

УДК 625.7/.8

Савенко В. Я. д-техн. наук, Хаджи Р. д-техн. наук, Дахуа Л.

## **ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУНТОВО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТКОСОВ СООРУЖЕНИЙ**

**Аннотация:** В статье приведены результаты испытаний и их анализ для определения поведения откосов автомагистрали А1 в Алжире в целях его укрепления.

**Ключевые слова:** устойчивость откосов, характеристики грунтов, лабораторные и полевые испытания.

**Анотація:** У статті наведені результати випробувань та їх аналіз для визначення поведінки укосів автомагістралі А1 в Алжирі з метою його укріплення.

**Ключові слова:** стійкість укосів, характеристики ґрунтів, лабораторні та польові дослідження.

**Abstract:** This paper presents the results of tests and analysis for the determination of the behavior of slopes Highway A1 in Algeria in order to strengthen it.

**Keywords:** slope stability, soil characteristics, laboratory and field tests.

### **Введение**

Литологическими, минералогическими и геотехническими исследованиями и анализы определены характеристики грунтов в районе прохождения автомагистрали А1. Были использованы такие методы исследования: дифракция рентгеновских лучей X, флуоресцентные лучи X, инфракрасная спектроскопия и определение гранулометрического состава грунта. Эти методы были выбраны исходя из составления результатов различных анализов с целью качественной оценки восприимчивости геологических формаций к оползнеобразованию в исследуемой области. В результате выполненной работы были выявлены различные предрасполагающие факторы что позволило улучшить понимание генезиса гравитационных неустойчивостей в гранулированных средах.

### **Постановка задачи исследований**

Важность изучения стабильности оснований транспортной инфраструктуры (автомобильных, железнодорожных и т.д.) и понимания причин и механизмов разрушений для оценки их эволюции во времени и пространстве имеет решающее значение для экономического и социального развития любой страны. Как и в других средиземноморских странах, на Севере Алжира распространены явления эрозии грунтов. В последние годы это явление имеет тенденцию к увеличению с текущим изменением климата. Эрозия грунтов влечет за собой много повреждений, которые затрагивают несколько областей деятельности экономики страны и, в частности, сооружения. В северо-восточном регионе, в том числе провинции Буйра и провинции Бордж Боу Арририж, города и деревни пострадали от явления оползней (проседания, оползни, обвалы, падающие камни и валуны и т.п.) в дорожной сети и жилой застройке. Отсутствие ссылок и информации об оползнях в этом регионе Алжира, заставило нас сосредоточиться на факторах, предрасполагающих и вызывающих нестабильность. Они встречаются в больших количествах в некоторых долинах, но они, как правило, отличаются в размерах и разнообразны по своей природе. Большинство из них затрагивает только поверхностные структуры, которые охватывают боковые стороны долины, но они также встречаются на глинистых и мергелевых отложениях. С одной стороны, на основе полевых исследований и с другой стороны - анализов, проведенных в лаборатории, можно отметить следующие факторы: геологический характер местности где преобладает мергель с гипсовыми глинами, эти слои имеют ограниченную проницаемость и в присутствии воды и легко теряют свою механическую прочность. Грунт часто насыщен водой из воды грунтовых и фильтрационных вод, а содержание воды часто превышает предел текучести, затем сцепление недостаточно, и грунт легко сползает вниз по склону. Суглинистые грунты, особенно слабые с примесью органического вещества, очень чувствительны к ливневым дождям. Сбор действующую базу данных для моделирования механических движений и выделить поведение грунта. Эта работа требует изначально общий анализ предрасполагающих факторов, а во-вторых их моделирование с использованием соответствующих методов расчета. Собрав все минералогические, литологические и морфоструктурные показатели для этой работы следует уточнить наиболее вероятные причины нестабильности и определить рациональные подходы к

выполнению инженерных изысканий и земляных работ. Цель этой работы заключается в том, чтобы создать работоспособную и воспроизводимую методологию в области геологии применительно к участкам вероятного скольжения и имеющих либо аналогичную литологию, либо одни и те же факторы предрасположенности и те же геоморфологические и геологические условия.

