

4. Словарь иностранных слов. М.: Русский язык, 1979. 622 с.
5. Потанин Г.Н. Тангутско-Тибетская окраина Китая и Центральная Монголия. М.: Географгиз, 1950. 652 с.
6. Соколов Н.А. Дюны, их образование, развитие и внутреннее строение. СПб.: 1884. 421 с.
7. Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. Общая геоморфология. М.: Высш. шк., 1979. 287 с.
8. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1988. 520 с.
9. Симонов Ю.Г. Геоморфология. Методология фундаментальных исследований. СПб.: Питер, 2005. 427 с.
10. Тимофеев Д.А. О некоторых геоморфологических законах // Геоморфология, 1972. № 2. С. 3–12.
11. Флоренсов Н.А. Очерки структурной геоморфологии. М.: Наука, 1978. 238 с.
12. Ласточкин А.Н. Рельеф земной поверхности (Принципы и методы статической геоморфологии). Л.: Недра, 1991. 340 с.
13. Ласточкин А.Н. Системно-морфологическое основание наук о Земле. СПб.: Изд. СПбГУ, 2002. 762 с.
14. Борсук О.А., Тимофеев Д.А. Облик рельефа и его генезис: морфология как критерий истины / Морфология рельефа. М.: Научный мир, 2004. С. 80–86.
15. Спиридонов А.И. Морфология рельефа / Морфология рельефа. М.: Научный мир, 2004. С. 5–10.
16. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1987. 339 с.

Ин-т географии РАН, Москва

Поступила в редакцию  
09.12.2006

## POLYMORPHISM AS GENERAL ATTRIBUTE OF LAND SURFACE

D.A. TIMOFEEYEV

S u m m a r y

On the base of Vernadsky's comments on polymorphism as a chemical-mineralogical property of matter the concept of polymorphism as general attribute of land surface is put forward. The causes of this property and the routs of its investigations are discussed.

УДК 551.4.012

© 2006 г. Д.В. ЛОПАТИН

## ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИПТОМОРФНЫХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР

### Постановка задачи

Настоящая работа посвящена исследованию ряда взаимосвязанных вопросов. Что из себя в геоморфологическом отношении представляют тонометрические аномалии на снимках земной поверхности? Как они проявляются в рельефе, геологическом и глубинном строении? Есть ли связь между всеми этими компонентами природной среды?

Цель работы заключается в необходимости обратить внимание научной общественности на то обстоятельство, что тонометрические аномалии на снимках, отображающие ландшафтные неоднородности, передают информацию, в том числе и о рельефе, причем не только о явно выраженном, тектоническом, но и помогают увидеть опосредованно выраженные в рельефе структурные неоднородности земной поверхности [1]. ТонOMETрическая информация на снимках позволяет понять и природу едва выраженных в рельефе образований, масштабы которых огромны по сравнению с размерностью образующих их форм рельефа. Поэтому они кажутся плоскими или, точнее, квазидвумерными – “теньями” каких-то непонятных процессов и явлений, запечатленных на космических снимках земной поверхности. И только фотогенерализую-

шие свойства дистанционных съемок позволяют увидеть их “портретные” характеристики, которые отчетливо видны на космических снимках и совершенно не заметны при контактных исследованиях. Такие же структурные образования могут быть выделены и при морфометрической обработке *топографической поверхности рельефа* [2, 3], а также и *других поверхностей топографического ряда* (гравиметрической, магнитометрической, фотометрической и др.) на основе анализа изолинейных карт [4]. Исследования показали, что все аномальные тонометрические образы связаны с роями малых форм и элементов рельефа (спрямленных или закругленных фрагментов речных долин, побережий, склонов, седловин, цепочек озер и др.), которые группируются в структурные линии, зоны, площадные сочетания – текстуры изображения, а в конечном итоге, в образы, природу которых мы и пытаемся понять.

В процессе исследования вопроса решены следующие задачи: 1) изучены особенности дешифрирования линеаментов, линеаментных зон и полей по тоновым контрастам, 2) установлена связь данных линеаментов с геоморфологической структурой, 3) построен дискретный морфотектонический ряд от конформного к дисконформному выражению в рельефе структурных образований, которые связаны в единое целое линеаментными “портретами” тонометрических аномалий, 4) предложена методика диагностики и гипотеза образования последних, 5) выявлены прикладные аспекты использования теоретического опыта.

### **Рельеф как организационная среда линеаментов и линеаментных полей**

Красной нитью в прикладной геоморфологии проходит одна из географических аксиом, утверждающая, что рельеф является системообразующей компонентой ландшафта и одновременно уникальным индикатором динамических процессов консервативных сфер Земли, к которым можно отнести земную кору и литосферу в целом. Известно также, что в рельефе могут отображаться не только “живые”, развивающиеся структурные формы, но и вся совокупность тектонических свойств “мертвой” литосферы. Широко известно, что в процессе эволюции земной коры от раннего докембрия до наших дней она претерпевает все большее усложнение. Особенность геоморфологических исследований заключается в возможности *раскрытия летописи геологической истории через формы современного “живого” или “остаточного” литоморфного рельефа*. Большая группа геоморфологов считает, что решение этой задачи геоморфологическими методами невозможно. По-видимому, в чем-то они и правы, так как эти процедуры требуют привлечения комплекса дополнительных мер [5]. Поэтому, прибегая к реконструкциям такого рода, необходимо использовать в комплексе с геоморфологическими методами еще и другие: дистанционные, геофизические, тектонические, физико-математические, оставив за геоморфологическими лишь индикационную роль – роль системообразующего информационного блока, так как рельеф поверхности одинаково полно отображает взаимодействие как экзо-, так и эндодинамических сил Земли.

Свойство естественной генерализации позволило увидеть, что дисперсно рассеянные и не связанные между собой морфологически рои малых форм рельефа на самом деле концентрируются в поля, зоны и линии определенной геометрии: линейно ориентированные, дуговые, параболические, круговые, поликонцентрические, эллипсоидальные, изометрические, фестончатые и иные. Приведу примеры, иллюстрирующие переход от структуры линеаментных полей к их тектонической интерпретации.

На рис. 1. показано взаимопересечение линеаментных полей – плотно упакованных и зонально организованных, морфологически не связанных между собой линеаментов разной геометрии. При генерализации поля могут превратиться в зоны, линии и наоборот. Тектонический анализ рисунка показал связь линеаментов со структурными неоднородностями фундамента Рязано-Саратовского авлакогена Восточно-Европейской платформы и краевой зоны Прикаспийской синеклизы [6].

