У на карте СКС жестко связывает эти точечные и линейные элементы в единую ГМС с симметрией круга. Положение точек \bar{C}_{1-1} и \bar{C}_{2-2} , в которых сочленяющиеся СЛ I типа расположены нерадиально, а также углы сочленения в них позволяют установить эллипсоидные и стреловидные рисунки СКС. Вершины-узлы C_{1-1} , C_{1-2} и C_{2-2} отражают наличие в ГМС продольного и поперечного направлений, которые могут быть связаны с наложением продольной и поперечной тектонической зональности или разновозрастных образований, созданных в результате существенных перестроек гео- и литодинамических процессов (новейших движений, речной сети). Заслуживает внимания также анализ различных группировок в плане других узлов и вершин-узлов и их соотношений с линейными элементами.

Для обнаружения латеральных связей между точечными элементами разных категорий друг с другом и с пересекающимися (сочленяющимися) в них СЛ следует широко использовать методический аппарат симметрии. При этом может быть установлена подчиненность их совокупного расположения одному из пяти видов параллелограмматических систем точек (квадратной, правильной треугольной, ромбической, прямоугольной и косоугольной), сетчатым орнаментам (с их многочисленными суперпозициями), а также изогонам, в каждой вершине которых сходится одинаковое число СЛ [42]. Анализ латеральных связей между ХТ должен включать в себя и выявление возможных эквидистантных закономерностей их расположения, в частности в результате построения кривых распределения длин расстояний между ними.

Другой путь изучения связей между точечными элементами заключается в использовании разбиения Дирихле [32], с помощью которого пространство с любой правильной или неправильной группировкой точек можно легко разделить на полностью (без пробелов и наложений) заполняющие его выпуклые элементарные многоугольники (области Дирихле). Для этого каждая точка (из совокупности ХТ определенных категорий) соединяется со всеми остальными ближайшими точками и через середину каждого соединяющего две точки отрезка проводится перпендикуляр до их взаимного пересечения. Если группировка точек обладает какой-либо трудноопределяемой или неопределяемой на глаз симметрией, то последняя проявится в расположении и размерах полученных таким образом многоугольников.

Что касается вертикальных связей между ХТ, то они выявляются с помощью кривых распределения точечных элементов разного типа, построенных по абсолютным высотам или глубинам. Анализ этих графиков позволит установить относительные превышения между точечными элементами разных категорий. В некоторых районах для последующей динамической интерпретации целесообразно составление карт гипсо- или батиметрического положения ХТ разного типа (например, вершин C_0^+ в районах широкого распространения вулканов, бугров пучения, а вершин C_0^- в районах развития карстовых воронок).

§ 28. Анализ соотношений между структурными линиями и элементарными поверхностями

Большую роль в структурном анализе играет изучение пространственных связей между линейными элементами. СЛ L_1 и L_2 в плане могут быть представлены самыми различными, в том числе причудливыми, линиями: от прямых и ломаных до дуговых, кольцевых и полигональных. Совокупности разных по

протяженности, извилистости и замкнутости СЛ I типа образуют древовидные, полосчатые, радиальные (центробежные и центростремительные), решетчатые, круговые и другие сети. Наиболее ярко закономерности взаимного планового расположения СЛ L_1 и L_2 проявляются в СКС. Этому способствуют дополнительные и поперечные линии, образующие вместе с линейными элементами I типа связную картину, которая расчленяется на реальные рисунки СКС. С помощью особых точек и линий они сопоставляются с идеальными фигурами, в результате чего определяются симметрия и диссимметрия в латеральных соотношениях между линейными элементами.

Плановые соотношения СЛ характеризуются конгруэнтностью и периодичностью (или регулярностью). Вслед за структурной геологией складчатых областей [Бронгулеев В. В., 1967 г.] и анализом неструктурных линий на территории СССР [13] заимствованное из учения о симметрии понятие «конгруэнтность» применительно к кривым и прямым в плане СЛ используется для определения и характеристики степени их согласованности между собой, взаимной параллельности или возможной совмещаемости при наложении друг на друга — переносе по осям трансляции. В § 22 говорилось о совместимом равенстве, которое устанавливается для ОТ по отдельным осям трансляции на морфологических профилях или в рядах сочетаний. Здесь же речь идет о конгруэнтности как о совместном равенстве линейных элементов, фиксируемом не на отдельных профилях, а в плане. Плановая конгруэнтность устанавливается в результате одновременного переноса СЛ по всей совокупности осей трансляции (по линиям СКС в направлении X) с равным ее периодом.

Под регулярностью понимается, аналогично представлениям об этой особенности строения геофизических полей, правильные чередования в плане всех видов СЛ, которые на профиле фиксируются в качестве морфологической периодичности или ритмичности элементов ЗП (см. § 29).

Наряду с отдельным изучением рисунков СЛ L_1 и L_2 специальному анализу следует подвергнуть *взаимные плановые соотношения между линейными элементами I типа и СЛ $L_3—L_6$* . В качестве одной из интерпретируемых с динамических и, в частности, генетических позиций характеристик структуры ГМС следует использовать розы-диаграммы СЛ $L_3—L_6$, построенные относительно не географического меридиана (не по азимутам простираний), а направления Y в СКС. Это определяет полную сопоставимость роз-диаграмм, составленных на разные территории, и возможности их повсеместного использования при характеристике и сравнении структуры ГМС. Для оценки тесноты плановых соотношений СЛ I типа со СЛ $L_3—L_6$ целесообразно определять на морфологической карте тангенсы углов в точках пересечения дополнительных и структурных (L_1 и L_2) линий со СЛ II и III типов. В результате строится карта угловых соотношений главных и склоновых линейных элементов.

Вертикальные связи между СЛ четко проявляются при сравнении профилей, а также карт, обобщенно показывающих их гипсо- или батиметрическое положение. Под первыми здесь понимаются гипсо- или батиметрические профили с выделенными на них элементами ЗП и проведенными по регистрирующим линиям СКС. Линии, последовательно соединяющие на них ОТ O_1 и O_2 , характеризуют взаимные вертикальные соотношения СЛ I типа. При условии полной и даже неполной морфологической регулярности (ритмичности; см. § 29), обеспечивающей корреляцию занимающих строго определенное положение в крайних, склоновых и сквозных сочетаниях ОТ $O_3—O_6$, могут быть проведены линии, отражающие вертикальные связи между линейными элементами II и III типов или их деформированность.

Исходя из расширенных представлений о СЛ I типа (см. § 6, 27) и рассматривая полибазисные и поливершинные поверхности в качестве построений, обобщенно показывающих гипсо- или батиметрическое положение килевых и гребневых линий соответственно, их взаимные вертикальные соотношения можно представить в виде карты разностной поливершинно-базисной поверхности, построенной по правилу графического вычитания [34]. Линии равных разностей на этой карте отражают относительные превышения поверхности $H_1(x, y)$ над поверхностью $H_2(x, y)$, а изменчивость (горизонтальные градиенты) значений разности — тесноту вертикальных связей между СЛ L_1 и L_2 . Чем меньше гра-

дненты разности этих двух поверхностей, тем теснее вертикальные соотношения между СЛ I типа.

Для оценки тесноты вертикальных соотношений между СЛ L_1 и L_2 следует также использовать коэффициент корреляции между высотами (глубинами) поверхностей $H_1(x, y)$ и $H_2(x, y)$, который может быть вычислен применительно как к профилю [Бухарцев В. П., 1961 г.], так и к карте [1]. Чем больше абсолютное значение данного коэффициента, тем теснее связь (прямая или обратная) между двумя этими поверхностями, тем согласованнее изменяется вертикальное положение СЛ I типа. Данный и другие [1] показатели направлены на оценку тесноты вертикальных соотношений между СЛ L_1 и L_2 в целом на всей исследуемой площади. Значения коэффициента картографической корреляции также позволяют проследить изменение этой тесноты в пространстве. Численно он равен косинусу угла, образованного в каждой точке пересечения линий наибольшего ската (линий тока) двух сравниваемых поверхностей.

Уменьшение тесноты вертикальных связей между СЛ L_1 и L_2 может иметь место в результате или резкого снижения (подъема) полибазисной поверхности, или, наоборот, подъема (снижения) поливершинной относительно гипсо- или батиметрического положения СЛ L_2 , или за счет одновершного и несогласованного изменения этого положения той и другой поверхности. Каждый из этих вариантов, так же как и значения градиентов разности поверхностей $H_1(x, y)$ и $H_2(x, y)$, служит морфодинамическим признаком проявления или изменения в пространстве интенсивности тех или иных геологических процессов (тектонических поднятий и опусканий, глубинной эрозии, карстовых, термокарстовых, эоловых и др.).

Пространственные связи между ЭП разделить на вертикальные и латеральные трудно, так как их отношения по вертикали всегда сопровождаются соответствующими связями в горизонтальном направлении. Те и другие соотношения анализируются на морфологической карте, легенда которой предусматривает использование самых сильных средств для картографического отражения площадных элементов. Распределение разных цветов и условных знаков на морфологической карте (см. § 20) наглядно показывает конфигурацию каждой ЭП, согласованность в их конфигурации и другие особенности группировки поверхностей различного типа в плане и по вертикали.

По конфигурации выделяются следующие ЭП: а) изометричные, б) вытянутые, или линейные и в) неправильной формы в плане. Изометричными могут быть ЭП P_{0-n} и P_{n-0} . Большинство остальных поверхностей относится ко второй и третьей категориям. Площадные элементы P_{+5} и P_{-6} могут быть как изометричными, так и вытянутыми. Все перечисленные и не названные здесь ЭП могут характеризоваться в плане неправильной формой, оценить вытянутость которой можно лишь после упрощения ее контура и с определенной долей условности.

Верхние и нижние ЭП, являющиеся важнейшими площадными элементами, чаще всего выступают в роли своеобразных ядер, которые обычно в значительной мере определяют конфигурацию собственно склоновых площадных элементов (см. § 26). Последние, поднимаясь изометричным или вытянутым контурам поверхности группы А и (или) С, имеют в плане форму замкнутых (связных типа колец) и незамкнутых (типа полос, лент) фигур разной ширины. Связность контуров ЭП может наблюдаться только в пределах ГМС с рисунками СКС, близкими к радиально-концентрическим или эллипсовидным идеальным фигурам.

Ярко проявляющаяся на морфологической карте согласованность в конфигурации ЭП определяется степенью конгруэнтности ограничивающих их СЛ. В наиболее общем случае она отражает устойчивость ГМС. Нарушение такой согласованности, означающее разрушение ГМС, имеет существенный морфодинамический смысл, означающий не только пространственную, но и временную наложенность геологических процессов. Последняя может трактоваться с позиций установления определенной последовательности разновременных процессов.

При анализе реальных пространственных связей между ЭП изучаются площадное соотношение верхних, нижних и собственно склоновых ареальных элементов и разнообразие последних, в значительной мере определяющее сложность строения ГМС. В структуре ЭП могут преобладать верхние (например, на под-

водных вулканах ЭП P_{0-n} или на слабо расчлененных плато ЭП P_{+5}), нижние (например, в низовьях речной долины с редуцированным террасовым комплексом ЭП P_{n-2}), собственно склоновые (например, на денудационных равнинах с редкими речными долинами или на континентальных склонах, не расчлененных подводными каньонами) площадные элементы. Многие особенности в вертикальных соотношениях между ЭП могут быть выявлены в результате анализа рядов и отдельных сочетаний.

§ 29. Анализ соотношений между всеми морфологическими элементами

Анализ всей совокупности пространственных связей в ГМС направлен на выявление общих закономерностей в структуре ЗП, и в частности на оценку структурной неоднородности или сложности строения ГМС. *В выявлении соотношений между всеми элементами ЗП особое значение приобретает трансляция.* Соответствующую ей операцию симметрии (перенос) можно осуществить по регистрирующим линиям для ГМС со всеми типами рисунков СКС. Используя трансляцию, можно представить структуру ЗП в обобщенном и доступном для обозрения и анализа виде рядов сочетаний, в которых фиксируются не только общие особенности строения ГМС, но и ее состав. Единство состава и строения ГМС проявляется в разделении сочетаний по особенностям группировки их членов по вертикали (сквозные и несквозные сочетания и сочетания на изолированных и сопряженных формах ЗП) и в плане (три категории сочетаний; см. § 11).

Аналогично разделению линейных элементов на СЛ принципиальной симметрии и диссимметрии можно говорить о *принципиальном наличии и отсутствии трансляции как вида симметрии.* Под принципиальной трансляцией подразумевается морфологическая регулярность в повторяемости элементов и их сочетаний, при которой необязательна выдержанность периода трансляции и количественных характеристик входящих в эти сочетания ЭП. Например, ряд 4.2.3.5.4.1.4.6.4.2.3.5.4.1.4.6.4.2.3. . . . характеризуется лишь принципиальной трансляцией в связи с тем, что параметры ЭП h , S , $\text{tg } \alpha$ (см. § 11) на регистрирующих его линиях существенно различаются в сочетаниях 1.4.6.4.2. . . . Для такого регулярного ряда можно статистически определить период трансляции и средние значения перечисленных параметров ЭП.

Прообразами принципиальной трансляции служат давно регистрируемые в геоморфологии разные проявления *морфологической ритмичности*, отражающей ритмичность рельефообразующих процессов: террасовые ряды в речных долинах и на морских побережьях, стадияльные морены, каровые графики, морфоциклические кривые Ю. А. Мещерякова [19] и т. д. В данных приемах анализировались соотношения различных ингредиентов ЗП в основном строго по вертикали и упускались возможности изучения по морфологической ритмичности горизонтально (или субгоризонтально) направленных лито- и геодинамических процессов. При этом ЗП упрощенно аппроксимировалась набором «граней»: пло-

щадок и уступов, т. е. ее состав приближенно выражался рядами 5.6.5.6.5.6. . . ., которые так же приближенно показывали и строение ЗП.

Широкое понимание трансляции при изучении рельефа позволяет выявлять структуру ЗП и интерпретировать последнюю с позиции не только ритмичности геологических процессов (основанной на общем изоморфизме геологической временной и пространственной симметрии), но и их кинематики: направленности (латеральной и вертикальной) и интенсивности (ослабление эквигравитационных потоков на их флангах и по мере удаления от начального места перемещения), а также учета различной сопротивляемости экспонированных пород к денудации. С помощью принципиальной трансляции могут быть описаны не имеющие других элементов симметрии территориальные комплексы — совокупности аккумулятивных валов на шельфе и на абиссальных глубинах, куэст на моноклиналях в пределах денудационных равнин, неотектонически активных дислокаций (линейных и вытянутых), выраженных в рельефе складчатых и платформенных областей (и затухающих по мере удаления от складчатых обрамлений последних), а также горстов и грабенов, чередующихся на флангах срединно-океанических хребтов, амплитуда которых затухает по мере удаления от рифтовых зон.

Наряду с морфологической ритмичностью (принципиальной трансляцией) равенство периодов трансляции при самосовмещении одноименных сочетаний и их членов свидетельствует о наличии *морфологической периодичности*. И наоборот, отсутствие повторяющихся сочетаний в рядах указывает на отсутствие какой-либо трансляции. Следует оговорить и *неполную трансляцию* (*ритмичность или регулярность*), когда в рядах повторяются только крайние (или только нижние или верхние) сочетания при нерегулярности собственно склоновых сочетаний и наоборот. На морфологических профилях трансляция, одновременно фиксируемая с симметрией подобия, означает периодическое распределение элементов ЗП с закономерным уменьшением характеристик ЭП (h, S) или с «затуханием».

Трансляции по регистрирующим линиям СКС позволяют выявить *симметричные, диссимметричные и асимметричные сочетания в рядах*, подобные «циклам» (со структурными формулами $aba, abba$ и др.), диссимметричным ритмам (типа $aba_1, abcb_n a_n$ и т. д.) и асимметричным ритмам в терминологии Д. В. Рундквиста и А. В. Македонова [22], согласующейся с рассмотренными выше понятиями о морфологической регулярности и периодичности, а также о принципиальной и неполной трансляции. Вслед за А. В. Македоновым [22] можно говорить, что выявляемая при трансляции диссимметрия определяется чередованием, количеством, расположением и количественными характеристиками (h, S и $\text{tg } \alpha$) различных и одних и тех же членов сочетаний и представлена двумя наиболее характерными типами. Первый из них (структурные формулы aa_1, aba_1 и т. д.) отличается только неполным

тождеством одноименных элементов (различными значениями h , S и $\operatorname{tg} \alpha$ для одноименных членов сочетаний) и соответствует принципиальной трансляции, а точнее, морфологической регулярности в нашем понимании. Второй тип диссимметрии (асимметрия — частный случай диссимметрии) отражает полное выпадение или добавление новых членов (структурные формулы $abca_1$, $abcdb_1a_1$ и др.) и характеризуется или трансляцией по полярным осям («полярным» тензорам; см. § 22), либо полным отсутствием трансляции.

С помощью трансляции по регистрирующим линиям СКС может быть выявлена *антисимметрия*, или *двухцветная симметрия* [Шубников А. В., 1951 г.], которая описывает неравенство противоположных по знаку сопряженных форм ЗП, что имеет особое морфодинамическое значение при исследованиях, например, рельефа Земли на уровне геотектур (антисимметрия северного и южного полушарий, которая неверно называется [36] диссимметрией), складчатых областей (равенство геоморфологически выраженных сопряженных друг с другом антиклиналей и синклиналей), районов развития гряд и межгрядовых понижений разного генезиса, аккумулятивных «волн» (на шельфе и в океане), чередующихся горстов и грабенных приосевой части срединно-океанических хребтов.

При этом следует не только выявлять данный вид равенства (противоположного равенства или антиравенства), но и изучать диссимметрию — отклонение от статистически выраженного антиравенства или степень неравенства сравниваемых, противоположных по знаку сопряженных форм ЗП. Сравнению подлежат не сами формы, а описывающие их верхние и нижние части — крайние сочетания.

И здесь следует говорить о *принципиальном антиравенстве* и о том, что верхние и нижние сочетания, для которых устанавливается этот вид симметрии, принципиально не антиравны. Так, принципиально антиравными в ряду 3.1.3.4.6.4.3.2.3.4.5.4.3.1.3. ... являются крайние сочетания 3.1.3 и 3.2.3, в пределах которых характер изменения основных параметров ЗП одинаков. Если ширина и относительные превышения ЭП P_{1-3} и P_{3-2} на соответствующих сторонах от СЛ L_1 и L_2 равны между собой, то можно говорить о *полном антиравенстве*, которое, в частности, не исключает резкого нарушения билатеральной симметрии.

Наличие или отсутствие антиравенства и степень отклонения от него могут быть установлены не только для данной оси трансляции — регистрирующей линии СКС, но и интегрально, для некоторой части ЗП (ГМС), в пределах которой сравниваются объемы положительных и отрицательных форм, заключенные снизу и сверху одноименными СЛ — границами верхних и нижних сочетаний.

Наряду с использованием трансляции общие особенности в строении ГМС выявляются в результате фиксации симметрии и диссимметрии реальных рисунков СКС (см. § 22, 26).

К общим особенностям в строении ГМС следует отнести и их *структурно-номенклатурную неоднородность*. Ее оценка, в отличие от уровней номенклатурной неоднородности (см. § 25), может осуществляться количественно с помощью *энтропии*. Энтропия как основная функция теории информации используется для определения информационной емкости карт, оценки гипсометрических шкал и решения других картографических задач. А. М. Берлянт [1] не только подробно рассмотрел вопрос о применении данной функции при исследованиях по картам, но и предложил целый ряд приемов ее использования для характеристики неоднородности картографического изображения. Рассмотрим, как могут использоваться эти разработки при оценке сложности структуры ГМС и решении некоторых практических задач геоморфологии.

Неоднородность картографического изображения оценивается мерой количества разнообразия системы Шеннона или энтропией E — взятой с обратным знаком суммой произведений вероятностей P_i (площадей каждого контура на карте) различных состояний системы (контуров на карте с их общим числом n) на логарифмы этих вероятностей в соответствии с выражением $E =$

$$= - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i, \text{ в котором под } i \text{ понимается каждое отдельное}$$

состояние системы (каждый отдельный контур на карте). Неоднородность картографического изображения усиливается с увеличением числа контуров и с приближением долей каждого из них в общей площади карты к некоей постоянной и равной величине (к равенству контуров по площади). Предлагается использовать для определения доли каждого контура в общей площади карты

точечную палетку и выражение $P_i = f_i / \sum_{i=1}^n f_i$ (где f_i — число точек,

приходящихся на i -й контур), от которого можно перейти к выражению $P_i \log_2 P_i$ с помощью специальных таблиц [1, прил. VI].

Следует специально оговорить правомерность использования энтропии в качестве меры неоднородности картографического изображения в целом и сложности строения ЗП на морфологической карте в частности. В картографических исследованиях эта функция используется формально и только в качестве удобного показателя сложности того или иного явления при условии адекватности его отражения на карте. Данное условие выполняется при создании картографических моделей редко (а при составлении геоморфологических карт вообще не выполняется), что связано с назначением карт и акцентированием внимания составителей на определенную часть этого явления, с неравномерной генерализацией изображаемого явления, с неоднозначной интерпретацией и разными определениями картируемых единиц. Даже при выполнении названного условия значения энтропии нельзя рассматривать в качестве показателя разнообразия некоей системы, так как неформализованные и неуниверсальные картографические модели системами не являются. Вместе с тем использование в данном

аспекте информационной энтропии в качестве показателя сложности или разнообразия вполне оправданно применительно к изображаемому на морфологической карте или морфологическом профиле строению и составу ГМС.

Другой аспект заключается в использовании энтропии как показателя устойчивости систем. В этом аспекте его применение некорректно по отношению к целостным системам с сильно взаимодействующими элементами [Устойчивость геосистем, 1983 г.], графическими образами которых служат полные графы с двойными разноориентированными ребрами. В то же время использование энтропийных мер в качестве обобщенных характеристик строения ГМС допустимо, так как они относятся к квазичеслостным системам, в которых отсутствуют обратные связи и которые отражаются графами с ординарными ребрами.

Применительно к составу и строению ГМС можно говорить о том, что *число контуров ЭП в их пределах n отражает номенклатурную неоднородность (разнообразие) ГМС, а доли этих контуров в общей площади ГМС P_i — их структурную неоднородность*. Смысл показателя энтропии в целом заключается не в том, что он отражает устойчивость ГМС, а в том, что его значения, характеризующие сложность структуры и состава, показывают сложность формирования ГМС: разнообразие создавших и моделирующих рельеф геологических процессов или(и) насыщенную событиями (изменениями направленности и интенсивности одного и того же процесса) историю развития ГМС. Чем проще в этом смысле происходило формирование ГМС, тем меньше элементов она содержит и тем проще устроена (тем меньше ее энтропия). Энтропия рельефа на эталонных, экспериментальных и теоретических моделях будет всегда меньше энтропии рельефа выделяемых в исследуемом районе ГМС, так как в создаваемых моделях предусматривается отражение геологических процессов в наиболее чистом виде.

Значения энтропии далеко не всегда находятся в прямом соотношении с такими традиционными морфометрическими параметрами, как суммарная, вертикальная или горизонтальная расчлененность. Более просто устроенный рельеф эпиплатформенного горного сооружения, испытывающего после длительного выравнивания резкий неотектонический подъем, характеризуется меньшими значениями энтропии, чем древний, запечатлевший в себе многие события рельеф денудационной равнины, несмотря на то что абсолютные высоты и расчлененность того и другого характеризуются обратным соотношением величин, которые могут различаться на порядок.

В связи с последним к одной из сфер *практического применения рассматриваемой функции* относится выбор оптимального междугалсового расстояния при гидрографическом промере и сечения горизонталей при составлении гипсо- и батиметрических карт. Обе эти задачи предлагается решать, например, в специальных гидрографических наставлениях в зависимости от наклона

и степени расчлененности подводной поверхности, что может привести к неоправданно частой сети галсов или излишне детальной батиметрической шкале и, наоборот, к редкой сети галсов и грубой шкале глубин на батиметрической карте. При выборе оптимального междугалсового расстояния для любого (океанского, морского или прибрежного) промера и сгущения последнего надо руководствоваться оценкой не расчлененности и уклонов поверхности, а сложности ее строения и состава. Именно анализ этого геоморфологического показателя позволяет наиболее точно определить междугалсовое расстояние, необходимое и вместе с тем достаточное для наиболее полного картографирования подводной поверхности в зависимости от ее сложности. При одних и тех же средних уклонах и расчлененности разные участки поверхности могут характеризоваться различной неоднородностью (или сложностью) и даже участки с намного большими уклонами и относительными превышениями могут быть устроены значительно проще (по составу и строению) слабо расчлененных и более пологих участков с большим разнообразием элементов ЗП, относительно равномерно представленных по площади.

Указанное обстоятельство имеет важное значение не только для планирования гидрографического промера, но и для инженерно-геологических, геологоразведочных и эксплуатационных работ на месторождениях железомарганцевых конкреций на океаническом дне (см. § 40).

Для районирования подводной поверхности по энтропии рельефа эту характеристику можно оценивать непосредственно на морфологических профилях, построенных на основе относительно редкой сети галсов маршрутного или предварительного сгущения менее детального промера, ориентированного в соответствии с регистрирующими линиями СКС. Для равновеликих отрезков профиля оцениваются доли длин приходящихся на этот профиль проекций каждой ЭП P_i . Затем с помощью таблиц [1, прил. VI] определяются значения $P_i \log_2 P_i$ и сумма последних E . При относительно близких значениях P_i достаточно определения числа разных членов (ЭП) в ряду, приходящихся на каждый равный отрезок профиля (номенклатурной неоднородности). При выборе шкалы глубин для построения батиметрической карты энтропию рельефа также следует оценивать по морфологическим профилям.

ВЫВОДЫ

1. Для того чтобы унифицированно изучать, а затем сравнивать и осуществлять динамическую интерпретацию строения различных участков ЗП, предлагаются принципы, содержание и методика структурного анализа их рельефа, основанные на представлениях о СКС, аппарате классической и расширенной симметрии и опыте геоморфологических исследований. При этом СКС рассматривается в качестве еще более упрощенного (по сравнению с морфологической картой в целом) условного образа ЗП — модели, при

создании которой игнорируется состав ЗП и несущественные связи между ее элементами. За счет этого наиболее ярко проявляются и могут быть изучены главные черты строения ЗП. Основное методическое преимущество модели заключается в возможности использования при ее анализе симметричных преобразований, осуществимость которых определяется наличием в СКС вспомогательных геометрических образов, или элементов симметрии (особых линий и точек), и резким упрощением реального объекта — ЗП.

