

О СВЯЗИ КРУТИЗНЫ ПРИРОДНЫХ ОТКОСОВ С ОСОБЕННОСТЯМИ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВОВ ФЛИША СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

INFLUENCE OF THE DISPERSION OF DISTANCES BETWEEN STRATA FRACTURES IN FLYSCH CYCLITES IN THE NORTH-WESTERN CAUCASUS ON THE ANGLE OF STABLE NATURAL SLOPE

СЕМЕНОВ А.Ю.

Аспирант Российского государственного геолого-разведочного университета им. С. Орджоникидзе (РГГРУ), г. Москва, ayusemenov@yandex.ru

SEMENOV A.Yu.

Postgraduate student of the Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, ayusemenov@yandex.ru

Ключевые слова:

Черноморское побережье Северо-Западного Кавказа; флишевая формация; флишевые циклиты; структура массива грунтов; неоднородность; трещиноватость; трещины напластований; параметры трещин; дисперсия расстояний между трещинами; устойчивость склонов и откосов; угол устойчивого природного откоса; статистический анализ.

Key words:

Black Sea coast of the North-West Caucasus; flysch formation; flysch cyclites; rock massif structure; heterogeneity; fracturing; strata fractures; parameters of fractures; distances between fractures; dispersion; stability of slopes; angle of stable natural slope; statistical analysis.

Аннотация

В статье рассмотрены проблемы трещиноватости массивов грунтов флишевых формаций Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа. Представлены геологическая характеристика Пшадско-Беттинского междуречья и результаты замеров трещин на обнажениях. Проведен статистический анализ зависимостей между крутизной откоса и дисперсией расстояний между трещинами напластования.

Введение

В сложных инженерно-геологических условиях Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа требования строительства к изучению скальных грунтов непрерывно возрастают. Становится все более очевидным, что для принятия оптимальных проектных решений, инженерных работ, эксплуатации сооружений необходимо знать не только физико-механические свойства грунтов, но и инженерно-геологические параметры, характеризующие их массивы в целом.

В данной работе под массивом понимается геологическое образование, при инженерно-геологическом изучении которого учитывается его дискретность, обусловленная нарушением сплошности, в частности трещиноватостью. Как показывает практика, именно эти поверхности ослабления в большей степени определяют неоднородность физико-механических и фильтрационных свойств скальных массивов, их устойчивость и напряженное состояние.

В качестве объектов исследования были выбраны скальные массивы грунтов, слагающие флишевую формацию южного склона Северо-Западного Кавказа. Предметная область включала изучение степени их неоднородности, обусловленной трещиноватостью.

Как известно, классифицирование массивов осуществляется на основе выделения квазиоднородных единиц, в границах которых справедливы все полученные инженерно-геологические данные. При таком подходе в нашем случае инженерно-геологические массивы первого порядка соответствуют иерархическому уровню Новороссийского синклинория и обособляются по однотипности литологической формации, а также однородности характера региональной дислоцированности. Для характеристики массивов этого ранга на первое место выходят такие показатели, как возраст,

Abstract

The article considers the problems of fracturing of flysch formations of rock massives on the Black Sea coast of the North-West Caucasus. The Pshada-Betta interfluvium is geologically characterized. Some measurement results of fractures at outcrops are presented. Statistical analysis of the «steepness of slope — dispersion of distances between strata fractures» dependences is carried out.



история формирования, тектоническая активность и гидрогеологическое строение территории.

Инженерно-геологические массивы второго порядка различаются по однородности состава и сложения литологических комплексов и однородности пликвативных дислокаций внутри них. По литологическим особенностям в составе Новороссийского комплекса выделяются супсехская и прасковеевская серии, грунты которых характеризуются разной степенью тектонической нарушенности. На этом уровне нашла отражение информация о составе, строении, условиях залегания грунтов, характере и степени дислоцированности массивов, их морфологии и гидрогеологических условиях.

Выделение инженерно-геологических массивов третьего порядка базируется на однородности литологического состава свитного уровня и характере имеющейся трещиноватости. Особую важность здесь приобретает изучение локальных факторов формирования инженерно-геологических условий: строение, свойства и состояние массива по классификационным и косвенным показателям.

