

## Г Е О Ф И З И К А

УДК 624.131.1

ЗАВИСИМОСТЬ АКТИВНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОТ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ФЛИШЕВЫХ ПОРОД<sup>1</sup>*Т. В. Любимова<sup>2</sup>*

## DEPENDENCE OF ACTIVITY OF ENGINEERING-GEOLOGICAL PROCESSES ON PETROPHYSICAL PECULIARITIES OF THE FLYSCH ROCKS

Lyubimova T. V.

Petrographic structure and genetic types of the rocks of flysch cyclites of the North-Western Caucasus have been considered; their petrophysical characteristics have been given with the application of descriptive statistics. Lithological and petrophysical peculiarities of the structure of marl and argillaceous flysch sections have made it possible to draw main conclusions on the peculiarities of engineering-geological conditions of the Black Sea coast. It has been revealed that the most typical engineering-geological phenomenon of the Southern slope of the North-Western Caucasus is the deformation of artificial slopes caused by unstable position of the rocks forming the slopes. The size of talus fragments is determined by the power of cyclites, strength of flysch rocks and their bedding character.

Как известно, Краснодарский край является значимой структурной единицей Юга России. Здесь хорошо развит промышленный и сельскохозяйственный сектор экономики, располагается густая сеть железнодорожных и шоссейных дорог, а в последние годы все активнее эксплуатируется трубопроводный транспорт. С момента ввода в эксплуатацию основных транспортных объектов прошло не одно десятилетие. За эти годы заметно вырос грузооборот края, пропускная способность сетей уже не отвечает современным требованиям. Возникла необходимость реконструкции имеющихся инженерных сооружений, строительства новых и включения их в общую систему мониторинга.

Наибольшую техногенную нагрузку испытывает Черноморское побережье края. Этот четырехсоткилометровый участок — не только один из крупнейших курортных районов страны, но и средоточие крупных автомагистралей, морских портов, железнодорожных узлов и магистральных трубопроводов. По-

скольку территория характеризуется расчлененным горным рельефом, повышенной сейсмичностью и осадочными толщами, обладающими выдержанной специфической ритмичностью строения, изучение инженерно-геологических процессов является весьма актуальной задачей для обеспечения безопасности функционирования основных инженерных сооружений.

В работе впервые инженерно-геологическая характеристика флишевых пород дополнена петрофизической информацией по дробным стратонам.

**1. Объект исследований**

Объектом исследований послужили разрез Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа. В геологическом строении рассматриваемой территории принимают участие флишевые породы верхнемелового и палеогенового возраста, которые слагают Новороссийский синклиниорий [1]. Пятикило-

<sup>1</sup>Сбор фактического материала осуществлялся при поддержке Минобразования России (PD02-1.5-322).

<sup>2</sup>Любимова Татьяна Владимировна, канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры геофизики Кубанского государственного университета.

метровая толща этих отложений характеризуется регулярным чередованием трех, реже четырех-пяти типов пород, образующих простые циклиты мощностью в несколько сантиметров, всегда содержащие хотя бы по одному представителю зернистых (кластолиты) и незернистых (пелитолиты и карбонатолиты) пород [2]. В разрезах Северо-Западного Кавказа выделяют известняковый, мергельный и аргиллитовый типы флиша по преобладающему элементу циклита [3].

В нашем случае зависимость активности инженерно-геологических процессов от петрофизических особенностей флишевых пород рассматривается в сравнении на примере разрезов васильевской и снегуревской свит (верхний маастрихт), а также навагирской свиты (нижний даний). Согласно [3] васильевская и снегуревская свиты выступают как представители мергельного флиша, а навагирская свита характеризует аргиллитовый флиш.

## 2. Методика исследований

Использование физических свойств горных пород при решении различных геологических задач стало возможным в середине 1950-х гг. Именно тогда, помимо традиционных полевых и скважинных геофизических работ, эти исследования нашли применение в минералогии, петрографии и стратиграфии, а несколько позже и в инженерной геологии [4].

