

УДК 551.45

Б. Н. МОЖАЕВ

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ, ИХ ВЫЯВЛЕНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Предлагается методика определения «геоморфологического фона» и «геоморфологических аномалий» для дифференциации земной поверхности по количественным показателям того или иного качества рельефа. Обосновывается значение метода выявления геоморфологических аномалий для поисков локальных (новейших и современных) структур, что имеет важное значение при газо- и нефтепоисковых работах.

Определение понятия «геоморфологическая аномалия»

При детальной дифференциации территории, например при крупномасштабных структурно-геоморфологических исследованиях, необходимы количественные характеристики рельефа. В связи с этим по определенному показателю рельефа (крутизна склонов, глубина вреза речных долин, деформации террас, общая расчлененность рельефа и т. д.), выделяются участки, которые отличаются большими или меньшими значениями этого показателя. Значение рассматриваемого показателя рельефа на обширной территории и в пределах какого-то ограниченного участка может быть передано в понятиях «фон» и «аномалия», подобно тому как это принято в геофизике. Геоморфологические условия, типичные для какой-либо территории, или некоторый ряд наиболее вероятных значений того или иного показателя рельефа можно рассматривать в качестве фона. Морфологические, генетические или возрастные особенности современного рельефа и рельефообразующих процессов локального участка, отличающие этот участок от окружающего фона, следует считать геоморфологической аномалией. Понятия «геоморфологическая аномалия» и «фон» служат для дифференциации территории по количеству проявления того или иного качества рельефа.

Чтобы быть правильно понятым, приведу следующие примеры геоморфологических аномалий. Вулканы в области альпийского горообразования либо группируются, образуя вулканические плато (Армянское нагорье), либо располагаются поодиночке. Отдельный вулкан на вулканическом плато — это составная часть фона. Но вулкан, расположенный обособленно среди линейно-ориентированных складчатых горных хребтов — геоморфологическая аномалия.

Другой пример. В области материкового оледенения северо-западной части Русской равнины такие формы водоно-ледникового рельефа, как камы, образуют иногда обширные массивы типа Колтушских или Шапкинских камов под Ленинградом. Отдельный кам в пределах такого массива не может быть признан аномальным явлением. Но возвышающийся среди озерно-ледниковой низины одинокий кам, удаленный и изолированный от других аналогичных образований, представляет геоморфологическую аномалию. В свою очередь в пределах вулканического плато или камового массива тоже могут быть геоморфологические аномалии. Формой их выражения будут различия в морфологии и морфометрии отдельных вулканов или камов.

Понятия «геоморфологическая аномалия» и «фон» несут некоторый элемент условности, так как формы выражения геоморфологических аномалий для определенных структурных и физико-географических условий не аномальны, а закономерны, причинно обусловлены структурами земной коры и физико-географической обстановкой. Так, в вышеприведенных примерах вулканизм — явление, характерное для области альпийского горообразования, а возникновение водно-ледниковых форм, в том числе и камов, — процесс, повсеместно отмечающийся в областях материкового оледенения.

По происхождению геоморфологические аномалии можно разделить на эндогенные, экзогенные и смешанного генезиса. Подавляющее большинство их возникло в результате совокупной деятельности экзогенных и эндогенных процессов.

По мере познания сложных связей между отдельными компонентами ландшафта, некоторые геоморфологические аномалии казалось бы «чисто экзогенные» по своему происхождению, оказываются причинно связанными с внутренним строением и развитием земной коры. Например, появление барханов в Низменных Каракумах среди заросших грядовых песков обусловлено не особенностями режима ветрового потока, как предполагалось раньше, а разеванием песков на сводах молодых рапущих поднятий (Мирошниченко, 1954).

По-видимому, среди геоморфологических аномалий следует различать аномалии различных таксономических категорий. Так, проявления в рельефе локальных развивающихся структур — это мелкие аномалии, развитие крупных структурных форм приводит к образованию более крупных аномалий. В качестве грандиозной геоморфологической аномалии (правда, иного генезиса) можно рассматривать рельеф области плейстоценового оледенения на Русской равнине, поскольку для развития рельефа равнинны вообще совсем не обязательно формирование ледниковых форм рельефа (тогда как наличие тектонически построенных, эрозионных и структурно-денудационных форм — обязательно). Геоморфологические аномалии разных порядков, но одного генезиса, либо лежат одна внутри другой, либо располагаются изолированно или соприкасаются. Большие по занимаемой площади геоморфологические аномалии могут служить фоном для геоморфологических аномалий более высокого порядка.