### Географический и геологический контекст района исследований

Область исследования занимает стратегическое место в Северо-Восточной Алжире. Она находится на 180 км к востоку от столицы Алжир. Он расположен между провинциями Борж Буаририж и Буйра и ограничивается на севере г. Беджая, на востоке г. Сетиф, на юге г. М'сила и на западе г. Бумердес. Зона расположена на магистрали А1 называемой «Восток-Запад» на ПК 240+847 (рис.1,а ) в горной местности природного откоса в пределах от 20° до 35°, высота над уровнем моря от 530 м до 660 м и нивелирование между 20 м и 60 м.

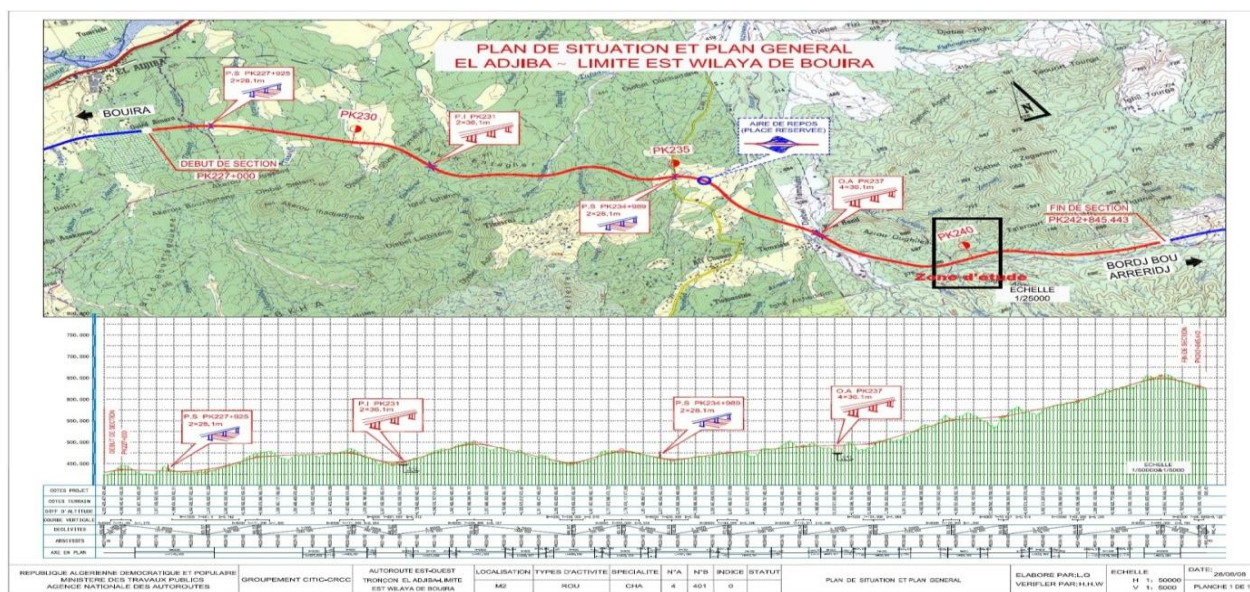
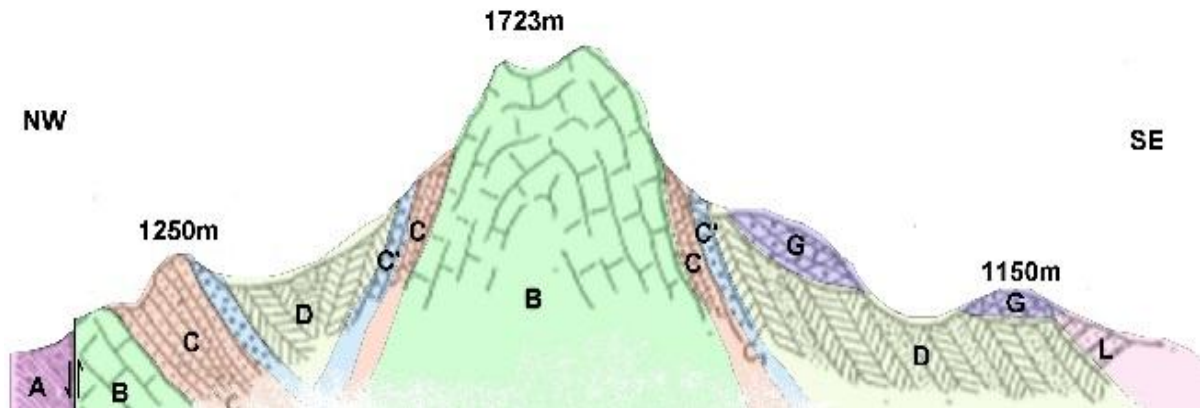