Определение петрофизических параметров флиша осуществлялось в лаборатории ГИС Краснодарского НТЦ «Кубаньгазпром» и сводилось к послойному определению по образцам пород карбонатности, минералогической и объемной плотности, относительного сопротивления и интервального времени распространения упругих продольных волн, а также общей пористости и пористости насыщения флюидом. Карбонатность определялась с помощью прибора АК-4 газометрическим методом, основанным на химическом разложении солей угольной кислоты под действием соляной кислоты (в нашем случае использовался 10% раствор HCl), измерении углекислого газа, образованного в результате реакции



Содержание карбонатов в породе в пересчете на  $\text{CaCO}_3$  по найденному объему  $\text{CO}_2$

определялось по формуле

$$K = \frac{V_{\text{CO}_2} Q}{4,4P},$$

где  $V$  — найденный объем  $\text{CO}_2$ , равный  $V_2 - V_1$  (см<sup>3</sup>);  $Q$  — вес 1 см<sup>3</sup>  $\text{CO}_2$  (мг) при температуре  $t$  и бариметрическом давлении  $p$  во время опыта; 4,4 (у доломита — 4,78) — коэффициент для перехода от  $\text{CO}_2$  к  $\text{CaCO}_3$ ;  $P$  — навеска породы (0,5–1,0 г).

Относительное сопротивление  $P_n$  и интервальное время распространения упругих продольных волн  $\Delta t$  определены на образцах, насыщенных раствором NaCl концентрации 58 г/л, и рассчитаны по формулам

$$P_n = \frac{\rho_{в.н}}{\rho_в},$$

где  $\rho_{в.н}$  — удельное электрическое сопротивление водонасыщенной породы (при 18°C);  $\rho_в$  — удельное электрическое сопротивление, насыщающей воды (при 18°C),

$$\Delta t = \frac{\tau}{l},$$

где  $\Delta t$  — величина, обратная скорости распространения продольной волны;  $\tau$  — время прохождения через образец;  $l$  — длина образца.

Плотность выявляли методом гидростатического взвешивания, а минералогическую плотность — путем взвешивания тарированного пикнометра с жидкостью и порошком породы. Общую и открытую пористость определяли путем насыщения, используя классические методы.

## 3. Петрофизическая характеристика пород флишевых циклитов

*Плотность.* Анализ величин минералогической плотности  $\delta$  свидетельствует, что породы флиша достаточно однородны по этому признаку. Статистически это подтверждается величиной дисперсии, стандартного отклонения и малым размахом выборки (табл. 1). Коэффициент изменчивости равен 1,5%. В целом значения минералогической плотности изменяются от 2,51 до 2,81 г/см<sup>3</sup> и характеризуются полимодальным распределением.

Объемная плотность  $\sigma$  пород оценивается диапазоном 2,04–2,62 г/см<sup>3</sup>. Гистограмма

для этой выборки имеет сложную форму распределения. Наличие на ней нескольких максимумов не позволяет считать данную совокупность однородной. Особенности распределения объемной плотности в породах отражают и числовые характеристики положения и разброса (см. табл. 1). По сравнению с минералогической плотностью, коэффициент изменчивости здесь несколько выше и составляет 5,4%.

*Пористость.* Сравнение значений общей и открытой пористости пород во флишевом разрезе не обнаружило существенных различий между ними, что дает основание считать присутствующие в горных породах поры открытыми.

Вместе с тем величина пористости изменяется в пределах от 1,5 до 23%. Дисперсия выборки, стандартное отклонение и размах также подчеркивают дифференциацию пород по этому физическому свойству (табл. 2). Коэффициент изменчивости достигает 46,9%. Полиmodalность построенной гистограммы пористости позволяет разделить геологическую совокупность на несколько самостоятельных, с логнормальным распределением этой величины в каждой.

*Относительное электрическое сопротивление.* По этому петрофизическому показателю породы, слагающие флишевые ритмы, проявляют хорошую дифференцированность. Об этом свидетельствуют величины таких параметров, как стандартное отклонение, дисперсия и интервал значений (табл. 3). Породы, характеризуясь диапазоном  $R_p$  45,4–1 500, обладают коэффициентом изменчивости 118,5%. Данная совокупность подчиняется логнормальному закону распределения.

