



ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ПОЛОСЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА, ОСНОВАННОЕ НА ДИСКРЕТНОСТИ МАССИВОВ ФЛИШЕВЫХ ЦИКЛИТОВ

ENGINEERING-GEOLOGICAL ZONING OF THE SEABOARD OF THE NORTH-WESTERN CAUCASUS ON THE BASIS OF DISCRETENESS OF FLYSCH CYCLITES MASSIVES

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 Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, ayusemenov@yandex.ru

Ключевые слова:

Черноморское побережье Северо-Западного Кавказа; инженерно-геологическое районирование; флишевая формация; прибрежная полоса, флишевый циклит; структура массива горных пород; дискретность; неоднородность; трещиноватость; трещины напластований; параметры трещин; статистическая обработка; дисперсия расстояний между трещинами напластований; устойчивость склона; угол устойчивого откоса.

Key words:

Black Sea coast of the North-West Caucasus; engineering-geological zoning; flysch formation; flysch cyclite; rock massif structure; discreteness; heterogeneity; jointing; bedding joints; jointing parameters; statistical processing; dispersion of distances between joints; slope stability; stable slope angle.

Аннотация

В статье рассматривается влияние неоднородности параметров трещиноватости на инженерно-геологические условия территории развития циклитов флиша Северо-Западного Кавказа. Ввиду того что трещиноватость горных пород определяет ключевые характеристики устойчивости склона, предложено и рассмотрено инженерно-геологическое районирование прибрежной полосы, основанное на дискретности массива горных пород.

ВВЕДЕНИЕ

Инженерная геология должна оперативно реагировать на требования пользователей ее информации. На сегодняшний день проектировщиков не могут удовлетворять материалы региональных исследований, если они вскрывают закономерности изменчивости только отдельных свойств литосферы.

В сложных инженерно-геологических условиях Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа требования строительной отрасли к изучению скальных пород непрерывно возрастают. Становится все более очевидным, что для принятия оптимальных проектных решений необходимо знать не только физико-механические свойства горных пород, но и инженерно-геологические параметры, характеризующие их массив 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. *Дополнительная неоднородность* инженерно-геологических свойств пород массива возникает за счет процессов *выветривания* и *разгрузки* от веса залегающих выше масс горных пород (в результате эрозии и денудации) [7].

Таким образом, складывается специфическая ситуация: при инженерно-геологических исследованиях изучению неоднородности параметров сетей трещин не уделяется необходимого внимания, хотя именно при-

Abstract

The article deals with influence of jointing parameters heterogeneity on the engineering-geological conditions in the area of development of flysch cyclites in the Northwest Caucasus. Considering that jointing determines the key characteristics of rock massif stability the author proposes and discusses engineering-geological zoning of the seaboard on the basis of the rock massif discreteness.



поверхностная часть массива, исследуемая при изысканиях (чаще на глубину до нескольких десятков метров), характеризуется наибольшим количеством неоднородностей (рис. 1).

Вышесказанное имеет большое значение при комплексной количественной оценке инженерно-геологических условий, которая служит базисом для экономически обоснованного проектирования сооружений, планирования хозяйственного освоения рассматриваемой территории, назначения состава и объемов инженерно-геологических исследований.

Как известно, инженерно-геологическое районирование охватывает приповерхностную зону земной коры на необходимую для инженерной деятельности глубину, поэтому на территории побережья Северо-Западного Кавказа решения данного типа не могут приниматься без детального изучения неоднородностей в совокупности с трещиноватостью геологических образований.

Цель данной работы сводится к **инженерно-геологическому районированию (ИГР)** изучаемой территории, основанному на характеристиках дисперсии расстояний между трещинами напластований (диастромами). В данном случае под инженерно-геологическим районированием понимается формализованная процедура выявления и отграничения объемных участков литосферы, характеризующихся квазиоднородными эмерджентными свойствами [4].

В качестве *объекта исследования* были выбраны скальные грунты в массивах горных пород флишевой формации южного склона Северо-Западного Кавказа. *Предметная область* включала изучение степени их неоднородности, обусловленной трещиноватостью, с возможностью инженерно-геологической типизации обнажений для применения при ИГР.

Для достижения цели исследования решались следующие *задачи*: (1) выделение и измерение 21 обнажения вдоль линии Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа; (2) анализ фактически полученной информации методами математической статистики; (3) инженерно-геологическое районирование исследуемой территории на основе статистических выводов.

КРАТКИЙ ОБЗОР ТИПОВ РАЙОНИРОВАНИЯ

Инженерно-геологическое районирование — это разделение территории на части по степеням различия и сходства инженерно-геологических условий. Оно может производиться по одному из признаков или их комплексу. В последнем случае оно должно проводиться для определенного вида инженерной или другой хозяйственной деятельности. ИГР может выполняться в плане и в разрезе. Его результаты представляются в виде разрезов, карт, блок-диаграмм [5].

ИГР представляет собой один из важнейших методов отображения результатов инженерно-геологических исследований. Он базируется на синтезе информации об отдельных компонентах инженерно-геологических условий, позволяющем дать комплексную оценку выделенных объемов литосферы с различных точек зрения.