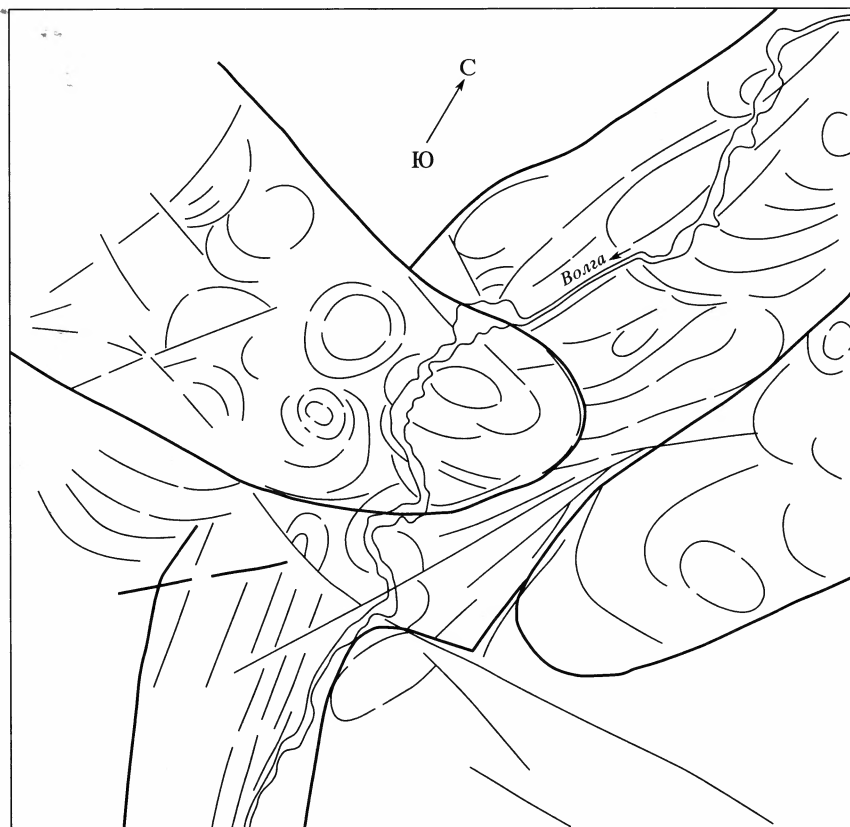


Рис. 1. Схема обобщения локальных линеаментов в региональные системы на примере Среднего Поволжья (адекватно отображает тектоническое строение сочленения Рязано-Саратовского авлакогена и Прикаспийской синеклизы)

На рис. 2 отчетливо видно, как поля линеаментных текстур связаны с явными и неявными брахиформными образованиями. При сопоставлении с обобщенной геологической картой м-ба 1:10000000 они отображают генеральные тектонические структуры Прикаспийского койлогена [6, 7] и Уральской коллизийной мегаструктуры. Причем эта связь передается через линеаментные оболочки (каркасные линии тоновых текстур) современных геологических формаций, которые представлены объединенными полями линеаментов разной геометрии.

Корреляция тонометрических аномалий и соответствующих им линеаментных полей и зон с геологическими телами и морфоструктурами не всегда однозначна. Чаще прослеживается более четкая их связь с аномальными геофизическими полями [4, 6]. Это обстоятельство позволило предположить, что тоновые аномалии в большей степени отображают глубинную природу, нежели морфоструктурный план геологического субстрата. Более того, стало появляться все больше фактов их несогласия с морфоструктурным планом, косвенно подтверждающих справедливость вышеуказанного предположения [8]. Подобные образования мы предложили назвать *криптоморфными геоморфологическими структурами (КГС)*. Они представляют собой образы, созданные за счет фотогенерализации пространственно упорядоченных, но не всегда морфологически связанных между собой малых структурных форм рельефа, размеры которых на 3–4 порядка меньше самих образов КГС. Последние отображаются в виде фототоновых (тонометрических) аномалий на дистанционных снимках, либо выявля-

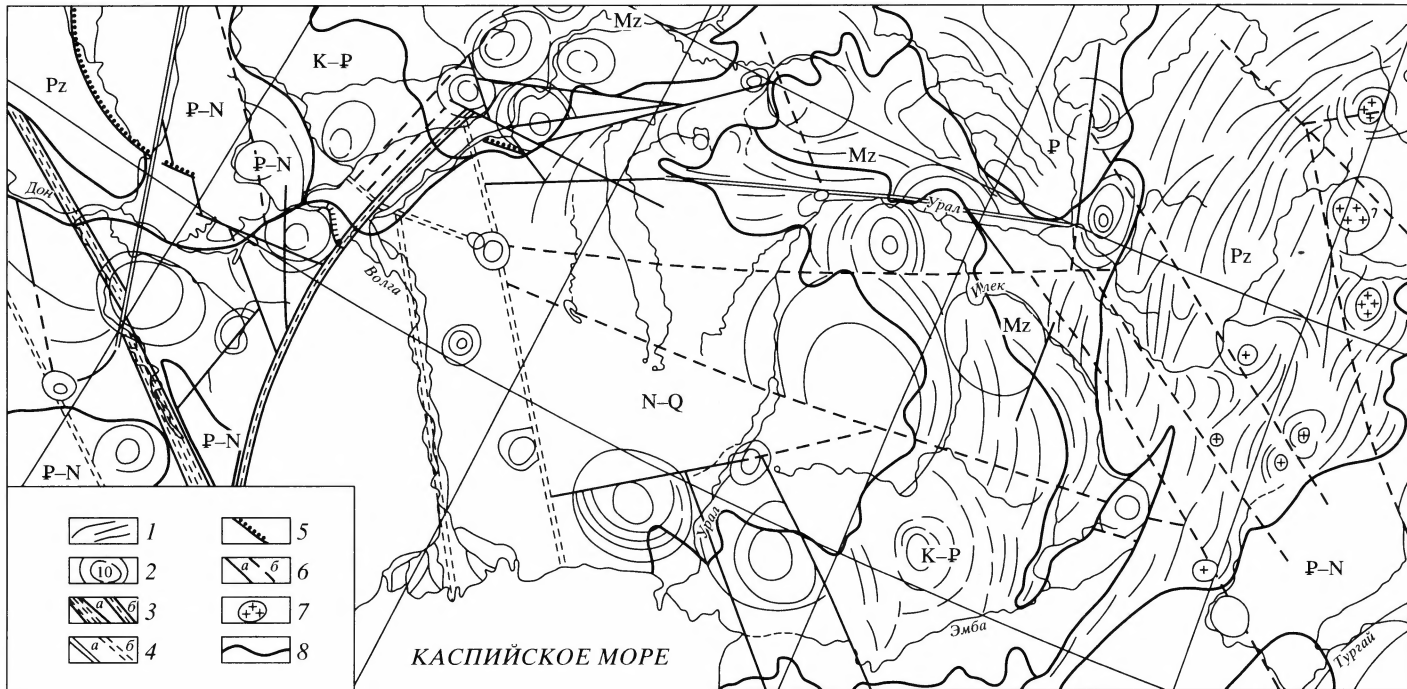


Рис. 2. Схема корреляции линементных полей и отдельных линементов с геолого-тектоническим строением Прикаспийской синеклизы

Произведено районирование структурно-формационных комплексов Прикаспийской синеклизы по линементным "портретам".

1 - линементы и вариастраты, связанные с элементами залегания осадочных формаций платформенного чехла; *линементное отображение*: 2 - брахиформных структур, 3 - глубинных разломов (а - с криптоморфным, б - с морфоструктурным выражением); *линементы, выделенные*: 4 - по полосовидным оптическим аномалиям (а - непрерывным, б - прерывистым), 5 - по морфометрическим характеристикам топографической поверхности оптического и гравиметрического полей, б - по тоновым линиям (а - непрерывным, б - прерывистым); 7 - линементные группировки, связанные с выходами гранитоидов; 8 - границы геологических комплексов (по обзорным картам [6])

ются методами морфометрического построения [2]. Но главным их индикационным признаком является совокупность малых форм рельефа, плотность взаиморазмещения которых формирует специфический фотоэффект в виде тоновых линий, зон, текстур изображения.