*Интервальное время распространения упругих продольных волн.* Оно в изученных образцах варьирует в диапазоне 126–498 мкс/м. Гистограмма по этой выборке характеризуется одним максимумом, что говорит о достаточно простой форме распределения  $\Delta t$  флишевых пород. Между тем оценка статистических характеристик показала, что дисперсия выборки, стандартное отклонение и размах достаточно велики (табл. 4), а коэффициент изменчивости составляет 27,7%. Существующие отличия пород по скоростным параметрам объясняются разным типом пористости, типом цемента и составом породы, а влияние гипергенных изменений, например,

появление трещиноватости, приводит к некоторому искажению информации.

*Карбонатность.* В изученных стратиграфических интервалах она изменяется в пределах 6,3–83,5%. Оценка выборки по коэффициенту изменчивости, составившего 60,5%, и другим статистическим характеристикам подтвердила значительную дифференциацию флишевых толщ по карбонатности (табл. 5).

Данная статистическая совокупность имеет один главный максимум и несколько второстепенных на пологой ветви гистограммы, что свидетельствует о сложной форме распределения этого свойства по породам.

Выявленные неоднородности всех охарактеризованных совокупностей предопределили дальнейшее рассмотрение физических свойств флишевых пород по различным генетическим типам и петрографическому составу. Для общей петрофизической характеристики пород типового флишевого набора и их группирования нами использована петрографическая классификация, в основу которой положен принцип выделения основных групп осадочных пород по одному признаку — минеральному составу, а именно: по содержанию минералов-породообразователей в количестве более 50% массы породы [5].

#### 4. Обломочные породы (кластолиты)

Эти породы слагают основание флишевых циклитов и представлены песчаниками (с предельными размерами обломков 2,0–0,05 мм) и алевролитами (0,05–0,001 мм).

*Песчаники.* В этом классе по минеральному составу все обломочные породы отнесены к мономиктовым (кварцевые) и олигомиктовым (глауконит-кварцевые).

*Глауконит-кварцевые и кварцевые песчаники.* Петрографическое изучение этих пород показало, что по минеральному составу они либо типично кварцевые (55–80%), либо глауконит(5–15%)-кварцевые (до 75%). В качестве примеси в них обычно присутствуют чешуйки мусковита (до 2–3%), единичные зерна фосфатов и полевых шпатов. Кроме того, в обломочной части верхнемаастрихтских песчаников встречаются биокласты (до 5–10%) — фрагменты и целые раковины фораминифер и кальцисфер. Кластический материал плохо- или среднесортирован, редко хорошо. Цемент практически во

Т а б л и ц а 1  
Описательная статистика по плотности  
флишевых пород, г/см<sup>3</sup>

| Показатели                 | $\delta$ | $\sigma$ |
|----------------------------|----------|----------|
| Среднее                    | 2,66     | 2,40     |
| Стандартная ошибка         | 0,004    | 0,01     |
| Стандартное отклонение     | 0,04     | 0,13     |
| Дисперсия                  | 0,002    | 0,02     |
| Интервал                   | 0,30     | 0,65     |
| Минимум                    | 2,51     | 2,04     |
| Максимум                   | 2,81     | 2,69     |
| Количество проб            | 148      | 148      |
| Уровень надежности (95,0%) | 0,01     | 0,02     |

Т а б л и ц а 2  
Описательная статистика по пористости  
флишевых пород, %

| Показатели                 | К <sub>пнас</sub> | К <sub>поб</sub> |
|----------------------------|-------------------|------------------|
| Среднее                    | 9,75              | 9,76             |
| Стандартная ошибка         | 0,38              | 0,37             |
| Стандартное отклонение     | 4,58              | 4,55             |
| Дисперсия выборки          | 21,00             | 20,69            |
| Интервал                   | 21,40             | 21,50            |
| Минимум                    | 1,50              | 1,50             |
| Максимум                   | 22,90             | 23,00            |
| Количество проб            | 148               | 148              |
| Уровень надежности (95,0%) | 0,74              | 0,74             |