Цель данной работы сводилась к определению в пределах массивов третьего порядка надлежащих условий для получения максимального угла устойчивого природного откоса. Для этого решались следующие задачи: (1) выделение массивов с однородной блочностью; (2) выявление закономерностей в связях между трещиноватостью и крутизной откоса.

Характеристика объекта исследований

В качестве модельного участка было выбрано Пшадско-Бетгинское междуречье, расположенное на отрезке Черноморского побережья между поселками Криница и Архипо-Осиповка (Геленджикский район).

Работы проводились на обнажениях произвольной площади в пределах четырех геологических массивов, свитная принадлежность которых была определена при стратиграфической разбивке С.Л. Афанасьевым [2] (табл. 1, 2). В качестве представителей карбонатного флиша были выбраны обнажения васильевской и снегуревской свит. Обнажения свит сукко и навагирская были взяты как представители терригенного флиша. Согласно геологическим работам, проведенным А.Н. Резниковым на изучаемой площади в 1979 г. [2], нижняя подсвита навагирской свиты была выделена в ранге свиты сукко.

Васильевская свита (K_{2vs}) литологически представлена слабоалевритовым (7%) сильномергельным (58% $CaCO_3$) среднеритмичным (с толщиной цикла около 41 см) биогенным ортофлишем (рис. 1). В разрезе доминируют темно-серые, голубоватые с выветрелой поверхности среднеалевритистые слабоизвестковистые мергели (82%) с прослоями алевролитов (6%), известняков (4%), сильноизвестковистых (3%) и глинистых (2%) мергелей, граувакк (2%) и песчаников (1%). Мощность свиты составляет 240–250 м. Ее позднемаастрихтский возраст определяется находками остатков фораминифер *Abathomphalus mayaroensis* (Balli).

Снегуревская свита (K_{2sn}) сложена крупноритмичным (52 см) грубым биогенным парафлишем (рис. 2). Элементы ритмов состоят из обломочных грунтов, включающих граувакки (3%), песчаники (3%), алевролиты (4%), и пелитовой составляющей — слабоизвестковистых (78%), сильноизвестковистых (3%) и глинистых мергелей (3%). Биогенные грунты представлены известняками (6%). Суммарная мощность данной свиты составляет 416 м. Ее позднемаастрихтский возраст определяется по микрофауне — остаткам фораминифер *Abathomphalus mayaroensis* (Bolli) и *Reusella minuta* (Marsson).

Таблица 1

Стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Северо-Западного Кавказа (по [2])									
Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Комплекс	Серия	Свита	Подсвита	Мощность, м	Тип флиша
Меловая	Верхний	Маастрихтский	Верхний	Новороссийский	Супсехская	Снегуревская	Верхняя	176	Карбонатный
							Нижняя	240	
						Васильевская	Верхняя	140	
							Нижняя	102	
			Лихтеровская			Верхняя	124		
						Средняя	141		
						Нижняя	185		
						Мысхакская	Верхняя	166	
Средняя	157								
						Нижняя	105		

Таблица 2

Стратиграфическая схема датских отложений Северо-Западного Кавказа (по [2])									
Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Комплекс	Серия	Свита	Подсвита	Мощность, м	Тип флиша
Палеогеновая	Нижний (палеоцен)	Датский	Нижний	Новороссийский	Прасковеевская	Цицеская	Верхняя	112	Терригенный
							Средняя	100	
							Нижняя	124	
						Анапская	Верхняя	202	
							Нижняя	203	
						Навагирская	Верхняя	153	
							Средняя	145	
							Нижняя (Сукко)	167	



Рис. 1. Обнажение васильевской свиты (K_2vs)



Рис. 2. Обнажение снегуревской свиты (K_2sn)



Рис. 3. Обнажение свиты сукко (P_1sk)



Рис. 4. Обнажение навагирской свиты (P_1nv)

*Подсвита сукко*¹ (P_1sk) характеризуется крупноритмичным (45 см) грубым флишем с преобладанием сильноглинистых мергелей (65%) и аяксов² (54%). Представлена также песчаниками (10%), алевролитами (7%), граувакками (2%). Ее мощность составляет 167 м. [1] Раннедатский возраст свиты определяется находками глобигерин *Globigeruna paondbulloides* Plummer; *G. microcellulos* Moroz (рис. 3).

