

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.4.022:552.08.53

© 1990 г.

А. В. БЕЛЕНЬКИЙ**ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛЕВОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТНЫХ
СВОЙСТВ КОРЕННЫХ ПОРОД ПРИ ИЗУЧЕНИИ
ЛИТОМОРФНОГО РЕЛЬЕФА**

Одно из наиболее перспективных направлений в изучении литологического фактора рельефообразования — использование количественных данных о физико-механических свойствах коренных пород, обуславливающих устойчивость последних к процессам выветривания. Обычно в геоморфологической литературе приводятся самые общие сведения о физических свойствах пород в масштабе крупных петрографических комплексов, слагающих данный район исследований [1, 2], либо рассматривается изменение свойств петрографических разностей различного состава без привязки этих разностей к конкретным формам рельефа [3, 4]. В некоторых случаях для корреляционного анализа свойств пород и морфометрических характеристик рельефа (крутизна склонов, густота расчленения) используются лабораторные инженерно-геологические методы испытаний небольшого числа образцов коренных пород [5, 6].

Главными недостатками лабораторных методов являются «отрыв» образцов от реальных геоморфологических, гидрологических и климатических условий выветривания, нарушение естественной трещиноватости в процессе выкалывания кусков из монолита и изготовления образцов правильной геометрической формы. Отбор и обработка требуют длительного времени, применения сложных технических средств, наконец, в лабораторных условиях возможно испытание сравнительно небольших серий образцов [7]. Вместе с тем корректное выявление литоморфных элементов и изучение закономерностей их образования требуют (как будет показано ниже) большого числа измерений физико-механических свойств коренных пород в их естественном залегании, имеющих четкую геоморфологическую привязку. Количество измерений должно быть достаточным для характеристики данного геологического тела или формы рельефа.

Эти положения определили требования к разработке нового прибора и метода измерений свойств пород в полевых условиях: портативность нагружающего и регистрирующего устройств, быстрота получения большого количества значений измеряемой характеристики непосредственно во время проведения съёмочного маршрута, сохранение естественной трещиноватости испытываемых пород. Как известно, устойчивость пород к выветриванию зависит от многих физических свойств [8]. В предлагаемой работе в качестве интегрального количественного показателя устойчивости коренной породы к выветриванию была принята сопротивляемость механическому разрушению, непосредственно влияющая на скорость дезинтеграции монолита [9]. Сопротивляемость разрушению определяется прочностью, поэтому разрабатываемый метод по своей физической сущности должен быть аналогичен инженерно-геологическим методам оценки прочности: механическое нагружение породы до момента хрупкого разрушения и измерение разрушающей нагрузки (ниже сопротивляемость механическому разрушению, измеряемая при помощи портативного прибора, именуется для краткости термином «прочность»).

В соответствии с перечисленными требованиями нами был создан действующий макет портативного прибора для динамических испытаний горных пород [10, 11]. Прибор включает в себя измерительный молоток и электронный блок. Измерительный молоток представляет собой насаженное на деревянную рукоятку ударное устройство, содержащее стержень с наклеенными для него тензодатчиками. При ударе бойка молотка по поверхности породы происходит сжатие стержня ударного устройства пропорционально действующим на него в осевом направлении силе. При этом деформируются тензодатчики, и возникающий электрический сигнал поступает на вход электронного блока, где он может быть измерен при помощи регистрирующего прибора — микроамперметра. Таким образом, величина сигнала, зависящая от деформации стержня ударного устройства, оказывается пропорциональна силе удара бойка молотка по породе. По показаниям регистрирующего прибора строится график в координатах «сила — время». График показывает изменение ударной нагрузки за время взаимодействия бойка молотка с поверхностью породы, т. е. представляет собой графическое изображение импульса силы. Характер кривой импульса при заданной силе зависит от деформационных свойств стержня бойка молотка с тензодатчиками (допускается, что они изменяются незначительно и практически остаются постоянными) и деформационных свойств породы, являющихся объектом исследования. Для оценки прочностных свойств породы с графика «сила — время» снималось максимальное значение силы удара (верхняя точка кривой импульса). Поэтому в дальнейшем под силой удара понимается величина максимума на графике.