2. Применение аппарата классической симметрии позволяет выявить возможные «идеальные композиции» в структуре ЗП, или уровни симметрии рельефа, с которыми идентифицируются реальные рисунки СКС. Предложение использовать идеальные фигуры СКС для определения уровня симметрии рельефа находится в полном соответствии с созданием идеализированных образов, занимающих во многих науках важнейшее место (подобных, например, параллельным линиям Евклида или материальным точкам, с которыми работает классическая механика).

3. Выделение морфологически целостных и обособленных территориальных комплексов элементов ЗП и их взаимных пространственных соотношений осуществляется на морфологической карте (вне зависимости от ее масштаба) по двум критериям, связь между которыми обеспечивает номенклатурно-структурное единство ГМС. Реализация структурного критерия морфологического районирования заключается в разбиении СКС на рисунки и в определении уровня симметрии и основных особенностей строения ГМС в результате идентификации этих рисунков с полной группой идеальных фигур. Использование номенклатурного критерия сводится к установлению наличия и уровня сходства сочетаний, фиксируемых по регистрирующим линиям СКС.

4. В структуре ГМС выделяются симметричные связи и их нарушения (диссимметрия), которые по преобладанию той или иной составляющей относятся к латеральным или вертикальным. Если латеральная и вертикальная диссимметрия устанавливается для всей ГМС в целом, то латеральные и вертикальные связи, а также их теснота могут определяться внутри ГМС между всеми категориями входящих в нее элементов.

5. В целом представления о структуре и составе ГМС, необходимые для общего динамического истолкования, включают в себя: а) уровень симметрии, б) характер и степень диссимметрии, в) ряды сочетаний и уровень их номенклатурной однородности, г) пространственные соотношения между всеми элементами ЗП, д) энтропию, как показатель структурно-номенклатурной сложности.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЛЬЕФА

Выделение и систематика морфологических элементов и районов, а также структурный анализ рельефа не могут считаться конечной целью геоморфологии. Такой целью является познание в своем единстве формы и содержания ее предмета [36] — рельефа и рельефообразующих процессов, т. е. всего того, на что направлен морфодинамический анализ.

В настоящее время намечаются два подхода к динамической интерпретации рельефа:

а) эмпирический, основанный на всей сумме знаний о рельефе и рельефообразующих процессах, постоянно накапливаемых за счет региональных исследований, эталонного и экспериментального моделирования;

б) теоретический, базирующийся на динамическом принципе симметрии, систематике рельефообразующих процессов и других достижениях теоретической геоморфологии и смежных наук. В сочетании, одновременном использовании и взаимном подтверждении результатов, полученных по этим двум направлениям, видится залог успеха в решении как обратной, так и прямой задачи геоморфодинамики.

Накопленный опыт геоморфологии и смежных наук на данный момент позволяет решать некоторые аспекты обратной задачи и давать относительно обоснованные частные ретроспективные и перспективные прогнозы. При всем этом проблема регионального морфодинамического моделирования находится еще на уровне постановки. Поднять этот уровень можно лишь в результате решения всех аспектов прямой задачи геоморфодинамики. Ниже рассматриваются имеющиеся уже сейчас возможности общего решения обратной задачи с использованием аппарата симметрии как эффективного инструмента теоретического исследования в современном естествознании и геоморфологических методов, направленных в данной работе на структурный анализ рельефа. Вслед за этим изложены перспективы развития геоморфодинамики, которые в значительной мере связываются с ее системной ориентацией, универсальностью МС и применением методов аналогий и моделирования.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО АСПЕКТА УЧЕНИЯ О СИММЕТРИИ В МОРФОДИНАМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ. КИНЕМАТИКА И РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩИЙ ЭФФЕКТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

§ 30. Приложение динамического принципа симметрии к решению задач геоморфодинамики

Динамическую интерпретацию полученных в результате морфологического картографирования и структурного анализа данных о строении и составе исследуемой части ЗП целесообразно осуществлять поэтапно, от общего к частному. Наиболее общее представление о динамике (а точнее, о кинематике) геологических процессов, ответственных за структуру выделенных ГМС, дают симметрия и диссимметрия реальных рисунков СКС.

Идя от описания и картографирования морфологии исследуемых образований к изучению создавших их процессов динамическими дисциплинами в геолого-географических науках (см. § 1), необходимо взять на вооружение разработанный в последние десятилетия общенаучный методический аппарат симметрии [22, 23, 32, 39, 40, 42 и др.]. Данный аппарат позволяет установить и определить закономерности в строении этих образований и систематизировать последние; кроме того, он направлен на динамическую интерпретацию их структур.

Динамический аспект в учении о симметрии сформировался на основе представлений П. Кюри [39] и его предшественников [42] о том, что свойства симметрии присущи как изучаемым образованиям, так и создавшим их физическим процессам и явлениям. При этом особая роль данного учения определяется установленной связью между симметрией причин и симметрией следствия или, по выражению Н. А. Елисеева [1967 г.], тем, что симметрия строения отражает симметрию движения.

Имеются реальные возможности использования *динамического принципа симметрии П. Кюри* и в геоморфодинамике. К причинам в рельефообразовании относятся потоки вещества геосфер, морфологический эффект которых рассматривается в качестве следствия. Следствием является рельеф, и прежде всего структура ЗП, формирование и развитие которой определяются не только интенсивностью и последовательностью, но и симметрией геологических процессов. Последняя отражает важнейшие кинематические особенности литодинамических потоков: их направленность по отношению к поверхности геоида и концентрированность (канализированность). Определив эти кинематические характеристики по данным структурного анализа рельефа и основываясь на знаниях о геологических процессах (результатах решения прямой задачи геоморфодинамики), можно перейти к генетическим и историческим построениям — решению вопросов об агентах и факторах, ответственных за те или иные процессы, и о последовательности их

проявления в рельефе. С морфодинамических позиций важно подчеркнуть *единство геометрического и динамического аспектов симметрии применительно к структуре ЗП и создавших ее процессов*. Это единство вытекает из связи симметрии рельефообразующих процессов с симметрией формирующегося в результате их деятельности строения ЗП. Оно же служит основой создания в будущем морфодинамической системы — познавательной конструкции для изучения геологических процессов и рельефа в их неразрывной связи.

Таким образом, геоморфологам следует использовать те закономерности, которые уже широко применяются в биологии, физике, химии и, в частности, в более близкой нам науке — структурной петрологии. Сформулированные Н. А. Елисеевым [1953 г.] основные положения последней сводятся к следующему.

1. Между движениями интрузивного массива и его внутренней структурой имеется строго закономерная связь.

2. Характер этого движения порождает тот или иной закономерно ориентированный узор горной породы.

3. По структуре узор горных пород и их симметрии можно определить характеристики движений и расширять их последовательность (историю геологического процесса) [39]. Если в этих положениях заменить «горные породы» на «рельеф» и «движения интрузивного массива» на «рельефообразующие процессы», то их можно считать основополагающими и в морфодинамическом анализе. Однако надо указать на то, что перед геоморфодинамикой стоят большие трудности, чем перед какой-либо другой геолого-географической наукой, так как в рельефе запечатлен, как правило, морфологический эффект не одного, а целого комплекса самых разных процессов (см. § 1), связи между которыми могут быть сложными или (в пределах ограниченного участка ЗП) просто отсутствовать.

Рассматривая в целом *роль учения о симметрии в динамической интерпретации структуры ЗП*, следует привести мнение о том, что «симметрия вообще свойственна структурам любого происхождения и в сопоставлении симметрии структуры и ее генезиса следует исходить из особенностей симметрии, основывая на них генетические представления, но ни в коем случае не наоборот» [39, с. 69]. Полностью соглашаясь с первым тезисом и вопреки второму в этой рекомендации, укажем на то, что использование аппарата симметрии в морфодинамическом анализе, так же как и в других научных исследованиях [32], имеет две нераздельные стороны. Надо, с одной стороны, определить симметрию изучаемого рельефа и дать ей динамическое истолкование, что соответствует решению обратной задачи геоморфодинамики и региональному морфодинамическому моделированию. С другой стороны, при решении прямой задачи и при всех остальных видах морфодинамического моделирования (см. § 1) необходимо устанавливать, какой вид симметрии отражает в рельефе исследуемый в каждом данном случае геологический процесс. При этом «следует подчеркнуть, что

формальный анализ условий симметрии не освобождает исследователя от необходимости тщательного изучения физических явлений и от нахождения тех материальных агентов, которые действительно выступают в качестве симметреобразующих или диссимметреобразующих факторов. . . » [42, с. 283].

Последнее замечание следует считать тем более справедливым для морфодинамического анализа, потому что использование аппарата симметрии при решении обратной задачи геоморфодинамики не приводит к полному определению рельефообразующих геологических процессов по их морфологическому эффекту (включающему представления об ответственных за них агентах и факторах), а лишь обеспечивает их кинематическую характеристику. Основываясь на последней, а также на результатах последующего (после определения симметрии и диссимметрии реальных рисунков СКС; см. гл. IX) структурного анализа исследуемой части ЗП и решения прямой задачи геоморфодинамики, можно перейти к историко-генетическим построениям.

На основе представлений П. Кюри о том, что элементы симметрии причин должны проявляться в вызванных ими следствиях (и диссимметричное явление может быть вызвано только такой же диссимметричной причиной), предлагается [39, 40] по симметрии и диссимметрии объекта решать обратную задачу — отыскивать их причину. К трудностям этого решения в геоморфологии относятся, во-первых, расплывчатость и условность границ форм ЗП, что осложняет использование аппарата симметрии [36], и, во-вторых, уже отмеченное одновременное или разновременное проявление в структуре ЗП не одного, а сразу нескольких рельефообразующих процессов [40]. Если первая сложность может преодолеваться за счет использования системного подхода к морфологическому картографированию и структурному анализу рельефа, то преодоление второй трудности должно идти по пути разделения симметрии и диссимметрии, которая складывается при наложении нескольких рельефообразующих процессов.

В целом же регистрация симметрии и диссимметрии в структуре ЗП рассматривается как одно из первых звеньев ее динамической (в том числе и генетической) интерпретации, так как «за внешней симметрией форм ЗП всегда стоит симметрия рельефообразующего процесса. . . и, наоборот, диссимметричные отношения свидетельствуют о диссимметрии соответствующего процесса. Этот вывод. . . имеет огромную методическую ценность» [36, с. 100]. Созвучно с этим В. А. Боков [23] предлагает использовать введенное им понятие о потенциальной симметрии, которое в геоморфодинамике отражает возможные соотношения изучаемого реального строения ЗП с некими идеальными структурами. Если для последних будет четко определена связь их симметрии с симметрией воображаемых и тоже идеальных литодинамических потоков, то после сравнения реальных структур с идеальными можно перейти к кинематической, а затем и к историко-генетической диагностике рельефообразующих процессов.

Решению прямой задачи геоморфодинамики с использованием аппарата симметрии пока в самом общем виде посвящены исследования [22, 39, 40], результаты которых могут быть уже использованы в региональном морфодинамическом моделировании. Эти результаты включают в себя *установленные связи между симметрией, отражающей направленность геологических процессов, и симметрией созданных ими образований на ЗП и в земной коре*. Базируясь на них, определенные элементы ЗП можно рассматривать в качестве вспомогательных геометрических образов, с помощью которых описывается не только внутренняя симметрия в структуре ГМС, но и симметрия создавших ее (моделирующих ее) восходящих и нисходящих вертикально, а также латерально направленных гео- и литодинамических потоков. Так, по В. А. Бокову [23], центры симметрии (на нашем языке — особые точки n_y и n_x , 2_y и 2_x) и оси симметрии (особые линии m_y и m_x , m_{y_2} и m_{x_2} , а также

$\rightarrow m_y$ и $\rightarrow m_x$) являются соответственно точками и линиями сходимости и расходимости нисходящих литодинамических потоков, а оси трансляции (линии систем Y и X СКС) направлены вдоль или поперек этих потоков. Что касается геодинамических факторов рельефообразования, следует иметь в виду вывод Л. М. Плотникова о том, что «симметрия распределения характерных точек, линий и поверхностей данной тектонической структуры отражает симметрию распределения характерных точек, линий и поверхностей поля напряжений, обусловившего формирование данной структуры» [22, с. 3]. При динамической интерпретации структуры ЗП важно определить *наложение симметрии и диссимметрии формирующих ее лито- и геодинамических потоков, образующуюся при этом суммарную диссимметрию*. Такой методический подход будет на уровень выше используемого до сих пор качественного сравнения произвольно выделяемых контуров и линий в рельефе (площадных и линейных морфоструктур [13]) с контурами и линиями, фиксируемыми по какой-либо структурной поверхности (пликативными и дизъюнктивными дислокациями в земной коре), для выявления статических связей между морфологическими эффектами тектонических и экзогенных процессов.

Рассматривая симметрию еще шире и используя некоторые положения Н. Ф. Овчинникова [1966 г.], под симметрией следует понимать единство сохраняющихся и изменяющихся моментов в каждой ГМС, которое выявляется на основе изучения ее внутренней структуры и внешнего ограничения, тождественного и отличного по отношению ее к эталонным, экспериментальным и теоретическим моделям. Полный результат в конкретном районе выразится в переходе этого исследования от морфологического районирования и структурного анализа к ограничению и характеристике геоморфокинематических систем (см. § 33), которые, по-видимому, преимущественно чаще всего будут совпадать с ГМС.

При кинематической интерпретации рисунков СКС следует учитывать представления [39] о природной динамической симметрии

и законе сохраняемости ее элементов, которые предусматривают переходы от одного вида классической симметрии к другому и от классической симметрии к гомологии, криволинейной симметрии и симметрии подобия.

§ 31. Генетический и кинематический подход к систематике рельефообразующих процессов

До сих пор наиболее общепринятым является разделение всех участвующих в рельефообразовании процессов, факторов и агентов на эндогенные и экзогенные. На данном генетическом разделении основана главная динамическая идея классической геоморфологии, по которой рельеф формируется в результате взаимодействия этих двух противоположных начал. И хотя исследование этого взаимодействия рассматривается большинством геоморфологов в качестве «основного содержания геоморфологической науки» [19] на ее динамическом уровне, указанная идея «давно стала общим местом» [36, с. 88] и нуждается не столько в углублении и конкретизации, сколько в пересмотре и в тщательной ревизии ее основных положений: об антагонизме эндогенных и экзогенных процессов, количественной соразмерности их рельефообразующего эффекта и др. Более того, в результате развития геоморфологии и смежных наук под сомнение попала правильность самой постановки вопроса о безусловном разделении всех рельефообразующих процессов на две названные группы.

Это сомнение выражается в утверждениях о том, что *разделение рельефообразующих процессов на эндогенные и экзогенные носит относительный характер*, а абсолютизация различий между ними вряд ли полезна при их изучении [Воскобойников В. М., Зелинский И. П., 1974 г.], так как способствует еще большей разобщенности структурно- и климато-геоморфологического направлений. Разделение геологических процессов на эти две группы сейчас представляется не таким очевидным и простым, как это казалось ранее не только в геоморфологии, но и в других науках о Земле.

Сказанное прежде всего касается бытовавших еще не так давно ошибочных представлений об эндогенных и экзогенных силах как неких противоположностях, единство и борьба которых отражают внутреннюю противоречивость в развитии рельефа. Полное несоответствие этих геоморфологических и философских категорий со всей очевидностью вытекает из концепции «геометризации» рельефа. Основанное на ней определение рельефа (см. § 3) не предусматривает включения в это понятие сил и вызванных ими процессов, протекающих в широких пределах нескольких оболочек Земли, в качестве противоположных сторон развития единой системы. Это несоответствие обнаруживается и с позиций концепции «овеществления», которая связывает рельеф только с верхними частями литосферы. Если одни из данных двух групп процессов считаются внутренними по отношению к выделяемому

с этих позиций «геоморфологическому или морфоструктурному пространству (сфере, слою, формации)», то вторые являются и называются внешними, что полностью исключает какую-либо внутреннюю (в этом пространстве) противоречивость между теми и другими. Сказанное, естественно, не исключает необходимости разделения всех рельефообразующих процессов на те, арена действия которых ограничивается литосферой, и те, которые развиты в пределах атмо-, гидро- и гляциосфер. Однако процессы, отнесенные к этим двум группам по принципу распространения в оболочках Земли, называть внутренними и внешними по отношению к рельефу недопустимо.

В свое время Ю. А. Мешеряков [19] согласился с мнением А. И. Спиридонова [1954 г.] о том, что внутреннее противоречие геоморфологического развития состоит в противоречии между уже созданным рельефом и действующими сейчас экзогенными процессами. В развитие этого представляется, что главные внутренние противоречия в морфодинамической системе «рельеф — рельефообразующие процессы» заключены между сложившимися и формирующимися вновь морфодинамическими связями элементов ЗП (и их совокупностей) с разными по генезису и кинематическим особенностям литодинамическими потоками (в понимании Н. А. Флоренсова [36]). Единство (унаследованность или подчиненность новых связей старым) и борьба (разрушение старых связей за счет образования новых) этих противоположностей определяют развитие и саморазвитие рельефа.

С точки зрения идей *планетарной геологии*, к которым возвращаются сейчас на новом уровне знаний, эндогенные и экзогенные явления обусловлены одними и теми же общими причинами и факторами космического порядка [Лунгерсгаузен Г. Ф., 1963 г.]. Установленные связи между многими процессами, называемыми эндо- или экзогенными (в частности, корреляции ритмов современных тектонических движений, сейсмичности, вулканизма, оледенений, колебаний уровня Мирового океана и др.), свидетельствуют о том, что все они могут считаться в определенном смысле внутренними по отношению к изучаемым оболочкам Земли, имеющими, однако, единые внешние причины. Последние определяют, в частности, правильные периодические изменения ротационного режима Земли, вызывающие в свою очередь приспособление к нему геоида и перераспределение масс во всех геосферах планеты [Тяпкин К. Ф., 1982 г.], приводящее к перемещениям ЗП.

Все это согласуется с ранее высказанной Б. Л. Личковым [1965 г.] идеей о том, что взаимодействие оболочек Земли, как бы глубоко оно ни проникло в тело планеты, имеет солнечно-лунный генезис. По крайней мере, традиционное разделение [Хаин В. Е., 1964 г. и др.] источников энергии развития Земли на внешние (за счет ротационных сил) и внутренние (за счет глубинных процессов) нуждаются в пересмотре. В. И. Витязь [1982 г.] рассматривает этот вопрос в той плоскости, что энергию автоколебаний в литосфере определяет совместное действие как «внешних», так

и «внутренних» сил и что разделить их на «первичные» и «вторичные» нельзя, так как внешнее воздействие, обусловленное изменением вектора скорости вращения планеты вокруг своей оси и вокруг Солнца, неразрывно связано с растяжением — сжатием планеты и процессами внутри геосфер.

Меняется отношение к разделению геологических процессов на эндогенные и экзогенные и в *геотектонике*. С. С. Шульц [1980 г.] в тектонических движениях выделяет первичный тектогенез, нарушающий гравитационное равновесие в земной коре и на ее поверхности, и производный от него вторичный тектогенез, направленный на восстановление нарушенного равновесия. К первому типу он относит эпейрогенез, эпейрофорез, горизонтальные перемещения и столкновения литосферных плит, ко второму — все процессы, ответственные за гравитационную складчатость и осложняющие ее разрывы (гравитационная тектоника), а также складчатость нагнетания, инъективные, экзотектонические дислокации и др.

Так как границу между поверхностными гравитационными процессами (отседание склонов, движение осыпей, обвалы и др.) и собственно гравитационной тектоникой провести трудно, а денудация и вторичный тектогенез в целом действуют в одном направлении, С. С. Шульц приходит к выводу о том, что рельеф развивается за счет взаимодействия противоположно направленных первичных, с одной стороны, и вторичных тектонических, а также денудационных процессов — с другой, и к отказу от классических представлений о рельефообразовании как результате взаимодействия эндогенных (внутренних) и экзогенных (внешних) процессов.

Если подойти строго к значению слов «эндогенные» и «экзогенные», то вряд ли их можно считать синонимами терминов «внутренние» и «внешние». Последние два термина указывают на область распространения процессов (в литосфере и ниже ее — внутренние, а в гидро-, атмо- и криосферах — внешние), два первых — на место их зарождения (*écho* — вне, *éndon* — внутри, *génos* — рождение). Эти, казалось бы, чисто этимологические различия приобретают особый смысл в связи с обнаружением еще одной группы процессов, имеющих большое рельефообразующее значение. Речь идет о крупномасштабных высокоамплитудных перемещениях (смещениях) ЗП, направленных на восстановление изостатического равновесия, нарушенного в результате перераспределения водных, воздушных и ледовых масс, а также литосферного вещества. Вызывающие эти перемещения явления имеют место во внешних оболочках, а их следствия — изостатические процессы проявляются внутри литосферы, а также в астеносфере, где происходит, как считается, изостатическое урегулирование крупномасштабных нарушений равновесия литосферы за счет горизонтальных перемещений вещества в этом слое. Получается, что по распространению изостатические процессы надо отнести к внутренним, а по зарождению — к экзогенным.

В литодинамике океана [Лонгинов В. В., 1973 г.] под экзогенными (гидрогенными) по отношению к перемещаемому материалу понимаются процессы, вызываемые движениями воды в придонном слое, обусловленными поступлением энергии из водной толщи. В то же время к эндогенным (гравитационным) относятся перемещения материала под действием силы тяжести (например, различные виды оползней, медленное течение осадков, суспензионные потоки), которые, однако, могут быть обусловлены внешними причинами (сейсмические толчки, вызывающие нарушение равновесия масс). Таким образом, применительно ко второй группе литодинамических процессов в океане толкование понятий «эндогенные» и «экзогенные» прямо противоположно тому, что подразумевается под ними в геоморфологии.

Итак, генетический принцип классического разделения геологических процессов на эндогенные и экзогенные строго не определен и не выдерживается, а сопровождающие эту классификацию понятия толкуются неоднозначно и даже противоположно. Наряду с данной систематикой в 1964 г. в геоморфологии разработаны *кинематические понятия о способах перемещений ЗП* [3] — ее смещениях и замещениях. Кинематический анализ, по А. С. Девдариани [3], направлен на изучение этих перемещений вне зависимости от массы перенесенного вещества, действующих на него сил и агентов. При этом измеряются скорость, время и направление перемещения.

Под *смещением* А. С. Девдариани [3] подразумевает совместное движение частиц горных пород, взаимное расположение которых изменяется в незначительных пределах. Это определение вытекает из рассмотренных в § 2 противоречивых представлений об овеществлении ЗП (объем — часть поверхности). Трактовка последней в качестве не только геометрического места точек, но и некой вещественной поверхности, по признанию А. С. Девдариани, «...не встречает затруднений, когда поверхность литосферы перемещается, сохраняя свой вещественный состав» [3, с. 13]. В то же время предлагаемая «двуликость» ЗП, отождествление в этом понятии геометрической и вещественной поверхности, полностью теряет свой смысл в представлениях о *замещениях ЗП*, под которыми понимаются раздельные движения частиц и одновременно с этим перемещение геометрической поверхности раздела между литосферой и внешними оболочками.

Во избежание отмеченных противоречий, в соответствии с концепцией «геометризации» рельефа и представлениями о МС и ее элементах *смещение ЗП следует определить как совместное перемещение слагающих ее точек, приводящее к изменению положения в пространстве составляющих ее ЭП и их совокупностей*. С этих же позиций замещение ЗП рассматривается как раздельное перемещение дезинтегрированного литосферного вещества, приводящее к смене одной (их) ЭП на другую (ие). Включение в данные определения представлений об изменении положения ЭП и о смене одних площадных элементов другими, во-первых, расширяет ве-

денные А. С. Девдариани понятия, перевода их из категории кинематических в морфодинамические (морфокинематические), во-вторых, предоставляет возможность однозначного отнесения перемещений ЗП к одной из этих двух категорий и, в-третьих, полностью соответствует этимологии слов «смещение» и «замещение». Говоря о строгости разделения способов перемещений, следует отметить, что теперь не надо ставить его в зависимости от пределов изменения взаимного положения точек ЗП (и одновременно частиц горных пород [3]), которые при разделении перемещений ЗП на замещения и смещения, не определены. Если ЭП одной категории (например, P_{45}) сменяется на данном участке ЗП площадным элементом какого-либо другого вида (например, P_{1-6} и P_{5-2}), следует говорить о замещении вне зависимости от того, за счет каких факторов или сил оно осуществлено (тектонических движений, эрозионных, аккумулятивных и других процессов). Если же ЭП или их совокупности только изменили свое положение по вертикали (в результате тектонических, изостатических, гравитационных опусканий или поднятий) или(и) по латерали (горизонтальные тектонические движения, перемещения аккумулятивных «волн» на шельфе), но это никак качественно не сказалось на их морфологии (поперечном профиле) и взаимных пространственных соотношениях, то речь должна идти о смещении. С этих позиций деформации плосковершинной поверхности с образованием формы, ограниченной площадными элементами P_{1-n} (P_{n-2}) или P_{0-n} (P_{n-0}), относятся к ее замещениям.

А. С. Девдариани [3] показал, что для кинематического описания перемещения частиц литосферного вещества используются два метода: а) субстанциональный метод Лагранжа — метод прослеживания движущейся частицы, последовательно совпадающей при своем перемещении с различными элементами пространства и б) локальный (местный) метод Эйлера, заключающийся в обсервации материальных частиц, проходящих через определенные элементы пространства. Придание морфодинамического звучания кинематической систематике перемещений ЗП не означает игнорирование движущегося вещества, а лишь акцентирует внимание на морфологический эффект его движения. Для описания морфологического эффекта перемещения вещества в геоморфодинамике наиболее применим локальный метод, который позволяет оперировать точками, лишенными конкретного материального носителя и проходящими через выделяемые на картографических и вещественных (лабораторных, полевых) моделях реперы или створы. Субстанциональный же метод, наоборот, предназначен больше для описания в лито- и геодинамике движения вещества, что и отражено в его названии.

Не менее важны для морфодинамического анализа зародившиеся в литодинамике [Лонгинов В. В., 1973 г., и др.] представления о литодинамических потоках. Сейчас они значительно расширены Н. А. Флоренсовым [36] за счет включения в это понятие наряду с потоками дезинтегрированного вещества по поверхности

литосферы перемещения вещества внутри нее и в зоне, прилегающей к нижней границе литосферы. Указанное дополнение существенно увеличивает смысл и значение данного понятия не только для геоморфологии, но и для смежных наук о Земле.