В книге “Структурная геоморфология равнинных стран” Ю.А. Мещеряков, давая определение понятию “морфоструктура” как “геологическая структура, выраженная в рельефе Земли”, замечает, что им могут быть противопоставлены “криптоструктуры ..., погребенные в недрах Земли или полностью сглаженные денудацией, не выраженные на поверхности структурные формы” [9, с. 17]. По сути дела, если под “крипто” иметь в виду латинское “скрытое”, то автор под этим термином и подразумевает невыраженную в рельефе структурную форму земной коры. Но геоморфологический анализ тонометрических характеристик подобных образований показал наличие, хоть и отдаленной, но все же существенной их связи с современным рельефом. Данную идею Ю.А. Мещеряков не смог развить геоморфологически, в виду малого количества фактического материала, так как его заметки были сделаны еще до внедрения в практику наук о Земле космических изображений. А без космической регистрации генерализованных ландшафтных индикаторов он не мог проследить механизм связи таких образований с рельефом.

В процессе массового внедрения в научную практику космических изображений начали выделяться тонометрические аномалии разной геометрии и очертаний, не находящие подтверждения ни в рельефе, ни в геологосъемочных документах. В то же время, они находили отображение, например, в виде аномалий геофизических полей, подтверждая, таким образом, *реальность самого факта своего существования*. При сравнении таких объектов с моделями рельефа в более крупном масштабе, удалось установить, что их образуют малые формы рельефа: спрямленные или закругленные участки рек, склонов, водоразделов, цепочек седловин, озер, карстовых и термокарстовых воронок, гряд, малых куполов и др. В силу разных причин, данные совокупности нередко продолжали отождествляться с морфоструктурами лишь на том основании, что они выделяются на снимках или в процессе морфометрических построений, но эта проблема так и не нашла у теоретиков геоморфологической науки дальнейшего развития.

### **Определение основных терминов и понятий**

Для того, чтобы разобраться в этом более обстоятельно, необходимо определить смысловое значение основных понятий, используемых в данной работе: таких как “дистанционные методы”, “линеамент”, “центроzonальные структуры”, “тонометрические аномалии”, а также объем содержания понятия “морфотектоника” и производных терминов, семантика которых до сих пор не стала аксиоматичной.

Занимаясь в течение тридцати лет методическими вопросами дистанционных исследований в рамках академических межведомственных тематик и заданий Министерства геологии и природных ресурсов, автор столкнулся с массой семантических неопределенностей в терминологии, поэтому считает вполне уместным уточнить ряд терминов.

*Дистанционные методы* исследований включают распознавание на аэрокосмических изображениях *объекта* (оптические тонометрические аномалии) и *предмета* (криптоморфные геоморфологические структуры) геолого-геоморфологических исследований, а также, тождественных им по информационной базе образов, реконструируемых морфометрическими методами обработки по модели рельефа и другим поверхностям топографического ряда (магнитометрическому, гравиметрическому, оптическому и др.) в изолинейном отображении.

**Линеамент, линеаментные зоны, линеаментные системы.** Под термином “линеамент” (*Lineamentum* – линия, черта) первоначально понимали “линейные или дуговые структурные элементы планетарного значения, связанные в начальном этапе с разло-

мами, а иногда и с глубинными разломами (по У. Хоббсу, 1904)" [10]. Позже под этим термином стали понимать только спрямленные ориентированные линеаменты и их системы [11]. В терминологическом словаре [12] дается 16 значений и множество синонимов этого термина как геоморфологически выраженной прямой линии. С появлением космических снимков линеаменты стали выделяться повсеместно. Начали различать линеаменты по иерархическому признаку: *трансконтинентальные, трансрегиональные, региональные и локальные*. Появились понятия *шаг линеаментов* или закономерно повторяющееся расстояние между ними, *веер линеаментов* (несколько линеаментов, исходящих из одной точки), *линеаментная зона* (пучок сближенных параллельных или разнонаправленных, но линейно сгруппированных линеаментов разных размеров), *линеаментное поле или линеаментная текстура* (площадное распространение малых и среднеразмерных линеаментов *разной геометрии* по своим внутренним закономерностям взаиморасположения отличающихся от соседних мест) [11]. В.Е. Хаин сформулировал даже целое направление в геотектонике – линеаментная тектоника [13]. Но точных критериев размерности в их иерархии, геометрической и геоморфологической определенности так и не было сформулировано. В настоящее время, на наш взгляд, под линеаментами следует понимать не только тектонические уступы и эскарпы, зоны интенсивных новейших деформаций, но и линейные фотоаномалии, связанные с диаклазами (безамплитудными разломами), их системами разной геометрии, выделенными геоморфологическими, морфометрическими или дистанционными методами, адекватно отображающими тектонические дислокации. Они могут быть как согласными с морфоструктурным планом (тектонические уступы), так и несогласными – как результат проявления на земной поверхности тектонических напряжений различных горизонтов расслоенной литосферы [8]. Все эти неоднородности являются и/или отображаются геоморфологическими индикаторами.

Не все ориентированные линеаменты *прямо* связаны с морфологией рельефа как трехмерной поверхности. Одна их часть несомненно отражает тектоническую природу: новейшие разломы, выраженные в виде нормальных сбросов (прямые линии), взбросов (пологие дуги), надвигов (дуги, чешуйчато-эшелонированные зоны) и др. Вторая группа связана с шарнирами складок, интрузивно-дайковыми поясами и сквозными зонами разломов и трещин, с осями водораздельных пространств и депрессий, фиксирующих новейшие поднятия и опускания, уступов моноклиналей и др. Третья – с вариациями (линиями эрозионных уступов, фиксирующих кровли и подошвы бронирующих пластов). Все эти случаи описаны в специальной и методической литературе [11]. Но есть группа линеаментов (и она достаточно велика), которые проявляются за счет разорванных пространственно, не объединенных морфологически и морфоструктурно, различных по морфологии малых форм рельефа, отражающих как отпрепарированные мертвые (закрытые, выполненные минеральным веществом), так и геодинамически активные разломы (сейсмодислокации, кляммы, цепочки грязевых вулканов, источников, шлаковых конусов, интрузивных массивов – следы горячих точек). Большую группу индикаторов такого типа составляют диаклазы, или безамплитудные разломы разной геометрии. Они проявляются в виде трещин расширения, открытых разломов, фиксированных выходами грунтовых вод, газовыми эманациями и др. [1]. Это могут быть как геодинамически активные разломы, так и те, которые составляют сетки Хартмана, природа которых неясна, но энергетическая активность и патогенная роль очевидны [14]. Всех их объединяет одно свойство – способность формировать образы линеаментных неоднородностей диакластического типа. Чаще всего они не имеют ничего общего ни с морфологическими, ни с морфоструктурными комплексами, и даже наоборот – образуют с ними фантомные несогласные соотношения. Так, Ю.Г. Сафонов отмечал, что дешифрирование космических снимков привело к открытию скрытых разломов, представленных зонами рассредоточенных трещин и разрывных нарушений различных порядков. Они образуют зоны свободной проницаемости в мантию и осуществляют контроль над размещением рудных узлов, полей и месторождений [11]. Выражены они в виде зонально организованных микро- и мезоформ релье-

ефа: спрямленные участки рек, седловин, микроуступы на склонах, рытвины, цепочки озер, термокарстовых воронок, микрониз, связанных с ключами, мерцающие разломы [1] и др. М.А. Фаворская и И.Н. Томсон протяженные, секущие морфоструктурный план линеаменты считали индикаторами сквозных рудоконцентрирующих разрывных структур, так как они сами и узлы их пересечений контролируют размещение различных типов рудных узлов и полей [11]. Геоморфологически это те же самые малые формы рельефа, что имел в виду и Ю.Г. Сафонов. Ярким примером геоморфологического криптоморфизма является описанное Д.А. Тимофеевым в личном письме ко мне выражение разлома Эхийн-Гол в пустыне Гоби: “Сам оазис возник потому, что там имеются выходы грунтовых вод по молодому разлому, частично выраженному в рельефе в виде уступа. Изучая аэроснимки, я обнаружил, что разлом пересекает поперек русло крупного сайра – черная линия на светлом фоне русла. При увеличении эта линия распалась на точки, а точки (при изучении на местности) оказались кустами тамарикса. Каждая точка – высокий и пышный куст. Сливаясь (генерализуясь) на снимке, точки дают линию разлома.... Таким образом, “образ” на снимке имеет свою причину, действие которой выразилось в лучших условиях для роста тамарикса” вдоль частично выраженного в виде малых структурных форм разлома. В серии наших работ [1] и во множестве других даются многочисленные описания криптоморфного выражения в современном рельефе образов тектонических структур.