Как указывалось выше, метод оценки прочности пород разрабатывался с учетом необходимости получения большого числа данных по площади работ в процессе выполнения маршрутов, т. е. за ограниченное время. Измерение прочности коренных пород в полевых условиях осуществляется следующим образом. На точке измерений выбирается пласт (или отдельность) коренной породы с пересечением граней под углом $90 \pm 10^\circ$. После подготовки прибора к работе проводится серия ударов с фиксацией по показаниям микроамперметра ударной нагрузки. При нанесении каждого удара необходимо выполнение ряда условий.

1. Расстояние между центром наносящего удар бойка и ребром пересекающихся граней (это расстояние влияет на величину объема породы, подвергающегося ударной нагрузке) может колебаться в пределах 1,5—3,0 см.

2. Расстояние между соседними точками приложения ударов в серии для обеспечения ненарушенности естественной трещиноватости породы должно быть не менее 4 см.

3. Поверхность породы на участке соприкосновения с бойком не должна быть ровной.

4. Продольная ось ударника в момент удара должна быть перпендикулярна поверхности породы.

Перечисленные пограничные условия нанесения каждого удара, определявшиеся экспериментально, обусловлены прочностными свойствами большинства исследуемых пород, чувствительностью измерительной системы прибора и требуемой точностью измерений. Выполнение этих условий необходимо для получения сопоставимых результатов измерений при данных технических характеристиках прибора. Например, в тех случаях, когда расстояние от центра бойка в момент удара до ребра граней больше 3 см или угол пересечения граней превышает 100° , сопротивляемость отколу края пласта повышается настолько, что технические возможности прибора не всегда позволяют провести измерения.

Первый удар в серии не должен вызывать видимого нарушения породы. Силу (определяемую величиной максимума на графике «сила — время» каждого последующего удара наращивают, а точки приложения ударов меняют. Последовательное увеличение силы удара происходит до момента хрупкого разрушения породы (откол, появление трещины). При отколе величина максимума при графике обычно уменьшается. Это объясняется тем, что во время от-

деления отколотого обломка породы от монолита ускорение торможения бойка молотка, пропорциональное силе удара, резко падает, боек в этом случае продолжает движение вместе с отколотым обломком. По этой причине в расчет принимаются наибольшие значения силы удара, предшествующие откалывающему удару. Таким образом, определяется предельно высокая динамическая нагрузка $F_{пр}$, которую способна выдержать испытываемая порода, не разрушаясь. Далее вычисляется среднее из полученных наибольших значений предельной силы удара $F_{пр}$, которое принимается в качестве количественной характеристики сопротивляемости данного пласта (отдельности или участка обнажения) механическому разрушению.

Ошибка метода измерений на одной точке, связанная с неточным выполнением условий измерений, определялась при испытании наиболее однородных по своим физико-механическим свойствам (однородный состав, структура, текстура) магматических и метаморфических пород. Исходя из обычной продолжительности съемочного маршрута и работы на одной точке измерений в течение 10—15 мин, расчет прочности проводился усреднением 8—10 значений $F_{пр}$. В этом случае коэффициент вариации, являющийся мерой ошибки метода измерений, составлял 5—7% при доверительной вероятности 0,9. Для большинства испытываемых пород ошибка в 5—7% приблизительно равна двум условным единицам $F_{пр}$. При необходимости точность измерений может быть повышена за счет возрастания количества принимаемых в расчет значений $F_{пр}$ или путем уменьшения интервала колебания расстояния от ребра до центра бойка в момент удара (в нашем случае этот интервал равен 1,5—3,0 см). Естественно, при этом время работы на одной точке увеличивается.