Формы ЗП Н. А. Флоренсовым рассматриваются в качестве морфологического выражения восходящих и нисходящих литодинамических потоков. Однако в природе направления многих из них имеют не только вертикальную, но и горизонтальную составляющие. По скоростям, амплитудам и массе перенесенного вещества последние чаще всего на порядок превышают таковые характеристики у радиальной составляющей. Статистический анализ использования единиц измерения скорости перемещения [3] показал, что наиболее часто употребляются следующие единицы: для вертикальных перемещений — $n \times 10^0$, для горизонтальных — $n \times 10^3$ мм/год. Это имеет отношение не только к потокам вещества по ЗП. В соответствии с ее уклонами пробег материальной точки по вертикали на метры высоты (глубины) сопровождается ее транспортировкой по латерали на многие единицы и даже десятки километров. В субкавалных условиях специально выделяются [Лонгинов В. В., 1973 г.] *перемещения масс только с горизонтальной составляющей — по эквигравитационным уровням* (параллельно основному направлению изобат). То же можно сказать об эоловой и частично речной транспортировке вещества по поверхности равнинной суши. В целом «...ведущую роль в формировании денудационного рельефа континентальных равнин играет не общий, плоскостной, смыв, действующий в вертикальном направлении, а боковой размыв, действующий в горизонтальном направлении [19, с. 182]. Фиксируются грандиозные тангенциальные перемещения литосферных плит, сопровождаемые вертикальными смещениями в срединно-океанических хребтах, зонах субдукции и обдукции. Вертикальные подвижки во время землетрясений практически всегда сопровождаются горизонтальными. Амплитуды горизонтальных подвижек на один-два порядка больше амплитуд вертикальных.

Таким образом, *перемещение вещества и поверхности литосферы имеет две составляющие*, что отражено, в частности, в первой кинематической классификации рельефообразующих процессов А. С. Девдариани [3]. Не останавливаясь здесь подробно на соотношениях вертикальной и горизонтальной составляющих в литодинамических потоках, следует указать, что вне зависимости от представлений о первичности той или другой составляющей, общепризнанным можно считать мнение об их взаимной обусловленности. Интенсивность одной из них в литодинамическом потоке часто определяется интенсивностью другой. Это касается потоков как внутри литосферы и в зоне ее нижней границы, так и по ЗП. Скорости спрединга в начале потока обеспечивают интенсивность опускания и поглощения литосферной плиты в зонах Заварицкого—Беньофа или, наоборот, от амплитуды поднятия астенолита зависят амплитуды горизонтальной составляющей в процессах вторичного тектогенеза, по С. С. Шульцу [1980 г], по его перифе-

рии. В зависимости от твердого стока в речной системе идет накопление аллювиальных отложений в дельтах и терригенных осадков в конусах выноса на континентальном подножии, что в свою очередь неминуемо вызывает литоизостатические погружения поверхности тех и других.

Нельзя согласиться с утверждениями Н. А. Флоренсова [36] о том, что «вся морфоструктура рельефа Земли — порождение восходящей ветви литодинамического потока, а вся морфоскульптура — результат работы, осуществляемой на нисходящей ветви этого потока» [36, с. 65]. Хотя перемещения по ЗП масс подчиняются в основном (но не всегда) силе тяжести и поэтому являются главным образом нисходящими, тектонические смещения поверхности, как известно, могут иметь как положительный, так и отрицательный знак. Последний особенно характерен для поверхности океанического дна и зон Заварицкого—Беньофа.

Как видим, понятие о литодинамических потоках носит пока самый общий характер. Ограничение их только перемещениями по вертикали исходят из до сих пор господствующего «вертикального» мышления в тектонике, неотектонике и структурной геоморфологии. Методика оценки и даже картографирования тектонических движений в этих дисциплинах основана главным образом на отсчете перемещений относительно поверхностей, первичное положение которых условно принимается за горизонтальное. Для кинематической характеристики и оценки горизонтальной составляющей геологических процессов требуются также свои системы отсчета — поверхности (и линии), расположенные по нормали как к горизонтальным поверхностям (первичным структурам и морфоструктурам; см. § 32), так и к основным трассам литодинамических потоков. *Проекция потока на такой вертикальной поверхности есть его живое сечение*, в пределах которого следует измерять его скорости и расходы литосферного вещества. *Только одновременное измерение на принимаемых условно за неподвижные горизонтальных и вертикальных системах отсчета динамических (кинематических) параметров соответственно радиальной и тангенциальной составляющих перемещения вещества позволит перейти к оценке баланса вещества на каждый данный момент и для каждой замкнутой части геологического пространства.* Вместе с тем уже сейчас морфодинамический анализ располагает своими реперами для относительной оценки горизонтальной и вертикальной составляющих в рельефообразующих процессах (см. § 32, 33).

Умалывать и тем более игнорировать горизонтальную составляющую в геоморфодинамике нельзя хотя бы потому, что именно она наиболее ярко отражается в структуре ЗП, определяет во многом связи между различными и часто удаленными друг от друга морфологическими элементами, обеспечивает развитие и саморазвитие рельефа. Это имеет отношение не только к геодинамическим процессам в литосфере, но и к перемещению вещества по ее поверхности, которое в геологии и вслед за ней в геоморфологии нередко выносятся за скобки или относится к искусственно установленной

графе «транспортировка из областей денудации в области аккумуляции». Если в геологии это в значительной мере оправдано тем, что она изучает запечатленный в разрезе конечный суммарный результат осадкообразования за какой-то определенный и чаще всего продолжительный отрезок времени, то в геоморфологии, которая исследует современный процесс рельефообразования, всегда сопряженный с осадкообразованием, вряд ли оправдано его жесткое разделение на три последовательные составляющие: денудацию, транспортировку и аккумуляцию.

Граница распространения в плане того или иного слоя рассматривается в качестве границы, отделяющей область денудации от области аккумуляции. При этом пространство, в котором происходила только транспортировка материала во время накопления этого слоя из одной области в другую, специально не выделяется, что вполне естественно, так как его перемещение происходит на всем пути следования в этих областях между экстремальными высотами на суше и глубинами на море. То же можно сказать о денудации и аккумуляции. Если отставить упрощенное представление о денудации как разрушении и удалении на определенном участке слоя только коренных пород и рассматривать ее как удаление (наряду с дезинтегрированием) не только коренных, но и только что отложенных осадков, то за некоторыми исключениями можно говорить о том, что денудация имеет место на всем пути следования материала, включая и области аккумуляции, где она происходит под действием русловых, эоловых процессов, приливно-отливных, придонных и других течений. Об этом свидетельствуют непосредственные литодинамические наблюдения, факты погрубления не только мелководных, но и глубоководных осадков на тектонических поднятиях, местные размывы и кратковременные перерывы в морском и континентальном осадконакоплении. Так же широко распространены аккумулятивные процессы в областях денудации не только на участках осложняющих их тектонических опусканий, но и при других условиях: в зонах уменьшения уклонов, приуроченных к местным базисам эрозии (делювиальные шлейфы и конусы выноса), у фронта относительно стабильных или наступающих ледников, на поверхностях денудационного выравнивания (накопление элювия) и т. д. Учитывая более крупный размер перемещающихся здесь частиц, следует иметь в виду, что они редко приподнимаются над поверхностью и перемещаются главным образом волочением.

Основываясь на этих тривиальных положениях, перемещение материала по поверхности литосферы на более низкий гипсо- или батиметрический уровень или соседний одновысотный участок можно представить вне зависимости от транспортирующего агента в качестве *одновременного и непрерывного прихода и расхода вещества, т. е. его перемещение через данное сечение литодинамического потока*. Преобладание того или иного на каждом участке определяет положительный или отрицательный баланс вещества. В силу наследования аккумуляции и денудации в зависимости от

унаследованных тектонических движений — длительного развития отрицательных и положительных разнопорядковых структур или определенных геоморфологических условий (например, унаследованность в развитии аккумулятивных и денудационных берегов, по Л. Д. Никифорову [1977 г.], или консервативность в развитии речной сети на равнинах [19, и др.]) — с увеличением времени значение дефицита или, наоборот, избытка вещества возрастает. Это приводит, в конце концов, к четкому разграничению законсервированных в геологическом разрезе палеообластей денудации и аккумуляции.

Таким образом, и в, казалось бы, самом четком разделении литодинамических процессов на аккумулятивные и денудационные заложено противоречие, которое без труда преодолевается, когда речь идет о их суммарном геологическом эффекте (в разрезе), но которое становится логическим препятствием для морфодинамических построений, и прежде всего для развития очень важных для геоморфодинамики представлений о литодинамических потоках. Эти представления должны основываться не на жестком разграничении денудации и аккумуляции, а на фиксации преобладания того или другого в рельефо- и осадкообразовании, выражаемого в значениях дефицита или избытка непрерывно перемещающегося вещества для определенного отрезка времени и сечения литодинамического потока. Слово «поток» в данном случае приближается по смыслу к своему изначальному значению, отражающему перемещение жидкой или газообразной субстанции. Соотношение в рельефо- и осадкообразовании денудации, транспортировки и аккумуляции вещества можно выразить в виде следующей формулы: *транспортировка вещества есть непрерывная денудация и аккумуляция его вдоль трассы литодинамического потока.*

При этом не следует забывать, что развитие и особенности рельефа определяются не только литодинамическими потоками, но и потоками водных, воздушных и ледниковых масс, в отрыве от которых вряд ли могут рассматриваться многие виды перемещений горных пород. Все участвующее в рельефообразовании вещество геосфер разделяется на: а) перемещающееся под действием различных сил без каких-либо транспортирующих средств (тектонически и изостатически перемещающиеся блоки и сегменты земной коры, оползни, обвалы, магматизм и др.); б) перемещаемое (твердый сток рек, морены на ледниках и др.); в) перемещающее (постоянные и временные водотоки, морские течения, конвективные потоки в астеносфере и воздушные потоки в атмосфере, глетчеры и др.). Не всегда горные породы можно строго отнести к перемещаемым, а вещество внешних оболочек — к перемещающим, как это видно на примере суспензионных потоков, в которых минеральные массы вызывают течения обогащенных ими водных масс по подводным каньонам на континентальных склонах.

Перемещение вещества и ЗП приводит к тому, что «...отдельные ее формы могут существовать, лишь сосуществуя с другими формами. Их можно рассматривать в лучшем смысле как «полуне-

зависимые» объекты исследования» [36, с. 56]. Развивая это важное соображение, полезно сравнить ЗП со структурной поверхностью по какому-либо опорному горизонту, а современный рельеф с современной геологической структурой плит — совокупностью дислокаций в осадочной толще, выделяемых по данной поверхности. Если эти дислокации не испытывают неотектонической активности (что широко развито не только на древних, но и на молодых плитах), то можно сказать, что между ними отсутствуют какие-либо современные морфодинамические связи. Со времени своего создания и утраты активности (прироста амплитуд) под действием автономных движений они изменяли свое гипсометрическое положение и морфологию, но оставались при этом независимыми друг от друга. Про составляющие ЗП морфологические элементы и их совокупности (ГМС) сказать подобное нельзя, так как любое постоянно происходящее изменение одного (одной) из них прямо или косвенно, но также постоянно отражается на преобразовании другого (другой), соседнего(ей) или находящегося(ейся) на значительном удалении. И эти морфодинамические связи определяются главным образом горизонтальной составляющей литодинамических потоков.

В отличие от неактивной геологической структуры, которая развивается под действием автономных тектонических движений, применительно к рельефу правомерно использование как понятия «развитие», так и представлений о саморазвитии рельефа. В соответствии с последними рельеф рассматривается [Шукин И. С., 1934 г.; Ефремов Ю. К., 1954 г.; Спиридонов А. И., 1954 г.; Арманд А. Д., 1963 г.] не только как результат взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов, но и как самостоятельный фактор данного взаимодействия, в разной мере определяющий направленность и интенсивность этих процессов, а через это и их рельефообразующий эффект. Во взаимодействии с рельефообразующими факторами «рельеф выступает как система элементов и форм, парагенетически связанных друг с другом, объединенных в одно целое силами внутреннего (внутрисистемного) взаимодействия» [25, с. 58]. Воздействие рельефа на рельефообразующие процессы есть не что иное, как обратная связь в морфодинамической системе, которая является одним из необходимых условий и причин, определяющих способность этой системы к саморегулированию и ее дальнейшему функционированию [Арманд А. Д., 1963 г.].

С представлениями о саморазвитии рельефа созвучна идея С. С. Шульца [1980 г.] о первичных и вторичных рельефообразующих процессах. *Первичные (или начальные) геологические процессы* определяют образование ГМС, нарушая равновесие в земной коре и на ее поверхности, а сама ГМС реагирует на это, определяя характер и особенности *вторичных (или производных) процессов*, направленных в соответствии с силой тяжести на компенсацию начальных положительных и отрицательных перемещений вещества и ЗП с разной долей горизонтальной составляющей. Так как указанное разделение относится к геологическим процессам

самой разной генетической природы (тектоническим, денудационным и т. д.), т. е. осуществляется вне зависимости от ответственных за них факторов и агентов, данный принцип систематики является кинематическим. Проиллюстрировать эту независимость можно примером формирования такой формы антропогенного происхождения, как террикон, и вторичными от этого процесса ее изостатическим (литоизостатическим) погружением и эррозионным расчленением. Реализация данной систематики рельефообразующих процессов в морфодинамическом анализе базируется на строгом их разделении по принципу «действие — противодействие» и на возможности строгой фиксации вертикальных соотношений между морфологическими элементами в структуре ГМС.

Другим кинематическим принципом используемой в морфодинамическом анализе систематики рельефообразующих процессов или литодинамических потоков (в понимании Н. А. Флоренсова [36]) является *соотношение в них вертикальной и латеральной составляющих* (их направленность). Этот принцип является важнейшим в реализации динамического аспекта симметрии при динамическом истолковании основных особенностей структуры ГМС. В соответствии с ним выделяются различные виды потоков, морфологический эффект которых выражается в рисунках СКС, идентифицируемых с идеальными фигурами (см. § 32). Разновидности последних отражают направленность и вместе с тем вид перемещения вещества, который определяет форму, площадь (протяженность фронта) и другие особенности живого сечения литодинамического потока.

Наряду с морфокинематическими категориями (смещения и замещения) важным является *разделение перемещений на канализированные и фронтальные литодинамические потоки*. К канализированным литодинамическим потокам относятся концентрированные, локализованные в каналах-транспортёрах перемещения литосферного вещества разной направленности — с разными соотношениями вертикальной (положительной или отрицательной относительно поверхности геоида) и латеральной составляющих. В качестве концентрирующих литодинамические потоки каналов выступают прежде всего долины разного генезиса в субаэральном и субаквальном (в том числе на абиссальных равнинах) рельефе. Канализированными могут быть также и сугубо вертикально направленные потоки. Например, восходящие потоки локализуются в каналах (жерлах) вулканов при извержениях центрального типа или в трещинах глубинных разломов при линейном типе извержения, а нисходящие — в трещинах, через устьевые отверстия которых (поноры) проходит растворенный материал при образовании карстовых воронок, блюдц, колодцев и естественных шахт.

Фронтальный поток в отличие от канализированного осуществляется не по проводящим каналам в виде отдельных «струй», а характеризуется большим сечением, через которое осуществляется перемещение литосферного вещества. В зависимости от его направленности форма сечения может быть различной. При сугубо

горизонтальной направленности потоков, осуществляемых по эквигравитационным уровням, сечения характеризуются значительной длиной (фронта) и исчезающе малой высотой, которой при отдельных балансовых расчетах можно пренебречь. Сечения строго направленных по вертикали потоков представлены ареалами на плоскости карты, которым, например, соответствуют положительные или отрицательные деформации поверхностей выравнивания.

Форма живого сечения, используемая в качестве створа при оценке количества перенесенного материала и скорости потока, в значительной мере будет определять методику этой оценки, изложению которой посвящены работа [3] и многочисленные последующие публикации в лито- и геодинамике, инженерной геологии, гидрологии и в других науках.

И наконец, следует указать еще на *один принцип разделения рельефообразующих процессов на симметри- и диссимметреобразующие*. Этот морфокинематический принцип также имеет существенное значение при использовании аппарата симметрии в динамической интерпретации основных особенностей структуры ГМС (рисунок СКС) и реализуется вне зависимости от историко-генетических представлений о природе запечатленных в ней литодинамических потоков.

Систематика рельефообразующих процессов, осуществленная в соответствии с кинематическими и морфокинематическими принципами, позволяет сделать первый шаг в решении обратной задачи геоморфодинамики — осуществить динамическую интерпретацию рисунков СКС.

§ 32. Кинематическая интерпретация симметрии идеальных рисунков структурной координатной сети

Динамическое истолкование главных особенностей строения ГМС предусматривает прежде всего определение направленности геологических процессов. С учетом того, что симметрия и диссимметрия геоморфологических образований являются «первым сигналом» о направлении создавших эти образования сил [36], данный вопрос предлагается решить в результате интерпретации: а) идеальных фигур СКС, отражающих основные уровни симметрии рельефа, и б) возможных вариантов латеральной и вертикальной диссимметрии — нарушений классической симметрии, которые имеют место в ее реальных рисунках. Именно в связи с этими морфокинематическими характеристиками геологические процессы, сформировавшие каждую данную ГМС, делятся на симметри- и диссимметреобразующие. Первые из них определяют уровень симметрии реального рисунка СКС, а вторые — отклонения данного рисунка от идеальной фигуры, отражающей соответствующий уровень симметрии рельефа. Одни и те же в генетическом отношении процессы в разных условиях могут выступать в роли как симметри-, так и диссимметреобразующих.

За исходное положение верхней границы литосферы в целом принято считать поверхность, параллельную поверхности земного сфероида и нормальную к направлению силы тяжести. Оно соответствует земному гравитационному пространству (в понимании Б. Л. Личкова [1965 г.]), обладающему симметрией шара. В пределах ограниченной территории за исходную в структурной геологии [Белоусов В. В., 1971 г.] и в геоморфологии [13] принимаются (с оговорками; см. § 8) занимающие горизонтальное положение *первичная структура* (горизонтально залегающий слой или пласт) и *первичная морфоструктура* (горизонтально расположенная поверхность выравнивания) соответственно. Отклонения от этого положения (дислокации или структуры, деформации) рассматриваются как следствие в основном вертикально направленных тектонических движений.

В соответствии с представлениями И. И. Шафрановского [39] в условиях земного тяготения *вертикально направленные потоки вещества и создаваемые ими структуры характеризуются осевой симметрией, а все то, что перемещается косо или горизонтально, имеет и образует структуры с зеркальной симметрией*. Первым видом симметрии обладают, например, колонны газосодержащего флюида (магмы, растворы), соленые и глиняные диапиры, деревья, цветы с чашечкой, обращенной вверх, вторым видом — ветви и листья, а также организмы, движущиеся по (или параллельно) ЗП.

В структуре ЗП, симметрии рельефа и рельефообразующих процессов также проявляется направление сил тяготения. Так же как в ориентации всего на Земле (растений, животных, геологических дислокаций и т. д.), *рельеф имеет свой «верх» и свой «низ»*, что отражено в: а) наличии в МС нижних и верхних ЭП и сочетаний (см. § 11), антиподальности важнейших точечных (C_0^+ и C_0^- , C_1^+ и C_1^- , C_2^+ и C_2^-), линейных (L_1 и L_2) и площадных (группы А и С) элементов и их сочетаний (типы АВ и ВС), б) выделении в морфологической структуре вертикальных и латеральных соотношений и в) разделении ГМС с учетом ориентировки по вертикали линий систем X и Y в идеальных рисунках СКС (см. рис. 22).

Перемещения литосферного вещества в условиях земного тяготения характеризуются знаком (восходящие и нисходящие или положительные и отрицательные) и соотношениями вертикальной и горизонтальной составляющих. В соответствии с этим движения литодинамических потоков, как и всякое движение на Земле [42], вниз и «вперед» отлично от движения вверх и «назад», в то время как их движения в любую сторону (вправо или влево) можно считать равноправными, если исключить воздействие на них сил Кориолиса.

Приложив представления И. И. Шафрановского [39] к рельефообразующим процессам, можно говорить о том, что строго вертикальные смещения создают деформации исходной (первично го-

ризональной) поверхности, обладающие (на плоскости карты) симметрией круга, и в зависимости от своих амплитуд, литологических свойств субстрата и последующего расчленения определяют многочисленные разновидности этого самого высшего (для рельефа ЗП) вида (уровня) симметрии — радиально-лучевую или «ромашково-грибную» (осевую симметрию разных порядков при $n > 2$). Этот же вид симметрии характеризует формы ЗП, образованные селективной аккумуляцией материала, подающегося к ней строго по вертикали (вулканы, грязевые вулканы, атоллы, терриконы, «муравьиные кучи» на ледниках и т. д.), а также вертикально направленными денудационными процессами (карстовые воронки, блюдца, термокарстовые образования) и взрывами от падения крупных метеоритов (метеоритные кратеры).

В СКС разномасштабным ГМС, созданным в результате строго вертикальных смещений и замещений первично-горизонтальной поверхности, соответствуют радиально-концентрические рисунки (см. рис. 22, ряд. 1). Если такие перемещения малоамплитудны и не фиксируются в гипсо- или батиметрии (при данной детальности исходного материала), то образуемые при этом реальные рисунки СКС следует идентифицировать с фигурами a и b , в пределах которых отсутствуют вертикальные соотношения по линиям системы как X , так и Y . На всех прочих идеальных рисунках СКС вертикальные соотношения отражают положительные (c и e) и отрицательные (d и f) перемещения ЗП относительно ее исходного горизонтального положения.

Эти симметреобразующие перемещения являются начальными геологическими процессами, определившими основные особенности структуры и само образование и обособление ГМС в пределах «бесструктурного», горизонтального, участка ЗП — первичной морфоструктуры.

Большое значение при динамической интерпретации главных особенностей структуры ГМС имеет регистрация вертикальных соотношений в рисунках по одной из систем СКС, которые указывают на форму сечения вторичных литодинамических потоков.

В ГМС с вертикальными соотношениями по направлению Y (см. рис. 22, c и d) вторичные процессы проявляются в качестве канализированных нисходящих литодинамических потоков по транспортерам, рельефообразующий эффект которых фиксируется на морфологической карте в виде радиально направленных СЛ L_1 и L_2 и их аналогов (см. § 18). Несмотря на то что эти вторичные процессы, определившие центростремительные или центробежные варианты радиально-концентрического рисунка СКС, могут существенно изменить и усложнить структуру ГМС, они не являются диссимметреобразующими. В рисунке СКС их морфологический эффект никак не проявляется.

Например, идеальный по форме молодой подводный вулканический конус и сильно расчлененный глубоко врезанными ложбинами древний и ныне потухший вулкан на суше могут быть выражены в СКС совершенно одинаково.

Вертикальные соотношения по направлению X (см. рис. 22, ряд 1, e, f) означают концентрическое расположение СЛ L_1 и L_2 , которые могут отражать такие производные геологические процессы, как вторичный тектогенез, различные гравитационные смещения на склонах изометричных форм ЗП. Именно по данному принципу построены концентрически расположенные и ярко выраженные в рельефе неоструктурные линии на бортах крупных положительных и отрицательных изометричных и близких к ним по форме в плане структур [13], многие образования, называемые морфоструктурами центрального типа. В этих и не приведенных здесь подобных примерах в вертикальных соотношениях по направлению X проявляются фронтальные геодинамические и литодинамические потоки, направленные на компенсацию действия начальных геологических процессов.

Следует также оговорить вариант, при котором вторичные геологические процессы могут быть одновременно канализованными и фронтальными, что проявляется, например, в образовании радиально-концентрического рисунка речных долин [24].

Малые доли горизонтальной составляющей в направлении перемещений литосферного вещества уже приводят к созданию различных форм с зеркальной симметрией. *Эллипсоидные рисунки СКС отражают наличие в симметреобразующих начальных геологических процессах латеральной составляющей* (сжатия, растяжения), которая, однако, значительно уступает восходящим (см. рис. 22, ряд 2, c, e) или нисходящим (d, f) вертикальным перемещениям. Преобладание последних при образовании ГМС с этим типом рисунков СКС определяет их замкнутость, т. е. то, чем они отличаются от другого типа рисунков с билатеральной симметрией (стреловидных).

Так же как и в рисунках первого типа, вертикальные соотношения в эллипсоидных фигурах по одной из систем СКС отражают форму проявления вторичных геологических процессов. Эллипсоидные фигуры c и d являются идеальными для рисунков СКС тех ГМС, в пределах которых производные процессы представлены канализованными нисходящими потоками литосферного вещества. Наиболее характерна приуроченность таких ГМС к вытянутым или линейным замкнутым геологическим дислокациям, неотектоническая активность которых компенсируется эрозионно-аккумулятивной деятельностью в соответственно направленных речных долинах. О роли горизонтальной составляющей в образовании подобных ГМС (в начальных геологических процессах) можно судить по зависимости в расположении на платформах брахиформных дислокаций (с разной степенью их вытянутости) от их удаленности от складчатых обрамлений, со стороны которых передаются тангенциальные напряжения земной коры [Воробьев В. Я., 1980 г.].

Фигуры e, f (см. рис. 22, ряд 2) отражают идеальную структуру ГМС, в образовании которых начальные симметреобразующие потоки характеризуются значительным преобладанием вертикаль-

ной составляющей над латеральной, а производные процессы представлены фронтальными нисходящими перемещениями вещества. В качестве последних для ГМС с рисунками этого типа (так же как и всех других типов) могут выступать вторичные тектонические и гравитационные процессы, осложняющие их структуру, но не определяющие диссимметрию фигур СКС.

Симметрия идеальных стреловидных фигур СКС отражает симметрию геологических процессов, в которых преобладает горизонтальная составляющая. При восходящих начальных перемещениях по вертикали (рис. 22, ряд 3, с, е) идентифицируются реальные рисунки, присущие ГМС, которые соответствуют в плане неотектонически активным положительным полузамкнутым геологическим дислокациям (полусводам, выступам), выраженным в рельефе в виде горных отрогов, краевых плато. Осложняют структуру таких ГМС (не нарушая ее симметрии) вторичные канализированные (с) и фронтальные (е) процессы.