В зависимости от целевого назначения инженерно-геологическое районирование может быть общим и специальным. Основной задачей *общего ИГР* следует

считать выделение объемов литосферы, в которых условия и методики проведения инженерно-геологических исследований принципиально не различаются. Такое районирование производится, как правило, на базе обобщения и переработки информации, полученной в результате ранее проведенных исследований. Целью *специального ИГР* является обособление объемов литосферы (в границах некоторой территории), характеризующихся квазиоднородными инженерно-геологическими условиями применительно к конкретному виду хозяйственного освоения [4].

Выделяются также такие два типа инженерно-геологического районирования, как генетико-морфологическое и оценочное. При *генетико-морфологическом ИГР* на основе определенных принципов и классификационных признаков выявляют, обособляют и классифицируют территориальные единицы разного порядка. При *оценочном ИГР* выполняется оценка сложности инженерно-геологических условий различных территориальных единиц на основе качественных или количественных показателей [14].

Цель инженерно-геологического районирования, проведенного при данном исследовании, не имеет связи с конкретными видами хозяйственной деятельности — оно является *общим*. При этом оно является *индивидуальным* [4] ввиду того, что рассматривает трещиноватость — наиболее существенную составляющую инженерно-геологических условий на рассматриваемой территории (при *индивидуальном ИГР* на основе признаков, являющихся наиболее существенными для данных инженерно-геологических условий, выделяются границы единиц районирования с их последующей характеристикой [4]). По своему типу выполненное ИГР является оценочным, т.к. районы выделяются на основе количественных показателей с оценкой сложности участков, и относится к смешанному виду, поскольку сочетается выделение типологических (по значениям дисперсии расстояний между трещинами напластований) и индивидуальных (дополнительных неоднородностей) таксонов.

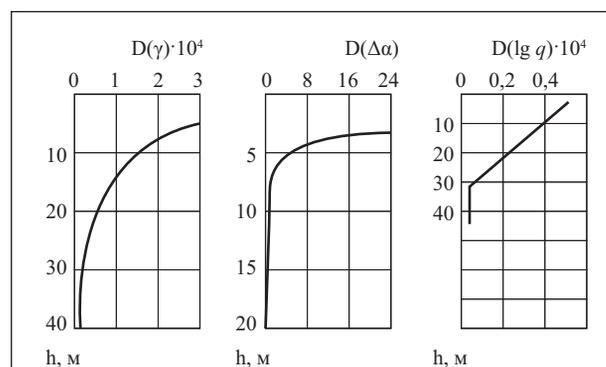


Рис. 1. Зависимость дисперсии свойств пород от глубины залегания h в зоне гипергенеза: а — изменение дисперсии объемного веса $D(\gamma)$ песчаников и алевролитов ордовика [7]; б — изменение дисперсии ширины трещин $D(\Delta a)$ по глубине штольни [8]; в — изменение дисперсии водопроницаемости $D(\lg q)$ по глубине в основании Печорского гидроузла (по материалам института «Гидропроект» в обработке С.Н. Чернышева [8])



Таблица 1

Стратиграфическая схема меловых отложений Северо-Западного Кавказа (по [1])									
Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Комплекс	Серия	Свита	Подсвита	Мощность, м	Тип флиша
Палеогеновая	Нижний (палеоцен)	Датский	Нижний	Новорос-сийский	Праско-ве-евская	Снегурев-ская	Верхняя	176	Карбонатный
							Нижняя	240	
						Васильев-ская	Верхняя	140	
							Нижняя	102	
						Лихтеров-ская	Верхняя	124	
							Средняя	141	
							Нижняя	185	
						Мысхак-ская	Верхняя	166	
							Средняя	157	
							Нижняя	105	

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ ТРЕЩИН ФЛИШЕВОЙ ФОРМАЦИИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИРОДНОГО ОТКОСА

В своих работах М.В. Рац [7, 8] постоянно отмечает, что неоднородность горных пород — одна из важнейших характеристик изучаемой толщи. И действительно, различного рода проблемы неоднородности уже давно обсуждаются в инженерной геологии. Еще в 1930-х гг. Г.И. Покровский начал развивать статистическое направление в механике грунтов, указывая на следующую возможность: «...Система, совершенно устойчивая с точки зрения теории идеально однородных тел, окажется неустойчивой с точки зрения статистической теории неоднородного тела» [6].

Неоднородность инженерно-геологических свойств *флишевых формаций* объясняется прежде всего тем, что в силу различий во флишевых ритмах по первоначальному составу отложений (пески, алевролиты, глины) процессы петрогенеза в них носят избирательный характер, чем обусловлено резкое различие в свойствах пород 1-го и 2-го элементов ритмов (это яв-

ляется главной особенностью всех флишевых формаций) [7].

Также известно, что для *флиша* характерна сложная дислоцированность отложений независимо от их возраста. Это связано с его приуроченностью к предороговой стадии развития геосинклиналей. Для большинства флишевых формаций характерна незначительная, но крайне неравномерная водопроницаемость [7].