По результатам оценки прочности при помощи портативного прибора и измерения стандартным лабораторным методом сопротивления на одноосное сжатие серии образцов соответствующих пород была установлена корреляционная зависимость между этими показателями. Коэффициент корреляции оказался равным 0,85. При необходимости сопротивление на одноосное сжатие может быть рассчитано исходя из уравнения регрессии и соответствующего значения $F_{пр}$. В предлагаемой работе перевод сопротивляемости разрушению в стандартные единицы прочности (сопротивляемость на сжатие, растяжение) не обязателен, поскольку для анализа процессов литоморфогенеза необходимо сравнение количественных данных, позволяющее установить тенденцию и степень изменения измеряемой сопротивляемости разрушению. Таким образом, безразмерный интегральный показатель $F_{пр}$ хорошо коррелируется с сопротивлением на одноосное сжатие. Обе эти характеристики обладают общим физическим смыслом и зависят от одних и тех же петрофизических факторов (трещиноватость, состав, структура, текстура породы).

Проверка полевого метода оценки прочностных свойств коренных пород проводилась в горных районах Средней Азии, Казахстана и Большого Кавказа. Ключевые участки работ выбирались во всех высотных поясах, что позволило апробировать метод в самых разнообразных геологических, геоморфологических и ландшафтно-климатических условиях выветривания и сноса обломочно-материала. Традиционное в структурной геоморфологии сопоставление геологического и геоморфологического строения участков путем наложения одно-масштабных геологической, геоморфологической и топографической карт и профилей, дешифрирования аэрофотоснимков дополнялось измерением прочности коренных пород по вышеизложенному методу.

Анализ случаев совпадения геологических контуров и форм рельефа позволил выделить литоморфные элементы (т. е. формы рельефа, генетически обусловленные неодинаковой устойчивостью пород к процессам выветривания), на которых по профилям, пересекающим склоны, была определена прочность коренных пород. Количество точек измерения прочности на каждом профиле зависело от степени петрофизической неоднородности субстрата, оцениваемой в масштабе формы. На профиле определялась прочность всех соизмеримых с

анализируемой формой рельефа петрографических разностей, различающихся по одному или нескольким факторам (состав, структура, степень изменения наложенными процессами), обуславливающим прочностные свойства породы. В тех случаях, когда формы рельефа сложены существенно различными по прочности породами, в качестве усредненной характеристики устойчивости субстрата к выветриванию в масштабе данной формы принималась средневзвешенная прочность пород с учетом доли обнажений этих пород. Совершенно очевидно, что проведение подобных расчетов возможно только при наличии достаточного количества данных по прочности конкретных коренных выходов с точной привязкой к формам денудационного рельефа.

Для получения сопоставимых результатов измерений на каждой точке испытаний выполнялся принцип неизменности тех петрофизических и геоморфологических условий выветривания, которые могут оказать значительное влияние на величину измеряемой прочности породы. С этой целью на точке определения прочности для измерений выбирались пласты (или отдельности) породы, в наименьшей степени выветрелые, с типичными для данного участка коренных выходов составом, структурой и отдельностью (трещиноватостью), а также с характерной степенью изменения наложенными процессами (гидротермальная проработка, контактовый метаморфизм и т. п.). Под постоянством геоморфологических условий выветривания подразумеваются близкие на всех точках измерений соотношения скоростей образования рыхлых продуктов выветривания и их удаления с поверхности коренных выходов. Например, в некоторых случаях, при малой крутизне коренного склона уже отделившиеся по скрытым микротрещинам от монолита частицы могут оставаться на месте, и порода, визуально воспринимаемая как слабыветрелая, за счет влияния уже реализованных в приповерхностном слое микротрещин характеризуется низкими значениями прочности по сравнению с такими же по составу выходами с большими уклонами поверхности и быстрым удалением образующихся частиц. Обратная ситуация может возникнуть на выходах коренных пород, постоянно или эпизодически омываемых водными потоками, что обуславливает высокую скорость выноса отделившихся от монолита частиц. При этом значения прочности могут оказаться повышенными относительно аналогичных выходов вне влияния водного потока. Перечисленные случаи могут стать предметом специального исследования, в данной работе они исключались из анализа.