Положения о геоморфологических аномалиях и фоне разрабатываются нами в ходе структурно-геоморфологических исследований, связанных с поисками локальных структур. Поэтому ниже рассматриваются главным образом геоморфологические аномалии, обусловленные новейшими тектоническими движениями (т. е. по вышеприведенной классификации — эндогенные и смешанные).

Геоморфологические аномалии — составная часть изменения природных условий в целом, когда не только рельеф, но и другие компоненты ландшафта испытывают отклонения от фона. В условиях молодого рельефа с малой амплитудой тектонических движений заметная геоморфологическая аномалия может еще отсутствовать, а в почвенном покрове и в распределении растительности аномалии уже могут существовать. Так, в Прикаспийской низменности на участках новейших тектонических поднятий отмечаются рассоление почв и некоторое укрупнение их механического состава, обусловленные понижением уровня грунтовых вод и развитием процессов выщелачивания. Изменения почв вызывают изменения растительного покрова: формируются сообщества и комплексы сообществ, не свойственные окружающему ландшафту (Горянова и др., 1966).

Структурно-геоморфологические исследования в разных районах (Шульц, 1948; Мирошниченко, 1954; Мещеряков, 1965; Рождественский, 1960; и др.) приводят примеры различного проявления новейших струк-

турных форм в рельефе (или, что одно и то же,— геоморфологических аномалий): от едва заметных отклонений от фона, устанавливаемых только морфометрическими методами, до появления новых типов и форм рельефа.

В перечне природных условий, определяющих форму проявления геоморфологических аномалий эндогенного и смешанного происхождения, на первое место должна быть поставлена интенсивность новейших тектонических движений, а точнее — их градиент. Такой подход предложил С. С. Шульц при выделении современных геоструктурных областей (Шульц, 1958).

Решающее значение в образовании геоморфологической аномалии имеет возраст рельефа. В условиях длительно формирующегося рельефа новейшие структурные формы даже незначительной амплитуды так или иначе могут найти отражение. Напротив — молодой рельеф, особенно в платформенных условиях, при незначительных градиентах тектонических движений, не успевает испытывать заметных перестроек, вследствие чего геоморфологические аномалии могут отсутствовать. В качестве примера можно сослаться на Прикаспийскую низменность (возраст рельефа около 100 тыс. лет), а особенно — на север и северо-запад Русской равнины, где возраст рельефа исчисляется всего 10—12 тыс. лет и вследствие этого обнаружение погребенных поднятий методами структурно-геоморфологического анализа затруднено.

Правда, выраженность в рельефе таких эндогенных аномалий, как грязевые вулканы или тектонические уступы, с течением времени ухудшается. Это справедливо и для экзогенных геоморфологических аномалий: более древние хуже выражены в рельефе, что можно видеть на примере областей раннего оледенения на северо-западе Русской равнины.

Немалую роль в характере проявления геоморфологической аномалии играют и такие факторы, как климатические особенности местности, уровень залегания грунтовых вод и т. п. В каких-либо конкретных условиях один из них может оказаться решающим при формировании облика рельефа в пределах аномалии.

Геоморфологические аномалии — категории исторические. Они возникают как геоморфологическое выражение результата взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов на определенном этапе развития рельефа. В зависимости от интенсивности эндогенных процессов, возраста рельефа, характера деятельности экзогенных факторов геоморфологические аномалии могут даже исчезнуть совсем или на какое-то время. К примеру, на северо-западе Русской равнины в ходе длительного континентального развития, предшествующего плейстоцену, образовывались четкие геоморфологические аномалии над сводами развивающихся локальных структур. В результате ледниковой аккумуляции в плейстоцене-доледниковый рельеф был перекрыт на большой площади сплошным плащом молодых образований. Последние сровняли все неровности ложа ледника, образовали совершенно новый рельеф, который на последних этапах оледенения был счищован водами приледниковых озер. Повидимому, в раннем последниковые геоморфологические аномалии эндогенного и смешанного происхождения были очень редки. И лишь теперь, спустя 10—12 тыс. лет, тектонические движения начинают получать выражение в рельефе, возрождаются геоморфологические аномалии, но форма их проявления уже совершенно иная.

По геометрическим особенностям проявления на поверхности Земли геоморфологические аномалии можно разделить на площадные и линейные. Площадные аномалии имеют различную форму, отражая особенности структурных форм. Реже распространена полосчатая разновидность геоморфологических площадных аномалий. Такие аномалии встречаются обычно в долинах рек.