Рисунок 1 – Положение зоны исследования (а) и общий профиль исследуемой области (б)

С морфоструктурной точки зрения, исследуемая область имеет выход к морю между юго-западными склонами цепи Бабор, Северной цепи Бибан и южного Джержура [1]. Регион характеризуется континентальным климатом, в котором преобладают теплые температуры летом и очень низкие зимой, одни из самых низких в Алжире. Годовое количество осадков составляет 300-800 мм.

Различные исследования представляют область исследования в качестве бассейна из мергеля и черных глин, покрытыми слоями известняка, которые вклиниваются в некоторые слои глины и гипса [2, 3] (рис. 2). На севере рельеф становится неравномерным, он характеризуется горами которые часто разрезаны оврагами и водоразделами.



A = сланцы, B = известняки плотные, C = конгломераты и агломераты, D = песчаник, G = известняки трещиноватые, L = глина и песчаник

**Рисунок 2** – Разрез Северо-Запад/Юго-Восток горы Шеллала

Литостратиграфия района состоит из осадочного триаса, юрского, мелового, неогена и мелового периодов. Четвертичные отложения сконцентрированы в долинах рек и на равнинах. Они представлены глинами и супесями, глинистого песка, гальки и конгломератов (рис. 3).



**Рисунок 3** – Правый откос ПК 240+850

**Матеріали і методи:** Для задоволення потребностей в підтримці великих проектів дорожнього будівництва, ми зупинили свій вибір на комбінованому підході між лабораторним аналізом і польовими дослідженнями. Геотехнічні, геохімічні і мінералогічні характеристики визначені на різних зразках, що дозволяє нам зрозуміти і краще прогнозувати поведінку ґрунту.

**а) Гранулометричний аналіз частиц:** Аналіз розміра частинок проводили на трьох зразках (обр.1, обр. 2 і обр.3), взятих відповідно на сеченні дороги в напрямку вгору і вниз через ПК 240+847, з інтервалом 20м, щоб визначити відсотковий вміст зерен різних діаметрів дослідних зразків.

**б) Аналіз рентгеновської дифракції:** використовувався для визначення мінералогічного складу верхнього шару глини. Це метод, оснований на дифузії монохроматичних рентгеновських променів  $X$  по площинах ґратки кристалів, що містяться в зразку за законом Брегга ( $N\lambda = 2d \sin\theta$ ). Зразок готують заздалегідь відповідно до методу [4]. Дифракційний спектр реєструється для кутів дифракції від  $2$  до  $30^\circ$  у вигляді дифрактограм для кожного обробленого зразка. Різні відстані між ґратками кожного пика для різних мінеральних видів, дає інформацію про назву мінералу і його складі з застосуванням по відношенню до виміряної інтенсивності мультиплікативного поправочного коефіцієнта, визначеного [5] (Cook et al. 1975). Використовуваний апарат – апарат типу D8 Advance Bruker обладнаний трубкою рентгеновських променів  $X$  з мідним антимонієм (Лабораторія, фізики, університет Ферхат А., Сетиф-1).

**в) Аналіз з допомогою інфрачервоної спектроскопії (FTIR):** Інфрачервона спектроскопія (в середній ІК області спектра 400-4000), дозволяє характеризувати частоти функціональних груп. Представляє значущий інтерес для вивчення структури глинистих ґрунтів.

**г) Аналіз методом флуоресценції рентгеновських променів  $X$  (FRX):** Метод флуоресценції рентгеновських променів  $X$ , є методом аналізу багатоелементним невідрушувальним. Цей метод дозволяє визначити загальний хімічний склад твердого зразка, основних елементів і мікроелементів. Використовуються промені з довжиною хвилі від декількох  $1/10$  і  $1/100$  Å. Цей метод оснований на взаємодії рентгеновського випромінювання з електронами в глибоких шарах атомів. Ці взаємодії призводять до внутрішньої

реорганизации электронов, ответственных за выдачу характерного излучения, которое позволяет качественно идентифицировать исследуемые атомы. Измерение характеристик интенсивности лучей позволяет количественное определение процентного состава анализируемого образца.