Для оценки ошибки, вызванной неточным выполнением принципа неизменности петрофизических и геоморфологических условий выветривания, был рассчитан коэффициент вариаций значений $F_{пр}$ на различных точках измерений прочности породы, однородной по составу, структуре и размеру отдельности. Коэффициент вариации для серий из малого числа (10—15) значений $\bar{F}_{пр}$ составляет 3—5%, что для большинства пород соответствует десятым долям (до одной целой условной единицы) величины $\bar{F}_{пр}$. В то же время исследования показали, что анализируемые превышения микро- и мезорельефа (метры, десятки метров), вызванные различной устойчивостью коренных пород к выветриванию, в большинстве случаев возникают, когда разность значений $\bar{F}_{пр}$ на сопоставляемых формах превышает 2 условные единицы прочности. Таким образом, точность измерений, проведенных с учетом вышеизложенных условий, удовлетворяет основной цели данного исследования: анализ возможности использования метода при изучении литоморфного микро- и мезорельефа.

Результаты измерений прочности пород по профилям, пересекающим литоморфные элементы, позволяют установить следующие закономерности (см. таблицу). Во-первых, положительным литоморфным элементам (останцы, гребни, карлинги, уступы и т. п.) соответствуют участки с повышенной прочностью коренных выходов по сравнению с близлежащими (контактирующими) выходами за пределами данных литоморфных элементов (профили 1—4). И наоборот, отрицательным литоморфным элементам (седловины, локальные понижения, слабонаклонные ступени, водосборные воронки, кары и т. д.) отвечают участки

**Таблица прочности коренных пород, слагающих литоморфные элементы рельефа
Бассейн р. Турасу (хр. Терской-Алатау, Тянь-Шань)**

Номер профиля	Коренные выходы, слагающие литоморфные элементы		Близлежащие коренные выходы за пределами литоморфных элементов		Литоморфные элементы
	порода	прочность породы в усл. ед.	порода	прочность породы в усл. ед.	
1	Дайка базальта	26,3	Кристаллический сланец	19,6	Коренной уступ на осыпном склоне
2	Габбро	27,1	Филлитовый сланец	18,9	Останец на слабо- наклонной поверх- ности
3	Мрамор	28,8	Филлитовый сланец	21,0	Уступ на склоне
4	Дайка диабазы	31,5	Диорит	25,8	Водораздельный гребень
5	Углистый сланец	10,7	Мраморизованный известняк	26,0	Слабонаклонная ступень на склоне
6	Лейкократовый гранит	23,4	Габбро	31,0	Выположенный участок склона
7	Известняк	17,1	Диорит	28,0	Водосборная воронка
8	Диорит в зоне повышенной тре- щиноватости	19,3	Ненарушенный диорит	23,3	Седловина на гребне
9	Дислоцированный филлитовый сланец	14,3	Ненарушенный филлитовый сланец	17,3	Локальное пони- жение вершинной поверхности
10	Микроклинизиро- ванный диорит	25,0	Неизменный диорит	28,4	Слабонаклонная ступень на склоне
11	Окварцованный филлитовый сланец	25,5	Неизменный филлитовый сланец	21,0	Останцовый выступ, осложняющий склон
12	Дислоцированные конгломераты	19,9	Дислоцированные мраморы	21,4	Выходы конгломе- ратов в рельефе не выражены
13	Дислоцированные известняки	15,9	Дислоцированные песчаники	15,1	Выходы известняков в рельефе не выражены
14	Габбро	31,0	Окварцованные филлитовые сланцы	30,3	Выходы габбро в рельефе не выражены
15	Окварцованные известняки	14,7	Конгломераты	14,8	Выходы известняков в рельефе не выражены

с относительно низкими значениями прочности (профили 5—7). Таким образом, породы с повышенной прочностью (определявшейся по изложенному методу) выступают в денудационном рельефе как более устойчивые к процессам выветривания относительно контактирующих с ними пород с меньшей прочностью и наоборот.