Термины *центроzonальные (геоморфологические) структуры*, кольцевые, концентрические, структуры или морфоструктуры центрального типа и другие родственные им по семантической сути, являются синонимами. При обстоятельном изучении карт, где главной единицей картографирования являются структуры центрального типа (СЦТ), или центроzonальные (наш термин), выделенные на основе морфометрического анализа или в результате дешифрирования дистанционных снимков местности, выяснилось, что далеко не все они одинаково выражены в рельефе [11]. Лишь некоторые из них представлены поднятиями или кальдерами, окруженными кольцевыми хребтами (Кондёр на Алданском щите, Кент в Казахстане), являются купольно-кольцевыми образованиями (Аскаран, Тунгатар, Шалтас, Улькен-Каракуус, Жамсы, Байназар, Кызылтас в Казахстане) или выражены иным комплексом форм. Подавляющее большинство линеаментов кольцевой, дуговой, эллипсоидальной и иной геометрии – это диаклазы, отчетливо прослеживающиеся по цепочками озер, спрямленным участкам речных долин, фасетам, седловинам, гривам, грядам, рвам, термокарстовым воронкам, источникам и другим элементам ландшафтной среды, формирующим фотоаномальное изображение на снимках или экранах мониторов при генерализации.

Лучшим аналитическим материалом для анализа подобных структур являются карты, выполненные В.В. Соловьевым и В.М. Рыжковой [6]. Безусловно понимая все то, что было нами высказано раньше, В.В. Соловьев чаще всего прибегал к термину “структуры центрального типа... по данным геолого-морфологического анализа” [2], давая понять, таким образом, что это в первую очередь геологические образования, а не геоморфологические. Однако, четкого разграничения между морфоструктурами и диаклазами не делал. Это обстоятельство отразилось и в его стилизованных классификационных рисунках – реконструкциях картографируемых единиц, на которых он подчеркивал их принадлежность именно к морфоструктурному ряду [2], хотя большинство из них к таковым не относились. Более того, он не поощрял это разграничение и в чужих работах, имея большой авторитет в геологической среде и средства для внедрения своих идей в геологическую практику. Он распространил название “морфоструктура центрального типа” (МЦТ) на все без исключения типы центроzonальных образований, впрочем, такое же содержание термина МЦТ дает и терминологический словарь [12].

В результате интенсивного внедрения в геологическую практику космической съемки и большой потребности геологической отрасли знаний в подобных исследованиях, возник дефицит квалифицированных дешифровщиков и картографов, способных полученную информацию отобразить на геологических картах. Стали расти как

грибы после дождя “схемы дешифрирования”, информацию которых геологи не могли использовать на практике. Большинство геологов любые изометричные фотоизображения стали называть “морфоструктурами”, и этот процесс стал неуправляемым. В результате на схемах и картах подобные “морфоструктуры” образовывали между собой самые причудливые сочетания, включая и взаимопересечения, чего с морфоструктурами быть не должно по определению. Но сам В.В. Соловьев, обладая высокой геолого-картографической культурой, не позволял себе осуществлять картографирование выделяемых им образований со взаимопересечениями. Тем не менее, вся специальная литература, как открытая, так и фондовая, посвященная центрозоновым оптико-ландшафтным аномалиям, не делает и сейчас различий между собственно морфоструктурами и квазидвумерными образами, представленными диаклазами и соответствующими им в ландшафте криптоморфными геоморфологическими образованиями [3]. Такое вульгарное отношение к понятию “морфоструктура” нанесло непоправимый ущерб, как геоморфологической науке, так и геологической практике. Понятие “морфоструктура” постепенно утратило свое конкретное значение, с этим термином стала ассоциироваться любая геологическая структура, вне зависимости от степени ее проявленности в рельефе.

**Тонометрические аномалии** – аномальные тоновые изображения на дистанционной основе, связанные с оптико-ландшафтными свойствами земной поверхности, адекватно отображающие геолого-структурные объекты литосферы на картах. Плотность тона можно передать количественно или изолинейно.

**Морфотектоника** представляет собой геоморфологическую форму организации новейшего тектонического пространства. Данное определение в лаконичной форме обобщает все определения, которые даны в терминологическом словаре [12] и те, которые входят в понятие “тектонический рельеф” [15]. На этом свойстве основана методика тектонического анализа рельефа, успешно применяемая для изучения новейшей геодинамики гор. Она включает решение прямой и обратной геоморфологических задач. Рельеф в пределах новейшей тектонической структуры отображает ее остаточную от размыва часть (прямая геоморфологическая задача), а тектонический рельеф является реконструируемым целым новейшей тектонической структуры по элементам остаточного рельефа (обратная геоморфологическая задача). Продукты размыва (как результат геоморфологического процесса экзодинамической деформации новейшей структуры) переносятся и переотлагаются в коллекторах за пределами зоны размыва. Гранулометрический состав образующихся слоев отражает характер данных процессов и явлений, а формы эрозионного рельефа им адекватно соответствуют. Каждому комплексу осадочных толщ соответствует свой геоморфологический латеральный ряд в вертикальном профиле выработанного рельефа, а морфодинамическому поясу – свой литологический комплекс. Все вместе они образуют согласованный геолого-геоморфологический комплекс современной геологической формации: в осадочном бассейне – геологической, а в эрозионном – геоморфологической.

Если обратиться к анализу морфотектонических построений Г.Ф. Уфимцева, признанного лидера в этой области знаний на сегодня, то мы увидим у него на картах мало *ориентированных* линеаментов и еще меньше центрозоновых линеаментных образований. И это происходит не потому, что он плохо работает. Скорей наоборот, это лишний раз подтверждает точность следования им выбранной методике структурно-геоморфологических построений. Дело в том, что метод моделирования морфотектонических структур основан на обработке трехмерной поверхности рельефа и не позволяет выделять объекты, не обладающие трехмерной геометрией в заданном масштабе [15], т.е. метод не предусматривает выделения квазидвумерных образований (КГС).

Таким образом, криптоморфные геоморфологические структуры практически не участвуют в процессе рельефообразования. Их результирующий эффект в общем цикле развития поверхности Земли составляет бесконечно малую величину, и поэтому не может быть зафиксирован в общем формационном ряду. Именно это обстоятель-

ство позволило считать процесс образования криптоморфных геоморфологических структур (КГС) наложенным на морфоструктурный или наоборот, что сути дела не меняет.

