

South of Siberia floodplains are more steady, with pronounced topography (troughs, broad ridges etc). Permafrost and activity of the floating ice account for levelled relief and bogging of the floodplain surface. At some regions the floodplain topography is partly modelled by wind.

УДК 551.4 : 551.24

КОМАРОВА М. В., ШТЕНГЕЛОВ Е. С.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ ЗОНАЛЬНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ТЕКТЕНИЧЕСКИ-НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Признаки существования определенной плановой зональности современного напряженно-деформированного состояния земной коры были установлены в результате прямых измерений естественных напряжений в массивах горных пород (Напряженное состояние..., 1973). Было выявлено наличие в верхней части земной коры двух типов полей: так называемых геостатических, в пределах которых все фиксируемые напряжения обусловлены весом вышележащих пород, и геодинамических, где существуют значительные горизонтальные напряжения, нередко превышающие по величине (иногда даже во много раз) геостатическое давление. Естественно, что эта сложная зональность не может быть изучена с помощью одних прямых измерений напряженности пород, которые выполняются в горных выработках. Это определяет необходимость разработки косвенных геофизических методов ее изучения.

Примененный нами гамма-метрический метод позволяет осуществлять детальное оконтуривание полей с различным знаком горизонтальных напряжений. Сущность метода рассмотрена нами ранее (Штенгелов, 1976а; Штенгелов, 1977). Он основан на известной и обстоятельно изученной в лабораторных условиях связи между напряженностью и флюидопроницаемостью пород. Особенно четко проявляется связь между фильтрационными свойствами и интенсивностью растяжения плотных пород, поскольку их трещинное разуплотнение является причиной резкого увеличения водопроницаемости. Результаты наших исследований показывают, что интенсификация трещинной фильтрации приводит к уменьшению гамма-активности пород (за счет суффозионного выноса тонкодисперсного терригенного и органогенного материала — главного источника радиоактивности большинства осадочных и метаморфических пород). Таким образом, для литологически однородных и залегающих в сходных гидродинамических условиях пород возникает вполне определенная связь между их напряженностью и гамма-активностью. Этот вывод подтвержден нами сопоставлением результатов гамма-метрических исследований с данными прямых измерений напряжений в массивах горных пород и различными косвенными проявлениями этих напряжений. Поля сжатия повсеместно характеризуются относительно повышенной гамма-активностью пород, а поля растяжения — относительными гамма-минимумами, причем отмечается достаточно четкая зависимость между интенсивностью растяжения и степенью уменьшения гамма-активности пород.

Изучение зональности напряженного состояния земной коры с помощью гамма-метода выполнено нами в целом ряде районов СССР (Штенгелов, Комарова, 1976; Штенгелов, 1977). Результаты этих исследований, неизменно сопровождавшихся сопоставлением с данными натурных тензометрических, триангуляционных, геофизических, гидрогео-

логических и инженерно-геологических работ, позволяют следующим образом охарактеризовать наблюдаемую зональность современного тектонически-напряженного состояния земной коры.

В пределах континентальной коры существует два типа полей современных тектонических напряжений: а) горизонтального сжатия, обусловленного, судя по имеющимся данным, альпийским орогенезом, б) более позднего, новейшего и современного растяжения, реализующегося в виде полосовидных зон, неравномерно распределенных в пространстве и разбивающих единое в прошлом поле орогенного сжатия на систему многочисленных блоков. Поскольку эта зональность является наложенной, она не выражена литофациально и не фиксируется в образцах пород, в частности в кернах. Породы в полях растяжения отличаются развитием зияющей субвертикальной трещиноватости, отсутствующей в полях сжатия, хотя необходимо отметить, что в центральных частях зон наибольшего сжатия в низах геологического разреза может существовать субгоризонтальная трещиноватость гидроразрыва пластов, содержащая воду или углеводороды. В соответствии с этим массивы горных пород в пределах полей сжатия и зон растяжения различаются по ряду физических свойств (плотность, скорость распространения упругих колебаний, теплопроводность, теплоемкость и др.), однако следует иметь в виду, что породы центральных частей наиболее значительных зон сжатия, где развита трещиноватость гидроразрыва, по ряду физических характеристик приближаются к породам зон растяжения. Наиболее отчетливой особенностью последних является резко увеличенная трещинная проницаемость и активное движение инфильтрационных и инфлюационных вод в условиях жесткого режима фильтрации, следствием чего является, как уже отмечалось, относительно пониженная гамма-активность пород.