Навагирская свита (P_1nv) сложена среднеалевроитовым (15%) слабомергелистым (32%, $CaCO_3$) среднеритмичным (40 см) тонким парафлишем (рис. 4). Представлена черно-серыми сильноалевроитистыми известковыми аргиллитами (46%) и глинистыми мергелями (35%) с прослоями алевролитов (8%), песчаников (7%) и граувакк (2%). Мощность свиты составляет 320 м.

Методика работ

Методически работа выполнялась путем замеров трещин в пределах произвольно выбранных массивов. На каждом из двух характерных обнажений грунтов выбранных свит измерялись:

- ориентация трещин (азимут падения α и угол падения β);
- истинное расстояние между трещинами l ;
- длина трещин a ;
- угол природного залегания откоса.

При измерениях учитывалась методика проведения статистической обработки, по которой количество трещин должно быть достаточным для выделения систем, развитых в пределах обнажения, но не менее 80. Также уделялось внимание условию случайности, при котором предусматривается непредсказуемость результата единичного выборочного наблюдения [3].

В результате изучение трещиноватости было выполнено на восьми обнажениях, при этом общее количество описанных трещин превысило 1900 (табл. 3).

Извлечение из полученных полевых данных максимума формализованной цифровой информации возможно лишь в случае ее статистической обработки. В нашем случае статистический анализ сводился: (1) к преобразованию информации в вид, удобный для анализа; (2) к выявлению закономерностей в массовых замерах свойств изучаемого объекта; (3) к математическому описанию выявленных закономерностей.

По результатам замеров были рассчитаны среднестатистические значения параметров трещин на обнажениях, построены диаграммы трещиноватости и выделены системы трещин. По каждой из систем была выполнена статистическая обработка параметров, и результаты были представлены характерными таблицами универсального классифицирования со средними значениями метрических данных [6].

¹ *Подсвита сукко* (P_1sk) характеризуется крупноритмичным (45 см) грубым флишем с преобладанием сильноглинистых мергелей (65%), аяксов (54%) (*аякс* — двуединый слой). Представлена песчаниками (10%), алевролитами (7%), граувакками (2%) [1].

² Каждый *аякс подсвиты Сукко* — это первый плюс второй элемент циклита (I+II ЭЦ), образующий единое целое, т.е. двуединый слой. Аяксами характеризуется 54% мощности данной подсвиты, остальные 46% характеризуются содержанием песчаников (10%), алевролитов (7%) и граувакк (2%) [2].



Полученные результаты

Было установлено, что свиты с крупноритмичным строением (K_2sn, P_1sk) характеризуются повышенными величинами блочности, близкими между собой (39, 40, 41). Тонко- и среднеритмичные свиты (P_1lv, K_2vs) имеют более низкие ее значения, но также близкие между собой (25, 32, 35). При этом литологический состав циклитов значения не имеет, поскольку в обеих группах присутствуют обнажения как карбонатного, так и терригенного флиша.

В целом дисперсия расстояний между трещинами напластования выше у циклитов из свит терригенного флиша, что, вероятно, можно объяснить анизотропностью свойств грунтов внутри этих свит. В их лито-

логический набор входят песчаник, аргиллит, анкерит. В то время как свиты карбонатного флиша состоят из более близких по свойствам грунтов — обломочного известняка и мергеля.

Угол природного откоса является более крутым при вертикальном залегании напластований.

В пределах каждого из обнажений была рассмотрена зависимость между дисперсией расстояний между трещинами напластования ($a_{нал}$) и углом природного откоса (рис. 5). Между данными характеристиками не прослеживается абсолютная обратная зависимость, и при плавном изменении дисперсии от обнажения к обнажению угол природного откоса может скачкообразно меняться. Данные замечания справедливы для каждой свиты.