Т а б л и ц а 3  
Описательная статистика по относительному  
электрическому сопротивлению флишевых пород

| Показатели                 | Рп      |
|----------------------------|---------|
| Среднее                    | 200,2   |
| Стандартная ошибка         | 37,1    |
| Стандартное отклонение     | 237,4   |
| Дисперсия выборки          | 56361,6 |
| Интервал                   | 1454,6  |
| Минимум                    | 45,4    |
| Максимум                   | 1500,0  |
| Количество проб            | 41,0    |
| Уровень надежности (95,0%) | 74,9    |

Т а б л и ц а 4  
Описательная статистика по интервальному  
времени флишевых пород, мкс/м

| Показатели                 | $\Delta t$ |
|----------------------------|------------|
| Среднее                    | 285,34     |
| Стандартная ошибка         | 13,38      |
| Стандартное отклонение     | 79,17      |
| Дисперсия выборки          | 6267,47    |
| Интервал                   | 372,00     |
| Минимум                    | 126,00     |
| Максимум                   | 498,00     |
| Количество проб            | 35         |
| Уровень надежности (95,0%) | 27,19      |

всех петротипах верхнего маастрихта известковый, известково-глинистый, нередко участками кремневый, реже фосфатный и глауконитовый, но везде с рудным, железистым веществом (до 2–5%), а иногда и с углистым детритом. Подавляющее большинство датских песчаников имеет кремнево-глинистый, незначительное число — карбонатный типы цемента.

Петрофизические исследования песчаников показали, что их минералогическая плотность колеблется от 2,62 до 2,69 г/см<sup>3</sup> (средняя — 2,66 г/см<sup>3</sup>)<sup>3</sup>. Объемная плотность этих разностей изменяется в более широких пределах: 2,16–2,63 г/см<sup>3</sup> (2,52 г/см<sup>3</sup>). Открытая и общая пористости песчаников практически совпадают и характеризуются интервалом значений 1,5–17,6% (5,82%). Это объясняется зависимостью пористости от величин

ны карбонатности, которая варьирует в широких пределах — 11,0–43,5% (28,45%) и представляет собой главным образом цементирующую часть пород. Относительное сопротивление песчаников, рассчитанное по результатам определений их удельного электрического сопротивления, изменяется от 155 до 1500. Величина интервального времени распространения упругих продольных волн в песчаниках составляет 126–267 мкс/м.

*Алевриты.* Петрографически они как по минеральному составу, так и по характеру цемента и текстурным особенностям мало отличаются от песчаников. Нередко отмечаются смешанные по структуре песчано-алевритовые разности.

Минералогическая плотность алевритов имеет интервал значений 2,51–2,69 г/см<sup>3</sup> (2,61 г/см<sup>3</sup>), что несколько отличает их от

<sup>3</sup>Здесь и далее в скобках приведены среднеарифметические значения петрофизических параметров.

Т а б л и ц а 5  
Описательная статистика по карбонатности  
флишевых пород, %

| Показатели                 | CaCO <sub>3</sub> |
|----------------------------|-------------------|
| Среднее                    | 33,9              |
| Стандартная ошибка         | 1,6               |
| Стандартное отклонение     | 20,5              |
| Дисперсия выборки          | 420,3             |
| Интервал                   | 77,2              |
| Минимум                    | 6,3               |
| Максимум                   | 83,5              |
| Количество проб            | 148               |
| Уровень надежности (95,0%) | 3,3               |

песчаников. Вместе с тем объемная плотность алевролитов, наоборот, практически одинакова по предельным значениям — 2,16–2,65 г/см<sup>3</sup>, но значительно ниже по средней величине — 2,27 г/см<sup>3</sup>. Алевролиты отличаются от песчаников более узкими пределами значений пористости — 6,9–17,9% (13,57%), а также величиной карбонатности 10,1–38,3% (19,18%). Структуру порового пространства характеризуют значения относительного сопротивления алевролитов, меняющиеся от 45,4 до 160,0 (128,49). Величина интервального времени распространения упругих продольных волн алевролитов изменяется в пределах 241–371 мкс/м (293 мкс/м).