**д) Геоэлектрические испытания:** является геоэлектрическим методом получения изображения высокого разрешения изменения удельного электрического сопротивления геологических образований [6] (Lebourg et Frappa 2001). Нами получен профиль электрической томографии с системы диполь-диполь [7] (Sharma, 1997), длина профиля 300 м для изучения оползней. Профиль состоит из 30 электродов, расположенных в 10 м друг от друга с регистрирующей аппаратурой - прибор IRIS. Для интерпретации псевдо секций, необходимо присвоить значения удельного электрического сопротивления каждому слою составляющему этот участок.

### Результаты и обсуждение

**а) Анализ частиц:** Установлено, что глинистая фракция, характеризуется диаметром менее 63 мкм, составляет примерно 70% по массе образца глины. Остальная часть образца состоит из ила и мелкого песка (рис.4). Согласно классификации ASTM это тонкая глина.

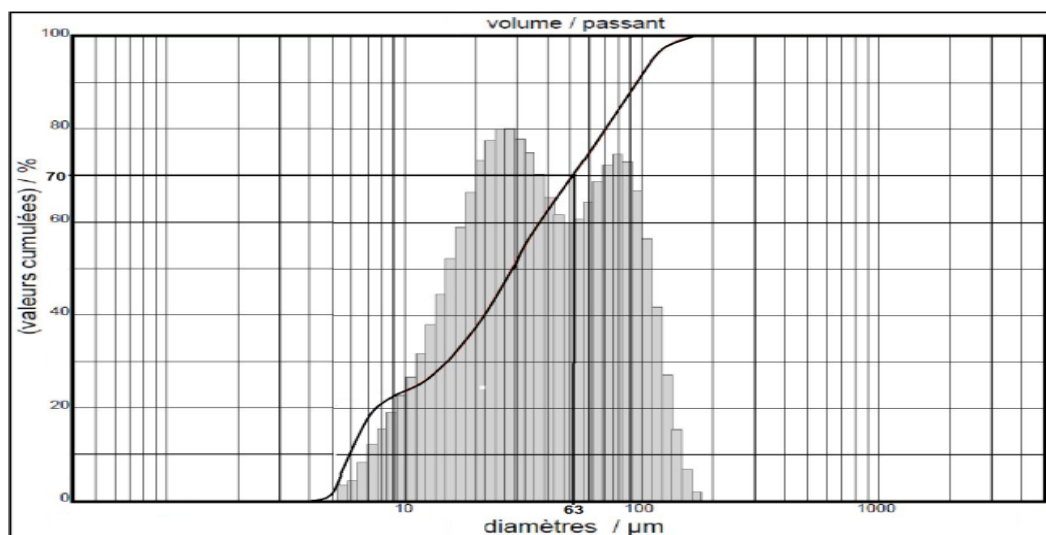


Рисунок 4 – Накопительное кривая классификации

**б) Дифракционный рентгеновский анализ:** Результаты представлены в виде спектров по двум осям, Counts/s и °2Theta. Анализ показывает, что обычная глина состоит из кварца, кальцита, полевого шпата каолинита и

иллита. Пропорции оцениваются от площади пика. После удаления карбонатов кальция и сульфатов, анализ глинистой фракции показывает пик каолинита, иллитовые, и также слои пучинистого грунта (Рис.5). Пропорции разделены между 55% для каолинита, монтмориллонита 25% и 25% для прослоек хлорит-вермикулита. Сравнение трех проанализированных образцов показывает, что в минералогии преобладают глинистые минералы группы каолинита.