### **Природа криптоморфогенеза**

Возникновение криптоморфных геоморфологических образований можно характеризовать термином “криптоморфогенез”. Методика изучения этого процесса основывается на некоторых общих положениях: 1) тождественности понятий “форма” и “образ”; 2) утверждении того, что дистанционная информация в общем геолого-геофизическом ряду занимает промежуточное положение и, обладая свойствами каждого из них, является связующим информационным звеном между ними; 3) тонометрические аномалии отображаются на снимках через оптические характеристики ландшафта, системообразующим элементом которого являются формы и элементы форм рельефа, дисперсия и зональное размещение которых возможно связаны с диссипацией энергии глубинных процессов Земли.

Если принять за основу модель расслоенной литосферы А.В. Пейве [16], то КГС могут отображаться в ландшафтных структурах за счет стоячих внутренних гравитационных волн [17]. Эти волны имеют общую физическую природу с конвекцией и описываются с ней одним и тем же математическим языком. Динамика земной коры и мантии в геологическом масштабе времени подчиняется законам механики жидкостей и для ее описания удобно применять волновую модель. Поскольку границы разделов в геологической среде весьма условны, то для их параметрического описания можно принять длину волны или волновой вектор, при этом стирается грань между представлениями о структуре и волне. Какие бы ни были динамически неравновесные процессы, охватывающие Землю на всех масштабных уровнях, они порождают диссипативные структуры, выражением которых могут быть гексагональные образования. В жидко-пластичной среде, каковой является коромантийная смесь, они могут во внутренней части ячейки Бенарда преобразовываться в структурные формы центрозонональной геометрии, а на внешней – в линеаментные системы ортогональной и диагональной динамопар. С этих же позиций можно объяснить и радиально-лучистую структуру центрозонональных кольцевых систем. Если несколько усложнить гидродинамическую модель стоячих внутренних гравитационных волн, введя параметр кручения, то с этих же методологических позиций можно объяснить и вихревые структуры. Если представить, что действие такого механизма происходит в геологическом времени в мантии в жидко-пластичной среде, то одновременно в хрупкой среде верхней части коры должны преобладать глыбово-волновые перемещения с образованием морфоструктур, на поверхности которых могут в скрытой форме отобразиться следы глубинных *диссипативных* структур в виде криптоморфных геоморфологических образований.

### **Карта криптоморфных геоморфологических структур Северной Евразии**

Для иллюстрации результата применения данной методики была сделана карта структурных неоднородностей земной коры (КГС) Северной Евразии м-ба 1:15000000, выявленных по данным космических съемок, морфометрических реконструкций и аномальных геофизических полей в м-бах от 1:1000000 до 1:5000000 [18]. *Объектом* картографирования явились центрозонональные формы, отражающие разноглубинные тектонические и тектономагматические структуры размерностью 0–50 км (преимущественно 0.2–2 и 5–40 км), 50–100 км (преимущественно 60–90 км) и больше километров в диаметре. *Предметом* изучения были поля сгущения этих образований, при этом не предполагалось наличие прямой связи между размерностью структурных

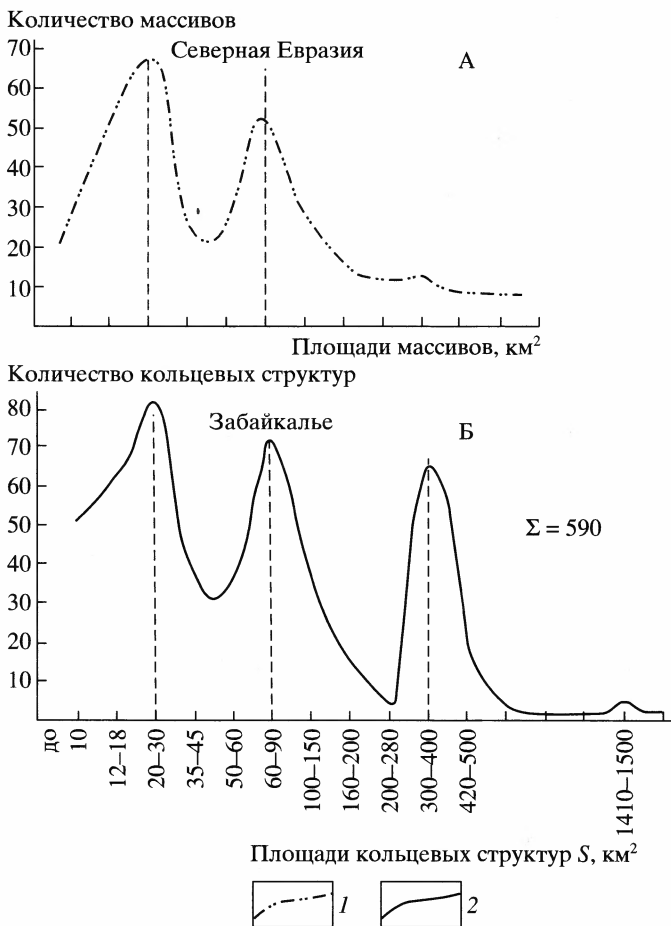


Рис. 3. Вариационные кривые распределения размерности орогенных гранитоидных массивов позднего мезозоя территории Северной Евразии (А) и центров зональных КГС Забайкалья (Б)

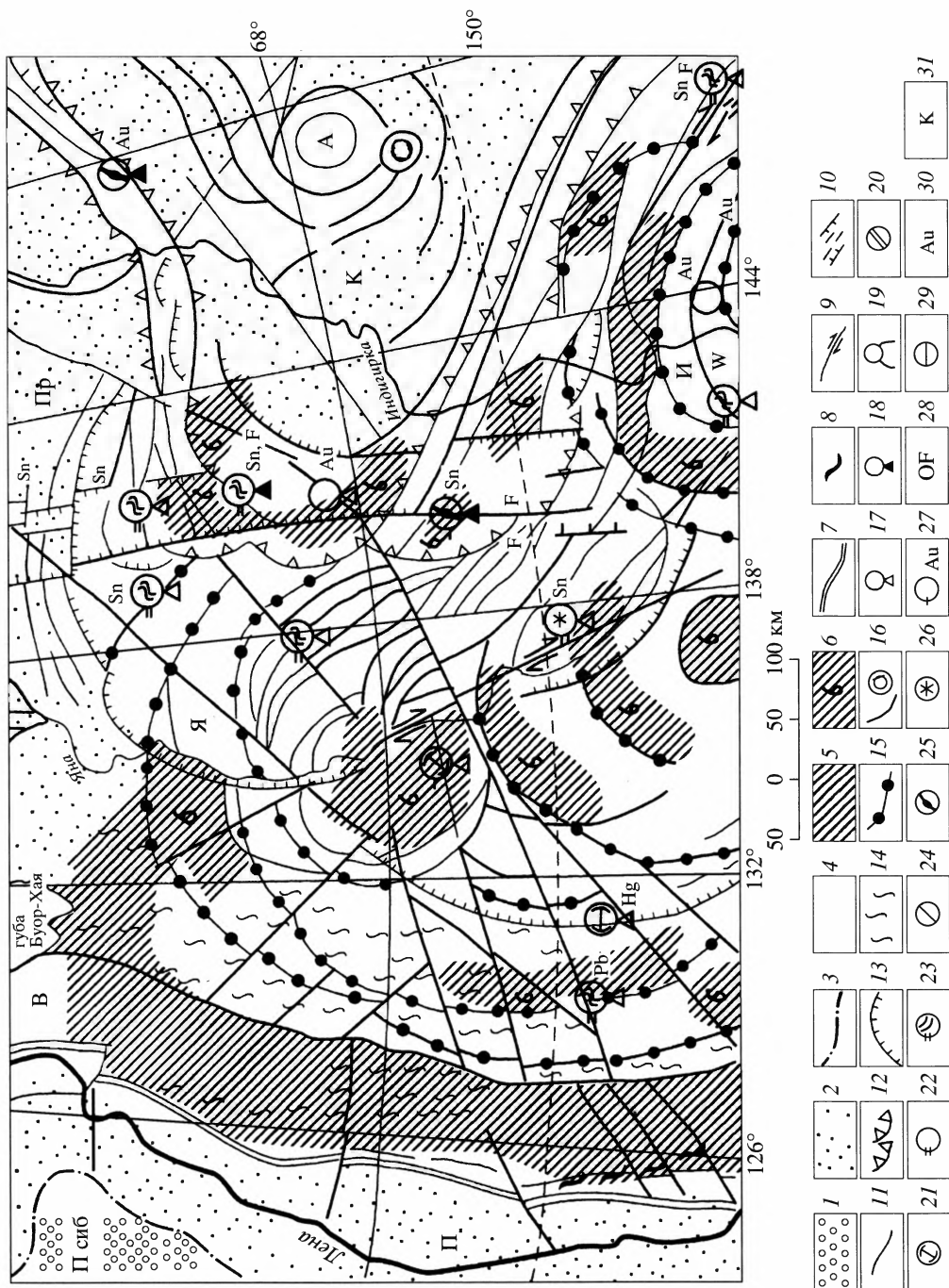
Кривые распределения размерности: 1 – гранитоидных массивов позднего мезозоя по данным геологических и геофизических карт (вся территория), 2 – центров зональных структур, выделенных по разномасштабным космическим и радиолокационным материалам, показывающие связь с орогенными гранитоидами Забайкалья