Автором настоящей статьи ранее было выдвинуто предположение, что в циклитах флиша Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа особенности, связанные с дисперсией расстояний между трещинами напластований, имеют связь с величиной угла естественного природного откоса [10]. Поэтому подробному изучению были подвергнуты различные свиты с их индивидуальной слоистостью и трещиноватостью. Был выделен ряд исключений и сделаны выводы о том, что при инженерно-геологическом районировании следует выделять участки с высокой дисперсией расстояний между трещинами напластований, т.к. они потенциально опасны и неустойчивы.

Таблица 1

Стратиграфическая схема датских отложений Северо-Западного Кавказа (по [1])									
Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Комплекс	Серия	Свита	Подсвита	Мощность, м	Тип флиша
Палеогеновая	Нижний (палеоцен)	Датский	Нижний	Новорос-сийский	Праско-ве-евская	Цице	Верхняя	112	Терригенный
							Средняя	100	
							Нижняя	124	
						Анапская	Верхняя	202	
							Нижняя	203	
						Навагир-ская	Верхняя	153	
							Средняя	145	
							Нижняя (Сукко)	167	



ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучаемым участком было Пшадско-Беттинское междуречье, расположенное на отрезке Черноморского побережья между поселками Криница и Архипо-Осиповка в Геленджикском районе. Работы проводились на обнажениях произвольной площади в пределах четырех геологических массивов, свитная принадлежность которых была определена С.Л. Афанасьевым в выполненной им стратиграфической разбивке (табл. 1, 2). В качестве представителей карбонатного флиша были выбраны обнажения васильевской и снегуревской свит. Обнажения свит сукко и навагирская были взяты в качестве представителей терригенного флиша. При геолого-съёмочных работах, проведенных на изучаемой площади И.Н. Резниковым в 1979 г., нижняя подсвита навагирской свиты была выделена в ранге свиты сукко. Литологическая характеристика свит по данным С.Л. Афанасьева приводится в табл. 1, 2.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые работы

Методически работа выполнялась путем замеров систем трещин на скальных обнажениях. Вдоль побережья участка Пшадско-Беттинского междуречья на протяжении 3600 м через каждые 200 м проводилось измерение и описание массивов.

Для выявления *неоднородности* на каждом обнажении измерялись: (1) ориентация трещин (азимут падения α , угол падения β); (2) истинное расстояние между трещинами напластований (a); (3) угол природного залегания откоса.

Для выявления *дополнительной неоднородности* на каждом обнажении проводились: (1) оценка дислоцированности пластов; (2) выделение на карте и описание участков вдоль склоновых эрозионных промоин; (3) выделение пластов песчаника (или известняка), имеющих нехарактерно большую мощность по сравнению со средними мощностями таких пластов в данной свите; (4) описание откоса и визуальная оценка его стабильности.

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 [2].

В результате изучения трещиноватости было выполнено на 21 обнажении. При этом общее количество описанных трещин превысило 5000 (табл. 3).

Камеральные работы

Извлечение из полученных полевых данных максимума формализованной численно выраженной информации возможно в случае ее статистической обработки.

Использование статистических методов сводилось к приведению информации к виду, удобному для ана-

лиза, выявлению закономерностей в массовых замерах свойств изучаемого объекта и математическому описанию выявленных закономерностей.

По результатам замеров, полученным при полевых работах, рассчитывались *среднестатистические значения* параметров систем. На обнажениях были выделены системы трещин. Все исходные данные по каждому обнажению были занесены в *универсальную таблицу классифицирования* [11] совместно с величиной дисперсии расстояний между трещинами напластований (см. табл. 3).

Статистический анализ

Для статистического анализа данных результаты измерений были представлены в виде файла программы STATISTICA, в котором строки представляют обнажения, т.е. объекты исследования; а столбцы — данные измерений, т.е. переменные, характеризующие обнажения. Таким образом, была получена таблица с 21 обнажением и 30 измеренными расстояниями между трещинами по каждому массиву.

Для выявления групп однородности обнажений по результатам измерений был использован *кластерный анализ* (от англ. *cluster* — гроздь, скопление). Его главное назначение — разбиение множества исследуемых объектов и признаков на однородные в некотором смысле группы, или кластеры [13].

Для проведения кластерного анализа с использованием метода *k*-средних (при котором алгоритм направлен на минимизацию суммарного квадратичного отклонения точек кластеров от центров этих кластеров) сначала следует провести нормирование (стандартизацию) переменных [13], которое заключается в вычитании из величины переменной среднего арифметического значения и деления полученного результата на стандартное отклонение. Стандартизованная переменная имеет среднее значение, близкое к 0, и дисперсию, близкую к 1.

О вкладе результатов измерений в процесс кластеризации можно судить по результатам дисперсионного анализа, представленного в табл. 4. Чем больше значение критерия Фишера F и меньше уровень значимости p , тем выше вклад в процедуру кластеризации. Наиболее значимыми считаются показатели, у которых $p < 0,05$.