## 5. Глинистые породы (пелитолиты)

*Пелитолиты.* В этой группе рассматриваются аргиллиты и собственно глины, которые в циклитах находятся в середине или в их кровле. По данным петрографического исследования аргиллитов с учетом содержания в них примесей, в изученных разрезах установлены как чистые (примесей меньше 10%), слабопримесные (10–25%), так и сильнопримесные (25–50%) аргиллиты. Структура глинистого вещества в этих породах — от мелко- (0,001–0,005 мм) до крупночешуйчатой (0,01–0,05 мм), а микротекстура — от беспорядочной (пятнистой) и упорядоченно-чешуйчатой до биотурбированной — не слоистой. По минеральному составу аргиллиты следует считать полимиктовыми. В тонких срезах шлифов под микроскопом наиболее определенно устанавливаются монтморилло-

нит, гидромусковит, глауконит, несколько хуже диагностируются хлориты. Неглинистые минералы аргиллитов представлены алевропелитовыми зернами кварца (до 15%), кальцита (до 15%), единичными зернами фосфатов, пирита, а также коломорфными выделениями гидроокислов железа. Некоторые образцы аргиллитов содержат кальцисферы (до 25%) и единичные обломки фораминифер.

Результаты петрофизических исследований аргиллитов показали, что их минералогическая плотность изменяется в пределах 2,56–2,67 г/см<sup>3</sup> (2,61 г/см<sup>3</sup>). Величина объемной плотности составляет 2,04–2,51 г/см<sup>3</sup>. Пористость, как открытая, так и общая, характеризуется широким диапазоном — 3,2–23%. Аргиллиты имеют большой разброс значений и по величине относительного электрического сопротивления — 51–229. Пределы изменений упругих свойств аргиллитов по приращению времени составляют 225–384 мкс/м, отражая их состав и структурно-текстурные особенности, отличные от кластолитов.

## 6. Карбонатные породы (карбонатолиты)

Карбонатолиты могут располагаться в разных частях флишевых циклитов: в основании, в средней части, но чаще в кровле. Такое положение этих пород в разрезе отражает их структурное и генетическое многообразие. По минералогическому составу среди карбонатолитов установлены известняки, мергели и анкериты.

*Известняки.* По макрооблику в разрезах четко фиксируются зернистые и пелитоморфные разности известняков. Зернистые известняки преобладают в разрезах маастрихтского яруса и крайне редки в датском ярусе. Они преимущественно белого цвета, по характеру обломков порообразующего материала обычно представлены обломочными известняками, в единичных случаях известковыми биокластовыми дресвяниками. Аналогично типичным обломочным силикатным породам (кластолитам) обломочные известняки слагают основание флишевого ритма. Их псаммитовая составляющая включает более 50% плохо сортированных слабо окатанных известняковых обломков; в качестве заполнителя выступает песчано-алевритово-глинистый материал, а цемента — известковое и реже гидроокисно-железистое вещество. Биокластовые дресвянные известняки состоят из несортированных обломков призматического слоя иноцерам и раковин других организмов.

Петроплотностные свойства обломочных известняков маастрихта и дания характеризуются соответственно следующими предельными значениями: минералогическая плотность — 2,67–2,7 г/см<sup>3</sup> (2,69 г/см<sup>3</sup>) и 2,66–2,7 г/см<sup>3</sup> (2,68 г/см<sup>3</sup>); объемная плотность — 2,41–2,49 г/см<sup>3</sup> (2,45 г/см<sup>3</sup>) и 2,55–2,62 г/см<sup>3</sup> (2,59 г/см<sup>3</sup>); пористость — 7,9–10,4% (8,87%) и 2,63–8,44% (5,47%); карбонатность — 52,2–79,5% (61,53%) и 50,2–53,5% (51,43%).

Пелитоморфные известняки присутствуют только в разрезах маастрихтского яруса и характеризуются разнообразной окраской: от белой до бурой. Петрографически в шлифах по компонентному составу они диагностируются как фораминиферово-кальцисферовые известняки с микритовой кальцитовый основной массой, иногда в ней фиксируются алевритовые зерна кварца (до 5%), глауконита (до 3%), сидерита и сульфидов железа. Эта разновидность известняков выступает как фоновая часть флишевого циклита.