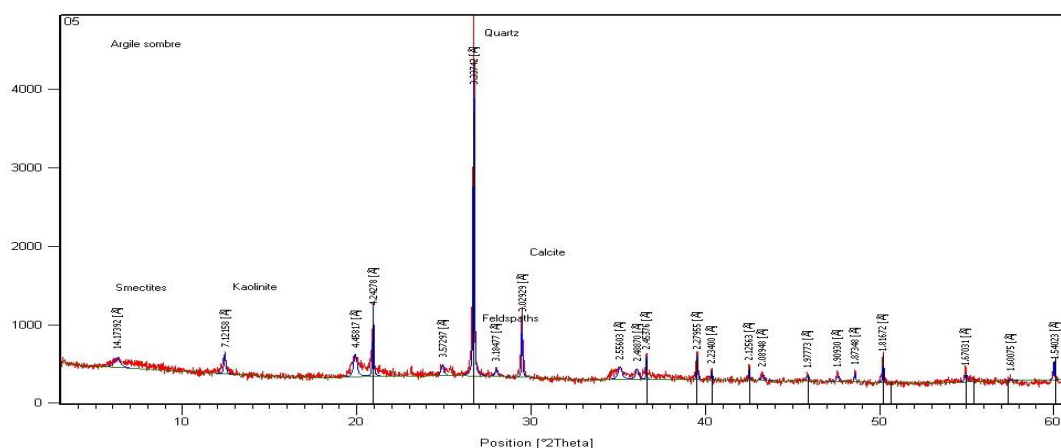


Рисунок 5 – Рентгенограмма образца глины

**в) Анализ инфракрасной спектроскопии:** Этот анализ был сделан для тех же образцов, как и в предыдущих исследованиях. Все адсорбционные полосы, относящиеся к фазе глины и примесей исследуемых образцов были рассмотрены и соответствующие инфракрасные спектры показаны на рис.6. Полосы слабой интенсивности, расположенные на  $+798\text{ см}^{-1}$  и близко  $750\text{ см}^{-1}$  указывают на присутствие каолинита [8] (Russel and Fraser, 1996). Карбонаты обнаруживаются практически во всех образцах, углероды были обнаружены с полосной характеристикой на  $1400\text{ см}^{-1}$ . Способность глин к пучению при проникновении полярных молекул между плоскостями проявляется на промежутке  $1400\text{-}1600\text{ см}^{-1}$  и способность к поглощению воды между  $3600\text{-}3700\text{ см}^{-1}$ . Отмечено что слои сильно водопоглощающего каолинита появляются на  $3600\text{-}3800\text{ см}^{-1}$ . Среди этих слоев преимущественно те, которые соответствуют колебаниям связей: Si-O, Si-O-Al, Si-O-Mg, Al-Al-OH, и Al-Mg-OH. Эти результаты подтверждают результаты дифракции рентгеновских лучей X, где эти глины являются группой каолинит монтмориллонита. Их характерные слои залегают на  $1400\text{ см}^{-1}$ . Мощность пучинистых глин проявляется в диапазоне  $1400\text{-}1600\text{ см}^{-1}$ , адсорбция воды между  $3600\text{-}3700\text{ см}^{-1}$ .

Приведены в основном те группы, которые соответствуют колебаниям связей Si-O, Si-O-Al, Si-O-Mg, Al-Al-OH, и Al-Mg-OH. Эти результаты подтверждают результаты дифракции рентгеновских лучей X, где присутствуют глины группы монтмориллонита и каолинита.