Симметрия латеральных потоков литосферного вещества с нисходящей вертикальной составляющей проявляется в симметрии стреловидных фигур *d, f* (см. рис. 22, ряд 3). С фигурой *d* идентифицируются ветвистый, перистый, веерообразный и древовидный рисунки речной сети, «оперение» стрелы в пределах которых находится в полном соответствии с общим направлением потока по горизонтали, а также рисунки СКС, отражающие основные особенности строения дельт и конусов выноса. В пределах этих образований «оперение» стрелы направлено в обратную сторону по отношению к течению потока. Симметрия этой фигуры отражает в целом структуру канализированных вторичных литодинамических потоков и созданных ими ГМС. Они проявляются в твердом стоке рек, материале, влекомом селевыми, грязекаменными и суспензионными потоками в горах на суше и на континентальном склоне соответственно. «Слияние» линий L_2 и «расхождение» линий L_1 в речном бассейне и в верховьях подводного каньона на континентальном склоне сменяются вниз по течению бифуркацией — «расхождением» СЛ L_2 и «схождением» линий L_1 в дельтах и конусах выноса. Таким образом, концентрирующиеся потоки (например, переход от плоскостного смыва к линейной эрозии, от эрозионных ложбин к долинам сначала временных, а затем постоянных водотоков), так же как и распыляющиеся потоки (например, в дельтах) характеризуются не повышением или снижением уровня симметрии, по В. А. Бокову [23], а одной и той же симметрией «стрелы» с разной ориентировкой ее «оперения» (согласной или несогласной по отношению к общему направлению потока). Несогласованность ориентировки самой «стрелы» и ее «оперения» являются одной из разновидностей латеральной диссимметрии, нарушающей стреловидные рисунки СКС.

Решетчатые фигуры СКС (см. рис. 22, ряды 4, 5) *отражают симметрию голоморфного строения ГМС.* Оно создано потоками, о преобладании в направлении которых горизонтальной и вертикальной составляющих следует говорить раздельно. Решетчатый

рисунок с зафиксированными на нем вертикальными соотношениями по направлению Y (ряд 4, $c-d$) отражает структуру канализированных потоков в совокупности изолированных друг от друга каналов, осложняющих прямолинейные (в плане) простые склоны. Подобные рисунки характерны, например, для склонов форм антропогенного генезиса (дамб, насыпей, карьеров). С идеальной фигурой $e-f$ (ряд 4) могут идентифицироваться рисунки СКС, образованные фронтальными гравитационными потоками, которые приводят к осложнению прямолинейных в плане склонов в их проксимальном направлении. Две рассмотренные решетчатые фигуры отражают симметрию потоков, которые чаще всего являются транзитными по отношению к данному участку ЗП (данной ГМС). Наличие в них вертикальной составляющей предопределено уклонами более высокого порядка или первичной диссимметризацией (см. § 33). Эта диссимметризация ответственна также за строение ГМС, идентифицируемое с фигурой $d-e$ (ряд 5) с зафиксированными в ее пределах вертикальными соотношениями сразу по двум направлениям СКС.

Идеальной из всех фигур данного типа на рис. 22 является только решетчатая фигура $a-b$ в рядах 4—5, которая может рассматриваться как простейший полный плоский изогон, состоящий из квадратов, или как два расположенных по нормали по отношению друг к другу простейших односторонних плоских семиконтинуума [42]. Симметрия этой фигуры отражает симметрию фронтального литодинамического потока вещества, осуществляемого в строго горизонтальном направлении.

Данный вид симметрии особенно часто фиксируется на мелко-масштабных и обзорных картах складчатых областей и срединно-океанических хребтов, т. е. там, где максимально проявляются тангенциальные напряжения и движения в литосфере. Он же характерен для неканализированных литодинамических потоков дезинтегрированного литосферного вещества на шельфе и в океане, которые формируют не только поперечные (ось трансляции совпадает с направлением потока), но и продольные (по отношению к потоку) аккумулятивные «волны». По Р. Флуду и Ч. Холлистеру [37], к последним относятся не только абиссальные илистые волны на дне океана, но и волны, формирующиеся в условиях песчаных пустынь на суше и сильных течений на шельфе. Какими бы ни были ответственные за формирование данной структуры (в разном по генезису рельефе) геологические процессы, их объединяет одно — *направленность потоков литосферного вещества строго по эквигравитационным уровням и связанный с этим данный вид трансляционной симметрии.*

Таким образом, типы рисунков СКС перечислены в табл. 5 и на рис. 22 в соответствии со снижением в них уровня симметрии. *Последовательный переход от одного уровня симметрии к другому в условиях земного тяготения отражает увеличение в создающих соответствующие структуры ГМС геологических процессах (потоках литосферного вещества) горизонтальной составляющей по*

сравнению с их вертикальной (восходящей или нисходящей) составляющей. Такой подход к интерпретации рисунков СКС предусматривает не выделение горизонтальной составляющей в самостоятельную ветвь потока литосферного вещества [33], а наоборот, одновременное рассмотрение вертикальной и латеральной направленностей с определением доли этих составляющих в общем перемещении этого вещества и ЗП.

Наряду с учетом представлений об увеличении доли горизонтальной составляющей при переходе от радиально-концентрического к решетчатому рисункам, являющихся основой кинематической интерпретации реальных рисунков СКС, возможна более точная относительная оценка этой доли для рисунков, относящихся к одному и тому же типу. Для каждого эллипсоидного рисунка эта доля может быть оценена через соотношение длин его большой (m_{x_1} или m_{y_1}) и малой (m_{x_2} или m_{y_2}) осей, для стреловидного — значениями углов подхода линий «оперения» к особым линиям, а для решетчатого — уклонами по направлениям X или (и) Y СКС.

§ 33. Кинематическая интерпретация диссимметрии рисунков структурной координатной сети и представления о геоморфокинематических системах

Выше образование основных особенностей структуры ГМС, запечатленных в идеальных фигурах СКС, рассматривалось как результат воздействия вертикально и (или) латерально направленных потоков литосферного вещества на первичную морфоструктуру — исходную поверхность, занимающую первично-горизонтальное положение. Эти морфодинамические (морфокинематические) теоретические модели не учитывают возможное наличие первичного наклона исходной поверхности, который должен обязательно вносить свои коррективы в симметрию идеальных фигур. Коррективы подобного рода называются нами *первичной диссимметризацией*.

Круг, эллипс, парабола, а также не рассматриваемая здесь (по указанным причинам; см. § 22) гипербола являются и называются в аналитической геометрии *коническими сечениями*, так как их можно получить на поверхности круглого конуса в пересечении с плоскостью, не проходящей через его вершину. Если плоскость параллельна основанию конуса, то коническое сечение есть круг. На этом основании осевая симметрия, или симметрия конуса, применительно к плоскости карты называется симметрией круга (табл. 5). Пересечение конуса с плоскостью, не параллельной его основанию и ни одной из его образующих, дает эллипс. Последнее служит геометрическим основанием положения о том, что симметрия строго вертикально перемещающихся потоков (симметрия конуса) при исходной не горизонтальной, а наклонной плоской поверхности определяет в рельефе симметрию не круга, а эллипса,

а в СКС — не радиально-концентрический, а эллипсовидный ее рисунок.

В свою очередь симметрия литодинамического потока с двумя плоскостями отражения и осью симметрии второго порядка при его сечении наклонной исходной плоской поверхностью создает ГМС со стреловидным рисунком СКС. Это, в частности, проявляется в превращении замкнутых дислокаций в осадочной толще (брахиформ) в полузамкнутые (выступы) при региональных перекосах на бортах плит, возникших в результате высокоамплитудных воздыманий их складчатых обрамлений. Входящие в стреловидные рисунки параболы — фрагменты линий одной из систем СКС — являются коническими сечениями, если секущая конус плоскость параллельна одной из его образующих.

Зеркальная симметрия литодинамического потока с одной плоскостью отражения при существенном наклоне исходной плоской поверхности создает не стреловидный, а решетчатый рисунок СКС (см. рис. 22, фигуры в ряду 4), так же как вместо параболы получается прямая касания плоскости с конусом, если эта плоскость проходит через его вершину.

Наклонное положение исходной плоской поверхности при осуществлении по ней (точнее, при проекции на нее) строго горизонтального потока по эквигравитационным уровням также приведет к первичной диссимметризации. В результате вместо идеальной решетчатой фигуры $a-b$ (см. рис. 22) образуются решетчатые фигуры с первичной диссимметризацией $c-d$ или $e-f$ (ряд 4) — при наклоне исходной поверхности, совпадающем с наклоном осей трансляции или перпендикулярном к ним, или фигура $d-e$ (ряд 5) — при наклоне этой поверхности, не совпадающем с этими двумя направлениями.

Таким образом, *первичная диссимметризация, обусловленная наклоном исходной плоской поверхности, приводит к снижению симметрии рельефа (фигур СКС) по отношению к симметрии рельефообразующего процесса на один уровень с выпадением соответствующих элементов симметрии.* Представления о первичной диссимметризации могут быть значительно расширены, если за исходную берется не плоская (горизонтальная или наклонная) поверхность, а поверхность, описываемая уравнениями второй или более высокой степени. Этот путь аппроксимирования взаимодействия реальных геологических процессов с уже сформировавшимся рельефом представляется перспективным при конструировании морфокинематических теоретических моделей.

С учетом первичной диссимметризации можно говорить и о том, что *идеальные рисунки СКС выполняют функции, аналогичные роли, которая отводится в структурной геологии и геоморфологии первичной структуре и морфоструктуре — идеальным геометрическим образам, необходимым для оценки амплитуд дислокаций или тектонических движений (деформаций).* Однако если первичная структура и морфоструктура призваны выступать в качестве реперов или створов для оценки только вертикальной со-

ставляющей потоков литосферного вещества, то идеальные рисунки СКС и их диссимметрия отражают как вертикальную, так и латеральную направленность геологических процессов. В определенном отношении идеальные рисунки СКС наряду с первичной структурой и морфоструктурой могут выступать в качестве *систем отсчета перемещений ЗП*, связанных с потоками литосферного вещества. Абсолютно неподвижных систем отсчета этих (как и любых других) перемещений не существует [3]. Предлагаемые реперы тоже могут, во-первых, менять свое положение в пространстве и, во-вторых, быть полностью разрушенными мощными геологическими процессами, подобно измерительным приборам, которые выходят из строя при попытке оценить с их помощью интенсивность процессов, выходящих за пределы их измерения.

В качестве створа, через который проходят литодинамические потоки с преобладанием вертикальной составляющей, выступают первичная структура или морфоструктура. Проекция такого потока на данные горизонтальные поверхности является его живым сечением. Продолжая заимствовать гидрологическую терминологию, можно сказать, что согласованно изогнутые оси Y в СКС представляют собой своеобразные «эпюры скоростей», отражающие латеральную составляющую в потоках литосферного вещества. Именно эта составляющая определяет изгибы всех и особых линий (и в конечном счете латеральную диссимметрию реальных рисунков СКС в целом), отклонения которых могут быть оценены относительно их «нормального» положения в идеальном рисунке соответствующего типа.

Дав динамическое (кинематическое) истолкование симметрии идеальных рисунков СКС, мы подошли к решению задачи о создании *морфокинематической системы (МКС) — познавательной конструкции, направленной на исследование в качестве единого целого кинематики геологических процессов и их морфологического эффекта.*

Целостность этой системы должна быть обеспечена единством набора и взаимосвязью наиболее существенных морфологических (структурных) и кинематических параметров. При этом, вероятно, к первым следует отнести не основные параметры ЗП, выбранные при конструировании МС [$H(x, y)$, $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$], а полную группу идеальных рисунков СКС (с учетом их диссимметрии), отражающую главные особенности структуры ГМС. Кинематические параметры должны включать в себя: а) соотношение вертикальной и латеральной составляющих в направлении потоков литосферного вещества (первичных и вторичных) и б) степень локализации потоков (канализированных и фронтальных), определяющую форму их живого сечения. Важно отметить, что оба эти параметра могут быть определены в результате морфологического картографирования и структурного анализа рельефа без привлечения материалов дополнительных исследований и связаны в единую систему с показателями основных особенностей строения ГМС.

Конкретной реализацией МКС следует считать *геоморфокинематические системы (ГМКС) — пространственно-временные структурно-динамические категории*. Они выделяются в поле-потоке П. К. Соболевского [33] как определенно направленные и организованные потоки («струи потока»), взаимодействующие друг с другом и с создаваемой (созданной) ими структурой исследуемой части ЗП. В этих целостных системах предусматривается наличие как прямых (воздействие геологических процессов на рельеф), так и обратных (воздействие сложившегося рельефа на процессы) положительных и отрицательных связей и саморазвитие рельефа. В качестве подсистем они включают в себя ГМС с характерными для них основными особенностями строения ЗП (рисунками СКС). Границы ГМКС, так же как и границы геосистем [Ретеюм А. Ю., 1975 г.], совпадают с границами потоков, областей выноса и привноса литосферного вещества.

С полной группой идеальных рисунков СКС (см. рис. 22) в ГМКС в значительной степени согласуется морфокинематическое разделение орографических форм на инициальные, терминальные и транзитные [36]. Понятия «инициальные» и «терминальные» формы могут быть приложены к ГМКС с замкнутыми радиально-концентрическими и эллипсовидными фигурами СКС. Инициальными среди них являются фигуры *c* и *e*, а терминальными — *d* и *f*. К транзитным относятся ГМКС со стреловидными и решетчатыми рисунками, кроме ГМКС с идеальной решетчатой фигурой *a—b* (см. рис. 22, ряды 4—5), составляющих четвертую самостоятельную категорию в этой морфокинематической систематике. При дальнейшем развитии последней следует обязательно предусмотреть диссимметрию в рисунках СКС.

При кинематической интерпретации латеральной и вертикальной диссимметрии реальных рисунков СКС кроме первичной диссимметризации необходимо учесть, что основные особенности структуры ЗП могут отражать прежде всего одновременное развитие «мешающих друг другу» соседних ГМКС. При этом диссимметрия в их реальных рисунках СКС является взаимно связанной.

К такой *парагенетической диссимметрии* сложных или составных ГМКС (состоящих из простых ГМКС), во-первых, относится первый вид латеральной диссимметрии (см. § 26). Например, половина стреловидного рисунка СКС может непосредственно соседствовать с половиной эллипсовидного рисунка, а их граница будет проходить по особой линии, которая для первого рисунка играет

роль линии m_y , а для второго — m_{y_1} (m_{y_2}) или m_{x_1} (m_{x_2}). Эту особую линию следует рассматривать в качестве общей границы двух ГМКС с существенно различающейся вертикальной составляющей создавших их потоков литосферного вещества. Применительно к субэразальному рельефу данная линия может соответствовать освоенному речной долиной сбросу, вертикальные смещения по плоскости которого, слабо проявляясь в гипсометрии, определили вместе с тем существенно разную структуру соседних ГМКС.

Кроме того, парагенетическая диссимметрия смежных ГМКС может быть представлена криволинейными производными от идеальных фигур. Такими производными являются реальные рисунки СКС двух или нескольких взаимно «мешающих» одновременному развитию близко расположенных друг к другу вулканических аппаратов.

Наиболее широко встречаются разновидности *эпигенетической диссимметрии*, которая связана с воздействиями на предшествующую структуру ранее сформированной ГМКС последующих геологических процессов. К этой категории относятся практически все перечисленные в § 26 виды латеральной и вертикальной диссимметрии, обусловленные: а) наложением симметрии последующих процессов на симметрию более ранних процессов и сформированной ими ГМКС (все виды латеральной диссимметрии); б) воздействием соседних, более интенсивно и экстенсивно развивающихся ГМКС на структуру ЗП в данной соседней с ними ГМКС (первый и второй вид латеральной диссимметрии); в) появлением нового более крупного (чем сформированная ранее ГМКС) по значению уклона или уклонов и связанного с ним (с ними) новообразованного транзитного перемещения литодинамического потока (все виды вертикальной диссимметрии); д) инверсией — изменением направленности вертикальной (третий вид вертикальной диссимметрии) и горизонтальной (пятый вид вертикальной диссимметрии) составляющих потока в пределах ГМКС.

Диссимметрия ГМКС с решетчатым рисунком СКС проявляется часто в сочленении субпараллельных поднятий и опусканий в виде камертона, открытого по направлению потока или поперек него. Диссимметрия этого вида отмечается в аккумулятивном рельефе океанического дна [37]. В структуре рельефа (и геологической структуре) складчатых областей роль таких сочленений играют поперечные дислокации, направленные вдоль осей трансляции. Кроме того, диссимметрия ГМКС данной категории проявляется в неравенстве уклонов «навстречных» и «подветренных» (по отношению к латерально перемещающемуся потоку) склонов — полярности осей трансляции (см. § 22).

Наложение в пространстве нескольких лито- и геодинамических потоков определяет переходы от классической симметрии к разным видам расширенной симметрии. Изменение интенсивности фронтальных потоков в продольном (по мере удаления от места зарождения потока) и поперечном (на флангах потока) направлениях могут привести к искажению трансляции — к периодическому распределению затухающих волнообразных форм с соблюдением условий подобия и без соблюдения таковых (с соблюдением гомологии). В последнем варианте могут отмечаться однородные деформации гряд или валов по мере их удаления от места зарождения потока и к его флангам.

Переход от симметрии конуса к криволинейной симметрии иллюстрируют Г. А. Дмитриев и М. С. Потапов [39] контуром бархана, рассматривая его в качестве криволинейной производной эл-

липа. Он создается из комбинации деформированного действием ветра гравитационного конуса и половиной конуса, образованного благодаря торможению препятствием. Учитывая широкое распространение трансляций в рельефе и то, что «классическая симметрия — частный случай криволинейной, в рамках последней любые операции классической симметрии можно с известными оговорками свести к трансляции по определенным образом искривленным линиям» [39, с. 69].

Первичная диссимметризация, парагенетическая и эпигенетическая диссимметрии, а также сходство в рисунках СКС определяют создание в рамках потока-поля Соболевского закономерных группировок ГМКС в более крупные структурно-динамические образования — ГМКС более крупного порядка или *сложные (составные) ГМКС*. Выделение и систематика сложных ГМКС являются предметом морфодинамического районирования.

Как отмечалось (см. § 26), В. Н. Солнцев [28] выделяет три основные формы упорядоченности ландшафтной оболочки — пространственного объединения мелких геосистем в более крупные или сложные. Сложные геосистемы по этому принципу делятся на векторные, изопотенциальные и ячеистые. Системная общность первых связана с закономерной изменчивостью экспозиции вдоль векторов силового поля циркуляционных потоков, вторых — с относительной устойчивостью экспозиционных условий вдоль силовых линий гравитационного и инсоляционного полей, третьих — с дискретным изменением одного из видов экспозиции при общем их сходстве. В отличие от этих представлений, сложные ГМКС предлагается рассматривать как следствие: а) дифференциации единого участвующего в рельефообразовании потока на отдельные «струи» (например, развитие отдельных вулканов — ГМКС в рамках единого сложного вулканического сооружения — сложной ГМКС); б) наличия единого (объединяющего) однонаправленного мощного потока, взаимодействующего на всем протяжении с более дифференцированными или (и) разнонаправленными потоками меньшего порядка (например, объединение по принципу каскада ГМКС, приуроченных к неотектонически активным локальным структурам разного знака в сложную ГМКС, связанную с нисходящим транзитным литодинамическим потоком, канализированным крупной речной долиной, или объединение дифференцированно развивающихся горстов и грабенов в пределах единого активно поднимающегося сегмента земной коры); в) предшествующей дифференциации единой тенденции развития ГМКС (например, резкая активизация соляного диапиризма в пределах опускавшейся и опускающейся в качестве единого целого аккумулятивной низменности); г) последующего наложения на сформированные простые ГМКС мощного геологического процесса (например, интенсивное абразионно-аккумулятивное выравнивание конечно-моренного комплекса в период трансгрессии или резкий тектонический или гляциоэвстатический подъем древнебереговых образований); д) общности образования простых ГМКС, которые являются компонен-

тарными или дополняют друг друга (например, сложная ГМКС может состоять из простых ГМКС: водосборного бассейна на суше, частичного его продолжения на узком шельфе, подводных каньонов на континентальном уступе и конуса выноса в пределах континентального подножия).

Таким образом, *сложные ГМКС могут составляться из простых по разным принципам: динамическому* (первые две категории сложных ГМКС), *историческому* (следующие две категории) и *функциональному*. К последней категории относятся ГМКС, соответствующие литодинамическим потокам, или экзогенные морфосистемы, по О. А. Борсуку и Ю. Г. Симонову [23], которые рассматриваются этими авторами как комплексы взаимосвязанных в своем развитии и пространственном положении форм и элементов ЗП. При объединении простых ГМКС в сложные важно установить масштабные соотношения между ними и сопоставить интенсивность потоков и размеры создаваемых ими ГМКС с выражением того и другого в одних и тех же единицах. В динамически и исторически составленных ГМКС должны обнаруживаться значительные различия в мощностях дифференцированных потоков («струй») и потока, объединяющего простые ГМКС в сложную систему.

ГЛАВА XI

ДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РЕШЕНИИ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧ ГЕОМОРФОДИНАМИКИ

Определение кинематических характеристик геологических процессов на основе анализа симметрии и диссимметрии рельефа является важным и вместе с тем только первым шагом в его динамической интерпретации. Вслед за исследованием главных особенностей строения ЗП следует интерпретировать с динамических позиций те структурные черты, которые нашли отражение не в реальных рисунках СКС, а в специально направленных на их выявление и анализ построениях. Кроме того, существенную динамическую информацию содержат в себе осуществленные в ходе морфологического картографирования преобразования, а также зафиксированные на морфологической карте точечные, линейные и площадные элементы. Извлечение всей данной информации требует динамического истолкования как качественного описания (морфографии) этих элементов и их соотношений друг с другом, так и морфометрических характеристик тех и других, полученных в результате картографирования и структурного анализа рельефа. И наконец, следует широко использовать универсальность МС, которая предоставляет возможности применения методов аналогий и моделирования в морфодинамическом анализе.

Переход от формального анализа симметрии и диссимметрии к широкой и разносторонней интерпретации всех особенностей строения и состава ЗП с привлечением эталонных, эксперименталь-

ных и теоретических моделей обеспечивает развитие сугубо кинематических построений в историко-генетические представления о факторах и агентах, ответственных за те или иные геологические процессы, и о последовательности их действия и взаимодействия при формировании ГМКС. Эти представления могут быть сформулированы с максимальной достоверностью на базе изучения не только наиболее общих, запечатленных в рисунках СКС, структурных черт, но и деталей строения и состава ЗП, которые содержат в себе часто не меньшую историко-генетическую информацию, чем главные особенности ее структуры.

Их интерпретация с обязательным использованием всех полученных на момент исследования результатов решения прямой задачи геоморфодинамики будет, вероятно, основана на морфодинамической системе (МДС) — познавательной конструкции, связывающей в единое целое состав и структуру ЗП не только с кинематическими, но и с генетическими и возрастными характеристиками рельефообразующих процессов. Пространственно-временными реализациями МДС или объектами полных по своему объему региональных морфодинамических исследований, вычлененными по номенклатурному, структурному, кинематическому и историко-генетическому признакам, являются геоморфодинамические системы (ГМДС). Таким образом, в теории геоморфодинамики намечается последовательное развитие от создания МС к конструированию МКС и затем к разработке МДС.

Этому развитию в практике морфодинамического анализа будет соответствовать переход от исследования рельефа (статического уровня), завершаемого морфологическим районированием — оконтуриванием статичных и квазицелостных систем (ГМС), к изучению сначала кинематики (с выделением целостных ГМКС), а затем генезиса и истории рельефообразования на стадии определения ГМДС. Обе линии в геоморфодинамике — теоретическая (МС → МКС → МДС) и регионально-практическая (ГМС → ГМКС → ГМДС) — должны быть самым тесным образом связаны друг с другом. Представления о ГМДС в общих чертах созвучны предложению Н. А. Флоренсова картировать геоморфологические (историко-генетические) ряды, «...во взаимном положении, размещении, сочетании которых друг с другом, а также в отношении соподчиненности во времени, пространстве и причинно-следственных связей внутри таких рядов должны найти свое место явления интеграции и дезинтеграции, активного и пассивного, наложенного и унаследованного, симметричного и асимметричного (диссимметричного — А. Л.)» [36, с. 85].

§ 34. Динамическая интерпретация пространственных соотношений между морфологическими элементами

Точечные, линейные и площадные элементы, а также разные по дальности, знаку (прямые или обратные), тесноте и сложности вертикальные и латеральные соотношения между ними и их совокуп-

ностями отражают функциональные, генетические и возрастные связи, образованные в ходе создания и развития ГМДС и под действием симметре- и диссимметреобразующих, первичных и вторичных, различных по направленности и форме живого сечения литодинамических потоков. Эти связи выявляются в результате анализа морфологической карты, предваряющего картографирование (см. § 15), и последующих специальных, структурных (см. § 27, 28) построений.

Устанавливаемые с помощью трассирования линейных элементов латеральные и вертикальные соотношения между ОТ отражают не только связи строения в ГМС (структурные связи), но и генетические, возрастные и функциональные отношения в ГМДС.

Трассирование СЛ L_1 и L_2 , или плановая корреляция ОТ O_1 и O_2 , и определение вертикальных соотношений по направлению У СКС позволяют выявить направление и форму сечения нисходящего литодинамического потока, а также площади сбора литосферного вещества. Связные сети килевых линий и их сочленения указывают на степень локализации (канализированности) потока, а их соотношения со значениями $|H'(x, y)|$ — на зависимость этой локализации от уклонов ЗП. В частности, связанная сеть СЛ L_2 может отражать единый транспортер для вещества, перемещающегося из орогенных сооружений на суше к абиссальным равнинам в океане, составленный из разных по генезису каналов субаквального и субаэрального происхождения.

Следует выявлять функциональные, генетические и возрастные связи между не только отдельными ОТ, но и их совокупностями или фрагментами СЛ. С помощью методов трассирования последних (см. § 16), в том числе в условиях слабой плановой корреляции между ОТ (см. рис. 14), однозначно устанавливается единство внешне разобщенных по площади фрагментов СЛ, составляющих цельные линейные элементы, относящиеся к любому из шести видов. По отношению к СЛ I типа это имеет значение, например, на шельфовых поверхностях неполного абразионно-аккумулятивного выравнивания, характеризующихся прерывистостью долин субаэрального происхождения, по-разному переработанных в различных диапазонах глубин, на участках новейших поднятий и опусканий в результате воздействия ветровых волн [11, 13]. Однозначное проведение СЛ $L_3—L_6$ позволяет проследить и установить не только морфологическое единство, но и вытекающую из него разновозрастность таких далеко отстоящих друг от друга явно выраженных (и поэтому визуально фиксируемых на современных геоморфологических картах) элементов, как бровки и тыловые швы, площадки и уступы террас. Вследствие тектонических, гляцио- или гидроизостатических смещений они могут занимать существенно различное гипсо- или батиметрическое положение и на значительном протяжении по-разному проявляются в рельефе (в связи с различными условиями террасообразования или в зависимости от интенсивности последующих разрушающих эти элементы процессов).