Минералогическая плотность пелитоморфных известняков практически постоянна и колеблется в очень узком интервале — 2,70–2,72 г/см<sup>3</sup> (2,71 г/см<sup>3</sup>). Значения объемной плотности равны 2,32–2,56 г/см<sup>3</sup> при среднем 2,4 г/см<sup>3</sup>. Пористость известняков варьирует от 5,5 до 14,4% (11,44%), а карбонатность — от 67,1 до 83,5% при среднем значении 75,98%. Величина относительного

сопротивления изменяется от 115 до 177 (141). Малой дифференциацией характеризуются и упругие свойства — величина интервального времени распространения в известняках упругих продольных волн изменяется от 228 до 247 мкс/м (237 мкс/м).

*Мергели.* Петрографическое изучение показало их литологическое разнообразие. Это объясняется переменным содержанием в породах, во-первых, глинистой и карбонатной составляющих, во-вторых, обломков микробиоса (до 15%) и пелитово-алевритово-песчаной кварцево-глауконитовой примеси (до 15%). Многие разновидности мергелей отличаются присутствием пирита (до 5%). Для пород характерны разнообразные текстуры: от неслоистых до микрослоистых и со следами явной биотурбированности.

Петрофизические исследования мергелей выявили незначительные пределы изменения минералогической плотности — 2,68–2,72 г/см<sup>3</sup> (2,7 г/см<sup>3</sup>) и их объемной плотности — 2,2–2,43 г/см<sup>3</sup> (2,31 г/см<sup>3</sup>). Величина открытой и общей пористости мергелей совпадает и варьирует от 9,3 до 19,1%, при этом они характеризуются самым высоким, по сравнению с другими литотипами, средним значением — 14,7%. Значения относительного сопротивления мергелей, рассчитанные по результатам определений их удельного электрического сопротивления, наоборот, имеют самые низкие показатели — 19,8–37,1 (27,98). Вместе с тем мергели отличаются более высокими значениями интервального времени распространения упругих продольных волн — 405–498 мкс/м (443 мкс/м).

*Анкериты* встречаются в виде пластовых форм. Визуально они легко диагностируются по характерной ярко-бурой окраске, округлым очертаниям отдельных блоков слоя и афанитовому облику пород. В шлифах отмечаются единичные зерна кварца, реже сидерита и фосфатов, кальцисферы и сгустковые выделения сульфидов железа. Структура анкеритов — микрозернистая.

Предельные значения минералогической и объемной плотностей анкеритов отличаются самыми высокими показателями, соответственно равными 2,76–2,81 г/см<sup>3</sup> (2,78 г/см<sup>3</sup>) и 2,54–2,69 г/см<sup>3</sup> (2,61 г/см<sup>3</sup>). Такие высокие значения объясняются плотностью кристаллической структуры этих пород. Присутствие аксессуарных минералов (сидерит, пирит) также повышает плотность анкеритов. При этом

пористость анкеритов колеблется в пределах 3,2–8,0% (6,07%). Еще более показательным в этом отношении является изменение карбонатности анкеритов — 46,3–77,5% (64,18%).

Приведенные характеристики дают основание утверждать: флишевые породы по физическим свойствам обнаруживают широкий диапазон изменчивости, обусловленный характером их литологического состава. Учитывая, что каждый дробный стратон флишевого разреза обладает своим набором пород, следует рассмотреть характер распределения физических свойств по конкретным геологическим телам.

**Карбонатность.** Максимумы распределений карбонатности для представителей мергельного флиша (васильевской и снегуревской свит верхнемаастрихтского возраста), соответственно, приходятся на интервалы 75–85 (30%) и 65,5% (29,5%), а для аргиллитового флиша (подсвит сукко, навагирской и кадошской дания) — 25–35 (76%), 20–25 (42,1%) и 10–20% (35%).