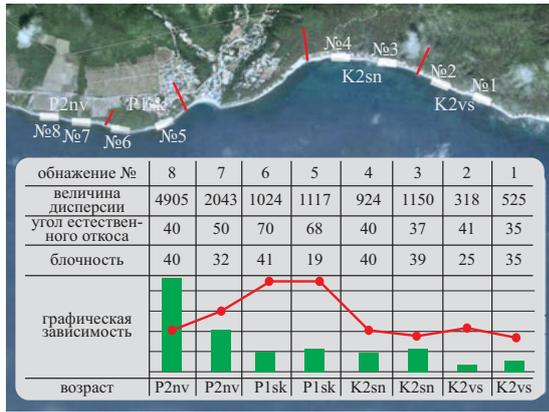
Таблица 3

Результаты замеров трещин*									
№ обнажения	Трещины	№ системы трещин	Ориентация трещин		Линейные параметры трещин				
			α , град.	β , град.	a , см	σ_a	l , м	σ_l	b , см
1	Вертикальные	I	10	78	27,8	22,7	>10,0	-	35
	Крутые	III	280	46	64,6	21,0	31,4	14,4	
	Пологие	II	170	36	23,9	20,3	82,4	41,7	
2	Вертикальные	II	218	82	24,6	16,8	21,7	10,5	25
	Крутые	I	341	49	32,3	17,8	>10,0	-	
	Пологие	III	160	35	20,6	11,6	21,2	10,7	
3	Вертикальные	II	245	88	55,5	13,8	23,8	12,0	39
	Крутые	I	342	47	37,7	33,9	>10,0	-	
	Пологие	III	153	45	27,5	13,0	47,0	11,1	
4	Вертикальные	II	258	76	55,2	13,3	26,7	11,4	40
	Крутые	I	351	46	34,4	30,4	>10,0	-	
	Пологие	-	-	-	-	-	-	-	
5	Вертикальные	I	203	85	49,6	33,4	>10,0	-	19
		II	105	76	32,8	19,3	33,4	14,2	
	Крутые	-	-	-	-	-	-	-	
	Пологие	IV	92	35	180,6	78,1	24,6	10,7	
6	Вертикальные	I	210	79	43,0	32,0	>10,0	-	41
		II	112	72	40,7	19,4	36,3	15,0	
	Крутые	-	-	-	-	-	-	-	
	Пологие	III	286	18	39,0	18,7	35,9	15,5	
7	Вертикальные	III	203	75	23,6	8,8	27,9	11,7	32
	Крутые	II	112	65	27,3	11,9	22,8	7,6	
	Пологие	I	310	26	50,2	45,2	>10,0	-	
8	Вертикальные	III	196	82	30,7	11,3	27,8	11,7	40
		II	120	76	28,6	11,2	25,9	13,3	
	Крутые	-	-	-	-	-	-	-	
	Пологие	I	319	23	72,6	70,0	>10,0	-	

* Система I — трещины напластований флишевого циклита; α — азимут падения; β — угол падения; l , σ_l — средняя длина трещин и соответствующее среднеквадратическое отклонение; a , σ_a — среднее расстояние между трещинами и соответствующее среднеквадратическое отклонение; b — средний размер блока, определяемый по формуле

$$b = \sqrt[3]{\frac{a_1 a_2 a_3}{(1 + \sqrt{\frac{a_1 a_2 a_3}{a_4}})(1 + \sqrt{\frac{a_1 a_2 a_3}{a_5}}) \dots}}$$

где a_1, a_2, a_3 — средние расстояния между трещинами для систем наиболее густо развитых трещин I, II, III соответственно; a_4, a_5, \dots — то же для систем менее густо развитых трещин [4].



Изменения дисперсии расстояний между трещинами напластования (зеленые столбики) и угла природного откоса (белые точки, соединенные красной линией) от обнажения к обнажению

Исключения, когда влияние дисперсии не всегда определяет крутизну откоса, бывают в следующих случаях:

- на участках с повышенной тектонической дислоцированностью (например, на обнажении 5);
- на обнажениях, нарушенных эрозионными промоинами вдоль линий падения склонов (например, на обнажении 3);
- на участках обнажений, на которых один из пластов песчаника (или известняка) имеет нехарактерно большую мощность по сравнению со средними значениями мощности таких пластов в данной свите (этот тезис не имеет литологической привязки к тому или иному типу флиша).