Из таблицы 5 видно, какие обнажения в какой кластер попали. В кластере 2 оказались только 5 обнажений (№ 6, 8, 10, 15, 21). Они действительно отличаются от других. В столбцах 2 и 3 таблицы приведены средние значения расстояний между трещинами напластований ($a_{\text{напл}}$) и соответствующие стандартные отклонения по всем 30 обнажениям, в столбце 4 — дисперсия этих расстояний. Легко видеть, что этим обнажениям соответствуют высокие значения средних и стандартных отклонений, и, как следствие, большие дисперсии (выделены в таблице жирным шрифтом). Таким образом, можно утверждать, что в кластер 2 преимущественно попали обнажения, которые имеют самый высокий разброс относительно среднего и, как метрическое следствие, большие расстояния между трещинами.



Таблица 3

Универсальная таблица классифицирования обнажений Пшадско-Беттинского междуречья									
№ обнажения	Трещины	№ системы трещин	Ориентация		Линейные параметры*				
			азимут падения α , град.	угол падения β , град.	a , см	σ_a	ℓ , м	σ_ℓ	$\delta (a_{напл})$
1	Вертикальные	I	21	85	29,7	24,0	>10	-	576,48
	Крутые	III	274	43	-	-	-	-	
	Пологие	II	138	35	-	-	-	-	
2	Вертикальные	I	10	78	37	26,1	>10	-	681,73
	Крутые	III	280	46	-	-	-	-	
	Пологие	II	170	36	-	-	-	-	
3	Вертикальные	II	207	75	-	-	-	-	271,26
	Крутые	I	335	46	23,5	16,5	>10	-	
	Пологие	III	124	41	-	-	-	-	
4	Вертикальные	II	231	79	-	-	-	-	236,85
	Крутые	I	350	56	30,0	15,4	>10	-	
	Пологие	III	135	40	-	-	-	-	
5	Вертикальные	II	218	82	-	-	-	-	146,17
	Крутые	I	341	49	32,3	17,8	>10	-	
	Пологие	III	160	35	-	-	-	-	
6	Крутые	II	302	72	-	-	-	-	5427,27
		I	46	61	93,3	73,6	>10	-	
	Пологие	III	167	44	-	-	-	-	
7	Вертикальные	II	210	79	-	-	-	-	724,69
	Крутые	I	342	47	35,2	26,9	>10	-	
	Пологие	III	187	31	-	-	-	-	
8	Вертикальные	II	193	49	-	-	-	-	2104,97
	Крутые	I	308	55	53,5	45,9	>10	-	
	Пологие	III	83	76	-	-	-	-	
9	Вертикальные	II	265	81	-	-	-	-	2390,23
	Крутые	I	18	40	-	-	-	-	
	Пологие	III	210	32	47,5	-	>10	-	
10	Вертикальные	II	242	83	-	-	-	-	4004,36
	Крутые	I	351	46	70,2	63,3	>10	-	
	Пологие	III	196	34	-	-	-	-	
11	Вертикальные	II	220	76	-	-	-	-	719,31
	Крутые	I	335	53	36,5	26,8	>10	-	
	Пологие	III	184	27	-	-	-	-	
12	Вертикальные	II	190	69	-	-	-	-	774,51
	Пологие	III	75	42	-	-	-	-	
		I	312	32	34,2	27,8	>10	-	
13	Вертикальные	II	203	82	-	-	-	-	1029,13
	Крутые	I	284	68	40,2	32,1	>10	-	
	Пологие	III	53	26	-	-	-	-	
14	Крутые	II	84	71	-	-	-	-	531,76
		III	205	52	-	-	-	-	
	Пологие	I	341	29	33,8	23,1	>10	-	
15	Крутые	II	194	62	-	-	-	-	4025,90
		I	39	50	67,1	63,5	>10	-	
	Пологие	III	309	41	-	-	-	-	
16	Вертикальные	I	25	81	38,6	24,3	>10	-	589,03
	Крутые	II	312	73	-	-	-	-	
	Пологие	III	115	29	-	-	-	-	
17	Вертикальные	I	196	86	40,1	45,9	>10	-	2104,06
	Крутые	II	97	71	-	-	-	-	
	Пологие	III	281	30	-	-	-	-	
18	Вертикальные	I	203	85	53,5	39,3	>10	-	1546,85
		II	105	76	-	-	-	-	
	Пологие	III	278	22	-	-	-	-	
19	Вертикальные	III	203	76	-	-	-	-	2105,89
	Крутые	II	115	67	-	-	-	-	
	Пологие	I	310	26	53,5	45,9	>10	-	
20	Вертикальные	III	188	85	-	-	-	-	2043,04
		II	131	79	-	-	-	-	
	Пологие	I	319	23	50,2	45,2	>10	-	
21	Вертикальные	III	194	82	-	-	-	-	4905,60
		II	123	78	-	-	-	-	
	Пологие	I	325	28	72,6	70,0	>10	-	

* ℓ , a — средние значения длины трещин и расстояния между ними соответственно; σ_ℓ , σ_a — соответствующие среднеквадратичные отклонения; $\delta (a_{напл})$ — дисперсия расстояний между трещинами напластований, $\delta (a_{напл}) = \sum[(x - \bar{x})^2 / (n - 1)]$, где x — расстояние между трещинами напластований из выборки, n — число измерений.