Сопоставление выявленной с помощью гамма-метода зональности напряженного состояния ряда территорий с их геоморфологическим строением позволяет говорить о значительной рельефообразующей роли горизонтальных неотектонических напряжений и движений. Связь между зональностью современного напряженного состояния земной коры и геоморфологическими условиями выражается, как правило, в пространственном совмещении зон растяжения и отрицательных форм рельефа: речных долин и других эрозионных врезов, озер, лиманов, заливов и т. п. В случае линейной выдержанности зон растяжения и совпадения их направления с уклоном топографической поверхности возникают условия для заложения протяженных участков долин (в отдельных случаях — целых долин) по одной зоне растяжения. Такие условия существуют, в частности, в Северо-Западном Причерноморье, где преобладают зоны растяжения с азимутами $325-345^\circ$, к которым приурочены лиманы (на участке Николаев — Белгород Днестровский) и практически все долины постоянных и временных водотоков (особенно отчетливо — на участке Белгород Днестровский — Измаил). Приуроченность отрицательных форм рельефа к зонам новейшего и современного растяжения, а положительных форм — к зонам остаточного-тангенциального сжатия является причиной того, что в рассматриваемом районе имеется тесная связь между абсолютными отметками поверхности и гамма-активностью пород (как показателем интенсивности растяжения), причем коэффициенты корреляции достигают на отдельных участках (например, на Григорьевско-Дофиновском водоразделе вблизи Одессы) значений $0,71-0,92$.

Заложение протяженных участков отрицательных форм рельефа по одной крупной зоне растяжения отмечается во многих районах. На рис. 1 показана крупная, кулисообразно построенная зона растяжения, к которой приурочено озеро Донузлав в Равнинном Крыму. Анализ фактического материала показывает, что даже в случаях, когда долина на

значительном расстоянии заложена по одной зоне растяжения, ось долины и ось зоны обычно не совпадают, последняя всегда приближена к какому-либо одному борту. Это объясняется сложностью внутреннего строения раздвиговых зон (рис. 1), гидродинамическими условиями формирования долины (чередование плесов и перекатов, меандрирование) и влиянием других рельефообразующих факторов (условия залегания пород, их литология, экспозиция склонов и т. д.). При этом в большинстве случаев борт эрозионного вреза, прилегающий к зоне растяжения, является более крутым. Таким образом, положение зоны растяжения относительно оси долины является одним из факторов, определяющих асимметрию поперечных сечений эрозионных врезов. Причиной этой закономерности является, по-видимому, широкое развитие в пределах зон растяжения субвертикальной зияющей трещиноватости.

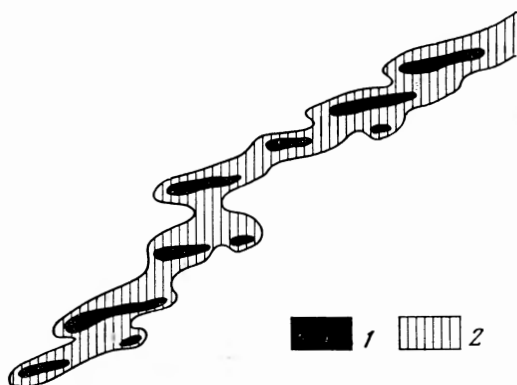


Рис. 1. Фрагмент центральной части зоны растяжения, по которой заложено оз. Донузлав в Крыму