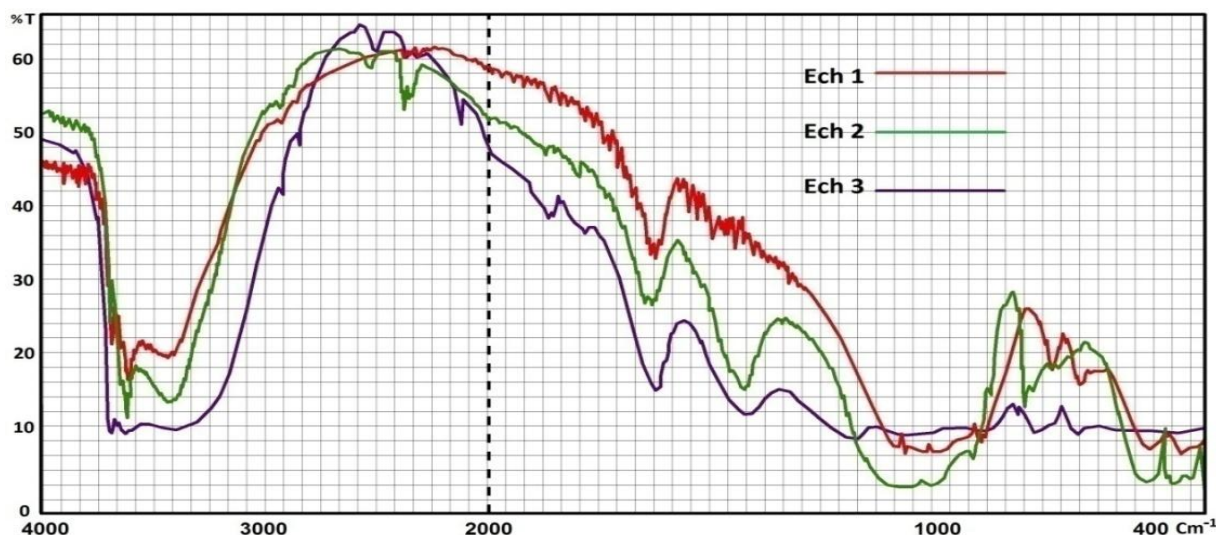


Рисунок 6 – Инфракрасный спектр трех исследованных образцов

г) **Анализ с помощью рентгеновской флюоресценции:** Результаты FRX дают процентное содержание основных элементов в образцах. Они показывают, что образцы состоят из нескольких неорганических оксидов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и т.д.), растворимых солей и органических веществ. Этот химический анализ позволяет сделать следующие результаты: двумя наиболее характерными элементами являются:  $\text{SiO}_2$  со средним содержанием 39.470% и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с средним содержанием 25.169%. Присутствие большой доли  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (09,291%) объясняется выветриванием сланцев. Повышенные уровни  $\text{SO}_3$  (0,083%) и  $\text{FeS}_2$  (0,117%) иллюстрирует наличие гипса и пирита.

д) **Геоэлектрические изыскания:** Профиль диполь-диполь показывает на поверхности относительно высокое удельное сопротивление на сухих морены. Ниже мы видим более слабое удельное сопротивление что объясняется наличием водонасыщенных морен. Еще далее, но только на левой стороне профиля, выделим снова образование, где удельное сопротивление очень высокое (рис.7). Это объясняется коренных пород в районе характеризуется чередованием мергелей и глины. Коренные породы, возможно, не залегают



непрерывно под моренами, поскольку выделяется зона с очень низким удельным сопротивлением между точками 240 и 320 метров. Мы интерпретируем эту зону как зону разлома, где циркуляция воды имеет важное значение.

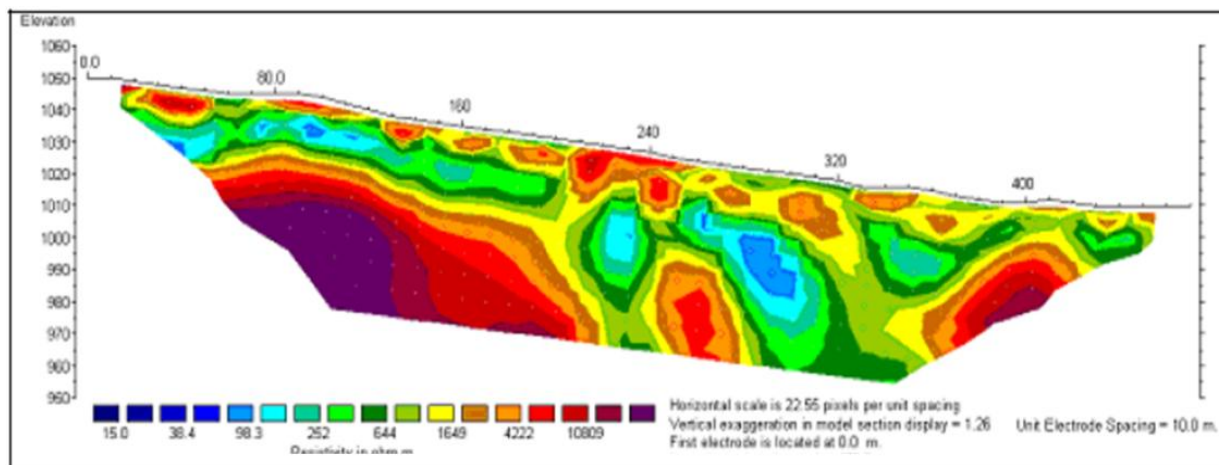


Рисунок 7 – Диполь-диполь профиль

По результатам лабораторных испытаний, классификация горных пород RMR (Rock Mass Rating) и натуральных испытаний, инженерно-геологические и геотехнические параметры приведены в следующей таблице (табл. 1).