Обсуждение результатов статистического анализа

Статистические выводы относятся ко всем обнажениям каждого кластера, поэтому справедливым будет вывод, что кластер 2 состоит из обнажений, наиболее подверженных риску обрушения.

Мы делим выборку на два кластера, но при попытке нахождения четкой границы по величине дисперсии между однородными и неоднородными группами выяснилось, что есть обнажения, которые занимают пограничное положение между этими кластерами. Таким образом, получается, что обнажение 8 имеет незначительно меньшую величину дисперсии $\delta(a_{\text{напл}})$, чем обнажения 9 и 19, но в процессе кластеризации методом k -средних оно отнесено ко второму кластеру, а 9 и 19 — к первому.

Данное разбиение действительно корректно с точки зрения математической статистики, в т.ч. при использовании других методов. На рисунке 2 приведена диаграмма рассеяния метода *многомерного шкалирования*. Среднее значение расстояний между трещинами напластований ($a_{\text{напл}}$) в кластере 2 выше, чем при подобных значениях дисперсии $\delta(a_{\text{напл}})$ в кластере 1, что оказывает непосредственное влияние на уровень значимости уровней однородности, полученных при процедуре кластеризации.

Итак, будем считать, что обнажения, попавшие в кластер 1, имеют низкий риск обрушения, а попавшие в кластер 2 — высокий. В таком случае следующим логичным шагом будет построение инженерно-геоло-

гической карты с выделением районов по степени риска обрушения (высокого или низкого).

Рассмотрим и проанализируем полученные данные. На рисунке 3 красным цветом выделены столбики, соответствующие обнажениям 6, 10, 15, 21, имеющим

Таблица 4

Результаты дисперсионного анализа методом k -средних				
№ измерения	Дисперсионный анализ стандартизованных значений*			
	Между SS	Внутри SS	F	Значим. p
1	7,296334	12,70367	10,91262	0,003736
2	3,582796	16,41720	4,14645	0,055905
3	4,436383	15,56362	5,41592	0,031162
4	4,584905	15,41510	5,65116	0,028104
5	4,776485	15,22351	5,96138	0,024577
6	1,128249	18,87175	1,13592	0,299874
7	0,136212	19,86379	0,13029	0,722115
8	0,306971	19,69303	0,29617	0,592625
9	5,054352	14,94565	6,42546	0,020197
10	5,219469	14,78053	6,70950	0,017954
11	0,742516	19,25748	0,73259	0,402711
12	0,625642	19,37436	0,61355	0,443108
13	6,190674	13,80933	8,51764	0,008813
14	1,371901	18,62810	1,39929	0,251434
15	6,492807	13,50719	9,13316	0,007010
16	3,092043	16,90796	3,47463	0,077844
17	1,599640	18,40036	1,65177	0,214165
18	1,509097	18,49090	1,55065	0,228180
19	0,296689	19,70331	0,28610	0,598936
20	9,017223	10,98278	15,59963	0,000860
21	4,007180	15,99282	4,76066	0,041880
22	3,059802	16,94020	3,43185	0,079551
23	6,304349	13,69565	8,74603	0,008089
24	0,596662	19,40334	0,58426	0,454037
25	2,476135	17,52386	2,68471	0,117769
26	0,070575	19,92942	0,06728	0,798124
27	1,401518	18,59848	1,43178	0,246193
28	5,135089	14,86491	6,56356	0,019069
29	4,123191	15,87681	4,93428	0,038679
30	6,406290	13,59371	8,95411	0,007488

* Между SS — значения межгрупповых дисперсий; внутри SS — значения внутригрупповых дисперсий; F — критерий Фишера, используемый для сравнения дисперсионных групп (чем больше его значение, тем выше вклад в процедуру кластеризации); p — уровень значимости, характеризующий качество кластеризации (чем он меньше, тем выше вклад в процедуру кластеризации; признаки с $p > 0,05$ можно из этой процедуры исключить).

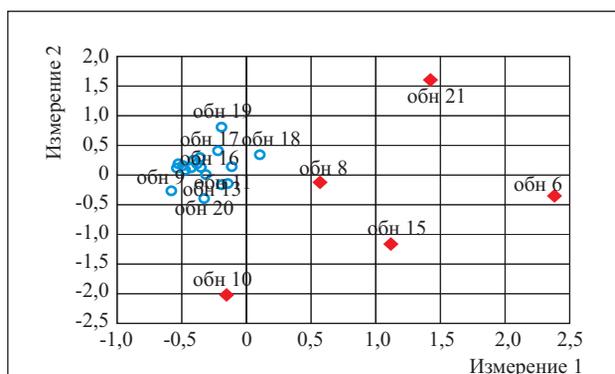


Рис. 2. Диаграмма рассеяния процесса кластеризации при многомерном шкалировании. При создании и проверке модели на адекватность методом многомерного шкалирования происходит пересчет изучаемых переменных в евклидовы координаты с получением измерения 1 и измерения 2. Таким путем формируется «признаковое» (евклидово) пространство, где схожесть и различия объектов определяются мерой близости результатов измерений. Горизонтальная ось — значения многомерного шкалирования измерения 1 в «признаковом» (евклидовом) пространстве; вертикальная ось — значения многомерного шкалирования измерения 2 в «признаковом» (евклидовом) пространстве; обн — обнажение; точками в виде синих окружностей показаны обнажения, отнесенные к кластеру 1; точками в виде красных ромбиков показаны обнажения, отнесенные к кластеру 2.