В результате выделения и прослеживания СЛ II и III типов устанавливаются одновозрастность и последовательность формирования заключенных между ними собственно склоновых ЭП. Однозначное трассирование этих линейных элементов дает возможность экстраполировать абсолютные или относительные датировки в отдельных ОТ в проксимальном направлении склона и интерполировать их в нормальном к нему направлении наибольших уклонов. Данная возможность использована нами при составлении карты скоростей и градиентов скоростей голоценовых движений в юго-восточной части Балтийского моря (см. § 39).

Зоны горизонтальных градиентов значений коэффициента анизотропии, отражающих тесноту латеральных связей между ОТ O_1 и O_2 , или зоны перехода от участков распространения и четкой выраженности СЛ I типа к участкам слабой выраженности или просто лишенным гребневых и килевых линий (при наличии СЛ II и III типов), означают границы распространения действия геологических процессов, направленных на выравнивание или, наоборот, на расчленение рельефа. Такими границами могут быть древние береговые линии и связанное с ними распространение абразионно-аккумулятивного выравнивающего воздействия на предшествующий субаэральный рельеф или контуры новейших поднятий, определивших резкое усиление в их пределах процессов глубинной эрозии.

Существенное морфодинамическое значение имеют соотношения между значениями $K_{ан}$, с одной стороны, и $H(x, y)$ и $|H'(x, y)|$ — с другой. В субаэральных условиях увеличение анизотропии рельефа с абсолютной высотой ЗП может указывать на усиление линейной эрозии на водораздельных пространствах. Наряду с обычно обратным соотношением между значениями $K_{ан}$ и $|H'(x, y)|$ могут быть существенные отклонения, которые, в частности, объясняются усилением глубинной эрозии, повышенной устойчивостью к денудации экспонированных на ЗП горных пород и другими причинами.

Значения коэффициента плановой корреляции ОТ $O_3—O_6$ отражают степень террасированности ЗП, а зоны их резких горизонтальных градиентов — границы распространения формирующих террасы или последующих, разрушающих террасовые комплексы геологических процессов.

Вертикальные соотношения между ОТ всех видов включают в себя: 1) строгую ориентировку по вертикали (в основном СЛ L_2); 2) наличие единой тенденции в изменении высот (глубин) ОТ, на фоне которой могут фиксироваться частные ундуляции (в основном СЛ I типа); 3) относительную выдержанность гипсо- или батиметрического положения СЛ $L_3—L_6$. Данные варианты перечислены в порядке убывания функциональных и возрастания возрастных связей, которые отражаются линейными элементами ЗП. Первый вариант в морфодинамическом отношении рассматривается как следствие строго направленных под действием силы тяжести нисходящих канализированных потоков. Второй, не менее широко

распространенный вариант может отражать морфологический эффект сложного взаимодействия двух разновозрастных процессов: более раннего направленного в соответствии с силой тяжести канализированного литодинамического потока и последующих потоков по эквигравитационным уровням.

По этой схеме, например, формируются подводные долины субаэрального генезиса на поверхностях неполного абразионно-аккумулятивного выравнивания в пределах шельфа [13]. Их тальвеги, фиксируемые СЛ L_2 , при наличии общей тенденции в вертикальной ориентировке характеризуются положительными и отрицательными ундуляциями. Первые из них развиты в тех диапазонах современных глубин, через которые уровень трансгрессирующего моря (и вслед за ним зона волнового воздействия) проходил с наименьшей скоростью и обеспечил заполнение долин осадками. Вторые, наоборот, приурочены к участкам опусканий и диапазонам глубин, в пределах которых абразионно-аккумулятивное волновое воздействие было наименее продолжительным, что и определило условия своеобразной консервации фрагментов речных долин.

Второй вариант в вертикальных соотношениях между ОТ O_1 и (или) O_2 может также иметь место в результате взаимодействия канализированного нисходящего потока с дифференцированными тектоническими движениями разного знака.

И последний вариант вертикальных соотношений между ОТ $O_3—O_6$ может быть морфодинамическим следствием (и признаком) воздействия на рельеф литодинамических перемещений по эквигравитационным уровням при относительной стабильности положения ЗП. Выдержанность гипсо- или батиметрического положения СЛ $L_3—L_6$ отражает также субгоризонтальное или моноклиналиное залегание разных по устойчивости к денудации слоев.

Все рассмотренные варианты в вертикальных соотношениях ОТ четко проявляются на картах поливершинной, полибазисной поверхности и деформаций СЛ $L_3—L_6$. Уменьшение заложений между гипсоизобазитами и изобазитами отражает возрастание тесноты связей между ОТ O_1 и O_2 соответственно, а через это — изменение интенсивности и (или) направленности тех или иных процессов. На этом, в частности, основывается рекомендация [34] рассматривать высокие значения $|H'_2(x, y)|$ или уклонов продольных профилей рек как признак новейшего поднятия, сопровождаемого усилением их глубинной эрозии.

Деформации СЛ $L_3—L_6$ отражают направленность и интенсивность деформирующих их тектонических, гидро- или гляциоизостатических смещений, а заложения между линиями равных значений коэффициента деформированности — горизонтальные градиенты этих смещений. При наличии датировок на данных линейных элементах (в отдельных ОТ $O_3—O_6$) существует реальная возможность дать количественную оценку (в абсолютных величинах) скоростей и градиентов скоростей этих смещений (см. § 39). Если такие датировки отсутствуют, то значения деформаций разновозраст-

ных СЛ $L_3—L_6$ в абсолютных величинах (метрах) не сопоставимы друг с другом. Более древние из линий II и III типов характеризуются, как правило, большими амплитудами, чем более молодые.

Важную роль в морфодинамическом анализе играет динамическая интерпретация плановых и вертикальных соотношений между линейными элементами. Латеральные связи между СЛ I типа интерпретируются в результате кинематического истолкования симметрии и диссимметрии рисунков СКС (см. § 32, 33).

К этому следует добавить анализ взаимных *плановых соотношений между линейными элементами I типа и СЛ $L_3—L_6$* . В самом общем случае малые значения углов между структурными (I типа) и дополнительными (в СКС) линиями и СЛ II и III типов свидетельствуют в пользу генетической общности всех линейных элементов ЗП. Резкие изменения этих углов при переходе из одной территории (ГМДС) на другую могут отражать возможные перестройки всего процесса рельефообразования. Большие значения этих углов обычно имеют место в случаях различной генетической природы тех и других СЛ. По нормали друг к другу располагаются идущие вдоль склона СЛ $L_3—L_6$, связанные своим образованием или с жестким контролем над рельефом литологических особенностей экспонированных на ЗП пород, или с предшествующими расчленению этого склона террасообразующими (абразионно- или эрозионно-аккумулятивными, гравитационными) процессами, и линии I типа, фиксирующие тальвеги расчленяющих этот склон долин более молодого возраста и (или) другого генезиса и водоразделы.

Вертикальные соотношения между СЛ I типа, устанавливаемые в результате построения и анализа карты разностей поливершинно-базисной поверхности, часто отражают соотношения первичных и вторичных геологических процессов, определяющих структуру и состав ЗП. В качестве примера морфодинамической интерпретации вертикальных соотношений значений $H_1(x, y)$ и $H_2(x, y)$ можно указать, что обратные согласованные изменения высот данных поверхностей на суше показывают увеличение интенсивности глубинной речной эрозии в условиях гипсометрически выраженных тектонических поднятий и, наоборот, уменьшение ее в зонах тектонических опусканий. Большие значения разности высот между вершинными и базисными поверхностями рассматриваются [34] в качестве признака положительных тектонических движений. Подъем поверхности $H_1(x, y)$, сопровождаемый опусканием поверхности $H_2(x, y)$, отмечается также на срединно-океанических хребтах, с воздыманием которых сопряжены увеличение «дизъюнктивной расчлененности», углубление зияющих полостей разломов в пределах их приосевых зон.

Анализ соотношения ЭП с разными поперечными профилями дает возможность охарактеризовать важные морфологические и вытекающие из них динамические особенности различных ГМДС. Преобладание на морфологической карте ЭП с прямыми поперечными профилями может отражать четко выраженную террасиро-

ванность; оно свойственно ГМДС с резко отличающимися по устойчивости к денудации экспонированными на ЗП породами. ЭП с вогнутыми поперечными профилями, например, наиболее распространены на суше в ГМДС, характеризующихся сильной дифференцированностью неотектонических движений и связанными с этим высокоамплитудными перемещениями местных базисов эрозии, широким развитием регрессивной эрозии, склоновых и других денудационных процессов. Выпуклые профили площадных элементов свидетельствуют о высокой интенсивности глубинной эрозии при слабой дифференцированности неотектонических поднятий.

Ярко проявляющаяся на морфологической карте согласованность в конфигурации ЭП определяется степенью конгруэнтности ограничивающих их линейных элементов. В наиболее общем случае она отражает устойчивость ГМДС. Нарушение такой согласованности, указывающее на разрушение ГМДС, имеет существенный морфодинамический смысл, означающий не только пространственную, но и временную наложенность геологических процессов.

Разнообразна динамическая интерпретация *площадных соотношений ЭП*, относящихся к группам А, В и С, а также степень раздробленности их контуров. Если на морфологической карте преобладают ареалы ЭП P_{+5} , то в самом общем виде это означает малую переработку ранее сформированного выровненного рельефа вторичными геологическими процессами. Если на карте большие площади занимают ЭП P_{6-} , то это может отражать как замещение ранее сформированных ареальных элементов, так и развитие «насаженных» форм на выровненной поверхности. Преобладание по площади ЭП P_{1-n} , P_{n-2} , а также сквозных ареальных элементов характерно для интенсивно формирующихся под действием как первичных, так и вторичных рельефообразующих процессов ГМДС, в пределах которых отсутствуют какие-либо реликтовые элементы, связанные с их предысторией. Большое разнообразие и господство на карте ЭП группы В отражают сложную геологическую историю или чередование эпох с разной интенсивностью и преобладанием различных геологических процессов.

Большое самостоятельное значение при динамической интерпретации имеют предварающие морфологическое картографирование *преобразования топографической поверхности* (см. табл. 1). Значения первой производной от высоты или глубины на картах $|H'(x, y)|$ в целом указывают на интенсивность нисходящих литодинамических потоков. Это построение является обоснованием для некоторых перспективных прогнозов в инженерной геологии и при землеустроительных изысканиях.

Карта $|H''(x, y)|$ также может играть существенную роль и, в частности, при геологическом картировании океанического дна. Так как первый океанический слой, обычно разделяющийся на два подслоя (глубоководный — разжиженный и эпиконтинентальный — уплотненный), а также залегающие ниже магматические породы резко различаются по литологии и по-разному реагируют

на придонные течения и гравитационные процессы, то они сильно отличаются по составу и структуре облегающей их ЗП (плавности очертаний или сглаженности эхограмм). В направлении глубоководный подслон \rightarrow эпиконтинентальный подслон \rightarrow базальты усиливается угловатость батиметрических профилей, что и находит отражение в значениях второй производной на карте $|H''(x, y)|$.

Используя карты векторных линий, можно дать более углубленную динамическую интерпретацию соотношений между площадными и линейными элементами ЗП. Линии тока раскрывают многие из этих соотношений, являясь не только формальными, выполняющими лишь сугубо «служебные» функции на карте (см. § 15, 16, 20). Кроме того, они отражают определенную физическую реальность — траассы (траектории) потенциальных или осуществляющихся под действием силы тяжести (в токовом направлении) нисходящих перемещений литосферного вещества.

С помощью карт линий тока возможно косвенно оценить зависящий от геометрии ЗП расход вещества в нисходящем литодинамическом потоке, если принять прочие (литологические, гидрологические и климатические) условия на исследуемой территории за равные. Эту возможность следует по крайней мере использовать применительно к океаническому дну, для которого прямые количественные данные о перемещении осадков под действием силы тяжести получить трудно. При проведении векторных линий вниз по склону через одинаковые расстояния, отложенные на нижней границе ЭП P_{1-n} или $P_{0-n}(P_{+5})$ — линейном элементе $L_n(h_5)$, может быть установлена зависящая от кривизны собственно склоновых ЭП плотность данных линий при их пересечении расположенных ниже СЛ L_3-L_6 , принятых за створы. Вычисленная плотность на равных отрезках этих линий прямо пропорциональна струйчатому твердому, а на суше — и жидкому плоскостному стоку с вышерасположенной части ЗП.

Если на морфологической карте показываются статические пространственные связи, нуждающиеся в последующей динамической интерпретации, то на карте векторных линий выпукло проступают динамические и функциональные соотношения. Однако данные соотношения отражают лишь нисходящие литодинамические (а не геодинамические) потоки (процессы), и это является одной из причин, по которой при разработке представлений об СКС предпочтению отдано осям X и Y , а не линиям тока и горизонталям (см. § 17). Линии СКС в направлении X отражают траассы потоков по эквигравитационным уровням.

Особое внимание при динамической интерпретации пространственных соотношений между морфологическими элементами следует уделять результатам применения такой операции симметрии, как *трансляция*, учитывая, что данная операция может осуществляться практически повсеместно и что все перечисленные в § 29 уровни и варианты трансляции отражают определенные особенности развития рельефа. Периодичность (ритмичность) собственно склоновых сочетаний при нерегулярности верхних сочетаний может указы-

вать на единый ход развития рельефа, связанный, например, с эвстатическими колебаниями уровня моря при слабой тектонической дифференциации, которые проявились на фоне существенной первичной гетерогенности ЗП. Принципиальная трансляция и тем более полная морфологическая периодичность свидетельствуют о морфодинамическом и генетическом единстве территории, общности истории развития ее рельефа. Наряду с этим может иметь место одновременное существование нескольких осей трансляции, что отражает перестройки в рельефообразовании или одновременное проявление нескольких геологических процессов.

Фиксируемое при трансляции принципиальное и тем более полное антиравенство в общем случае свидетельствует о некоем генетическом единстве рельефа от его «верхов» до «низов», о том, что в пределах данной ГМДС он сформировался в результате действия одного ведущего процесса (тектонического, эолового, волнового и т. д.). Отсутствие этого вида симметрии указывает на гетерогенность и сложную историю развития ГМДС. Так, ряд +.5.4.3.4.2.4.3.4.5.+5.4.3.4.2.3. ... описывает плато со сложными литологическими контролируруемыми склонами и резко врезанными каньонами с V-образными поперечными профилями. В развитии данного рельефа могут быть намечены этапы общего выравнивания, последующего экстенсивного разрушения исходной поверхности выравнивания и заключительного резкого усиления глубинной эрозии.

§ 35. Динамическая интерпретация элементов земной поверхности

Выше динамическая интерпретация основывалась главным образом на анализе структуры ЗП, по возможности абстрагированной от ее состава. Ниже приведено динамическое истолкование отдельных линейных и площадных элементов, каждый из которых в зависимости от своей морфологии (принадлежности к той или иной морфологической категории) несет определенную *функциональную нагрузку*. Под последней вслед за Н. А. Флоренсовым «...нужно понимать работу, выполняемую каждой неровностью рельефа (ЗП — А. Л.) в поддержании или сохранении существующего геоморфологического или, шире, географического режима, а также работу или функцию, конформную тем изменениям, которые происходят в этом режиме под влиянием тектоники — климата» [36, с. 73].

Если выше линейные элементы рассматривались только в качестве линий связи, посредством которых устанавливаются пространственные, а через это и динамические соотношения между отдельными элементами ЗП, то здесь нас интересуют другие функции СЛ, вытекающие из их инвариантности и генетической предопределенности, а также из не менее важной роли, которую они выполняют в рельефе — роли границ ЭП или *делителей*.

Динамическое истолкование линейных элементов осуществлялось и ранее. Линии L_4 назывались местными базами денудации

[Чемяков Ю. Ф., 1969 г.], а линии L_2 — общими базисами денудации [Щукин И. С., 1933 г.] для вышерасположенных поверхностей. Со СЛ L_5 и L_6 связывается скачкообразное изменение не только интенсивности, но и качества субэзральных склоновых процессов [Воскресенский С. С., Тимофеев Д. А., 1970 г.].

Из инвариантности линейных элементов (см. § 10, 27) следует не их общая устойчивость по отношению к рельефообразующим процессам [Черванев И. Г., 1979 г.], а их морфодинамическая роль *каркаса*, в разной мере обладающего свойством «самосохранения». Это свойство в свою очередь определяет *устойчивость ГМДС* и саморазвитие последних в целом. Линии L_1 в субэзральном рельефе действительно наиболее устойчивы по отношению к эрозионному воздействию плоскостного и руслового стока и чаще всего фиксируют положение зон отсутствия эрозии [Хортон Р., 1948 г.], в то время как в рельефе шельфа они наиболее подвержены абразивно-аккумулятивной деятельности ветровых волн. Идущие по тальвегам долин постоянных и временных водотоков, СЛ L_2 испытывают максимальные изменения своего положения по вертикали. При всем этом те и другие линии I типа, а также СЛ L_3 — L_6 контролируют локализацию и интенсивность вторичных нисходящих литодинамических потоков, а также размеры и форму их живого сечения, с разной степенью активности участвуя в жизни каждой ГМДС и определяя ее саморазвитие — обратные связи во взаимоотношениях сформировавшегося рельефа с воздействующими на него и зависимыми от него геологическими процессами.

Морфодинамическое значение СЛ I типа определяется прежде всего тем, что они при положительной анизотропии рельефа *ограничивают ЭП с различной инсоляционной, циркуляционной и гравитационной экспозициями*. Разное положение не только верхних и нижних, но и примыкающих к ним собственно склоновых ЭП по отношению к воздействию солнечных лучей, литодинамических потоков по эквигравитационным или близким к ним уровням, связанных с транспортирующими их воздушными и водными массами, а также к нисходящим литодинамическим потокам определяет различную интенсивность и морфологический эффект соответствующих геологических процессов и характер их взаимодействия на этих площадных элементах.

Гребневые линии могут быть сформированы под воздействием самых разных геологических факторов и иметь дизъюнктивную (выполненные разрывы, надвиги) и пликативную (оси положительных дислокаций) тектоническую, а также сугубо экзогенную (гребни моренных гряд, озов, аккумулятивных валов и т. д.) и «смешанную» природу. Вне зависимости от своего генезиса они выступают в роли *активного распределителя* на ЗП участвующих в рельефообразовании энергии солнечных лучей, атмосферных осадков, нисходящего и сублатерального потоков литосферного вещества. Более того, СЛ L_1 через обусловленную ими разную экспозицию могут определить не только интенсивность воздействия

на ЗП, но и сам факт участия в рельефообразовании того или иного агента (например, деятельность горных ледников на одном склоне и отсутствие таковых на склоне противоположной экспозиции). Распределяя энергию и массы транспортирующего и транспортируемого вещества, гребневые линии как бы стремятся к еще большему морфологическому проявлению в рельефе.

Морфодинамическое значение килевых линий и их связанных сетей независимо от генезиса (о происхождении субэаральных и субаквальных долин и различных вытянутых и линейных понижений см. литературу [11, 13, 19, 34 и др.]) определяется прежде всего участием килевых линий в концентрации нисходящего вдоль них литодинамического потока и за счет этого *стремлением к наибольшему «самовыражению» в рельефе*. Активное участие СЛ L_2 в развитии ГМДС, а также реализация через эти линейные элементы обратной связи между рельефом и геологическими процессами могут быть проиллюстрированы заложением долин временных водотоков и их превращением в речные долины на только что образованных или молодых (например, вышедших из-под уровня моря) слабонаклонных поверхностях. Первичная ложбина, заложенная на месте совпадения простираения уклонов ЭП и разрыва сплошности экспонированных пород, в результате деятельности плоскостного стока и по мере своего развития начинает «привлекать на себя» или канализировать этот сток в прилегающей к ней зоне, превращая его в линейный, а затем в русловый. Являясь, с одной стороны, следствием стока, ложбина в ходе своего углубления, расширения и отступления (глубинной, боковой и регрессивной эрозии) становится уже все более самостоятельным и важным фактором, регулирующим и канализирующим жидкий и твердый сток на постоянно увеличивающейся водосборной площади. При этом происходит замещение изначальной ЗП на совокупность площадных элементов, среди которых в качестве обязательных выступают ЭП P_{n-2} .

Так же как у линейных элементов I типа, заложение СЛ L_5 и L_6 может быть предопределено глыбово-разрывной (приуроченность к сбросам, границам горстов и грабенов) и пликативной (приуроченность к флексурам) формами тектогенеза, экзогенными (на речных, морских, озерных террасах, полигенетических поверхностях выравнивания, образованиях гравитационного происхождения и т. д.) и литологическими (чередование разных по отношению к денудации пород) факторами. Устойчивость линий L_5 и L_6 за счет их «стремления к самовыражению» в рельефе значительно меньше таковой у СЛ I типа. Она определяется прежде всего интенсивностью изначальных, образовавших и продолжающих формировать уступы и разделяющие их площадки процессов (например, амплитудами вертикальных смещений крыльев сбросов или взбросов), а также дополнительными факторами. К последним, в частности, относятся гидрозостатические движения как следствия эвстатических колебаний уровня моря, резко ограниченного тектонически или экзогенно предопределенным береговым усту-

пом. Механизм такого взаимодействия гидроизостазии со сформированным рельефом рассматривался автором ранее [11].

СЛ L_5 и L_6 определяют резкую смену интенсивности нисходящего литодинамического потока при переходе его с одной поверхности (P_{n-5} , P_{+5}) на другую (P_{5-6} , P_{6-n} , P_{6-}). При этом устойчивость СЛ L_5 может определяться литоизостатическими процессами и нередко (при отсутствии агента, удаляющего материал из зоны тылового шва) за счет разрушения нижерасположенной СЛ L_6 — «появления в ней второго измерения» или «расплывания» ее в ЭП P_{6-6} (делювиальный шлейф). Постоянное, «отлаженное» удаление материала с подножия уступа за счет деятельности вдольбереговых течений и поперечного перемещения материала на шельфе, боковой эрозии рек, плоскостного смыва и яркое проявление в рельефе свидетельствуют не об устойчивости СЛ L_6 , а наоборот, о развитии рельефа в соответствии с механизмом педипленизации, который ведет к смещению в плане СЛ III типа.

СЛ L_5 , разрушаясь, также «приобретают второе измерение» и «превращаются» в ЭП P_{5-5} . Однако до подобного «превращения» линейного элемента в площадной СЛ L_5 или L_6 в зависимости от своего изначально заданного морфологического выражения в поперечном профиле (от своей группы) испытывают в общем развитие в направлении $L_5^c \rightarrow L_5^b \rightarrow L_5^a$ или $L_6^c \rightarrow L_6^b \rightarrow L_6^a$. Линии L_5 , входящие в класс принципиальной диссимметрии, замещаются в соответствии с тенденциями $L_5^{a-c} \rightarrow L_5^{a-b}$, $L_5^{b-c} \rightarrow L_5^{b-a}$, $L_5^{c-a} \rightarrow L_5^{c-b}$, а относящиеся к тому же классу линии вогнутых перегибов — в соответствии с обратными тенденциями: $L_6^{a-b} \rightarrow L_6^{a-c}$; $L_6^{b-a} \rightarrow L_6^{b-c}$; $L_6^{c-b} \rightarrow L_6^{c-a}$.

Таким образом, в отличие от динамически активных линейных элементов I типа, устойчивость СЛ L_5 и L_6 в условиях интенсивного рельефообразования носит более пассивный характер и может быть связана лишь с унаследованностью развития предопределенных их дизъюнктивных дислокаций и способствующими этой приемственности изостатическими перемещениями или с резкими литологическими различиями экспонированных на ЗП пород. При других условиях длительное сохранение данных линий объясняется относительной консервацией рельефа, запечатлевшего элементы предшествующих этапов своего развития. СЛ I типа считаются обычно консервативными элементами ЗП. Их устойчивость (устойчивость или унаследованность речных долин [19, 11 и др.] и водоразделов [34]) проявляется, как правило, в течение длительных отрезков (в зависимости от порядков — географического или геологического) времени и нарушается в результате радикальных перестроек геологических процессов (перестройки речной сети, связанные с перестройками тектонических движений). В то же время линии III типа, за исключением дизъюнктивно предопределенных, неустойчивы и часто перемещаются в плане в результате выравнивания сбоку (педипленизации).

К совершенно пассивным, наименее устойчивым и поэтому реже встречаемым в рельефе относятся линии II типа. Линейные элементы L_3 и L_4 , являющиеся верхними или нижними границами ЭП, фиксируют экстремальные значения интенсивности нисходящего и сублатерального литодинамических потоков. Наибольший рельефообразующий эффект у нисходящих потоков вещества под действием силы тяжести отмечается при их пересечении СЛ L_3 . Эти потоки, как правило, не образуют СЛ II (и III) типа, а наоборот, направлены на их разрушение. Осуществляя динамическую интерпретацию линейных элементов, следует иметь в виду, что на протяжении всего пути нисходящего литодинамического потока СЛ L_3 — L_6 могут рассматриваться в качестве створов, для которых возможно косвенное или прямое определение расходов твердого вещества, перемещающегося с вышерасположенных ЭП.

Линии L_3 и L_4 формируются часто потоками по эквигравитационным или близким к ним уровням. Наиболее широко распространены они на шельфе, где и были впервые выделены [11]. В практическом отношении при поисках россыпей и строительных материалов важно определить связи между минералогическим и гранулометрическим составом донных осадков, с одной стороны, и положение СЛ L_3 и L_4 — с другой. Правомочность поиска и использования связей между этими элементами и характеристиками донных осадков основывается на том, что образование тех и других обусловлено продолжительностью воздействия на них волновых процессов [11, 13] и подтверждается вертикальной зональностью в распределении осадков различного состава, при которой ареалы гранулометрически однородных отложений и тяжелорудных минералов ориентированы в соответствии с основным направлением изобат. СЛ L_4 и ЭП P_{6-5} маркируют на шельфе зоны с минимальными значениями $|H'(x, y)|$, в пределах которых осадки претерпели наибольшую переработку (за счет неоднократного размыва, переноса и отложения) и в наибольшей степени лишились тонкозернистого материала и легких минералов, перенесенных в более глубоководную часть прибрежной зоны.

Используя представления [36] об обязательной связи нисходящих литодинамических потоков с морфологией рельефа, рассмотрим *динамический смысл классификации площадных элементов* (см. § 10). В соответствии с этими представлениями привершинные верхние поверхности (вершинные сегменты по А. Янгу [Joung A., 1964 г.]) вне зависимости от их абсолютной высоты (глубины) могут считаться начальными или инициальными по отношению к каждой данной ГМДС. На них литодинамический поток включается в движение под действием силы тяжести. Их нижняя граница — СЛ любого вида, кроме линий L_1 — расположена на более высоком уровне потенциала силы тяжести, чем расположенная внутри данного контура вершина. Деятельный или потенциальный поток на поверхностях P_{0-n} радиально направлен от вершин S_0^+ к замыкающей привершинную поверхность СЛ и пересекает ее.