Во-вторых, во многих случаях наблюдается несоответствие между изменением количественно-минералогического состава (на основании которого строится генетическая классификация пород и соответственно легенда геологической карты) и изменением прочности этих пород. Так, например, при постоянном составе в зонах проявления вторичных эндогенных процессов (тектонические деформации, метаморфизм и т. п.), далеко не всегда изображаемых на геологических картах, может происходить значительное уменьшение или увеличение прочности пород относительно неизменных разностей того же состава (профили 8—11). В рельефе эти зоны выражены в соответствии с изменением прочностных свойств (седловины в зонах повышенной трещиноватости, останцовые поднятия на участках термального метаморфизма в экзоконтакте интрузивных

тел и т. д.). Другой широко распространенный случай — контактирующие породы различны по составу и генезису, но близки по прочности и в силу последнего обстоятельства в рельефе не отражаются (профили 12—15). Например, породы различного состава в зоне разлома могут обладать одинаково низкой прочностью, определяемой не составом, а степенью их раздробленности. Зоне разлома в этом случае соответствует отрицательная форма, но различие состава пород в пределах зоны в рельефе «не читается» (профили 12 и 13).

Наблюдаемое несоответствие между прочностью и составом объясняется тем, что прочность пород, влияющая на устойчивость к выветриванию, зависит не только от количественно-минералогического состава, структуры и текстуры, но и от комплекса эндогенных и экзогенных вторичных процессов, которые могут в значительной степени изменить «первичные» свойства породы. В связи с этим изучение литологического фактора рельефообразования только на основании данных о составе и структуре, взятых из легенды геологической карты, без оценки свойств конкретных пород, в одних случаях позволяет получить верные результаты, в других — может привести к неоднозначным выводам, потере информации или грубым ошибкам.

Вышеизложенный метод может применяться с целью анализа литологического фактора рельефообразования при решении различных задач поисковой [9] и структурной геоморфологии. В частности, показатель средневзвешенной прочности по профилям, пересекающим протяженные склоны крупных положительных форм денудационного рельефа, может быть использован при разделении литологической и тектонической составляющих распределения абсолютных высот орогенных поднятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карасев М. С., Худяков Г. И. О геоморфологической роли литологии горных пород на территории Приморья // Вопросы геологии северо-западного сектора Тихоокеанского пояса. Владивосток, 1966. С. 91—93.
2. Орлянкин В. Н. Анализ локальных изостатических процессов и селективной денудации при изучении морфоструктур Северо-Востока СССР // Матер. Моск. филиала геогр. о-ва. Геоморфология. 1971. Вып. 5. С. 21—22.
3. Войлошников В. А. Выветривание в таежном Приангарье // Региональные типы процессов выветривания: Зап. Байкальского фил. ВГО. 1970. Вып. 41. С. 22—26.
4. Рашба И. Н. Физическое выветривание в Минусинской котловине // Региональные типы процессов выветривания. Зап. Байкальского фил. ВГО. 1970. Вып. 41. С. 27—31.
5. Abrahams A. D., Parsons A. J. Identification of strength equilibrium rock slopes: further statistical considerations. // Earth Surface Processes and landforms. 1987. V. 12. N 6. P. 631—635.
6. Gooks J. Geomorphic response to rock strength and elasticity // Z. Geomorphol. 1983. 27. N 4. P. 483—493.
7. Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. М.: Высш. шк., 1982. 511 с.
8. Шукин И. С. Общая геоморфология. Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 1960. 612 с.
9. Бельный А. В. Сопротивляемость пород удару и процессы избирательного выветривания // Геоморфология. 1985. № 1. С. 53—57.
10. Бельный А. В., Савельев Л. А. Устройство для динамических испытаний горных пород // Открытия, изобретения. 1985. № 47. С. 191.
11. Бельный А. В. Способ определения прочности горных пород в массиве // Открытия, изобретения. 1987. № 24. С. 139.