Таблица 5

Результаты кластерного анализа обнажений				
№ обнажения	Кластер	Сред. $a_{напл}$	Станд. откл.	Дисперс. δ
1	1	31,33	24,01	576,48
2	1	38,37	26,11	681,73
3	1	22,42	16,47	271,26
4	1	30,13	15,39	236,85
5	1	21,29	12,09	146,17
6	2	93,46	73,67	5427,27
7	1	34,08	26,92	724,69
8	2	49,42	45,88	2104,97
9	1	40,79	48,89	2390,23
10	2	72,21	63,28	4004,36
11	1	38,63	26,82	719,31
12	1	38,04	27,83	774,51
13	1	44,46	32,08	1029,13
14	1	36,33	23,06	531,76
15	2	68,08	63,45	4025,90
16	1	34,00	24,27	589,03
17	1	36,42	45,87	2104,06
18	1	51,46	39,33	1546,85
19	1	48,79	45,89	2105,89
20	1	50,54	45,20	2043,04
21	2	57,88	70,04	4905,60

высокие значения $\delta(a_{напл})$. Основываясь на ранее полученной информации [10], в которой характеристикой устойчивости и однородности массива является дисперсия расстояний между трещинами напластований $\delta(a_{напл})$, получаем график, представленный на этом же рисунке. И действительно, обнажения 6, 10, 15 имеют небольшие углы природного откоса, что подтверждает нестабильность каждого из склонов.

Обратим внимание, что обнажение 21 (рис. 4) имеет большой угол природного откоса (51 град.) и при



Рис. 4. Обнажение 21



Рис. 3. Изменения дисперсии расстояний между трещинами напластований $\delta(a_{напл})$ (столбики) и угла естественного откоса (синие точки, соединенные синей линией) от обнажения к обнажению. Зеленый цвет столбиков соответствует $\delta(a_{напл}) < 500$, желтый — $\delta(a_{напл}) = 500 \div 1000$, оранжевый — $\delta(a_{напл}) = 1000 \div 3000$, красный — $\delta(a_{напл}) > 3000$. Горизонтальная ось — номера изученных обнажений; вертикальная ось слева — величина дисперсии, меры разброса, см²; вертикальная ось справа — угол природного откоса, град.

этом характеризуется высоким значением $\delta(a_{напл})$. Здесь следует обратить внимание на наличие качественных характеристик, имеющих в описании каждого обнажения, а именно: на обнажении 21 было отмечено наличие пластов песчаника, имеющего нехарактерно большие мощности по сравнению со средней толщиной таких слоев. На рисунке 4 нетрудно заметить нестабильное состояние обнажения (красными контурами выделены продукты разрушения у подножия природного откоса, который характеризуется высоким риском обрушения).

Обратим внимание на обнажения 1, 8, 9, 17, которые характеризуются небольшими значениями $\delta(a_{напл})$, но при этом имеют маленькие углы природного откоса. При подробном рассмотрении было отмечено, что каждое из них имеет *дополнительную неоднородность*.

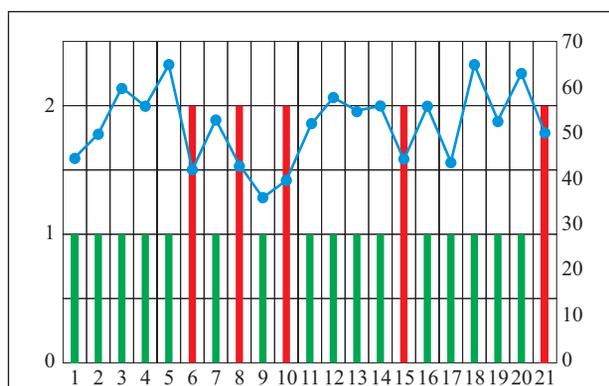


Рис. 5. Результаты процесса кластеризации (столбики) и угла естественного откоса (синие точки, соединенные синей линией) от обнажения к обнажению. Цвет столбиков: зеленый — кластер 1; красный — кластер 2. Горизонтальная ось — номера изученных обнажений. Вертикальная ось слева — ось значений, где к кластеру 1 отнесено значение 1, к кластеру 2 — значение 2; вертикальная ось справа — угол природного откоса, град.



Для обнажения 1 характерна повышенная дислоцированность, для 8 и 9 — также высокая дислоцированность с наличием вдольсклоновых промоин, для 17 — высокая выветрелость.

На рисунке 5 на основании выполненной кластеризации красным цветом выделены столбики, соответствующие неоднородным обнажениям 6, 8, 10, 15, 21. Кластерный анализ подтвердил полученные выше результаты, но, кроме того, в данном случае он определил, что обнажение 8 является неоднородным. Оно имеет высокие значения дисперсии, но они на порядок ниже, чем у других опасных обнажений.