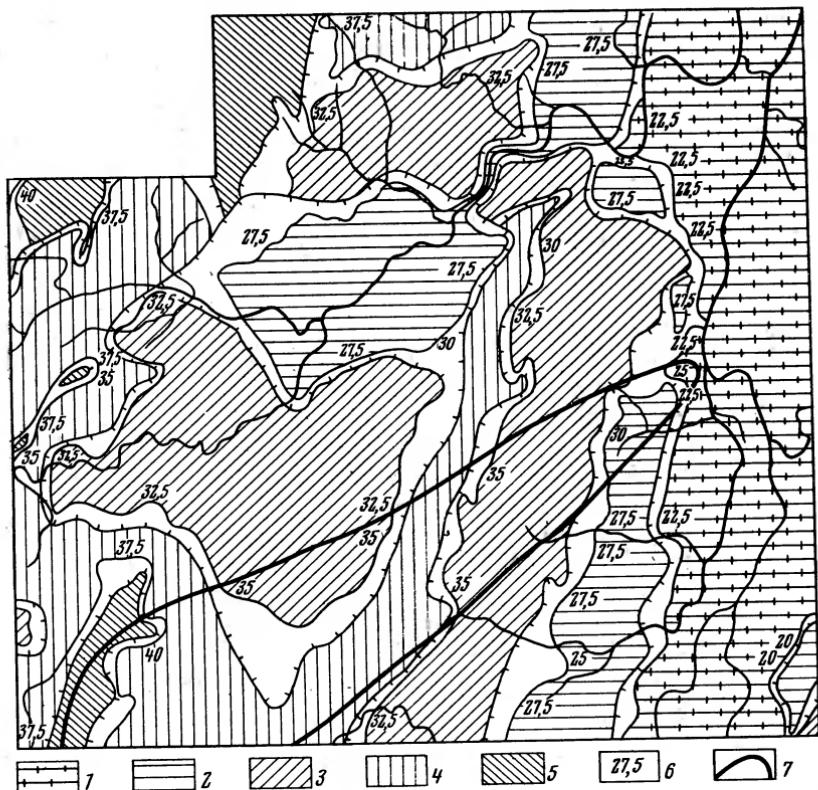


Рис. 1. Геоморфологическая аномалия среди террас приледниковых водоемов.

1 — терраса с высотой тылового шва 20—25 м; 2 — то же, 27,5—30 м; 3 — то же, 30—35 м; 4 — то же, 37,5—40 м; 5 — то же, более 40 м; 6 — отметки тыловых швов террас; 7 — контур геоморфологической аномалии

Линейные геоморфологические аномалии связаны с разрывными нарушениями и являются их хорошими индикаторами. В качестве примера таких аномалий назовем тектонический уступ, карстовые воронки, образовавшиеся вдоль линий разлома, цепочку песчаных кос на плоской поверхности глинистой пустыни и т. д.

Методы выявления аномалий

Выбор методов выявления геоморфологических аномалий определяется, первую очередь формой представления фактических данных. Чаще всего приходится иметь дело с картами, схемами и материалами аэрофотосъемки. В простейшем случае, оконтуривая площадь распространения рельефа, того или иного «качества», можно разделить фон и аномалии. Так, в приведенных примерах с одиночными вулканами и камами выявление геоморфологических аномалий ограничивается выделением этих форм рельефа. Но в большинстве случаев геоморфологические аномалии могут быть выявлены только в результате анализа количественных показателей рельефа, считываемых с карт, схем и материалов аэрофотосъемки. Невозможно заранее указать способы определения аномалий для всех возможных геоморфологических ситуаций. Разберем лишь два примера.

Первый пример. На рисунке 1 приводится схема распространения террас, приледниковых водоемов (рис. 1). Абсолютные отметки тыловых швов террас сняты с крупномасштабной топографической карты. Как показывает анализ, отметки тыловых швов преимущественно постоянны, но некоторых небольших по площади участках увеличиваются или

уменьшаются, что объясняется проявлением молодых дифференцированных тектонических движений. Очевидно, постоянные отметки могут быть приняты в качестве фона, а все отклонения — в качестве аномалий. Оконтурировать участки проявления геоморфологических аномалий можно в этом случае, выделив площади, где увеличение (или уменьшение) высоты тыловых швов отмечается у нескольких террас (рис. 1). Ограниченност и неравномерность расположения отметок тыловых швов на площади обусловливают различную степень достоверности оконтуривания участков геоморфологических аномалий.

Второй пример. В бассейне верхнего течения р. Волхов по топокартам крупного масштаба замерены линеаменты — прямолинейные элементы ландшафта (в частности, отрезки речных долин). Число линеаментов на площади каждого листа отнесено к центру листа, и по полученным данным построена схема плотности линеаментов в изолиниях (рис. 2). Как видно, число линеаментов колеблется в широких пределах: от 14 до 110. Для выявления геоморфологических аномалий все значения плотности линеаментов (варианты) расположим в ранжированный статистический ряд

14, 22, 23, 27, 34, 34, 40, 49, 52, 56, 63, 70, 79, 88, 110 (всего 15 варианта).