Таблица 1 – Геотехнические параметры

Параметр	Комковатый ил	Илистые горные породы	Песчаная глина	Мергель полностью выветрелый	Мергель выветрелый	Мергель немного выветрелый
$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.0	21.5	19.0	20.0	21.4	24.0
C (kPa)	0	5	16	25	30	70
$\varphi$ (°)	20	25	18	20	25	33
qd (bars)	25	48	38	40	100	

### Механические свойства

Динамические тесты пенетromетра показывают, что слой поверхности грунта рыхлый. Геотехнические и упругие параметры были определены с помощью сдвиговых тестов в коробке CASAGRANDE (недренированные условия) и сжимающих испытания на прочность, выполняемых в лаборатории

на образцах которые были взяты во время геотехнического обследования (табл. 2).

**Таблица 2** – Механические свойства изучаемого откоса

№	Слой	$\gamma_h$ (KN/m <sup>3</sup> )	C (kPa)	Ф (°)	E	v
1	Илистые породы	21,5	5	25	12000	0.30
2	Песчаная глина	19	16	18	15000	0.32
3	Мергель полностью выветрелый	20	25	20	45000	0.35
4	Мергель выветрелый	21,4	30	25	95000	0.36

### Выводы

По результатам, изложенным в работе, получен главный вывод о том, что грунтовые материалы изучаемого района являются групповой каолинита монтмориллонита. Их характеристики благоприятны к возникновению гравитационных движений сравнительно с более-менее устойчивыми откосами. Полученные результаты могут быть руководством по геологическим, химическим и минералогическим характеристикам района исследования. Для завершения анализа были объединены инженерно-геологические и геофизические данные. Этот подход основан на выявлении сочетания геологических, инженерно-геологических, минералогических и геофизических характеристик. Он имеет преимущество поскольку является не очень дорогостоящим, работы выполняются в течение приемлемого промежутка времени, подход дает возможность ценную информацию о геологическом происхождении элементов и их поведении. Полученные результаты дают возможность проектировщикам простой и удобный инструмент поддержки принятия решений. Подход дает возможность оценить сложность геологического строения склонов. Результаты геологических данных дают возможности для нового понимания структурной эволюции крупномасштабных деформаций в исследуемой области.

### **Литература**

1. Obert, D. (1981). Etude géologique des Babors orientaux, Thèse : Doctorat d' état : terre, océan, espace, Université Pierre et Marie Curie. Paris 6, Paris :635 p.
2. Glaçon J., 1967- Recherche sur la géologie et les gites métallifères du Tell Sétifien (Algérie), Bulletin du Service Géologique d'Algérie, Nouv. Sér. n° 32, 674p.
3. Leikine M., 1971- Etude géologique des Babors occidentaux (Algérie), Thèse Doctoral, Paris536.
4. Moore D. M., Reynolds R. C. (1989)- X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford University Press. New York.
5. Cook, H/E/, Johnson, P.D., Matti, J.C. and Zemmels, I., (1975). Methods of sample preparation and x-ray diffraction analysis in x-ray mineralogy laboratory, In: Kaneps A.G. et al. (eds), Init. Repts DSDP XXVIII, Print. Office, Washington DC, 997-1007.
6. Lebourg, T., & Frappa, M. (2001). Mesures géophysiques pour l'analyse des glissements Revue Française de Géotechnique, 96, 33-40.
7. Sharma V.R. (1997) Environmental and Engineering Geophysics, 1st Edition, Cambridge University Press, UK.
8. Russell, J.D. and Fraser, A.R. (1996) Infrared methods. pp. 11 – 67 in: Clay Mineralogy: Spectroscopic and chemical determinative methods. (M.J. Wilson, editor). Chapman & Hall, London.

### **Рецензенти:**

Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.  
Гончаренко Ф.П., канд. техн. наук, ДП "Укрдіпроддор".

### **Reviewers:**

Gameliak I.P., Dr. Tech. Sci., National Transport University.  
Honcharenko F.P., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "Ukrdiprodor".

Стаття надійшла до редакції: **18.07.2016 р.**