Интенсивность и форма потока, а также расход вещества по периметру поверхности определяются ее морфологией и уклонами. Минимальными уклонами, а следовательно и наименьшей интенсивностью потока, характеризуются плосковершинные поверхности P_{+5} . Кроме этого, они отличаются от всех поверхностей P_{0-n} отсутствием обязательной для последних центробежной направленности литодинамического потока. Ареальные элементы P_{+5} чаще всего соответствуют на суше устойчивым во времени фрагментам поверхностей выравнивания и повсеместно (на суше и в океане) — литоморфным образованиям, положение и морфология которых обусловлены субгоризонтально залегающим бронирующим горизонтом.

На вдольгребневых поверхностях (вершинных склонах по Р. Сейвиджеру [Savigear R., 1960 г.]), которые также могут рассматриваться в качестве начальных или инициальных по отношению к нижерасположенным ЭП, литодинамический поток перемещается по линиям тока — равнодействующим от уклонов самой гребневой линии и нормали к ней (или от уклонов по линиям Y и X СКС). Для собственно склоновых поверхностей характерна обычно взаимная перпендикулярность в направлениях тока и ограничивающих их СЛ. В литодинамическом потоке по вдолькилевым поверхностям преобладает продольное (при $K_{ан} < 0$) или поперечное (при $K_{ан} > 0$) направление (составляющие). Суммарный расход вещества и общая направленность потока определяются равнодействующей от уклонов килевой линии и поперечного профиля ЭП P_{n-2} или от $|H'(x)|$ и $|H'(y)|$.

Нижние привершинные поверхности являются конечными, или терминальными [36] ЭП, для которых характерно центростремительное перемещение вещества от замыкающих их СЛ к вершинам C_0^- (и их аналогам). Они соответствуют в плане осадкоприемникам или седиментационным бассейнам разного порядка, в которых происходит временное или окончательное отложение перемещающегося под действием силы тяжести вещества. На относящихся к нижним плосковершинных поверхностях P_6- происходит предельное осадконакопление, сопровождаемое выравниванием — равномерным распределением перенесенного вещества.

Разделение полной группы ЭП по морфологии их поперечных профилей на три типа (см. рис. 6, 7) близко к систематике элементов (единиц, сегментов) склона, выполненной Р. Сейвиджером [Savigear R., 1956 г., 1960 г.] и А. Янгом [Joung A., 1964 г.] и предусматривающей тесную связь между их морфологией и литодинамикой склоновых процессов. ЭП с вогнутыми поперечными профилями характеризуются относительно крутой верхней частью, выполаживающейся книзу. Поверхности с выпуклыми поперечными профилями отличаются относительно пологой верхней частью и увеличением крутизны книзу. Среди них верхним ЭП P_{0-3} и P_{1-3} наиболее присуще совместное действие в субаэральных условиях вязкопластичного течения грунта в верхней части и склонового смыва — в нижней. Поперечные профили этих ЭП являются по

А. Болигу [1956 г.] профилями динамического равновесия, а по А. С. Девдариани [1967 г.] — регулярными профилями склона.

Таким образом, систематика ЭП по морфологии поперечного профиля имеет важное динамическое значение. В. Пенк [20] считал, что вогнутые склоны характеризуют нисходящее, а выпуклые — восходящее развитие рельефа. Эти представления, во-первых, не соответствуют многочисленным наблюдениям за формами склонов [Тимофеев Д. А., 1978 г., и др.], а во-вторых, не могут быть использованы при динамической интерпретации состава и структуры ЗП. Судя по приводимым В. Пенком [20] примерам, районы развития вогнутых и выпуклых склонов отличаются только степенью выраженности тех и других или частой сопряженности поверхностей первого и второго типов (см. рис. 7) на одних и тех же поперечных профилях или характеризуются контрастно проявляющимися в рельефе линиями вогнутых и выпуклых перегибов.

С морфологией поперечного профиля поверхности на суше связывается форма нисходящих литодинамических потоков. По А. Болигу [1956 г.], вогнутые склоны вырабатываются главным образом концентрированным и рассеянным поверхностным стоком, а выпуклые — течением грунта (крипом), а также рассеянным поверхностным стоком. Вряд ли можно, абстрагировавшись от уклонов, литологических и других условий, так жестко связывать морфологию поперечного профиля с формой проявления литодинамических потоков. С определенной долей вероятности следует говорить лишь об изменении их интенсивности при пересечении ЭП разного вида. В верхней части любой вогнутой поверхности на суше перемещение вещества осуществляется более локализованными водными потоками, эрозонная и транспортирующая способность которых ослабевает в ее нижней части. Обратную картину следует ожидать на выпуклой поверхности. В зависимости от уклонов соотношение в общем (склоновом) стоке рассеянного, струйчатого, плоскостного и концентрированного стоков меняется от верхней к нижней границе ЭП с криволинейным поперечным профилем.

Поперечные профили площадных элементов существенно влияют на механизм их денудации, определяя направленность денудационных процессов на выравнивание сверху (пенепленизацию) или сбоку (педипленизацию). Господствующее ранее рассмотрение этих двух моделей денудации в качестве альтернативных точек зрения на развитие рельефа суши в последнее время сменяется представлениями о том, что на разных участках одного и того же склона одновременно могут происходить и выполаживание, и параллельное отступление [Воскресенский С. С., Тимофеев Д. А., 1970 г., и др.].

Динамический смысл относительной оценки крутизны ЭП заключается в следующем. Сравнение уклонов каждой данной поверхности P_{n-m} с вышерасположенным площадным элементом позволяет судить о начальных (для этой ЭП) характеристиках проходящего через верхний створ (СЛ L_n при $n \neq 1, 2$) литодинамического потока. Относительная крутизна нижерасположенной по-

верхности в значительной мере определяет характеристики литодинамического потока на выходе с изучаемой ЭП, при пересечении им нижнего створа (СЛ L_m при $m \neq 1, 2$), в частности, расход вещества, снижение которого может привести к аккумуляции и значительной перестройке поперечного профиля.

§ 36. Универсальность морфологической системы и возможности ее использования в геоморфодинамике и смежных науках

Следует обратить внимание на то, что в § 35 разная степень канализованности, направленность, эрозионная и транспортирующая способности литодинамических потоков рассматриваются в зависимости от относительного положения и морфологии ЭП, но вне зависимости от размеров (масштабов) последних. О контроле над перечисленными кинематическими параметрами потоков со стороны линейных и площадных элементов можно говорить как на уровне отдельных небольших склонов долин временных водотоков или искусственно созданных склонов в лабораторном лотке, так и на глобальном уровне, в масштабе, например, континентального склона. При этом если внимание обратить не на очевидные их различия, а наоборот, на строгое (и редко осуществляемое в геоморфологии) выявление и фиксацию сходства или общих черт в составе и структуре, а также в развитии разномасштабных объектов, то можно перейти к решению задач геоморфодинамики методами моделирования и аналогий.

Возможности широкого использования данных методов обеспечиваются универсальностью МС. Эта познавательная конструкция характеризуется тремя видами универсальности: масштабной, предметной и межотраслевой.

Масштабная универсальность МС заключается в том, что с помощью ее языка может быть описан, зафиксирован на карте или профиле рельеф ЗП вне какой-либо зависимости от абсолютных и относительных высот (глубин), а также от размеров составляющих ее элементов и их совокупностей. В качестве исходных материалов речь может идти об искусственно созданной поверхности в лабораторном лотке, отраженной, например, на изолинейной карте $H(x, y)$ в масштабе 1 : 10, и о поверхности Земли в целом, запечатленной на гипсо- и батиметрической карте масштаба 1 : 10 000 000. На универсальном языке МС, основанном на инвариантности составляющих ее элементов, базируется универсальная легенда разномасштабных морфологических карт (см. § 21).

В экспериментальной геоморфологии условия опытов стремятся рассчитать на основе теории физического подобия [Маккавеев Н. И., 1961 г.]. Однако отсутствие универсального языка, легенды и единой методики разномасштабного морфологического картографирования делает практически невозможным точное сопоставление результатов проведения лабораторных и полевых экспериментов с рельефом конкретного района или районов. Масштаб-

ная универсальность МС наряду с использованием принципов и методики симметрии подобия и гомологии позволяет сравнить полученную в результате опытов (и теоретических построений) модель с «натурой» не путем признания наличия или отсутствия приблизительного внешнего сходства, фиксации общих или отличающихся физиономических черт того и другого, а строгой и дифференцированной оценкой сходства и различия отдельных элементов, а также их совокупностей и взаимных пространственных соотношений (ГМС). На такой оценке (в том числе и количественной; см. § 37) должны базироваться и вытекающие из нее кинематические построения для двух сравниваемых ГМКС, а также выводы о факторах и агентах, ответственных за формирование и развитие соответствующих им ГМДС.

Под *предметной универсальностью МС* понимается ее использование при описании и картографировании, сравнении, идентификации и систематике рельефа разных территорий (разных ГМС), генезис и (или) история развития которого заведомо отличаются друг от друга. Данный вид универсальности дает возможность установить сходство между кинематическими характеристиками разных по своему происхождению, возрасту и условиям протекания рельефообразующих процессов и на основе этого осуществлять динамические, ретроспективные и перспективные прогнозы в тех районах, где непосредственное исследование процессов наименее доступно или приводит к неоднозначным результатам.

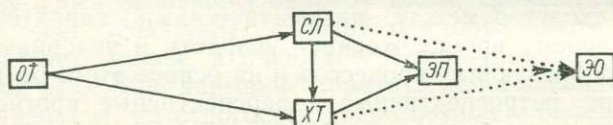
Наиболее широкое применение этот вид универсальности МС найдет, вероятно, при изучении геологических процессов на океаническом дне. Уже сейчас становится ясным перспективность его использования при сравнении морфологического эффекта подводного и субаэрального вулканизма, суспензионных (в подводных каньонах на континентальных склонах) и грязекаменных (селевых в горах) потоков, действия ветровых волн, приливно-отливных и других придонных течений с эоловыми процессами. Несомненную пользу для решения затянувшихся споров между гляциалистами и мариннистами может принести строгое, а не визуальное сопоставление рельефа освободившихся от ледниковых покровов территорий Антарктиды, Гренландии и арктических островов с рельефом, например, северо-запада Русской равнины. При этом вполне реальным представляется строгий учет разного по эффекту морфологического проявления последующих эрозионно-аккумулятивных и абразионно-аккумулятивных процессов.

Межотраслевая универсальность МС заключается в том, что предусматриваемые ею элементаризация ЗП, организация и систематика ее элементов, а также картографирование и структурный анализ рельефа может в совокупности представлять единый метод изучения любых поверхностей (структурных, поверхностей фундамента, Мохо и др.) и геофизических полей (ΔT , Δg , барического, температурного и др.), выходящий за рамки геоморфологии. Единство этой методики предоставляет широкие возможности для взаимного сопоставления различных поверхностей и полей, что

в свою очередь обеспечивает решение ряда морфодинамических, геодинамических и литодинамических задач.

Например, для раздельного изучения первичных и вторичных геологических процессов (см. § 31) полезно сравнить симметрию современного рельефа и симметрию рельефа одной из верхних структурных поверхностей. Комплексный анализ состава и строения структурных поверхностей и полей ΔT и Δg , осуществленный по единой методике, таит в себе большие возможности выявления унаследованности геодинамических процессов и напряжений в земной коре, их изменений в пространстве и времени. При отсутствии плановых соотношений между отдельными элементами и их совокупностями могут совпадать главные структурные особенности, выраженные в СКС анализируемых поверхностей и полей и отражающие, например, унаследованность простираций (общую унаследованность по А. В. Пейве [1956 г.]).

Осуществленная при конструировании МС элементаризация ЗП проводилась по нижеприведенной схеме.



Рассмотренный принцип элементаризации может быть распространен (пунктирные линии на схеме) на вычленение в земной коре элементарных объемов (ЭО). Для перехода от нуль-, одно- и двумерных элементов к выделению трехмерных элементов необходима вертикальная (в отличие от плановой корреляции OT) корреляция $СЛ$, выделенных на серии поверхностей напластования. В результате такой корреляции фиксируются субвертикальные поверхности, ограничивающие ЭО сбоку и являющиеся геометрическим местом коррелируемых $СЛ$. Боковые поверхности могут характеризоваться сложной геометрией, различными и меняющимися с глубиной углами падения. К боковым относятся также поверхности, являющиеся геометрическим местом векторных и поперечных линий — боковых ограничений ЭП на каждой поверхности напластования.

В наиболее простых случаях индексация ЭО будет проводиться в полном соответствии с индексацией ЭП. Например, индекс V_{n-m} означает ЭО, ограниченный сверху и снизу ЭП P_{n-m} , а сбоку — поверхностями, проведенными по структурным (L_n и L_m), векторным и (или) поперечным линиям. В некотором отношении предлагаемый переход от элементаризации поверхностей к элементаризации объемов близок к переходу от изучаемых обычно в профильных сечениях частных складок (изгибов любых геологических поверхностей) к общим складкам (совокупности деформированных поверхностей в пределах некоторого объема) [Гзовский М. В., 1971 г.] в результате прослеживания вниз (вверх) по разрезу линейных элементов и выделения граничных и шарнирных поверхностей об-

щей складки, которое осуществляется, в частности, В. Д. Воскресенским [22] и др.

Следует отметить, что рассматриваемые при конструировании и приложении МС вопросы близки по своему содержанию к топологическим задачам и прежде всего к разделу топологии — теории графов. Широко используемые в последней такие понятия, как «вершина», «ребро» и др., могут быть без труда сопоставлены с соответствующими элементами МС.

С учетом *изоморфизма пространства и времени* предложенную элементаризацию можно использовать и при строгом анализе истории развития геологических процессов, изображенной в виде кривых (колебания уровня моря, сейсмичности, вулканизма, мощностей и площадей распространения осадков, каровые графики и т. д.). Любую из этих и других подобных кривых можно расчленить и представить аналогично морфологическому профилю в виде совокупности (ряда) элементов — строго определенных *эпизодов (этапов)* того или иного процесса и их сочетаний. К таким эпизодам (T_{n-m}), ограниченным друг от друга *ОТ (моментами)* — экстремальными значениями анализируемого показателя процесса как функции времени (*ОТ* O_1 и O_2), первой (*ОТ* O_3 и O_4) и второй (*ОТ* O_5 и O_6) производных от этой функции, относятся, например, замедляющаяся (T_{1-4}) или ускоряющаяся (T_{1-3}) регрессии, замедляющийся подъем (T_{3-1}), стабилизация (T_{6-5}) или резкое снижение (T_{5-6}) уровня моря.

Соотношения этих эпизодов (сочетания) рассматриваются в качестве структуры (временной, а не пространственной) соответствующего геологического процесса, которая может быть изучена с помощью аппарата трансляционной симметрии и в результате количественной характеристики скоростей (амплитуд) процесса и их градиентов (ускорений, замедлений). Результаты такого изучения позволяют, во-первых, однозначно определить, выделить, классифицировать и количественно оценить отдельные эпизоды и их совокупности, что в свою очередь повысит обоснованность перспективных и ретроспективных прогнозов, во-вторых, строго коррелировать ход нескольких одновременных процессов, которые могут быть несинхронными и вместе с тем связанными друг с другом более сложными зависимостями, и, в-третьих, что особенно важно для геоморфодинамики, соотнести ход процессов с их морфологическим эффектом.

Касааясь последнего, следует ориентироваться на определение соотношений между разными этапами изучаемого процесса и их рельефообразующими эффектами, которые часто существенно различаются. В самых простых вариантах определенным эпизодам будут соответствовать определенные ЭП. Например, к таковым относятся абразионно-аккумулятивная деятельность моря, отраженная в комплексе морских террас, или эрозионно-аккумулятивная деятельность постоянных водотоков, нашедшая свое отражение в террасовом комплексе речной долины. Сюда же относится ряд на морфологическом профиле, запечатлевшем в себе через литологи-

чески обусловленные элементы ход геологических процессов времени формирования пород, экспонированных на современную ЗП.

§ 37. О применении метода аналогий при динамической интерпретации рельефа

Широкое использование аналогий до создания системной концепции фактически не являлось научным методом [Беляев Е. А., 1975 г.]. В то время как сравнительный подход служит самым древним инструментом в геоморфологии, как и в других науках, успешное применение метода аналогий требует создания универсального и формализованного языка, с помощью которого можно было бы «организовать» все многообразие в составе и строении ЗП и по единообразным фактологическим записям сопоставлять надводный и подводный, горный и равнинный, аридный, гумидный и любой другой рельеф на разных (планетарном, региональном и топологическом по В. Г. Сочаве [1974 г.]) масштабных уровнях. Только по отношению к формализованным элементам и межэлементным связям и их территориальным комплексам (ГМС) можно использовать такие важнейшие понятия общенаучного метода аналогий, как «тождество», «различие», «изоморфизм», «гоморфизм» и др. Данные понятия можно распространить и на кинематические характеристики геологических процессов. В результате появляется возможность сравнивать, казалось бы, несравнимые элементы ЗП и ГМС, а также разные по агентам, факторам и масштабам формирующие их геологические процессы на уже изученных территориях и в исследуемых областях, что придает геоморфологии новый познавательный потенциал и большую уверенность в динамической диагностике.

Использование с давних времен в геоморфологических исследованиях аналогий во многом зависит от опыта исследователя, носит сугубо интуитивный характер и заключается в установлении физиономического сходства или различия, в качественном сравнении внешнего облика рельефа без четкого представления о том, что конкретно сравнивается в этих обликах и служит в них существенными, систематическими, признаками сходства и различия, а что является «случайным» или несущественным. В геоморфологии отсутствуют «руководящие» эталонные образцы участков ЗП, динамика развития и генезис рельефа которых установлены однозначно. Подобно руководящим формам в палеонтологии, они могли бы служить эталонами — *образцами для диагностики геологических процессов и генезиса рельефа изучаемого района*. Создать банк таких эталонов, предусматривающий все многообразие в субаэральном и субаквальном рельефообразовании, стало вполне разрешимой задачей в связи с формализацией элементов ЗП и появлением единого универсального языка, разработкой методики районирования и структурного анализа рельефа. Использование этих эталонов, в том числе частных теоретически и экспериментально полученных моделей, для диагноза динамики процессов и

генезиса рельефа предусматривает выделение систематических морфодинамических признаков в структуре и составе ЗП и применение принципов и методов классической и расширенной симметрии. К последним относятся представления о трансляции, симметрии подобия и гомологии, динамический принцип симметрии П. Кюри [39, 42] и основанный на нем закон сохранения симметрии Н. Ф. Овчинникова [1966 г.]. Базируясь на этом обширном методическом аппарате, можно установить относительное равенство, подобие и гомологию не только сравниваемых записей состава и структуры ЗП (морфологических карт), но и ответственных за формирование рельефа геологических процессов.

Метод аналогий, используемый при решении задач динамической интерпретации рельефа, позволяет: а) установить степень и особенности сходства и различия между эталонной и дешифрируемой записями состава и структуры поверхности и б) сформулировать на основании этого диагноза вывод о динамике развития и генезисе изучаемого рельефа.

Эталонная запись должна включать в себя прежде всего морфологическую карту и необходимый набор дополнительных построений, более полно отражающих структуру ЗП. Морфологическая карта, как и всякая другая [1], является образно-знаковой пространственно-подобной моделью рассматриваемого в качестве образца участка ЗП (ГМС), состав и структура которого однозначно связаны с определенным геологическим процессом или группой взаимодействующих процессов, протекающих в тех или иных условиях. На дешифрируемой записи отражены состав и структура ЗП исследуемого района или его части (отдельно взятой ГМС).

Необходимое условие успешного решения с помощью метода аналогий первой из названных задач заключается в универсальности легенды, в которой выполнены эталонная и дешифрируемая карты. Так же как кристаллы могут быть описаны, сравнены друг с другом и систематизированы в результате оперирования их однозначно выделяемыми элементами (вершинами, ребрами и гранями) и соотношениями последних, участки ЗП (ГМС) строго сопоставляются друг с другом и классифицируются лишь в результате точной фиксации на карте или записи точечных, линейных и площадных элементов и их пространственных связей.

Создание эталонов должно осуществляться на комплексной основе эмпирических данных региональных исследований и статической обработки их результатов, теоретического и экспериментального (натурного и полевого) моделирования. Региональные исследования эталонов включают в себя не только морфологическое картографирование и структурный анализ рельефа наиболее типичных для проявления тех или иных процессов участков ЗП, но и установление на данных участках непосредственной связи между этими процессами и отдельными элементами, совокупностями элементов и их пространственных соотношений (ГМС). При этом важно установить морфодинамические признаки изучаемого про-

цесса в составе и структуре ЗП, которые и должны рассматриваться в качестве его систематических признаков на эталонной карте.

К систематическим морфодинамическим признакам прежде всего относятся уровень симметрии и характер диссимметрии в структуре ЗП эталона. Представление о симметрии рельефа имеет особое значение в методе аналогий, так как сравниваться могут лишь те объекты, которые обладают, по В. А. Бокову [23], потенциальной симметрией. В соответствии с изложенными в § 22, 32 положениями это надо понимать так, что сравнимыми между собой могут быть эталонные и дешифрируемые ГМС, которые характеризуются одним и тем же уровнем симметрии. Более частные структурные признаки могут устанавливаться путем статистической обработки представительного числа эталонов, в результате которой получают обобщенные идеализации реально существующих типичных ГМС. На статистически обобщенных эталонных записях определяются средние значения различных характеристик структуры (анизотропии, периода трансляции, тесноты связи между ОТ и СЛ, сложности строения и др.).

Систематическим морфодинамическим признаком является также обязательное наличие в составе эталонной ГМС того или иного набора (номенклатуры) элементов. Например, таким обязательным номенклатурным признаком вулканического процесса следует считать наличие ХТ C_0^+ (\bar{C}_{1-2}) и СЛ L_6 , вулканического процесса с последующим абразионным выравниванием — наличие СЛ L_5 и L_6 , а также ЭП P_{+5} . Номенклатурные признаки наиболее удобно записывать в виде сочетаний, которые могут быть использованы при машинном поиске эталонов в большом массиве (банке).

Морфодинамические признаки любого процесса не могут быть отражены на каком-либо одном эталоне. Рельефообразующий эффект одного процесса существенно различается в зависимости от: а) условий, в которых он протекает; б) других взаимодействующих с ним одновозрастных процессов; в) исходной гетерогенности, обусловленной более древними процессами (сюда относится, в частности, первичная диссимметризация); г) затушевывающего этот эффект влияния последующих, более молодых, процессов; д) интенсивности и направленности процесса в разные этапы его развития. Поэтому банк эталонных карт и записей должен предусмотреть все мыслимое многообразие морфологического проявления каждого из процессов.

В данном банке, построенном по принципу полной группы, должны храниться не только эталоны (морфогенотипы или конкретные образцы ГМС, генезис и развитие которых достоверно установлены и изучены с исчерпывающей полнотой в результате региональных исследований), но и составленные на том же языке записи и карты (схемы), полученные в результате экспериментального и теоретического моделирования. Экспериментальное моделирование позволит, во-первых, восполнить те пробелы, которые

несомненно появятся при поисках эталонов в реальном рельефе, и, во-вторых, с наименьшими затратами средств и времени определить особенности морфологического проявления одного и того же процесса, протекающего в разных условиях. Находящиеся в банке теоретические модели направлены на обобщение эмпирических данных, создание сводных образов, отражающих рельефообразующий эффект не одного процесса, а группы однотипных или нескольких взаимодействующих процессов, а также на сравнение, идентификацию и систематику ГМДС. На основе всего этого можно перейти к конструированию МКС и МДС. Эталонные, экспериментальные и теоретические модели позволят установить и оценить сходство (подобие, гомологию на разных уровнях) или различия между ГМС, происхождение которых известно, и ГМС, генезис и динамику развития которых надо установить.

Применение метода аналогий на его современном уровне имеет особое значение в познании геологических процессов на океаническом дне, так как он является важнейшим и во многих случаях единственным инструментом перехода от известного в морфодинамике суши, шельфа, редких полигонов в океане к неизвестному и подлежащему изучению в рельефе и рельефообразующих процессах на океаническом дне. При исследованиях океанов с помощью эталонного, экспериментального и теоретического моделирования могут решаться вопросы о возможных систематических признаках слабо изученных придонных геологических процессов при условии, если они в важнейшем кинематическом отношении сходны с теми процессами, морфологический эффект и механизм воздействия которых на рельеф исследованы достаточно полно. Например, теоретическая модель может быть составлена для отражения морфодинамических признаков придонного течения, пересекающего подводный хребет по узкой расщелине на участке его выхода на прилегающую к этому хребту абиссальную равнину. Изображенные на этой модели признаки можно установить в результате изучения субаэрального аналога — морфологического эффекта эолового процесса в пределах ГМС, структура и состав которой несет на себе следы резкого ослабления транспортирующей способности выходящего из теснины воздушного потока.

Таким образом, с помощью теоретического, экспериментального и эталонного моделирования можно решать целый ряд вопросов геоморфодинамики, основываясь на фундаментальных представлениях метода аналогий об изоморфизме и гомоморфизме. «Изоморфный», грубо говоря, означает «подобный по форме». Это весьма широкое понятие, имеющее первостепенную важность для всякого, кто хочет точно исследовать вопросы, в которых играет роль «форма» [43, с. 137].

Эталонная (теоретическая и экспериментальная) модель и дешифрируемая запись исследуемой ГМС считаются *изоморфными*, если имеет место однозначное соответствие между изображенными на той и другой элементами и для каждой пространственной связи между ними на одной из них существует такое же отношение на

другой. Изоморфные отношения между этими двумя записями или картами, как и между любыми системами [38], симметричны, рефлексивны и транзитивны.

Если можно установить однозначное соответствие элементов и соотношений между ними на эталоне с элементами и их связями на дешифрируемой карте, но не наоборот, то обе записи находятся в *гомоморфных отношениях*. Последние предусматривают наличие на дешифрируемой карте элементов и их связей, не имеющих отношения к геологическому процессу (процессам), морфологический эффект которого (которых) отражается в систематических (структурных и номенклатурных) признаках на эталоне.

Таким образом, при использовании метода аналогий и аппарата симметрии для сравнения состава и структуры ЗП на разных моделях и для выводов о динамике развития и генезисе рельефа может быть установлена разная степень (уровни) их сходства, уменьшающаяся в соответствии с направлением стрелок на нижеприведенной схеме.