Обсуждение результатов

Для объективного решения вопроса зависимости между крутизной откоса и дисперсией расстояний между трещинами напластования использовались статистические методы проверки гипотез о равенстве числовых характеристик.

Цель изучения данных количественных характеристик (см. рис. 5) заключалась в установлении вида зависимости между дисперсией расстояний между трещи-

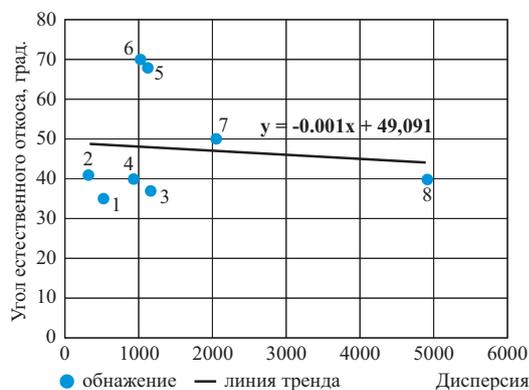


Рис. 6. Точечная диаграмма зависимости между углом естественного откоса (град.) и дисперсией расстояний между трещинами напластования (синие точки с цифрами, обозначающими номера обнажений). Прямой линией показаны результаты тренд-анализа

нами напластования и крутизной откоса. Коэффициент корреляции составил $r = -0,1$, что указывает на слабую корреляционную связь. В то же время предложение о необходимости районирования участков природных откосов является необходимым, так как высокое значение дисперсии указывает на повышенную неоднородность массива, устойчивость которого (угол природного откоса) определяется наиболее слабой составляющей.

На рисунке 6 синие точки показывают значения дисперсий и угла естественного откоса для различных обнажений. Тренд-анализ набора этих величин дал формулу прямой вида $y = -ax + b$. Данная точечная диаграмма с линией тренда приведена на рис. 6 для наглядности результатов. С точки зрения математической статистики построение линии тренда не совсем корректно ввиду слабой корреляционной связи. Данный рисунок в наиболее общем виде статистически отображает взаимосвязь указанных величин.

Полученные результаты статистически подтверждают следующее: чем больше дисперсия расстояний между трещинами напластования в циклитах флиша, тем меньше угол устойчивого природного откоса, и наоборот.

Выводы и рекомендации

1. В исследованных циклитах флиша Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа дисперсия расстояний между трещинами напластования связана с углом устойчивого природного откоса. Между этими параметрами прослеживается тренд к обратной линейной зависимости. Однако на текущей стадии исследований эти зависимости не были абсолютными. Имелся ряд исключений. При плавном изменении дисперсии от обнажения к обнажению угол природного откоса мог скачкообразно меняться.

2. При инженерно-геологическом районировании следует учитывать, что обнажения с высокой дисперсией расстояний между трещинами напластования потенциально опасны и неустойчивы.

3. Каждый участок обладает индивидуальными характеристиками напластования и должен рассматриваться локально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев С.Л. Путеводитель экскурсии 10-й международной школы морской геологии. Верхнемеловая-дзидская флишевая формация Северо-Западного Кавказа. М.: Академия наук России, 1992. С. 44.
2. Афанасьев С.Л. Флишевая формация. Закономерности строения и условия образования. М.: Росвузнаука, 1993. 360 с.
3. Каждан А.Б., Гуськов О.И. Математические методы в геологии. М.: Недра, 1990. 251 с.
4. Количко А.В. Карта максимально крутых устойчивых откосов // Тезисы докладов и сообщений 11-й Российской конференции по механике горных пород. Санкт-Петербург, 1997. С. 237–242.
5. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1970. С. 5–15.
6. Семенов А.Ю. Классификация трещиноватости массивов горных пород применительно к вычислению максимального угла устойчивого откоса // Материалы 6-й Международной научной конференции «Молодые — наукам о Земле». М.: РГПУ, 2012. С. 168–171.