Предполагая, что фон плотности линеаментов должен охватывать большинство приведенных значений, примем, что к фону относится $\frac{2}{3}$ всех вариантов. Очевидно, это будут значения, располагающиеся в середине ранжированного ряда. Тогда пять вариантов, расположенных по краям ряда (две на одном и три на другом) будут представлять аномалии. В таком случае на приведенной схеме (рис. 2) участки, где развиты аномалии, должны оконтуриваться изолиниями 80 и 25 (независимо от того, с какого края мы отсчитаем 3 варианта). Вся остальная территория охарактеризована фоновыми значениями.

Геоморфологическая аномалия, где количество линеаментов превышает 80, в своей южной части совпадает по положению и по ориентировке длинной оси с локальным поднятием поверхности фундамента, выявленным сейморазведочными работами. Геологическое строение участка, соответствующего северной части аномалии, неизвестно.

Способ выявления геоморфологических аномалий, рассмотренный во втором примере, позаимствован из опыта расчетов аномалий в геофизике и рекомендован Н. Н. Боровко (устное сообщение).

Если изменения значения изучаемого показателя рельефа описываются законом нормального распределения, в качестве фона можно принять варианты в пределах половины или одного среднего квадратического отклонения от среднего арифметического в каждую сторону. Впрочем, выявить геоморфологические аномалии можно и другими способами.

Ввиду того что материалы аэрофотосъемки несут гораздо больше объективной информации о природе, чем любые карты, применение аэроснимков и фотосхем при выделении геоморфологических аномалий наиболее перспективно. При этом геоморфологические аномалии проявляются чаще всего как часть природных аномалий, вызывая изменение тона и рисунка фотоизображения. Например в Прикаспии для хвалынской морской равнины характерен однообразный серый тон фотоизобра-

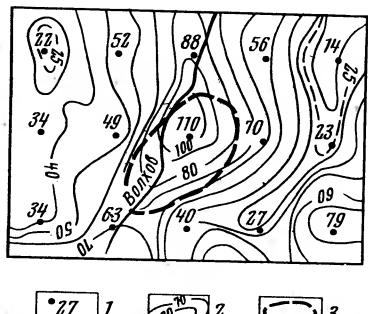


Рис. 2. Схема плотности линеаментов на участке верхнего течения р. Волхов.

1 — число линеаментов в пределах одного листа крупномасштабной карты; 2 — изолинии густоты линеаментов, сплошные — кратные 10, прерывистые — кратные 5; 3 — контур локального поднятия поверхности кристаллического фундамента, выявленного сейморазведочными работами ВИРГ

жения с частыми светлыми пятнами изометричной формы («сурчинами» и микрозападинами супфозисно-просадочного генезиса). На участках новейших поднятий, как правило, пятнистость отсутствует (Троцюк, 1967).

Надежность выделения геоморфологических аномалий повышается, если их выделять не по одному, а по нескольким признакам. Именно по этому пути и должна совершенствоваться методика выявления геоморфологических аномалий. Множественность признаков не мешает математизации и механизации методов обнаружения геоморфологических аномалий. Так, в СНИИГГИМС проводились эксперименты по выявлению локальных поднятий по некоторым геоморфологическим признакам (т. е., с нашей точки зрения, выделение геоморфологических аномалий) использованием электронных цифровых вычислительных машин. 19 поднятий (аномалий) и столько же «неподнятий» были опознаны машиной по сравнительно простому алгоритму с надежностью 0,85 (Полканов и др., 1966).

Интерпретация аномалий

Установление геоморфологической аномалии — лишь часть решения общей задачи. Следующим этапом является ее интерпретация. Для этого привлекаются сведения о геологическом строении местности, материалы бурения и геофизических исследований, наблюдения за современными физико-геологическими процессами и т. д. Основная цель интерпретации — решение вопроса о природе геоморфологической аномалии. Это сводится практически к сравнению изучаемого признака с моделью новейшего поднятия, обладающего теми признаками, которые либо известны нам по результатам полевых работ, либо просто допускаются как возможные на основе нашего знания процессов новейшей тектоники и рельефообразования. Например, вывод об эндогенной природе геоморфологической аномалии, представленной деформациями речных, морских и озерных террас, достаточно убедителен даже тогда, когда отсутствуют данные о деформации слоев; изменение высоты этих геоморфологических уровней вследствие экзогенных процессов возможно лишь в редких случаях (последующее оползание, повышение высоты морской террасы в вершине узкого залива и т. д.).