В этой схеме под *аналогией* понимается: в *широком смысле* — структурное и номенклатурное сходство двух записей, которое может иметь разную степень, в *узком смысле* — сходство не по всем, а по одному или ряду признаков, которые могут быть как систематическими, так и «случайными». Изоморфизм и все его разновидности означают сходство, которое можно установить в двух направлениях: эталон \rightleftharpoons дешифрируемая карта.

К уже рассмотренным уровням изоморфизма следует добавить *соответствие*, которое в классическом физико-химическом анализе зафиксировано в сформулированном В. Я. Аносовым и С. А. Погодиным принципе корреляции [Елисеев Э. Н., 1983 г.]. Этот принцип предусматривает возможность установления соответствия между разнородными элементами в пределах двух сравниваемых участков ЗП (ГМС). Например, ХТ C_0^+ (или СЛ L_3) на одном участке могут находиться в соответствии со СЛ L_1 (или L_5) на другом. При этом два территориальных комплекса элементов называются *соответственными*, если между элементами этих комплексов можно установить взаимное и однозначное соответствие.

Гомоморфизм отражает сходство двух карт или записей, которое можно установить лишь в одном направлении: эталон \rightarrow дешифрируемая карта.

Важным для использования метода аналогий является постулат системного подхода о *всеобщем гомоморфизме* — признание объ-

ективного структурно-динамического единства реальности [7]. Если широко признаются и уже давно используются изоморфизмы и (или) гомоморфизмы систем, отражающих объекты и явления живой и неживой природы, а также сознательной деятельности человека, то вполне правомерным и вне всякого сомнения эффективным явится созданный в геоморфодинамике аппарат, направленный на установление и оценку степени сходства в строении и составе ГМС и создавших (моделирующих) их геологических процессов. При этом речь идет о ГМС, расположенных в самых разных условиях, различия которых до сих пор полностью исключали использование каких-либо аналогий.

Если изоморфными могут быть системы, «через которые» протекает вода (речные долины) и проходит электроток [38], то с неменьшим основанием может быть установлен изоморфизм и (или) гомоморфизм между ГМДС, отражающими, например, деятельность и рельефообразующий эффект мутьевых и селевых потоков, озерной и океанической седиментации, широких по фронту донных течений и перемещений воздушных масс, канализированных речных потоков и потоков, формирующих абиссальные долины, и т. д. Определение изоморфных и гомоморфных отношений между этими и многими другими ГМДС основано на выявлении всего того общего, что их объединяет. Эта общность проявляется в кинематических характеристиках литодинамических потоков и в особенностях строения и состава ЗП.

Таким образом, при динамической интерпретации рельефа целесообразно применять методы аналогий и моделирования на основе системного подхода, сущность которого в данном случае сводится к замене *изучаемых ГМС, динамика развития и генезис которых подлежат определению, на изоморфные (гомоморфные) по отношению к ним ГМС, которые наиболее полно изучены с морфодинамических позиций.* Изоморфизм (гомоморфизм) между этими двумя системами может устанавливаться в результате не только качественной, но и количественной оценки сходства их строения и состава.

Для *количественной оценки сходства* (взаимного соответствия) состава и структуры двух сравниваемых ГМС целесообразно использовать энтропию (см. § 29). Степень сходства может быть установлена не только между двумя картами (показателями) на один участок [1], но и, что для нас особенно важно, между двумя участками одной поверхности. Если первая из этих задач решалась в геологии (с помощью коэффициента линейной корреляции при характеристике соответствия структурных планов [Бухарцев В. П., 1962 г.]) и в картографии [1] и ранее, то решение второй задачи открывает возможность количественной оценки сходства эталонной и дешифрируемой карт только при условии их сопоставления с применением универсальной легенды.

Предложенный А. М. Берлянтом [1] путь использования энтропии для решения первой задачи можно практически полностью повторить для оценки сходства двух разномасштабных и составлен-

ных на разные территории морфологических карт. В результате совмещения двух записей друг с другом (относительно направлений СКС и по размерам) на схеме совмещения отражается m контуров $a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m$ эталонной карты \mathcal{A} с долями этих контуров в общей площади карты $p_{a_1}, p_{a_2}, \dots, p_{a_i}, \dots, p_{a_m}$ и n контуров $b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n$ дешифрируемой карты \mathcal{D} с долями $p_{b_1}, p_{b_2}, \dots, p_{b_i}, \dots, p_{b_n}$. При отсутствии какого-либо сходства между этими картами суммарная энтропия схемы их совмещения равна сумме энтропий каждой из двух карт: $E(\mathcal{A} + \mathcal{D}) = E(\mathcal{A}) + E(\mathcal{D})$. При наличии некоего сходства контуры ЭП на эталонной карте a_i совпадают с контурами ЭП b_i на дешифрируемой карте. Если долю совпадения контуров ЭП обозначить через $p_{a_i b_i}$, энтропия совокупности совпадающих контуров

$$E(\mathcal{A}\mathcal{D}) = - \sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^n p_{a_i b_i} \log_2 p_{a_i b_i}.$$

Из положений теории информации следует, что энтропия схемы совмещения больше или равна энтропии совокупности совпадающих на ней контуров: $E(\mathcal{A} + \mathcal{D}) \geq E(\mathcal{A}\mathcal{D})$, а разность между величинами $E(\mathcal{A} + \mathcal{D})$ и $E(\mathcal{A}\mathcal{D})$ тем больше, чем больше взаимное совпадение контуров: $E(\mathcal{A} + \mathcal{D}) - E(\mathcal{A}\mathcal{D}) = T(\mathcal{A}\mathcal{D})$. Основываясь на этом, А. М. Берлянт [1] предлагает оценивать степень совпадения контуров коэффициентом взаимного соответствия K . В нашем случае этот коэффициент отражает взаимное соответствие контуров ЭП двух сравниваемых карт на схеме их совмещения: $K(\mathcal{A}\mathcal{D}) = T(\mathcal{A}\mathcal{D}) / [E(\mathcal{A}\mathcal{D})]$. Значения $K(\mathcal{A}\mathcal{D})$ изменяются от 0 до +1 и не зависят от числа контуров на сравниваемых картах. Последовательность операций при вычислении $K(\mathcal{A}\mathcal{D})$ рассмотрена А. М. Берлянтом [1].

ВЫВОДЫ

1. Морфодинамическое направление геоморфологии находится в русле современной парадигмы всех естественных наук, что предусматривает реализацию в нем таких общенаучных концепций, идей и методов, как системный подход, учение о симметрии, методы аналогий и моделирования. Их использование обеспечивает переход от изучения морфологии рельефа к определению кинематических, генетических и возрастных характеристик рельефообразующих процессов. На базе современной общенаучной парадигмы, в соответствии с которой формируется сейчас новая парадигма геоморфологии (см. § 2), в данной работе предлагается, на наш взгляд, рациональная схема морфодинамического анализа.

2. Эта схема предусматривает прежде всего установление кинематических характеристик рельефообразующих процессов и разработку соответствующей их систематики по направленности, при-

чинно-следственным соотношениям (первичные и вторичные процессы), форме живого сечения (канализованные и фронтальные потоки), способу перемещения (замещение и смещение) и участию в формировании и преобразовании структуры ЗП (симметри- и диссимметреобразующие потоки). Перечисленные кинематические и морфокинематические принципы классификации геологических процессов, в отличие от генетических, могут быть строго выдержаны и поэтому используются при конструировании МКС и изучении конкретные ГМКС. Все они находят свое место в той части схемы морфодинамического анализа, которая отвечает за кинематическое истолкование уровней симметрии и видов диссимметрии рельефа. Перспективным для кинематической интерпретации структуры ЗП является развитие представлений [36] о рельефообразующих процессах как литодинамических потоках, которые являются, с одной стороны, «строителями» ГМКС, а с другой — их продуктом [Ретеюм А. Ю., 1973 г.].

3. В § 34 и 35 речь идет о динамическом истолковании как структуры, так и состава ЗП. Такая постановка вопроса отличается, например, от динамического подхода в ландшафтоведении [28], который направлен на исследование только структуры геосистем и превращается, по сути дела, в структурно-динамический подход, часто противопоставляемый функциональному. Применительно к ГМКС, состоящим из различных, но взаимно дополняющих, функционирующих в совокупности как единое целое и определенным образом связанных друг с другом элементов ЗП и литодинамических потоков, такое противопоставление представляется необоснованным. Возможность изучать структуру ЗП (главного источника информации о геологических процессах), абстрагировавшись от состава ЗП, не означает правомерности игнорирования последнего при динамическом истолковании морфологии рельефа в целом.

4. Основанное на масштабной, предметной и межотраслевой универсальности МС использование методов аналогий и моделирования обеспечивает: а) решение как прямой, так и обратной задач геоморфодинамики; б) определение факторов и агентов, ответственных за те или иные геологические процессы; в) выявление условий и последовательности их воздействия на рельеф и механизма их взаимодействия и через все это конструирование МДС и исследование конкретных ГМДС.

Заключение. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ И МЕТОДИКИ МОРФОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ РЕШЕНИИ НЕКОТОРЫХ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Изложенные выше некоторые представления, язык, методы и приемы, несмотря на их непривычность для многих геоморфологов, не являются чем-то новым для науки вообще. Системный подход к элементаризации ЗП, картографированию, районированию и структурному анализу рельефа, использование учения о симметрии и предложения по применению метода аналогий соответствуют современному уровню исследований во многих научных дисциплинах.

Морфодинамическая концепция геоморфологии и ее методический аппарат находятся еще на первых этапах своего становления. Можно сказать, что весь предлагаемый, в частности в данной книге, путь от изучения морфологии рельефа к исследованию рельефообразующих процессов ясен автору далеко не во всех деталях и пока лишь намечен линией, которая при переходе от морфологического картографирования к структурному анализу превращается из сплошной в прерывистую и далее, в части динамической интерпретации, в пунктирную. Однако, несмотря на такую различную степень разработанности отдельных звеньев морфодинамического анализа, автор решился показать всю его технологическую цепочку, чтобы читателю стало понятно, зачем осуществляются те или иные приемы, как они могут быть использованы сейчас и в дальнейшем и какой в целом представляется морфодинамическая концепция, реализующая новую парадигму геоморфологии.

При этом следует особо подчеркнуть, что эта концепция должна также включать в себя неиспользованную здесь и пока небольшую по объему, но все нарастающую совокупность данных по количественным оценкам, балансовым расчетам и инструментальным наблюдениям за перемещениями вещества и верхней поверхности литосферы. Анализ и синтез всей этой морфодинамической, лито- и геодинамической информации и является содержанием геоморфодинамики. То, что создание методического аппарата морфодинамического анализа еще далеко до завершения, не означает, однако, что целый ряд его принципов и приемов не могут «работать» уже сейчас при решении прикладных задач геоморфологии. Некоторые результаты и опыт такого решения на суше, шельфе и океаническом дне рассматриваются ниже.

§ 38. Прогноз пликативных и дизъюнктивных дислокаций на суше по топографическим и фотокосмическим материалам

Решение этой задачи может быть более успешным при использовании принципов и приемов морфодинамического анализа, которые в значительной мере заимствованы из обиходного и вместе с тем несовершенного методического аппарата структурной геоморфологии. В данном случае морфоструктурный анализ следует рассматривать в качестве предшественника и составной части морфодинамического анализа. В рамках последнего многие апробированные структурно-геоморфологические методы и частные топографические признаки проявления в рельефе тектонических движений и дислокаций могут быть более систематизированными, теоретически обоснованными и усовершенствованными.

Наряду с унаследованной составляющей неотектогенеза, проявляющейся в активном развитии (приростах амплитуд) ранее заложенных пликативных дислокаций, на тех же самых и других участках земной коры в неотектонический этап происходят запечатленные (за исключением сквозных новообразований) только в самом верхнем структурном этаже и(или) в современном рельефе автономные (неунаследованные) движения [11]. Основываясь на морфодинамическом определении понятия «морфоструктура» [10] (см. § 2), следует отметить, что с автономной составляющей неотектогенеза связаны широко рас-

пространенные на платформенных равнинах несоответствия морфоструктурного плана по отношению к погребенным геологическим дислокациям. На выявление этого плана направлены структурно-геоморфологические исследования, вторая и более сложная задача которых заключается в установлении его соотношения со структурами в более глубоких горизонтах или в выделении в этом плане унаследованно развивающихся морфотектонических образований. Одновременно с прогнозом неотектонически активных геологических дислокаций «через рельеф» появилась реальная возможность прогнозировать погребенные структуры в результате комплексного анализа топографических и фотокосмических исходных материалов [12, 14].

Кратко рассмотрим известные структурно-геоморфологические методы прогноза и морфографические признаки пликативных и дизъюнктивных дислокаций «через рельеф» с некоторыми дополнениями, переложив их на «морфодинамический язык», и более подробно остановимся на возможностях выделения погребенных структур. Исследования морфоструктурного плана осуществляются по двум принципиально отличным методическим направлениям [11, 13]: а) за счет анализа неотектонически обусловленной изменчивости вертикальных характеристик ЗП и исключения при этом рельефообразующего эффекта экзогенных процессов и б) в результате анализа как плановых, так и вертикальных характеристик морфоскульптуры, основанного на том, что, хотя своим созданием она обязана экзогенным процессам, интенсивность и особенности последних также контролируются неотектоническими движениями.

Первое направление включает в себя оценку деформаций поверхностей выравнивания разного генезиса (и полигенетических), первичное положение которых принимается за горизонтальное, анализ гипсометрии водоразделов и построение карт вершинных поверхностей, «тектонического рельефа», зеркала высот, маркирующих уровней, морфо- или тектоизогонис. Эти приемы заимствуются и морфодинамическим анализом с учетом первичной диссимметризации (см. § 33) и предложением о составлении карт $H_1(x, y)$ без разделения СЛ L_1 на порядки (см. § 28). Оптимальным в данном направлении представляется сочетание этого предложения с ранее разработанной методикой реконструкции «тектонического рельефа» [11], предусматривающей разделение рельефа (по СЛ L_5) на долинный и наддолинный. Принимая во внимание изначальные уклоны первичной морфоструктуры, оценивать деформирующие ее неотектонические движения наиболее рационально путем определения деформаций не поверхностей, а разделяющих их СЛ L_3-L_6 (см. § 39).

Из относящихся ко второму направлению морфометрических построений (карт базисных и разностных поверхностей, аномальных падений, аномалий приведенных продольных профилей рек, изодеф и др.) наиболее информативны в морфодинамическом отношении карты $H_2(x, y)$, разностной поливершинно-базисной поверхности, их горизонтальных градиентов и другие построения (см. § 27, 28, 34).

Многообразные морфографические признаки тектонических движений разного знака, называемые здесь морфодинамическими, могут быть упорядочены и систематизированы в соответствии с представлениями о симметрии и диссимметрии рельефа (рисунков СКС). Составленный ранее [18] обширный список морфографических признаков проявления глыбово-разрывной формы тектогенеза сейчас можно свести к следующему небольшому перечню морфодинамических признаков вертикальных и горизонтальных смещений и напряжений, связанных с разрывными нарушениями.

1. Прямолинейные границы ГМС: а) рисунков СКС (в том числе особые линии) и б) участков ЗП с резким изменением ее состава.

2. Нарушения трансляционной симметрии на серии однонаправленных морфологических профилей, приуроченные к одной линии или к единой зоне (см. § 22).

3. Прямые и ломаные отдельные линии или серии СЛ L_3-L_6 .

4. Прямые и ломаные отдельные линии или серии СЛ I типа.

5. Плановые согласованные изгибы и смещения линейных элементов разного типа в единой зоне.

6. Расположение на одной прямой или в единой зоне резких изменений гипсометрического положения СЛ (окончаний «висячих» СЛ) и их торцевых ОТ.

Переходя к вопросу о прогнозе погребенных геологических структур по топографическим и фотокосмическим материалам, отметим, что наряду с неотектоническими движениями в геологически открытых платформенных областях на второе место при структурно-тектоническом дешифрировании космических снимков (КС) выступает аспект верхнего структурного этажа. В преобладающих по площади регионах субгоризонтальное залегание дочетвертичных пород проявляется на КС прямо или (и) косвенно (через рельеф и почвенно-растительный покров) в связи с: а) различными отражающими характеристиками (альбедо у разных осадочных пород меняется в 7 раз [41]), б) устойчивостью к денудации и в) гидрогеологическим режимом (разгрузкой подземных вод) обнажающихся на ЗП пластов. Важно подчеркнуть, что при всех этих вариантах и их совокупности изменения или границы полей с разным фототонном (цветом, рисунком) на КС, а также изолинии оптической плотности на производных от КС фотометрических картах следуют субпараллельно изогипсам и линейным элементам разного типа. Во же время выходящие на ЗП пласты с относительно большими углами падения на неотектонически активных и неактивных сквозных дислокациях отражаются в несогласованных с горизонталями и СЛ (непараллельных им) изменениях дешифровочных признаков, вызванных перечисленными факторами. На платформах со сплошным развитием новейшего структурного этажа выраженные на КС литолого-генетические различия четвертичных отложений распределяются в плане в полном соответствии с составом и структурой ЗП, что уже используется в геологическом картировании с применением КС [Мусис А. И., 1980 г.].

Третий аспект дешифрирования на КС геологической структуры касается погребенных, неактивных в морфодинамическом отношении, дислокаций. Хотя механизм их проявления в фотоизображении ландшафта только начали обсуждать в литературе, факты такого проявления широко известны и не вызывают сомнений [41; Брюханов В. Н. и др., 1977 г.; Ковалин У. С. и др., 1979 г.; Розанов Л. Н., 1980 г. и др.]. К ним, например, относится отчетливое отображение на фотокосмических материалах погребенного Оренбургского свода, других не выраженных в рельефе структур Арало-Каспийского региона, особенно соляные купола не только на суше, но и на шельфе (например, Северного Каспия и Мексиканского залива).

Таким образом, в фотокосмических материалах содержится структурно-тектоническая информация о неотектонических движениях и морфоструктуре, необходимая, но недостаточная для прогноза глубинных неотектонически активных структур «через рельеф», о структуре верхнего этажа, которая при субгоризонтальном залегании пород является важной для геологического картирования, но не имеет существенного нефтегазопонского значения, и о неотектонически неактивных сквозных и погребенных структурах осадочного чехла. Последние в данном случае можно назвать *искомыми* при дешифрировании КС с целью прогноза перспективных на нефть и газ объектов, которые не могут быть выделены в результате структурно-геоморфологических исследований («через рельеф»). Соответствующие этим структурам чехла элементы на КС отличаются от других тектонически обусловленных элементов фотоизображения тем, что они не *согласуются с составом и строением ЗП*, так как данные дислокации не участвуют в формировании современного рельефа и никак не контролируются им.

Этой особенностью *искомая информация* отличается не только от остальных тектонических обусловленных дешифровочных признаков, но и от всех других элементов содержания КС, отражающих прочие естественные (нетехногенные) компоненты и процессы в ландшафте. Совокупность всех элементов фотоизображения, не входящих в *искомую информацию* о погребенных и неактивных сквозных структурах, можно объединить под термином *«исключаемая фотоинформация»*. Она отражает все так или иначе связанные с составом и строением ЗП компоненты, которые делятся на две группы: рельефообразующие и контролируемые рельефом [12, 14].

Анализ КС на платформенные области показывает, что основную роль в формировании фотоизображения играют рельефообразующие и контролируемые рельефом компоненты и процессы, информация о которых для достижения наших целей подлежит исключению. Распределение фототона и рисунка на КС

разных сезонов и времени залетов не только находится в общем, очевидном для всех соответствии с составом и строением ЗП, но и подчинено гипсометрии равнинного рельефа. Границы между зонами и областями с разным фототонном чаще всего проходят по СЛ L_5 и L_6 . Все это имеет место вне зависимости от того, какой из всех компонентов оказал наибольшее влияние на распределение фототона. Учитывая тесную связь между ними, трудно (и не нужно для наших целей) выделять в чистом виде из их совокупного влияния на фотоизображение долевое участие каждого из компонентов в формировании внешнего облика ландшафта.

Искомая фотоинформация о неотектонически неактивных структурах осадочного чехла «минует» (не передается через) рельефообразующие компоненты и процессы в ландшафте и собственно рельеф, а отражена непосредственно в фототоне на КС, обусловленном на платформенных равнинах главным образом увлажненностью выходящих на ЗП пород и почвенно-растительным покровом [41]. В этих представлениях образование фотоаномалий связывается с вертикальной миграцией флюидов, т. е. с тем же фактором, который играет главную роль в неотектонически обусловленных изменениях фотоизображения. Вместе с тем проявление и соответственно обнаружение фотоаномалий, отражающих неотектонически активные и погребенные дислокации, фундаментально отличаются друг от друга. Данное отличие заключается не в разных оптических характеристиках тех и других, а в их плановом распределении относительно горизонталей на карте $H(x, y)$ и состава и строения на морфологической карте. В связи с этим фотоаномалию, отражающую погребенную структуру, следует называть дирекционной.

Дирекционная аномалия расположена вне связи с современным рельефом, и чем в большем противоречии находится ее контур со СЛ и (или) горизонталями, тем значительнее ее интенсивность. Она может быть выражена в замкнутых участках фототона, отличающихся от окружающего пространства своей плотностью, или в апофизах (фестонах) относительно однородных по фототону полей. Границы тех и других секут основное направление изогипс и не согласуются с линейными элементами ЗП.

Линейные дирекционные аномалии выражают на КС те разрывные нарушения, положение которых в плане также не согласуется со СЛ. Эти фотоаномалии принципиально отличаются от большинства линейных морфоструктур [18], выделяемых в результате анализа морфодинамических признаков и морфометрических построений, своей относительной непрерывностью, так как не зависят от уклонов ЗП, меняющихся вдоль выраженной на КС разрывной зоны. Вероятность их дизъюнктивной предопределенности намного выше таковой у линейных элементов ЗП, прямолинейность которых может быть связана с выдержанными направлениями региональных уклонов, новейших прогибов или вдольбереговых течений древних морей.

Таким образом, различия в отображении на КС исключаемой и искомой информации сводятся только к тому, что первая, абсолютно преобладающая в фотоизображении ландшафта подчиняется правилу следования СЛ и горизонталям, а вторая является исключением из этого правила. При этом та и другая заложены в одних и тех же характеристиках фотоизображения. Эти обстоятельства приводят к необходимости использования при структурном дешифрировании КС *принципа соотношения фотоизображения с рельефом ЗП*. С его помощью можно выделять из фотоизображения ландшафта отдельные элементы, связанные со структурами осадочного чехла, неактивными в морфодинамическом отношении. Данный принцип дает возможность «...отличить аномалии, вызываемые или модифицируемые влиянием рельефа, почв и растительности, от немногочисленных остаточных аномалий, несущих действительно аномальную и важную геологическую информацию» [41, с. 32]. Авторы этой цитаты, в целом правильно сформулировав задачу, считают, что ее можно решить только эмпирически в результате полевых исследований. Мы же предлагаем ее принципиальное решение, которое можно осуществить камеральным путем, не исключаяющим, конечно, полевой проверки.

Практическая реализация сформулированного принципа сводится к выделению ареальных и линейных фотоаномалий, не согласующихся с изогипсами и линейными элементами ЗП в результате совмещения КС с топографическими

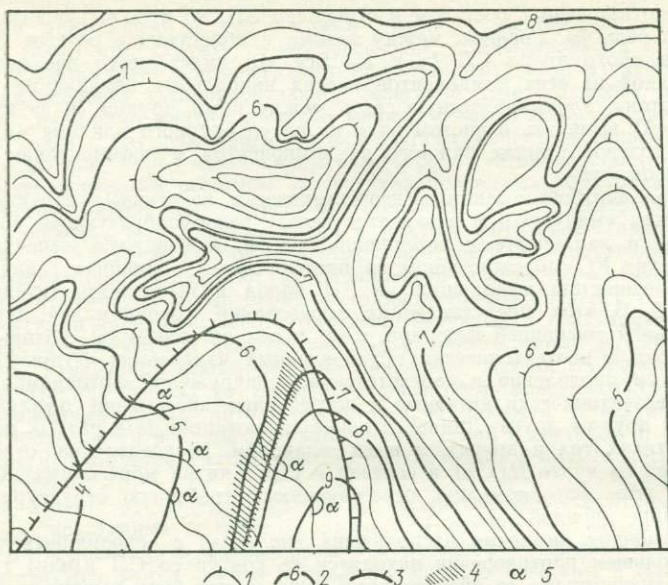


Рис. 24. Принципиальная схема оценки интенсивности дирекционной фотоаномалии на космических снимках.

1 — горизонтали; 2 — линии равной оптической плотности (в усл. ед.); 3 — контур ареальной дирекционной фотоаномалии; 4 — линейная дирекционная фотоаномалия; 5 — угол между горизонталями и линиями равной оптической плотности.

или морфологическими картами. Так как детальность КС превышает детальность топографических карт аналогичных масштабов не менее чем в 5 раз [Кравцова В. И., 1977 г.], приведение к одному масштабу сравниваемых материалов следует осуществлять за счет уменьшения самых детальных карт $H(x, y)$ или морфологических карт, имеющихся на изучаемую территорию. Ареальные дирекционные аномалии наиболее уверенно фиксируются при наложении на топокарты фотометрических карт, полученных в результате измерения оптических плотностей на КС с помощью микроденситометров (рис. 24). При этом возможна количественная оценка интенсивности фотоаномалий, которая численно выражается тангенсом угла ($\text{tg } \alpha$) между изогипсами и линиями равной оптической плотности. Знак этого коэффициента картографической корреляции указывает на прямую (+) и обратную (-) связь между $H(x, y)$ и плотностью фотона, а абсолютное значение — на тесноту этой связи. При $\text{tg } \alpha = 0$ фотоаномалии отсутствуют. Чем больше значения $\text{tg } \alpha$, тем они интенсивнее.

Качественное выявление дирекционной аномалии возможно при совмещении КС с морфологической картой, в результате которого устанавливаются угловые соотношения между границами участков с различным фототоном (цветом, рисунком) и СЛ разного типа. Учитывая межотраслевую универсальность МС (см. § 36) и используя возможности количественной оценки сходства (см. § 37), можно сравнивать морфологическую карту рельефа с «морфологической картой» оптической плотности КС, на которой после соответствующих преобразований выделены элементы, подобные точечным, линейным и площадным элементам ЗП.

§ 39. Оценка голоценовых движений на шельфе

Выделение СЛ L_3-L_6 и анализ их батиметрического положения в юго-восточной части Балтийского моря были использованы при картировании и да-

тировке древнебереговых образований Балтийского водоема [Гялumbaускайте Ж. А., Лукошявичюс Л. С., 1981 г.], для определения деформаций древних береговых уровней [Гялumbaускайте Ж. А., 1981 г.] и затем для оценки скоростей и горизонтальных градиентов скоростей голоценовых движений и их влияния на вертикальную миграцию флюидов [17].