форм и их глубиной. Генезис определялся в зависимости от геодинамической позиции каждого класса объектов картографирования.

При анализе природы *малых и среднеразмерных кольцевых форм*, образующих сгущения и показанных на данной карте цветовой заливкой, было сделано допущение, что они могут быть связаны либо с магматическими телами (орогенные гранитоиды, траппы), либо с брахиформными тектоническими деформациями (плиты). Для орогенных и дейтероорогенных областей проводилось сопоставление центров зональных структур с площадями магматических тел методом статистических выборок. Пример такой выборки показан на рис. 3. Из рисунка следует, что наблюдается полная корреляция размерности площадей выходов на поверхность орогенных гранитоидов (независимо от их вещественного состава) с размерностью ареальных КГС над ними, что позволяет предположить не только пространственную, но и генетическую связь их между собой. Отсюда следует, что зоны сгущения центров КГС в пределах дейтероорогенных областей могут иметь магматическую природу. На основании этого можно предположить, что и все остальные центров зональные структуры такой же размернос-

ти, выделенные по снимкам и аномальным геофизическим полям в подобных структурно-геологических ситуациях могут также быть связаны с особенностями проявления магматизма, в поле развития которого они находятся. Последнее обстоятельство позволяет относиться к выявленному феномену как к потенциальным рудно-магматическим образованиям.

Первой группе центрональных структур самого малого диаметра соответствуют трубки взрыва [14]. Вторую представляют активизационные гранитоидные тела обла-



стей слабого горообразования и вулканические кальдеры полей базальтоидного магматизма сводовых поднятий сибиретипных платформенных гор. Третья группа связана с телами андезит-липаритового ряда островодужных комплексов и брахиформными образованиями плит нефтегазоносных бассейнов. Последние располагаются над аномалиями теплового поля, что свидетельствует об их косвенной связи с плюмтектоническими процессами в мантии. Четвертая группа не обеспечена в достаточной степени статистическими выборками. Это обстоятельство и размерность структурных форм от 125 до 600 км (и больше) определило индивидуальный подход к каждой из них. Исследования проводились нами на базе корреляционного анализа изображений и аномальных геофизических полей, по оптико-статистическим параметрам, данным ГСЗ, характеру магматизма и металлогении. Более подробно эта проблема раскрыта в монографии и серии статей автора [1, 4, 19, 20].

Для того, чтобы объяснить процесс картографирования и интерпретации, необходимо сопоставить связь линеamentных оболочек с рудоносностью. Примером может служить Верхоянье. На рис. 4 отчетливо видно, как рудоносность контролируется линеamentами Янской, Индигирской, Верхнеколымской центрозоональных структур, а также Колымской микроплиты, обрамленной коллизионными дислокациями складчато-надвигового пояса позднего мезозоя. На рисунке косой штриховкой обозначены площади пояса центрозоональных структур среднего звена (60–90 км), той же штриховкой с цифрой 6 – малые центрозоональные образования (2–40 км). По геофизическим данным (соотношению гравимагнитных характеристик), поле, закартированное штриховкой, соответствует скрытым в осадочных породах магматическим комплексам среднего состава позднего палеозоя. Разрозненные поля штриховки с цифрой 6 соответствуют верхнекоровым магматическим комплексам гранитоидного ряда. На схеме также отчетливо выделяется сквозная зона Верхояно-Марианского трансконтинентального линеamenta, контролирующая гранодиоритовые оловоносные интрузии Верхоянья, как известные, так и еще не выведенные на дневную поверхность.

### Структурное моделирование земной коры на базе КГС

Для изучения информации, которая отобразилась на карте в виде сложных линеamentных систем большой размерности, не обеспеченной статистическими выборками,

*Рис. 4. Фрагмент карты криптоморфных геоморфологических структур Севернйй Евразии на территории Верхоянья, совмещенный с картой полезных ископаемых [6]*

*Участки платформенных равнин: 1 – приподнятых, 2 – опущенных; 3 – граница между ними; 4 – области обнаженного складчато-надвигового субстрата мезозойской складчатости Северо-Востока России, подвергающиеся денудации; площади компактного расположения центрозоональных структур с диаметром, км: 5 – 50–100, 6 – до 50 км (цифра 6 на штриховке); 7 – границы горного рельефа Верхоянья; 8 – взбросовые дислокации новейшего тектонического этапа; 9 – региональные сдвиги; 10 – зона ориентированного сквозного трансконтинентального рудоконцентрирующего Верхояно-Марианского разлома; 11 – прочие неориентированные линеamentы (диаклазы); 12 – взбросо-надвиговые дислокации позднего мезозоя и кайнозоя; 13 – преимущественно надвиговые образования веохнекорового заложения позднего кайнозоя; 14 – зоны смятия; 15 – внешние и внутренние контуры глубинных образований очагового типа; 16 – линеamentы разной, преимущественно кольцевой и дуговой геометрии, подчеркивающие тектонический каркас Янской и Алазейской вихревых структур; генетические типы полезных ископаемых: 17 – гидротермальные, 18 – контактово-метасоматические, 19 – россыпные, 20 – связанные с системами жил, 21 – минерализованные зоны дробления; рудовмещающие породы и тела: 22 – песчаники, конгломераты, известняки, 23 – доломиты, 24 – пластовые тела, 25 – линзы, четки, чечевицы, 26 – штокверки, 27 – перспективные рудопоявления; тип оруденения: 28 – смешанный, 29 – связанный с разрывными нарушениями; 30 – названия типов оруденения; 31 – блоки разного ранга: П сиб. – Сибирская платформа, П – предверхоянский прогиб, В – Верхоянский перикратонный прогиб – складчатые горы, Я – Янская центрозоональная вихревая структура мезо-кайнозойского возраста, И – Индигирская вихревая центрозоональная структура того же возраста, Пр – Приморская аккумулятивная равнина, К – Колымский микроконтинент мезозойского возраста, А – Алазейская вихревая центрозоональная структура (типа горячей точки)*