**Общая пористость и пористость насыщения.** Распределение этих значений по разрезу можно охарактеризовать так: диапазон изменения параметра для васильевской подсвиты — 5–20% с максимумом распределения 30% в интервале 10–12,5%; снегуревская свита отличается меньшим разбросом значений — от 5 до 17,5% с максимумом распределения 29,4% для интервала 12,0–17,5%. Значения коэффициента пористости насыщения для основания дания (подсвита сукко) характеризуются диапазоном 1,5–11,3%, а его максимум (48%) попадает в интервал 7,3–9,3%. Для навагирской подсвиты свойственно увеличение пределов значений пористости насыщения 1–20% с максимумом распределения (74%) в интервале 15–17%. Открытая пористость пород кадошской подсвиты колеблется от 2,5 до 25%, а максимум распределения 56% сглажен и попадает в интервал 7,5–17,5%.

Дифференциация этой величины по литологическим разностям флишевых ритмов показала, что для пород мергельного флиша максимальные значения открытой пористости приурочены к мергелевым разностям (>15%). Сравнительно высокими значениями отличаются известняки (≈12%), а минимальными — песчаники (до 10%). Минимальные значения открытой пористости для песчаников сохраняются и для аргиллитового флиша (не более 5%), а максимальные значения это-

го параметра соответствуют аргиллитам (15–18%).

**Минералогическая плотность.** Значения минералогической плотности изменяются от 2,51 до 2,78 г/см<sup>3</sup> и закономерно уменьшаются вверх по разрезу. Максимумы распределения посквитно составляют 50 и 35% для мергельного флиша и 48, 37 и 26% для аргиллитового флиша. Для них характерны диапазоны: 2,69–2,71, 2,70–2,72, 2,62–2,69, 2,6–2,64 и 2,64–2,68 г/см<sup>3</sup> соответственно.

**Объемная плотность.** Изучение объемной плотности пород показало, что значения этого параметра также изменяются по разрезу в довольно узких пределах: от 2,04 до 2,62 г/см<sup>3</sup>. Максимумы распределения этой величины имеют значения: для мергельного флиша — 25 и 41%, а для аргиллитового флиша — 44, 80 и 83%. Они попадают в интервалы 2,35–2,4 (васильевская свита) и 2,29–2,43 г/см<sup>3</sup> (снегуревская свита), а также 2,3–2,4 (подсвита сукко) и 2,1–2,3 г/см<sup>3</sup> (навагирская подсвита), а для кадошской подсвиты значение параметра размыто в диапазоне 2,2–2,5 г/см<sup>3</sup>.

## 7. Инженерно-геологическая характеристика пород флишевых циклитов

Инженерно-геологические особенности пород флишевых циклитов определяются их жесткими кристаллическими связями.

Так, среди терригенных образований наибольшую прочность проявляют песчаники и алевролиты аргиллитового флиша, которые характеризуются кремнеземистым цементом и кварцевым составом, а наименьшую — песчаники мергельного на известково-глинистом цементе и с кварцево-глауконитовым составом. Поэтому первые будут проявлять лучшую устойчивость к выветриванию и слабую водопроницаемость по трещинам. Аргиллиты в целом оцениваются как породы с худшими показателями, нежели песчаники и алевролиты. Это объясняется их слоистостью, тонкозернистостью и полимиктовым составом. Часто в естественных и искусственных обнажениях наблюдается их выветривание по базальным поверхностям и образование подвижных осыпей на склонах. Эти породы практически неморозостойки и не выдерживают механического перематия и размягчения. На-

личие аргиллитов в массивах (слоистых толщах) флишевых пород существенно осложняет общую инженерно-геологическую обстановку, затрудняет проведение изысканий.

Инженерно-геологической особенностью хемогенных пород (известняков, анкеритов и мергелей) является их способность к растворимости в воде и трещиноватость. Наибольшей растворимостью обладают породы мергельного флиша, так как их карбонатность значительно выше, чем датских. Повышенная трещиноватость (литогенетическая, тектоническая и экзогенная) также больше характерна для этого типа флиша. Из известняков более прочными считаются пелитоморфные, однако если они обладают плитчатой формой отдельности, то это заметно снижает их устойчивость к выветриванию. Самыми высокими показателями физико-механических свойств обладают анкеритовые разности, характерные для аргиллитового флиша. Они устойчивы как к выветриванию, так и к фильтрации воды. Наихудшие физико-механические показатели фиксируются у мергелей. Мергель, благодаря глинистому веществу, способен набухать, при этом все мелкие трещины, по которым возможна циркуляция воды, закрываются и тем самым способствуют еще большему набуханию. Из-за высокого содержания карбонатов мергели быстро выветриваются, разрушаются и образуют подвижные плитчатые осыпи, что в целом ухудшает инженерно-геологические условия мергельного флиша.