В результате построения карт $|H'(x, y)|$ и $|H''(x, y)|$ и трассирования по ним СЛ L_3-L_6 в пределах внешне монотонного, слабо террасированного подводного склона выделены разновозрастные ЭП абразионно-аккумулятивного происхождения. На основе проведения корреляции выделенных СЛ и заключенных между ними ЭП с литолого-фациальными и маринопалинологическими данными Л. С. Лукошявичюса [1974 г.] и В. К. Гуделиса [1973 г., 1977 г.], полученными по отдельным разрезам и последующей экстраполяции этих данных вдоль подводного склона (с помощью выделенных СЛ) определен *возраст линейных и площадных элементов*. Они сопоставляются с древними береговыми уровнями иольдиевой (Y , глубина 65—52 м), анциловой (A_2 , глубина ~40 м) и двух литориновых (I_1 , глубина 29—28 м; I_2 , глубина ~18 м) стадий развития Балтийского моря в голоцене. Кроме них выделен еще ряд СЛ и ЭП, возраст которых пока не установлен.

В работе [17] приведены батиметрические профили по СЛ соответствующего возраста, отражающие их деформации. Последние образованы в результате проявления дифференцированных тектонических и региональных гляциоизостатических движений. Общий уклон СЛ L_6 , соответствующий иольдиевой стадии, связан с позднеледниковыми гляциоизостатическими движениями с максимальной амплитудой 10—15 м [Гуделис В. К., 1973 г.], проявление которых прекратилось с бореального (анцилового) времени.

Так как СЛ имеют абсолютные датировки и расположены относительно близко друг к другу, можно получить информацию об относительных вертикальных движениях голоцена по всей исследованной площади. В результате деления значения деформации каждого датированного линейного элемента на его абсолютный возраст вычисляется *средняя скорость движений* за время с момента формирования СЛ до наших дней. В связи с тем что время осреднения на разных линейных элементах представляет собой величины одного порядка ($n \times 1000$ лет), не проявляется «парадокс скоростей» [13] тектонических движений — изменение средних скоростей в зависимости от времени осреднения.

Полученная карта скоростей голоценовых движений (рис. 25) послужила основой для определения *горизонтальных градиентов этих движений*. Градиенты оценивались в соответствии с формулой:

$$|\text{grad } v| = v_1 - v_2/r_{1-2},$$

где v_1-v_2 — разность средних скоростей двух выбранных точек на линии максимальных градиентов, мм/год; r_{1-2} — расстояние между точками, км.

Горизонтальные градиенты скоростей тектонических движений отражают скорость пластической деформации слоев и развитие разрывов в земной коре [Гзовский М. В., 1978 г., Никонов А. А., 1980 г.], т. е. факторов, определяющих интенсивность вертикальной миграции флюидов. Это подтверждается приуроченностью на одном из участков данного региона биогеохимических аномалий в придонном слое к зонам повышенных градиентов скоростей голоценовых движений. Биогеохимические характеристики придонного слоя получены С. Д. Талиевым [1982 г.] в результате комплексного изучения осадков и придонных вод по сети точек, при котором определялись газы, микроорганизмы, битумные и другие органические соединения, минерально-солевой состав, микроэлементы осадков и придонных вод. В целом по каждой точке опробования получено около 100 различных характеристик. Суммирование этих данных с помощью статистических и графических приемов позволило оконтурить поля суббазальной разгрузки углеводородов, нередко совпадающие с известными локальными поднятиями в осадочной толще, и наметить линейные биогеохимические зоны. Как ареальные, так и линейные биогеохимические аномалии совпадают в плане с зонами повышенных горизонтальных градиентов скоростей голоценовых движений [17]. Карта голоценовых деформаций СЛ построена также на шельфе

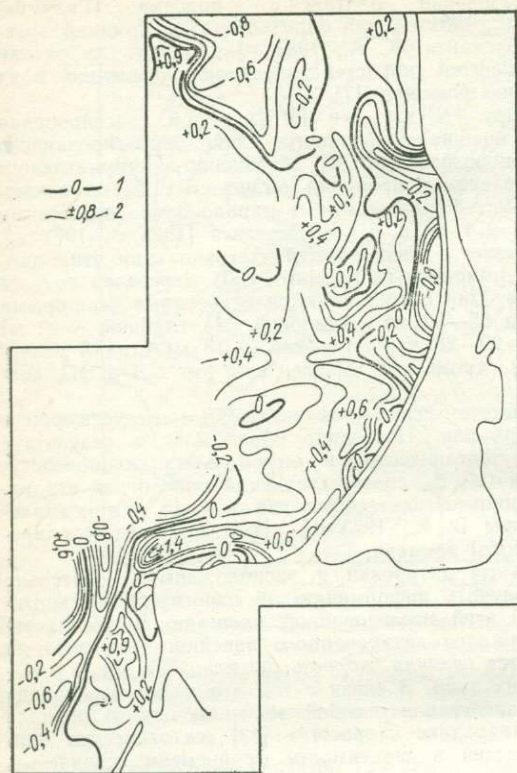


Рис. 25. Карта скоростей голоценовых движений юго-восточной части Балтийского моря, по А. Н. Ласточкину и Ж. А. Гялumbaускайте [17].

Линии: 1 — нулевых значений скоростей (границы сопряженных областей поднятий и опусканий); 2 — равных значений скоростей поднятий и опусканий (мм/год).

северо-западной части Черного моря [Шмуратко В. И., 1984 г.]. В целом такие построения, а также составленные на их основе карты скоростей и градиентов скоростей голоценовых движений могут быть использованы не только при прямых поисках нефти и газа, но и при инженерно-геологических изысканиях на шельфе: выборе площадок для строительства крупных объектов, прокладке кабелей и подводных трубопроводов. При условии активности плекативных и разрывных структур в голоценовое время эти карты могут выступать

в качестве материала для их прогноза. Кроме того, морфологическое картографирование на шельфе может применяться при поисках строительных материалов и россыпей.

§ 40. Морфодинамические исследования океанического дна при поисках и разведке железомарганцевых конкреций

Место морфодинамических исследований при решении проблем размещения и формирования железомарганцевых конкреций (ЖМК), в деле прогноза и планирования работ по поискам и разведке их месторождений определяется тем, что искомые конкреции не являются ископаемыми, а приурочены к современной ЗП. Их значение подтверждаются содержащимися практически во всех сводных работах по ЖМК эмпирическими данными и единодушными выводами о высокой степени корреляции, устанавливаемой между размещением их скоплений (с разной продуктивностью и химической специализацией) и различными характеристиками рельефа.

Доля ответственности, которую должны взять на себя морфодинамические исследования за успешность работ на ЖМК, существенно возрастает при переходе от региональной к поисковым и далее к разведочной и эксплуатационным стадиям. Увеличение этой ответственности с детализацией работ, обусловленное интенсивной локальной изменчивостью как металлогенических показателей, так и основных (имеющих большое значение при добыче — перемещении аппарата для сбора ЖМК) показателей ЗП, определяет резкое ужесточение требований к методическому комплексу геоморфологических исследований вообще и к картографированию рельефа в частности. Это уже на поисковых стадиях

должно проявиться в переходе от понятийно-терминологического произвола не только в легендах геоморфологических карт, но и в нормативных документах, а также от субъективизма в ограничении картографируемых единиц к достижению однозначности в их определении, выделении и оконтуривании. Такой переход возможен только в результате смены распространенного сейчас синтетического направления в картографировании, с помощью которого субъективно устанавливается генезис рельефа океанического дна, на рассмотренный выше комплекс морфодинамических исследований [Ласточкин А. Н., 1985 г.]. Использование этого комплекса, во-первых, обеспечит сравнимость устанавливаемых для разных районов (участков, полигонов, отдельных профилей) соотношений и формулировку общих закономерностей связи между геоморфологическими и металлогеническими характеристиками, определенность и обязательность прогноза и выводов поискового значения, во-вторых, как уже показал опыт исследований, явится важнейшим звеном в решении проблемы размещения скоплений ЖМК и, в-третьих, позволит перейти к представлениям о создавших рельеф и зависимых от рельефа геологических процессах на океаническом дне, принимающих одновременное участие в рельефо- и рудообразовании, т. е. внести свой, «геоморфологический», вклад в решение проблемы формирования скоплений ЖМК.

Рассматривая роль морфодинамического анализа в создании научной базы поисков и разведки ЖМК, можно сказать, что при решении проблемы размещения их скоплений он должен выполнять те функции, которые при поисково-разведочных работах на полезные ископаемые отводятся структурной геологии. В проблеме размещения уже наметились две четко обособляющиеся друг от друга задачи [Ласточкин А. Н., 1985 г.], которые было бы неверно методически объединить в одну (задачу выявления закономерностей пространственных связей между скоплениями ЖМК и рельефом). Во многих работах [Безруков П. Л., 1979 г.; Скорнякова Н. С. и др., 1981 г., и др.] говорится, с одной стороны, о приуроченности разных по продуктивности и составу скоплений ЖМК к определенным элементам ЗП (склонам, вершинам, подошвам, ступеням склона и т. д.), а с другой — о разной продуктивности и химической специализации ЖМК в районах с различными морфологическими особенностями рельефа (например, на пологоволнистой равнине, в районах с плоским или слабо всхолмленным рельефом). В основе решения первой задачи лежат морфологическое картографирование и профилирование, а в основе второй — морфологическое районирование.

Данные задачи имеют различное значение на разных стадиях поисково-разведочных работ. С увеличением их деятельности в связи с резкой локальной изменчивостью продуктивности конкреций большее значение приобретает задача выявления закономерностей пространственных связей между скоплениями ЖМК и элементами ЗП — практически единственная на разведочной стадии при определении геоморфологических условий залегания рудных залежей в пределах месторождения. Играющая важную роль при выделении крупных таксономических единиц металлогенического районирования, задача установления пространственных связей между скоплениями ЖМК и ГМС утрачивает свое значение при переходе от региональной к поисковым и далее к разведочной стадиям. Тот факт, что уже на первых этапах исследований ЖМК появились многочисленные данные о приуроченности их скоплений к отдельным элементам ЗП, объясняется непрерывностью информации о рельефе по галсам промерных работ, сопровождаемых донным опробованием.

Морфологическое картографирование небольших по площади полигонов, обширных площадей и месторождений ЖМК позволяет наполнить конкретным содержанием и значительно обогатить высказываемые пока в самом общем виде представления о подчиненности скоплений ЖМК подводному рельефу и тяготении их максимальных концентраций к определенным элементам ЗП. В результате его проведения и при условии достаточной гидрографической изученности однозначно определяются, выделяются и оконтуриваются элементы ЗП, для которых могут быть точно оценены продуктивность (или плотность) и состав ЖМК. С использованием предусмотренной МС систематики ЭП по их относительному батиметрическому положению, крутизне и морфологии поперечного профиля применительно к одному из детально изученных полигонов

в поле Қларьон—Клиппертон (Тихий океан) получены [Ласточкин А. Н., 1985 г.], например, следующие выводы. 1. Средняя плотность Π составляет, $\text{кг}/\text{м}^2$: на верхних ЭП (P_{1-n} , P_{+5}) — 9,4; на склоновых ЭП — 8,7; на нижних ЭП (P_{n-2} , P_{6-}) — 4,8. 2. Наибольшая концентрация отмечается на субгоризонтальных верхних P_{+5} ($\Pi=10,1 \text{ кг}/\text{м}^2$) и нижних P_{6-} ($\Pi=6,4 \text{ кг}/\text{м}^2$) ЭП, в то время как наклонные верхние (P_{1-n}) и нижние (P_{n-2}) поверхности характеризуются $\Pi=8,2$ и $4,0 \text{ кг}/\text{м}^2$ соответственно. 3. При наличии батиметрического контроля над концентрацией ЖМК значения Π на одних и тех же глубинах, но на разных ЭП могут различаться в 1,5 раза. 4. В зависимости от относительной крутизны смежных ЭП и морфологии их поперечного профиля Π меняется в 1,3—1,5 раза.

Сопоставление строго определенного состава и структуры ГМС разных типов с металлогеническими параметрами лежит в основе решения второй задачи — размещения скоплений ЖМК. При недостаточной гидрографической изученности (для составления батиметрической и на ее основе морфологической карты с СКС) для районирования могут использоваться данные маршрутного промера с выявленными на морфологических профилях элементами ЗП и соотношениями между ними (рядами сочетаний).

В проблеме формирования также выделяются две взаимосвязанные задачи, непосредственно вытекающие из уже рассмотренных, стоящих перед морфодинамическими исследованиями размещения скоплений ЖМК [Ласточкин А. Н., 1985 г.]. Одна из них, решаемая уже на рекогносцировочной и региональной стадиях, заключается в изучении связей между районами с различными морфогенетическими типами рельефа и показателями конкрециенности. Наличие подобных связей вытекает из того, что формирование как рельефа, так и скоплений ЖМК контролируется 'одними и теми же процессами, принимающими участие как в рельефо-, так и в рудообразовании: тектоническими, вулканическими и седиментационными. К ним следует добавить и придонную гидродинамику, определяющую не только (в совокупности с распространением терригенного, вулканогенного и биогенного материала) литодинамический режим на океаническом дне, но и доставку составляющих ЖМК рудных компонентов.

Уже сейчас предпринимаются попытки выявления связей между показателями конкрециенности и «расчленением» рельефа в пределах выделенных по морфологическим признакам районов [Андреев С. И., 1980 г., и др.]. Под амплитудой «расчленения» при этом понимаются вертикальные превышения или относительные глубины, которые, хотя и в упрощенном виде, отражают интенсивность геодинамических процессов. Характер «расчленения» (линейный, мозаичный, грядовый, холмистый рельеф и т. д.) может указывать на преобладание в смещениях и замещениях ЗП той или иной группы процессов, а также их горизонтальной и вертикальной составляющих. Амплитуды и характер «расчленения» выступают при этом в качестве морфодинамических признаков геологических процессов. Таким образом, основание устанавливаемых связей между морфодинамическими признаками и металлогеническими показателями в пределах выделенных ГМС заключается в одновременной зависимости тех и других от типа и кинематических особенностей геологических процессов. Выявление данных, *парагенетических, связей* при решении проблемы формирования ЖМК сводится к определению соотношений между устанавливаемыми в результате динамической интерпретации рельефа ГМС процессами и продуктивностью и химическим составом ЖМК в пределах этих ГМС.

Наряду с парагенетическими связями морфодинамических и металлогенических показателей имеют место и должны изучаться *причинно-следственные соотношения* между рельефом и конкрециенностью. Они проявляются в контроле со стороны рельефа над продуктивностью и химической специализацией ЖМК. На наличие такого вида соотношений указывают многочисленные данные фотопрофилирования и драгирования полигонов, свидетельствующие о резких локальных вариациях всех металлогенических показателей, и прежде всего о чередовании высокопродуктивных участков и низкопродуктивных и даже пустых площадей на расстояниях, измеряемых первыми километрами, сотнями и десятками метров [Безруков П. Л., 1976 г., 1979 г.; Скорнякова Н. С. и др., 1981 г., и др.]. Значительная изменчивость состава и продуктивности ЖМК фиксируется даже в самых, как это считается, благоприятных геоморфологических условиях (например, слабо холмистого рельефа), где площади с высоко-

продуктивными залежами не превышают в поперечнике десятков километров. Все это, а также прямая зависимость диапазонов данной изменчивости от «расчлененности» рельефа, не могут быть объяснены и прогнозироваться без учета обратных связей между рельефом и геологическими процессами (в ГМДС).

В условиях выровненной, просто устроенной поверхности изменения определяющих состав и продуктивность ЖМК геологических процессов и их кинематических показателей носят латерально-фоновый характер, отражающий неоднократно перечисляемые в литературе региональные факторы конкрециеобразования — минимальную поставку терригенного, вулканогенного и биогенного осадочного материала, удаленность от источников рудных компонентов, донные течения. При несомненной связи конкрециеобразования с критической глубиной карбонатакопления (удаленность от нее по вертикали) данные по поясам, полям и провинциям конкрециенности, а также по отдельным полигонам показывают, что на фоне батиметрического контроля изменчивость продуктивности и состава ЖМК в меньшей степени определяется геоморфологическими условиями их формирования. Для выявления и последующего учета морфодинамических факторов конкрециеобразования следует определить и учесть вертикальный батиметрический фон, на котором они проявляются в изменении концентрации и специализации ЖМК.

Резко выраженная на латеральном и вертикальном фоне локальная изменчивость показателей ЖМК при их тесной корреляции с элементами ЗП может быть объяснена только *обратными связями* в ГМДС. Под воздействием разнородного состава и структуры ЗП геологические (в основном лито- и гидродинамические) процессы рельефо- и рудообразования существенно трансформируются и становятся значительно более дифференцированными, чем и объясняется локальная изменчивость металлогенических показателей.

Основное значение в дифференциации лито- и гидродинамических процессов имеет гравитационная и циркуляционная экспозиция — местоположение элементов ЗП по отношению к перемещению вниз тонкого осадочного материала и к регулирующим распределение последнего придонным течениям. Гравитационная экспозиция и связанная с ней дифференциация проявляются, например, в том, что скорость седиментации в пределах одного полигона (с единым латеральным фоном в поставке био-, вулкано- и терригенного материала) может увеличиваться от привершинных частей горстов к глубоким частям депрессий в 6—10 раз [Скорнякова Н. С. и др., 1981 г.]. Это определяется частной позицией ЭП или (и) различиями в придонной гидродинамике над ЭП разного типа. Изменение частной позиции при переходе (по регистрирующим линиям СКС) от одной ЭП к другой определяет колебания в скоростях нисходящего литодинамического потока и накопления осадочного материала, в том числе потенциальных ядер конкреций, что в свою очередь не может не сказаться на конкрециеобразовании. Об изменении плотности ЖМК в связи с частной позицией ЭП кратко отмечалось выше.

Повышенные скорости придонных течений ожидаются над верхними ЭП и над «наветренными» фрагментами склоновых ЭП, пониженные — на нижних замкнутых поверхностях P_6 - (соответствующих осадкоприемникам с относительно застойным гидродинамическим режимом) и «подветренных» склоновых ЭП. Наоборот, вытянутые в соответствии с преобладающим направлением течений пары ЭП P_{n-2} в разной степени канализируют и в связи с этим ускоряют последние, выступая в роли своеобразных абиссальных узостей. Чем выше скорости течения над верхними, «наветренными» склоновыми и канализирующими нижними ЭП, тем меньшими будут на них скорости осадконакопления и более благоприятными условия для конкрециеобразования в их пределах.

Однако взаимодействие придонной гидродинамики с составом и структурой ЗП не ограничивается таким, косвенным, влиянием на локальную изменчивость условий конкрециеобразования (через изменение скорости осадконакопления). Не меньшее значение в циркуляционной экспозиции имеют доставка течениями рудных компонентов и их «поверхностное поглощение, или геоморфологическая адсорбция» по-разному ориентированных по отношению к этим течениям ЭП. Об этом можно судить на основании полученных на упомянутом выше полигоне результатов исследований возможного влияния на плотность ЖМК циркуляционной экспозиции ЭП [Ласточкин А. Н., 1985 г.].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянт А. М. Картографический метод исследований. М., Изд-во Моск. ун-та, 1978. 256 с.
2. Ганешин Г. С. Принципы геоморфологической съемки.— В кн.: Применение геоморфологических методов в структурно-геологических исследованиях. М., Недра, 1970, с. 13—23.
3. Девдариани А. С. Измерение перемещений земной поверхности. М., Наука, 1964. 244 с.
4. Девдариани А. С. Математические основания геоморфологии.— Геоморфология, 1971, № 1, с. 46—54.
5. Дедков А. П. Теоретические аспекты современных климато-геоморфологических представлений.— Геоморфология, 1976, № 4, с. 3—11.
6. Ермолов В. В. Генетически однородные поверхности в геоморфологическом картировании. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1964. 41 с.
7. Жуков Р. А. Системный подход и методологические резервы теоретической геологии.— В кн.: Методы теоретической геологии. Л., Недра, 1978, с. 24—81.
8. Исаченко А. Т. Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование. М., Высшая школа, 1965. 327 с.
9. Ласточкин А. Н. Неотектонические движения и размещение залежей нефти и газа. Л., Недра, 1974. 68 с.
10. Ласточкин А. Н. Тектонические движения, структуры и морфоструктуры платформенных равнин.— Геоморфология, 1978, № 3, с. 16—27.
11. Ласточкин А. Н. Структурно-геоморфологические исследования на шельфе. Л., Недра, 1978. 247 с.
12. Ласточкин А. Н. Дешифрирование по космоснимкам глубинных платформенных структур, перспективных на нефть и газ.— Сов. геология, 1982, № 12, с. 116—121.
13. Ласточкин А. Н. Методы морского геоморфологического картографирования. Л., Недра, 1982. 227 с.
14. Ласточкин А. Н. Структурное дешифрирование космических снимков, основанное на сопоставлении фотоизображения с рельефом земной поверхности.— Исследование Земли из космоса, 1983, № 1, с. 57—60.
15. Ласточкин А. Н. Системно-структурная ориентация геоморфологического картографирования.— Геоморфология, 1984, № 2, с. 47—57.
16. Ласточкин А. Н. Картографирование и описание рельефа на системной основе.— Геоморфология, 1984, № 4, с. 33—41.
17. Ласточкин А. Н., Гялумбаускайте Ж. А. Многоцелевое использование метода отличительных линий при исследованиях на шельфе.— Изв. геогр. о-ва СССР, 1983, № 1, с. 11—17.
18. Ласточкин А. Н., Розанов Л. Н. Использование геолого-геоморфологических методов при поисках нефти и газа. М., 1979, 63 с. (ВИЭМС).
19. Мещеряков Ю. А. Структурная геоморфология равнинных стран. М., Наука, 1965. 390 с.
20. Пенк В. Морфологический анализ. М., Географгиз, 1961. 359 с.
21. Проблемы системно-формационного подхода к познанию рельефа. Новосибирск, Наука, 1982. 148 с.
22. Симметрия структур геологических тел. Вып. 1, 2. Л., 1976. Вып. 1. 138 с.; вып. 2. 135 с. (ВСЕГЕИ).
23. Системные исследования природы. М., Мысль, 1977. 232 с. (Вопр. географии, вып. 104).

24. Спиридонов А. И. Физиономические черты рельефа как показатель его происхождения и развития.— В кн.: Индикационные географические исследования. М., Наука, 1970, с. 92—104.
25. Спиридонов А. И. О некоторых теоретических проблемах геоморфологии.— Геоморфология, 1974, № 2, с. 57—63.
26. Спиридонов А. И. О содержании геоморфологии (в продолжение дискуссии).— Геоморфология, 1979, № 4, с. 34—42.
27. Степанов И. Н., Сабитов Н. И., Поветухина З. Ф. Явления периодической повторяемости сходных геоморфологических ситуаций.— Докл. АН СССР, 1982, т. 262, № 5, с. 1217—1219.
28. Тезисы докладов VII совещания по вопросам ландшафтоведения. Пермь, 1974. 184 с. (Геогр. о-во СССР).
29. Тимофеев Д. А. Старые и новые пути развития геоморфологии.— Геоморфология, 1981, № 4, с. 31—43.
30. Тимофеев Д. А., Уфимцев Г. Ф., Онухов Ф. С. Терминология общей геоморфологии. М., Наука, 1977. 199 с.
31. Троицкий С. Л. О предмете и основных методах геоморфологии.— В кн.: Методы геоморфологических исследований. Новосибирск, Наука, 1967, т. 1, с. 56—60.
32. Узоры симметрии/Ред. М. Сенешаль и Дж. Флек. М., Мир, 1980. 271 с.
33. Федоров Б. Г. Морфологический анализ и морфодинамический синтез.— Вестн. Ленингр. ун-та, География, 1983, № 18, с. 31—41.
34. Философов В. П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов, Изд-во Саратов. ун-та, 1975. 232 с.
35. Флоренсов Н. А. О рациональных границах геоморфологического анализа и некоторых временных определениях.— Геоморфология, 1971, № 1, с. 39—46.
36. Флоренсов Н. А. Очерки структурной геоморфологии. М., Наука, 1978. 237 с.
37. Флуд Р., Холлистер Ч. Контролируемый течениями рельеф на континентальной окраине востока США.— В кн.: Геология континентальных окраин. М., Мир, 1978, т. 1, с. 222—231.
38. Харвей Д. Научное объяснение в географии. М., Прогресс, 1974. 502 с.
39. Шафрановский И. И., Плотников Л. М. Симметрия в геологии. Л., Недра, 1975. 144 с.
40. Шубаев Л. П. Симметрия и диссимметрия в географической оболочке.— Изв. геогр. о-ва СССР, 1970, № 2, с. 107—113.
41. Шорп А. М., Маррз Р. У. О природе аномалий.— В кн.: Космическая геология. Л., Недра, 1979, с. 18—32.
42. Шубников А. В., Копчик В. А. Симметрия в науке и искусстве. М., Наука, 1972. 340 с.
43. Эшби У. Р. Введение в кибернетику. М., Изд-во иностр. лит., 1959. 432 с.
44. Macnab R. F. Geomorphology of Flemish cap, Flemish pass an the north-eastern Grand Banks of Newfoundland.— Geol. Surv. Can., 1979, part A, p. 75—83.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение. Морфодинамическая концепция и предмет геоморфологии . . .	5
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА	
Глава I. Системный подход к изучению рельефа	27
Глава II. Состав земной поверхности. Элементы морфологической системы	46
Глава III. Строение земной поверхности. Морфологическая структура . .	70
ЧАСТЬ ВТОРАЯ МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА	
Глава IV. Технология морфологического картографирования и профили- рования	90
Глава V. Структурная координатная сеть и ее приложения	120
Глава VI. Оформление и содержание морфологической карты	135
ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА И MORFOЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ	
Глава VII. Использование аппарата симметрии в структурном анализе рельефа	147
Глава VIII. Выделение геоморфосистем	162
Глава IX. Анализ пространственных соотношений между элементами зем- ной поверхности	173
ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЛЬЕФА	
Глава X. Использование динамического аспекта учения о симметрии в морфодинамическом анализе. Кинематика и рельефообразующий эффект геологических процессов	190
Глава XI. Динамическая интерпретация структуры и состава земной по- верхности при решении прямой и обратной задач геоморфодинамики . . .	217
Заключение. Использование принципов и методики морфодинамического анализа при решении некоторых прикладных задач	244
Список литературы	254

4793