была разработана специальная методика изучения их природы. Она опирается на предположение, что все выделяемые неоднородности являются результатом геодинамики Земли [14]. Методика основывалась на корреляции данных картографического, пространственного и математического анализа структуры магнитного поля Земли, полученного спутниками POGO и MAGSAT с высоты 400–500 км, с линеаментными и тонометрическими моделями. Гравиметрические и геотермические характеристики этих аномалий пересчитывались с целью получения равенства радиусов их телесных углов и радиусов наблюдаемых магнитных аномалий и соответствующих им центрозо-нальных космических образов. Преследовалась цель получения количественных характеристик глубины залегания поверхности тела неоднородности земной коры, формирующего тонометрическую и соответствующую ей геомагнитную аномалию. Пример картографического сопоставления геоморфологических и геомагнитных космических данных с другими характеристиками литосферы показан на рис. 4, но более подробно методика освещалась раньше [1, 4].

Методика моделирования строилась на принципах *совместимости* дистанционной и геолого-геофизической информации и *целесообразности* использования аналоговых или цифровых методов обработки [1]. Научно обосновывались параметры оптимально достаточного набора изображений с учетом единства ландшафтных и структурно-геологических свойств земной поверхности. При цифровой обработке использовались следующие методы: 1) анализ градиентов яркости в изолинейном виде (дифференциальный анализ) и в виде характерных текстур преобразованного изображения, соответствующих определенным структурно-формационным комплексам; 2) статистические методы обработки цифровых моделей рельефа, частотно-пространственный и дисперсный анализ изображений с целью получения данных об особенностях тектонического строения разноглубинных срезов земной коры и блоковых ограничений; 3) спектральный анализ изображения с целью получения информации о мощностях рыхлых отложений, а также методы индикации дискретных тел в земной коре. В качестве аналоговых использовались методы структурного дешифрирования, морфометрический анализ рельефа и поверхности топографического ряда (карт магнитного, гравитационного, теплового полей). Производился совмещение в интерактивном режиме полученных результатов с данными структуры линеаментного поля, обработанного как дистанционного изображения. Методика интерпретации данных (полученных с помощью корреляционного анализа) производилась на базе моделирования и производилась следующим образом. Было построено 4 класса моделей разноглубинных тектонических структурных форм, связанных: 1) с релативными системами ориентированных линеаментов, 2) с центрозо-нальными кольцевыми и 3) вихревыми структурными формами разной размерности, а также 4) с шарьяже-надвиговыми. В рамках данной работы рассматриваются только вторая и третья группы, так как остальные были рассмотрены раньше [18, 19].

Классы кольцевых и вихревых центрозо-нальных структур над восходящими конвекционными потоками представлены тремя типами: 1) лунных морей [20], 2) нуклеаров, 3) койлогенов, а над нисходящим потоком вещества – одним.

Структуры типа *лунных морей* выделялись методами сложных реконструкций изображения по структурно-тектоническим схемам, выполненным Р.З. Левковским [20] по 11 временным срезам докембрия и раннего палеозоя. Они характеризуют фундамент Восточно-Европейской платформы и образовывались в раннем протерозое. На ранних стадиях возникновения сиалической коры в архее сформировалось несколько мегаблоков, разделенных подвижными (зеленокаменными) поясами (межами) [5]. В раннем протерозое в результате вихревых конвекционных плюмтектонических процессов в мантии эти блоки приобрели вращение с образованием крупнейших поликонцентрических мегаструктур фундамента Восточно-Европейской платформы, которые были охарактеризованы в более ранних работах [19, 21].

Структуры *нуклеарного* типа сформировались в разное время путем наращивания вокруг древних докембрийских сиалических ядер складчатых или магматических поясов. При этом первоначально угловатый неправильной формы центр консолидации

мог превратиться в идеальную центроzonальную структуру (Чешский и Омолонский палеозойские, Агинский позднемезозойский нуклеары). Они характеризуются повышенными мощностями земной коры и образуют ядра микроконтинентов. Примерами этого являются Анабарский, Алданский, Колымский микроконтиненты и др. Отдельно хотелось сказать о Тибетском нуклеаре как структуре, вызывающей много взаимноисключающих толков. Наличие круговой системы горных поясов эллипсоидальной формы, мощнейшего минимума поля силы тяжести и аномальной высоты цокольной поверхности плато, свидетельствующего о наличии сиалического монолитного легкого “всплывающего” ядра, “холодная” мантия под ним, двойная мощность земной коры – являются надежными свидетельствами в пользу альпийской нуклеарной геодинамики. А если представить перекрестное падение сейсмофокальных зон в местах сочленения с соседними мегаструктурами, то данная модель окажется предпочтительнее всех иных.

*Койлогенные образования* представляют собой активизированные осадочные чехлы плит [7]. Они обладают следующими свойствами: 1) вихревой или кольцевой геометрией линеamentного поля с наложенной на нее радиально-лучистой структурой или без нее; 2) конформным уменьшением к центру мощности земной коры, наличием кольцевых уступов поверхности Мохоровичича, сопровождающихся геотермическими аномалиями; 3) увеличением к центру значений поля силы тяжести, глубоким минимумом аномального магнитного поля кольцевой формы (измеренного из космоса); 4) также увеличением к центру мощности платформенного чехла; 5) приуроченностью нефтегазоносных залежей к системе радиальных глубинных разломов и к узлам их пересечения с концентрическими зонами повышенной проницаемости; 6) приуроченностью к последним вихревым или кольцевым гирлянд брахиформных нефтегазоносных структур. Аналогами такого типа криптоморфных структур являются Карская, Обская, Прикаспийская, Южно-Каспийская, Амазонская, Конго и др.

Тектонотип некоторых *вихревых* тектоно-магматических структурных форм обладает свойствами вращательно-нисходящих энергетических потоков. Индикатор такого процесса – вихревое распределение магматических массивов с кальдерой поглощения в геометрическом центре. Морфологически картина напоминает галактическую структуру “черной дыры” или “глаза циклона”. Такие структуры обладают следующими свойствами: 1) нейтральным или слабоотрицательным значением аномального гравитационного поля, 2) глубоким минимумом магнитного поля, 3) слаболожительно значимыми значениями теплового поля, 4) полizonальными складчато-надвиговыми структурами со сдвиговой компонентой, 5) центростремительной рудной зональностью. Аналогами таких образований являются Яно-Колымская система центроzonальных структур и Брахмапутринская вихревая складчатая структура. Первая образовалась в процессе сжимающих напряжений с севера (при раскрытии рифта в Северном Ледовитом океане), с востока и юго-востока – при расширении дна Охотского моря и масштабных лево-сдвиговых дислокаций в районе южного структурного угла Верхояно-Сеттедабанской горно-складчатой системы. Брахмапутринская вихревая структура образовалась в коллизииной зоне тройственного сочленения: Индийской плиты, Тибетского консолидированного сиалического ядра и Южно-китайской сложно построенной мега-центроzonальной структуры нуклеарного типа.