Институт географии АН СССР

Поступила в редакцию
31.I.1989

ASSESSMENT OF ROCKS' STRENGTH IN THE FIELD APPLIED TO STUDIES OF LITHOMORPHIC RELIEF

BELENKY A. V.

Summary

A new technique is described of solid rocks strength assessment in natural position using portable device for dynamic tests of rocks. The analysis of the lithomorphic topography in mountains of Soviet Central Asia, Kazakhstan and the Great Caucasus carried out using both traditional structural-

geomorphological method and the new technique confirms the notion that the inhomogeneity of rocks strength is a leading factor in lithomorphogenesis. The introduced method appears to be expedient for unbiased identification of lithomorphic elements of micro- and mesorelief.

УДК 551.4.012

© 1990 г.

А. И. ТИМУРЗИЕВ

К МЕТОДИКЕ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ МОРФОИЗОГИПС

В основе методов структурно-геоморфологических исследований закрытых нефтегазоносных территорий лежат представления о ведущей роли тектонических факторов в формировании рельефа, структурной обусловленности и унаследованности форм рельефа (морфоструктур) от новейших и более древних геологических структур [1, 2 и др.]. Связь эта проявляется в элементах планового и азимутального соответствия морфоструктур с региональными геологическими структурами I и II порядков и с локальными поднятиями и разрывными нарушениями. Механизм отражения структур чехла и фундамента (независимо от размера последних) в дневном рельефе проявляется в особенностях режима их развития на новейшем этапе и, в частности в период рельефообразования. Унаследованное развитие пликативных и дизъюнктивных структур в новейшее время отражается набором ландшафтно-геоморфологических признаков их активизации, картографирование которых и определяет содержание структурно-геоморфологических исследований. Структуры, не развивающиеся в период формирования рельефа, в морфометрических признаках не проявляются. Поэтому весь комплекс методов структурно-геоморфологических исследований закрытых нефтегазоносных областей направлен на изучение динамики развития тектонических структур на поздней (инверсионной) стадии новейшего этапа развития.

Инверсионная стадия новейшего этапа развития Мангышлака совпадает со среднеплиоцен-четвертичным временем — временем формирования современного рельефа региона, в том числе и бессточных впадин. Последние в отличие от первичных конорогенных морфоструктур связаны с вторичным эрозионным расчленением рельефа. Особенности расчленения первичного рельефа Мангышлака при общности физико-географических факторов эрозии и литологических свойств бронирующих пород предопределены главным образом структурно-тектоническим строением региона и новейшей активностью недр. В региональном плане наблюдается четкая тенденция усложнения рельефа (увеличение глубины и густоты расчленения) согласно с общим усилением активности и дифференцированности новейших тектонических движений. Последнее характеризует прямую зависимость региональной изменчивости рельефа земной поверхности от интенсивности неотектонических движений; при этом наибольшее влияние на характер расчленения рельефа оказывает степень дифференцированности новейших деформаций земной коры (в меньшей степени влияют знак и амплитуда).

Методика построения карт морфоизогипс основана на принципе исключения форм рельефа экзогенного происхождения и восстановления рельефа первичной тектонической поверхности [3]. В условиях Южного Мангышлака с широким развитием бессточных впадин возможности метода ограничены в силу значительного распространения вторичных неровностей исходной поверхности по сравнению с новейшими тектоническими структурами.

Наличие корреляционной зависимости между высотами современного рельефа и подошвы среднего миоцена для Южного Мангышлака послужило основой