Для определения причины того, почему обнажение 8 было охарактеризовано программой как подверженное риску, рассмотрим массив результатов измерений в программе STATISTICA. Кластерный анализ подтвердил взаимосвязь между дисперсией напластований $\delta(a_{напл})$ и углом природного откоса, но при этом было выявлено, что величина *среднего значения выборки* также вносит вклад в результат разбиения обнажений на группы однородностей.

Таким образом, на основе статистического анализа были сделаны следующие выводы: (1) чем больше дисперсия $\delta(a_{напл})$, тем обнажение потенциально более опасно; (2) чем больше среднее значение выборки, тем обнажение более неоднородно. Эти выводы актуальны только в представленной последовательности. Второй является определяющим для так называемых «граничных» обнажений, которые по величинам дисперсии относятся к «оранжевой» группе (см. рис. 3, $\delta(a_{напл}) = 1000 \div 3000$). В итоге можно заключить следующее: *более неоднородным признается то обнажение, в котором величина среднего значения результатов измерений $a_{напл}$ будет выше при схожих высоких показателях дисперсии напластований $\delta(a_{напл})$.*

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ПОЛОСЫ НА ОСНОВЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ТРЕЩИН

В исследованных циклитах флиша Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа *дисперсия расстояний между трещинами напластований* имеет непосредственную связь с углом природного откоса.

В случае выделения районов по степени риска обрушения инженерно-геологические условия целесообразно рассматривать как систему, под которой здесь понимается сознательно создаваемая формализованная модельная конструкция, обладающая эмерджентными свойствами, которая характеризует каждый из таксонов, выделяемых при районировании [4].

Каждое из 21 изученного обнажения на территории Пшадско-Беттинского междуречья имеет определенные инженерно-геологические условия и охарактеризовано представленной в статье модельной конструкцией. В процессе типизации обнажений (поставив в соответствие обнажениям различные значения дисперсии напластований $\delta(a_{напл})$), получаем инженерно-геологическое районирование прибрежной полосы, показанное на рис. 6, 7. Ширина данной полосы природных откосов не превышает 50 м и на всем протяжении (3600 м) сложена флишем.

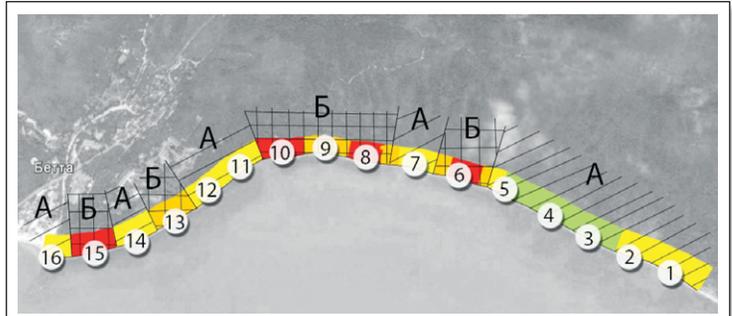


Рис. 6. Карта инженерно-геологического районирования прибрежной полосы карбонатного флиша Новороссийского синклинория на основе космического снимка. Бетта — поселок (Краснодарский край); 1–16 — номера обнажений; остальные условные обозначения — см. табл. 6

Таблица 6

Характеристика инженерно-геологических районов, показанных на карте (рис. 6, 7)					
Район	Инженерно-геологические районы	Значения дисперсии напластований $\delta(a_{напл})$	Цветовое обозначение величины дисперсии	Характеристика однородности обнажений	Риск обрушения
Однородный	А	< 500	I	Простые (стабильно устойчивые с невысокими значениями $\delta(a_{напл})$)	низкий
		500–1000	II	Осложненные (умеренно устойчивые с невысокими значениями $\delta(a_{напл})$)	низкий
Неоднородный	Б	1000–3000	III	«Граничные» (нестабильной устойчивости с потенциальной опасностью развития обвалов при высоких средних значениях выборки и большими значениями $\delta(a_{напл})$)	низкий/высокий
		> 3000	IV	Неоднородные (неустойчивые, потенциально подверженные риску обрушения)	высокий

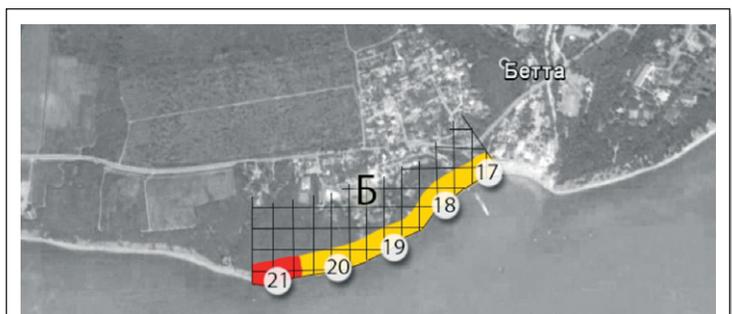


Рис. 7. Карта инженерно-геологического районирования прибрежной полосы терригенного флиша Новороссийского синклинория на основе космического снимка. Бетта — поселок (Краснодарский край); 17–21 — номера обнажений; остальные условные обозначения — см. табл. 6