### **Основные выводы и рекомендации**

1. Криptomорфогенез является вновь описанным рельефообразующим процессом и новым научным направлением в геоморфологии, требующим всестороннего внимания к его изучению в рамках морфотектонического учения. Он проявляется в виде криптоморфных геоморфологических структур, решение проблемы генезиса которых находится на стыке различных наук и научных дисциплин: морфотектоники, геодинамики, металлогении, математики и космонавтики.

2. Морфотектонические структуры не исчерпываются только явным трехмерным соответствием рельефа новейшему тектоническому плану. Они образуют дискретный ряд изменений от конформного (морфоструктурного) к дисконформному (криптоморфному) геоморфологическому выражению.

3. Криптоморфные геоморфологические структуры являются индикаторами скрытых дисконформных новейших тектонических деформаций – маргинальным звеном единого дискретного ряда форм тектонического рельефа.

4. Выявленные на снимках из космоса и реконструирующиеся морфометрическими методами, они являются новым классом новейших тектонических структур, относимых к морфотектоническому ряду. Их образование может быть объяснено диссипативной моделью геодинамического развития Земли.

5. Образы КГС и их линеаментный каркас представляют фактическую базу для создания аналитических моделей глубинного строения литосферы, которые могут быть использованы при минерагеническом прогнозе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лопатин Д.В.* Геоморфологическая индикация глубинного геологического строения по данным орбитальных наблюдений на примерах Верхоянья и Юга Дальнего Востока // Геоморфология. 2000. № 3. С. 79–87.
2. *Соловьев В.В.* Структуры центрального типа территории СССР по данным геолого-морфологического анализа. Л.: ВСЕГЕИ, 1978. 110 с.
3. *Соловьев В.В., Худяков Г.И.* Морфотектонические системы центрального типа Сибири и Дальнего Востока. Владивосток: Наука. ДВО, 1980. 186 с.
4. Корреляция геофизических полей. М: Наука, 1991. 254 с.
5. *Лопатин Д.В.* Анализ структур фундамента Восточно-Европейской платформы дистанционными методами // Исслед. Земли из космоса. 1981. № 6. С. 35–41.
6. Геологический атлас России. СПб.: ВСЕГЕИ, 1995–1996.
7. Глубинное строение и геодинамика литосферы. Л.: Недра, 1983. 276 с.
8. *Макаров В.И., Скобелев С.Ф., Трифонов В.Г. и др.* Глубинная структура земной коры на космических изображениях / Исслед. природн. среды космич. средствами. Геология и Геоморфология. 1974. Т. 2. С. 9–42.
9. *Мещеряков Ю.А.* Структурная геоморфология равнинных стран. М.: Наука, 1965. 390 с.
10. Геологический словарь. М.: Недра, 1978. Т. I. 398 с.
11. Космическая информация в геологии / А.В. Пейве. М.: Наука, 1983. 534 с.
12. *Уфимцев Г.Ф., Онухов Ф.С., Тимофеев Д.А.* Терминология структурной геоморфологии и неотектоники. М: Наука, 1979. 255 с.
13. *Кац Я.Г.* Линеаментная тектоника. М.: Изд-во МГУ, 1979. 120 с.
14. Нетрадиционные методы поисков месторождений полезных ископаемых. СПб.: Изд. ГНЦ “Севзапгеология”, 2000. С. 64–66.
15. *Уфимцев Г.Ф.* Тектонический анализ рельефа на примере Востока СССР. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. 183 с.
16. Тектоническая расчлененность литосферы / А.В. Пейве. М.: Наука, 1980. 216 с.
17. *Петров О.В., Мовчан И.Б.* Диссипативные структуры земной коры и мантии как отражение волновых процессов // Регион. геология и металлогения. 2003. № 17. С. 53–65.
18. *Лопатин Д.В.* Карта рудоносных структур СССР м-ба 1:5000000 по данным дистанционных съемок / Принципы и методика дист. исслед. при прогнозир. и поисках твердых полезных ископаемых. СПб.: ВСЕГЕИ, 1992. С. 22–27.
19. *Лопатин Д.В.* Линеаментная тектоника и месторождения-гиганты Северной Евразии // Исслед. Земли из космоса. 2002. № 2. С. 77–91.
20. *Левковский Р.З.* Рапакиви. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1975. 256 с.
21. *Лопатин Д.В.* Модели рудоносных структур Северной Евразии по данным орбитальной и морфометрической информации / Моделирование вулканогенно-осадочных рудообразующих систем. 1999. С. 108–111.

The concept "cryptomorphic geomorphologic structures" is explained. Their marginal position in the discreet morphotectonic sequence is determined as well as their origin due to dissipation of deep mantle energy and the possibility of their coexistence together with morphostructures within mutual geomorphologic space. Some examples of cryptomorphic lithospheric structures are given; their dynamics and the use of the information about them in practical purposes are discussed.

УДК 551.4.432:551.585.53 (100)

© 2006 г. Г.Ф. УФИМЦЕВ

## АРИДНЫЕ ГОРЫ<sup>1</sup>

На карте, подготовленной для ООН и опубликованной в августовском номере "Курьера ЮНЕСКО" за 1977 год, видно, что элементы аридности в климатах Земли охватывают большую часть поверхности суши, не исключая и высоких широт, где выделяются арктические пустыни. На Ленском бечевнике у пос. Жиганска на линии Северного Полярного круга можно наблюдать многочисленные и хорошо выработанные ветрогранники [1]. Аридность на суше повсеместна и всепроникающа и соответствующие ей морфогенетические процессы проявляются везде, где почвенно-растительный слой или отсутствует, или разомкнут.

Аридность и ее влияние на морфогенез проявляются различно. В чистом (экстрааридном) виде она присутствует в пустынях Северной Африки, где годовая сумма атмосферных осадков подчас не превышает 10 мм/год [2]. В других случаях можно говорить о "пятнистой" аридности, особенно в горных областях Внутренней Азии, где ледники поставляют значительное количество воды в долины, и аридные морфологические ландшафты проявлены в днищах впадин и в предгорных грядках (адырах) с характерной дробной расчлененностью их склонов промоинами. Временная или сезонная аридность охватывает во время сухого сезона громадные пространства областей с муссонным климатом. Наконец, аридность может возникать циклически: в экстрааридной горной Восточной пустыне Египта наблюдаются сложные древовидные системы долин, сформированные в условиях влажного климата.

В чистом виде аридные горы распространены в пустынных поясах низких широт и по большей части в тектоническом отношении являются платформенными образованиями. Это, в первую очередь, изометричные нагорья Сахарской Африки – Ахаггар, Тибести, Дарфур и Тассилин-Аджер, имеющие сводовую природу [3]. Другого рода аридные нагорья представляют собой гигантские наклонные глыбы – плечи-противоподнятия межматерикового Красноморского рифта и Аденского залива. Такого рода горы могут быть полными (двускатными) и уступными.

Аридные горы обладают одной существенной морфологической особенностью: им обычно свойственен останцовый (руинный) облик, что в основном обеспечивается тем, что морфогенез здесь осуществляется с преобладанием выработки форм рельефа непосредственно в скальных породах, при полном или практически полном отсутствии почвенно-растительной защитной покрывки. Морфологические ландшафты Ахаггара в Алжире и Долины Монументов в Аризоне – наглядные примеры этой ситуации (рис. 1). Во многом это вызвано и тем, что в большинстве это платформенные образования.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 05-05-64173).