1 — участки интенсивного растяжения, 2 — участки умеренного растяжения

В случае линейной невыдержанности зон растяжения или несовпадения их азимутов с преобладающим направлением поверхностного стока долины закладываются по нескольким зонам растяжения, последовательно переходя из одной в другую. Такой характер заложения присущ, в частности, Донузлавской балке в Равнинном Крыму, ориентированной субширотно и проходящей по нескольким зонам растяжения с азимутами $50-60^\circ$ (рис. 2). Следует отметить, что именно приуроченность большинства эрозионных врезов к зонам растяжения объясняет общеизвестный факт увеличения в сторону речных долин водопроницаемости как водоносных, так и водоупорных пород (включая и глубокозалегающие горизонты). Учитывая, что это увеличение наиболее отчетливо проявляется в скальных и полускальных породах, а также и другие факты, ряд гидрогеологов (Дэвис, Уист, 1970; Лукнер, Шестаков, 1976; Матвеев, Судакова, 1976) признает причиной этого явления увеличение в сторону эрозионных врезов интенсивности зияющей трещиноватости.

Таким образом, связь между напряженным состоянием земной коры и геоморфологическими условиями выражается главным образом в приуроченности отрицательных форм рельефа к зонам растяжения, а положительных форм — к зонам сжатия. Главной причиной этого следует считать резкое ухудшение прочностных свойств пород на участках развития зияющей трещиноватости, что повышает интенсивность денудационных процессов. Было бы, однако, ошибочно считать, что зоны растяжения являются обязательным и единственным фактором, определяющим положение линейно-отрицательных форм рельефа. Нами отмечен ряд случаев, когда связь между зонами растяжения и отрицательными формами рельефа выражена неотчетливо, либо отсутствует вообще. В отдельных случаях наблюдается даже приуроченность крупных речных долин к зонам сжатия. Такая закономерность отмечается, например, для

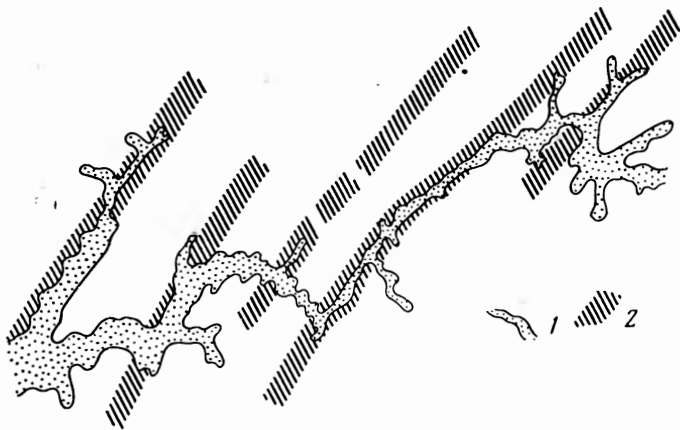


Рис. 2. Связь Донузлавской балки с зонами современного тектонического растяжения

1 — балка, 2 — зоны растяжения

долины р. Камы (на участке между г. Пермью и устьем р. Белой), где зона сжатия выявляется по геометрическим и гидрогеохимическим данным (рис. 3).

Неоднозначность связи между зональностью тектонически-напряженного состояния земной коры и геоморфологическими условиями объясняется, во-первых, тем, что на рельеф оказывают влияние и другие факторы, которые могут значительно усложнять или даже нарушать существующую связь. В этом отношении особое значение имеют состав горных