Категории сложности инженерно-геологических условий по степени их неоднородности представлены в табл. 6. В пределах рассматриваемой территории выделяются два района — однородный (А) и неоднородный (Б). *Однородный* (А) включает в себя участки с *простыми* (зеленый цвет на рис. 5, $\delta(a_{\text{напл}}) < 500$) и *осложненными* (желтый, $\delta(a_{\text{напл}}) = 500 \div 1000$) инженерно-геологическими условиями. *Неоднородный* район (Б) включает в себя участки с «*граничными*» обнажениями (оранжевый, $\delta(a_{\text{напл}}) = 1000 \div 3000$) и с *неоднородными* инженерно-геологическими условиями (красный, $\delta(a_{\text{напл}}) > 3000$).

Большую часть рассматриваемой территории занимают *неоднородные* районы, что вполне естественно, т.к. она характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями. Квазиоднородные районы с простыми и осложненными инженерно-геологическими условиями занимают 48% общей площади обнажений. По существующим нормативам вся рассматриваемая территория относится к высшей категории сложности [13].

При использовании представленной типизации и составлении инженерно-геологической карты важно учитывать, что большинство обнажений имеет *дополнительную неоднородность*, которая отмечалась при рассмотрении каждого из обнажений. Ввиду уникальности и особенности каждого природного откоса при использовании и применении данного районирования необходимо учитывать, что каждый участок обладает *индивидуальными характеристиками напластований* и должен рассматриваться *локально*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При инженерно-геологическом районировании территории распространения циклитов флиша Черномор-

ского побережья Северо-Западного Кавказа заключения строятся на основе признаков, являющихся наиболее существенными. Для данных инженерно-геологических условий это *трещиноватость*.

Проведенные исследования позволили выделить районы с высоким риском обрушения. При изучении эффективной неоднородности массивов горных пород (т.е. макротрещиноватости) было неизбежно использование методов математической статистики и теории вероятностей. Их применение к параметрам сети трещин позволило выделить неоднородные массивы скальных грунтов.

Результаты, полученные для 21 изученного обнажения, с помощью корреляционного и кластерного анализа подтвердили следующее: *чем больше дисперсия расстояний между трещинами напластований в циклитах флиша, тем меньше угол устойчивого природного откоса, и наоборот*. Была рассмотрена адекватность данного подхода целевому назначению для каждого обнажения. На этой основе было выполнено *инженерно-геологическое районирование* территории прибрежной полосы Северо-Западного Кавказа. Оно основывалось на том, что обнажения с *высокой дисперсией расстояний между трещинами напластований потенциально неустойчивы и опасны, т.к. имеют риск обрушения*.

Для каждого массива и обнажения существует потенциальная опасность дополнительной неоднородности. При этом каждое обнажение имеет свои индивидуальные характеристики и должно рассматриваться отдельно (локально).

При назначении объемов работ на следующей стадии инженерно-геологических исследований, проводимых в пределах побережья Северо-Западного Кавказа, учет предлагаемого в статье деления территории позволит сократить затраты труда, времени и средств. 

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев С.Л. Флишевая формация. Закономерности строения и условия образования. М.: Росвузнаука, 1993. 360 с.
2. Каждан А.Б., Гуськов О.И. Математические методы в геологии. М.: Недра, 1990. 251 с.
3. 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.
4. Пендин В.В. Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии. М.: КДУ, 2009. С. 15, 82, 157.
5. Пашкин Е.М., Казан А.А., Кривоногова Н.Ф. Терминологический словарь-справочник по инженерной геологии. М.: КДУ, 2011. С. 276.
6. Покровский Г.И. Исследования по физике грунтов, М.—Л.: Главная редакция строительной литературы, 1937. С. 57.
7. Рац М.В. Неоднородность горных пород и их физических свойств. М.: Наука, 1968. С. 5, 47.
8. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М.: 1970. 164 с.
9. 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.: Изд-во РГГРУ, 2012. С. 168-171.
10. Семенов А.Ю. О связи крутизны природных откосов с особенностями трещиноватости массивов флиша Северо-Западного Кавказа // Инженерная геология. 2013. № 5. С. 58-62.
11. Семенов А.Ю., Любимова Т.В., Пендин В.В. Изучение трещиноватости массивов горных пород флишевых формаций применительно к вычислению угла устойчивого откоса // Геология и разведка. М.: Изд-во РГГРУ, 2013. № 1. С. 35-41.
12. Славинская М.Ю. Особенности инженерно-геологического районирования Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа // XV Международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр», г. Томск, 4-9 апреля 2011 г.
13. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. М.: Минрегион РФ, 2012. Приложение Б.
14. Трофимов В.Т. Теоретические вопросы инженерно-геологического районирования // Вестник МГУ. Сер. Геология. 1979. № 4. С. 64-76.
15. Халафян А.А. Statistica 6. Математическая статистика с элементами теории вероятностей: учебник. М.: Бином, 2011. 496 с.