Естественные и искусственные выходы пород мергельного и аргиллитового флиша подвергаются избирательному выветриванию с образованием осыпей различной размерности. Так, породы васильевской свиты характеризуются самым высоким среди верхнемеловых отложений содержанием слабоизвестковистых мергелей, умеренными и крупными циклитами. Породы снегуревской свиты отличаются высоким содержанием сильноалевритистых и слабоизвестковистых мергелей и очень крупными за счет их мощности циклитами. Такая их особенность значительно снижает инженерно-геологические свойства этих толщ. Однако склоны, сложенные подобными породами рассматриваемых свит, легко задерживаются, и для них характерны затухающие осыпи. Три подсвиты навагирской свиты с точки зрения инженерно-геологических особенностей характеризуются по-разному. Под-

свита сукко отличается крупными циклитами, преобладанием сильноалевритистых аргиллитов, наличием доломитов. Сочетание таких разных по физическим свойствам пород приводит к образованию стенок отпора, отделению от склона обломков разной величины, способствует накоплению грубообломочных осыпей с углами откоса  $35-37^\circ$ . Средняя подсвита обладает сниженной долей песчаников и алевролитов, средними циклитами, тем самым здесь возможно быстрое выветривание пород с образованием мелкообломочных осыпей. Для кадошской подсвиты, которой свойственны сильноизвестковистые аргиллиты и тонкими циклиты, также характерно образование осыпей с углами откоса  $30-32^\circ$ . Осыпи, формирующиеся по породам аргиллитового флиша, будут «долгоживущими», поскольку часто пополняются свежей, неуплотнившейся массой обломков. Однако следует заметить, что на способность склонов образовывать гравитационные отложения влияет также характер залегания пород и крутизна склонов. Эти параметры при выполнении инженерно-геологических работ должны учитываться в каждом конкретном случае.

## Выводы

В целом анализ физических свойств флишевых пород позволяет сделать ряд выводов.

1. Специфическое строение флишевых разрезов отрицательно сказывается на инженерно-геологических условиях территории.

2. Присутствие в разрезах мергельного и аргиллитового флиша пород как с высокими (песчаники, известняки), так и с низкими (мергели, аргиллиты) показателями физико-механических свойств существенно осложняет общую инженерно-геологическую обстановку.

3. В силу литологических и петрофизических особенностей экзогенные процессы активнее проявляют себя по породам мергельного флиша и в меньшей степени по породам аргиллитового флиша.

4. Для южного склона Северо-Западного Кавказа наиболее характерно такое инженерно-геологическое явление, как деформация искусственных откосов, вызванная неустойчивым положением горных пород, слагающих склоны. Крупность обломков

осыпей определяется мощностью циклитов и прочностью флишевых пород.

### *Литература*

1. *Несмеянов С. А.* Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа (опережающие исследования для инженерных изысканий). М.: Недра, 1992. 254 с.
2. Практическая стратиграфия. Разработка стратиграфической базы крупномасштабных геолого-съёмочных работ / Под ред. И. Ф. Никитина, А. И. Жамойды. Л.: Недра, 1984. 340 с.
3. *Афанасьев С. Л.* Путеводитель экскурсий 10-й Международной школы морской геологии (верхнемеловая-датская флишевая формация Северо-Западного Кавказа). М., 1992. 42 с.
4. Методическое руководство по определению физических свойств горных пород и полезных ископаемых / Под ред. Н. Б. Дортман, М. Л. Озерской. М., 1962. 445 с.
5. *Фролов В. Т.* Литология. М.: МГУ, 1992. Кн. 1. 336 с.

Статья поступила 17 ноября 2003 г.

Кубанский государственный университет

© Любимова Т. В., 2004