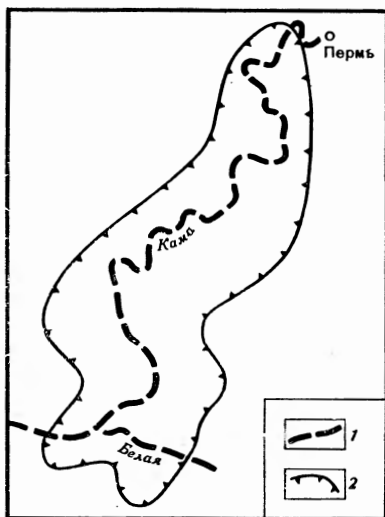


Рис. 3. Связь долины р. Камы с зоной сжатия

1 — ось долины, 2 — контур зоны сжатия

пород и условия их залегания. В частности, по-видимому, именно тектоническими условиями объясняется приуроченность долины Камы к зоне сжатия. Хотя, как указывалось выше, зональность тектонически-напряженного состояния коры является вторичной по отношению к структурному плану, тем не менее повсеместно обнаруживается приуроченность зон растяжения к антиклинальным поднятиям (Штенгелов, 1976б), а зон сжатия — к тектоническим прогибам. Поскольку долины крупных рек также нередко тяготеют к тектоническим депрессиям, положение долин и зон сжатия может совпадать.

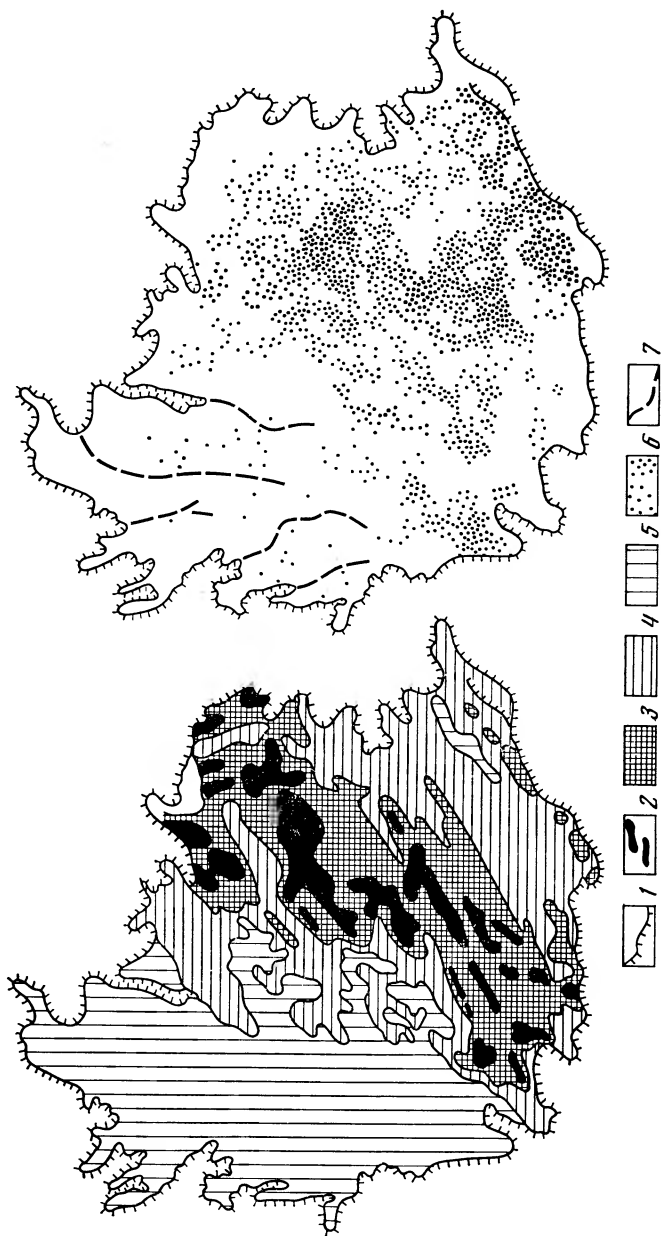


Рис. 4. Связь плотности карстовых воронок (по С. М. Зенгиной) с зональностью современного напряженного состояния верхнеюрской карбонатной толщи на Караби-яйле (Крым)