Важное значение имеет вопрос о соответствии в плане аномалий и структурной формы; иногда его решение довольно сложно. Так, во ВНИГРИ при разработке метода анализа линеаментов для расшифровки тектоники осадочного чехла обнаружилось, что площадь аномалий плотности линеаментов обычно составляет $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ часть площади всей положительной структуры. Объясняется это тем, что максимальное количество трещин (и, следовательно, заложенных по ним линеаментов) приурочено к участкам наиболее крутых перегибов слоев (крутие крылья, зоны сочленения структур, флексуры и т. д.)

Несоответствие в плане структуры и вызываемой ею геоморфологической аномалии обнаружено и в северо-западной части Русской платформы (Можаев, 1967). В различные отрезки времени разные участки не единой структурной формы могут испытывать тектонические движения различной интенсивности. Это позволяет предположить, что не всегда наибольшая контрастность геоморфологической аномалии будет соответствовать ядру антиклинали. Об этом свидетельствует и часто наблюдаемое смещение свода структуры в более молодых отложениях. Развитие одной структурной формы иногда обусловливает появление геоморфологических аномалий в разных частях структуры. Различные по генезису аномалии при этом могут перекрываться и накладываться самыми различными способами. В таких случаях погребенные поднятия намечаются с учетом максимально возможного числа геоморфологических аномалий.

Разработка методов выявления геоморфологических аномалий и их правильной геологической интерпретации важна для повышения эффективности структурно-геоморфологических исследований и поисков локальных структур. Их совершенствование дает возможность значительно сократить затраты на поисковые работы. Уже сейчас выявление геоморфологических аномалий позволяет во многих случаях обнаруживать погребенные структуры. Для повышения эффективности структурно-геоморфологических исследований необходимы: разработка методов разделения геоморфологических аномалий и фона (в частности, математизация и автоматизация этого процесса), объяснение механизма образования геоморфологических аномалий, надежная интерпретация аномалий.

ЛИТЕРАТУРА

- Торяинова И. Н., Н. К. Медведева, Е. Г. Мяло. Результаты работ по изучению отражения новейших тектонических движений в растительном покрове Прикаспийской низменности.— Тр. ВНИГРИ, вып. IV. М., «Недра», 1966.
- Мещеряков Ю. А. Структурная геоморфология равнинных стран. М., «Наука», 1965.
- Мирошниченко В. П. Опыт разработки и применения аэрометодов для изучения новейших и современных тектонических движений в предгорных равнинах аккумулятивно-эолового типа.— Тр. Лабор. аэрометодов, т. III, 1954.
- Можаев Б. Н. Анализ развития отдельных структурных форм Северо-Запада Русской платформы в целях изучения новейшей тектоники.— В сб.: Тектонические движения и новейшие структуры земной коры. М., «Недра», 1967.
- Николаев Н. И. Неотектоника и ее выражение в структуре и рельфе территории СССР. М., Госгеолтехиздат, 1962.
- Полканов В. П., В. Б. Полканова, Ю. М. Гусев, Г. И. Карапаев, Н. А. Кегелева. О выявлении локальных поднятий по геоморфологическим показателям с помощью электронных цифровых машин. Докл. АН СССР, т. 167, № 3, 1966.
- Рождественский А. П. Основные черты современного рельефа и новейшая тектоника восточной окраины Русской платформы и Предуральского краевого прогиба (в пределах Западной Башкирии).— В кн.: Геоморфология и новейшая тектоника Волго-Уральской области и Южного Урала. Уфа, 1960.
- Троцюк В. Я. Методика структурно-геоморфологических исследований аккумулятивных равнин при нефтегазопоисковых работах. М., «Наука», 1967.
- Шульц С. С. Анализ новейшей тектоники и рельеф Тянь-Шаня.— Зап. Всес. геогр. о-ва, т. 3, 1948.
- Шульц С. С. Проект легенды карты новейшей тектоники СССР. Изв. вузов, сер. геол. и разведка, № 9, 1958.

Министерство геологии СССР
Лаборатория аэрометодов

Поступила в редакцию
1.VII.1969

GEOMORPHOLOGICAL ANOMALIES, THEIR DEFINITION AND INTERPRETATION

В. Н. МОЗНАЕВ

Summary

A methodology is suggested for the definition of a «geomorphological background» and «geomorphological anomalies» which helps to differentiate the Earth's surface by quantitative indices of a certain quality of relief. The author substantiates the usefulness of defining geomorphological anomalies while searching local (neotectonic) structures, which is very important for prospecting oil and gas.