1 — контур платообразной поверхности Караби-яйлы, 2 — участки чрезвычайно интенсивного растяжения, 3 — участки интенсивного растяжения, 4 — участки умеренного растяжения, 5 — участки остаточного сжатия, 6 — карстовые воронки, 7 — тальвеги эрозионных впадин

Второй причиной неоднозначности геоморфологического выражения зональности современного напряженного состояния земной коры является сложность воздействия горизонтального растяжения на физические свойства пород. С одной стороны, оно уменьшает прочностные свойства пород, что ведет к интенсификации эрозионных, обвально-гравитационных, абразионных и других денудационных процессов. С другой стороны, растяжение увеличивает проницаемость пород, что способствует быстрой инфлюации и инфильтрации атмосферных осадков и уменьшению активности наземной денудации. Эта закономерность особенно отчетливо проявляется в районах развития открытого карста. При условии литологической однородности карстующихся пород их участки, находящиеся в пределах зон растяжения, характеризуются типичным карстовым рельефом и более высокими отметками рельефа. На участках слабого растяжения развитие карста обычно сочетается с формированием эрозионных форм и общим понижением местности. На участках сжатия породы того же химического состава характеризуются почти полным отсутствием поверхностных карстовых форм и развитием эрозионного рельефа (рис. 4). Однако если связь между интенсивностью растяжения и величиной трещинно-карстовой проницаемости является весьма тесной при любом масштабе корреляции, то обусловленность поверхностного карстового рельефа зональностью современного напряженного состояния пород проявляется только в региональном плане.

ЛИТЕРАТУРА

- Дэвис С., Уист Р. Гидрогеология, т. 2. М., «Мир», 1970.
 Лукнер В., Шестаков В. М. Моделирование геофильтрации. М., «Недра», 1976.
 Матвеев В. С., Судакова Т. А. Наземные методы геофизики при изучении трещиноватости и водообильности скальных пород. М., Изд-во ВИЭМС, 1976.
 Напряженное состояние земной коры. М., «Наука», 1973.
 Штенгелов Е. С., Комарова М. В. Зональность новейшего и современного растяжения земной коры в юго-западной части СССР. В кн. «Геодинамика и полезные ископаемые». М., 1976.
 Штенгелов Е. С. Геохимические особенности водопроницаемых трещинных зон в жестких осадочных породах. «Геохимия», № 12, 1976а.
 Штенгелов Е. С. Горизонтальные неотектонические напряжения и нефтегазоносность недр. В кн. «Геодинамика и полезные ископаемые». М., 1976б.
 Штенгелов Е. С. Зоны современного тектонического растяжения в Крыму и юго-западной части Русской плиты. «Изв. АН СССР. Сер. геол.», № 2, 1977.

Одесский государственный университет

Поступила в редакцию
9.XII.1976

GEOMORPHOLOGICAL EXPRESSION OF ZONALITY OF THE RECENT TECTONIC STRESSED STATE OF THE EARTH'S CRUST

КОМАРОВА М. В., ШТЕНГЕЛОВ Е. С.

Summary

Direct in-situ stress measurements in the upper earthcrust showed the existence of geostatic fields within rock stress caused by their weight and geodynamic fields with lateral tectonic stresses. The usage of gamma-metric method allows to carry out the detail study of interstate and composition of compressive stress fields and zones of postorogenic and present earthcrust dilatation.

Zonality of the tectonic stress state of the earthcrust is an important geomorphological factor. The negative landforms develop within the limits of dilatation zones which are characterized by increase in rock fissility and decrease in rock solidity properties. This connection is especially well pronounced in erosive valleys. In some cases, however, the connection of valleys with dilatation zones is less distinct and there are cases of coincidence of the valleys with compression zones. Zonality of the tectonic stressed state of the earthcrust determines the intensity of the surface modelling and underground karst forms development.