

ОПЫТ И ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОБВАЛЬНО-ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ МОРСКИХ ПОБЕРЕЖИЙ (НА ПРИМЕРЕ ХРЕБТА СЕМИСОМ, КРАСНОДАРСКИЙ КРАЙ)

Миرونюк С. Г., Ионов В. Ю.

(Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва)

Аннотация: рассмотрены версии образования крупных блоковых оползней на полуострове Абрау. Изучены условия строительства трубопровода методом микротоннелирования на участке развития оползней. Рассмотрены методы изучения оползней. Показаны трудности подготовки образцов для определения прочностных и деформационных свойств скальных пород. Продемонстрирована эффективность метода электротомографии при изучении оползней. Выполнен расчет устойчивости склона.

Ключевые слова: Черное море, побережье, землетрясения, оползни, трубопровод, микротоннель, расчет устойчивости склона

Введение. Характерной особенностью кавказских берегов Черного моря является наличие большого количества палеосейсмодислокаций, представленных крупными блоковыми оползнями и обвалами [1,2,6-9, 12-14]. Эти образования начали изучать с середины прошлого века, но их природа до настоящего времени является предметом дискуссий.

Впервые на обвальном-оползневые накопления на побережье п-ова Абрау, сложенные грубообломочным материалом (глыбами, крупными блоками) пород мелпалеогенового флиша, обратил внимание В. Л. Болдырев [2]. Он установил, что оползни-обвалы приурочены к крыльям антиклинальных складок, падающих в сторону моря и прослеживаются на морском дне до глубины 50 м. По мнению В.Л. Болдырева оползни-обвалы являются древними (новоэвксинскими) и образовались при значительно более низком, чем в настоящее время, уровне моря в результате тектонических процессов. Позже М. М. Алексеев и Н. А. Ходырев [1], дополнили описание рассматриваемых оползней-обвалов, оценили их мощность и высказали предположение о приуроченности стенок отрыва обвальном-оползневых блоков к зоне вдольберегового разлома.

А. Б. Островский первый высказал предположение о том, что оползни-обвалы в полосе побережья Черного моря являются «палеосеймотектоническими дислокациями» и были созданы 9-балльными и более сильными землетрясениями [8]. В. С. Хромовских, В. П. Солоненко, Р. М. Семенов и др. [13] эти дислокации («блочные оползни») отнесли к особому типу сейсмогравитационных структур в области «расщепления» флишевой толщи. Их образование по мнению авторов указанной работы «нельзя объяснить иначе, как сейсмовибрационным эффектом при землетрясениях умеренной интенсивности». С. А. Несмеянов [6] идентифицировал блочные оползни в зоне изученного им Утришского сброса с так называемыми блоками «гравитационно-тектонического отседания», не исключая участие в их образовании и сейсмовибрационного фактора. В последнее время описываемые структуры изучаются специалистами Кубанского государственного университета [9,14].

Согласно полученным ими данным сейсмогравитационные деформации Черноморского побережья Кавказа могли возникнуть в результате серии сейсмических событий с интенсивностью 8-9 баллов по шкале MSK-64. По данным А.А. Никонова [7], наиболее ранние Утришские сейсмодислокации возникли в 9-11 вв. н.э. при 8-9 балльном землетрясении. По мнению Шулякова Д. Ю. [14] тектонико-сейсмогравитационные сместившиеся тела (оползни-обвалы) сейсмогравитационного происхождения на полуострове Абрау значительно древнее и возникли в результате 8-10 балльных землетрясе-

ний в 63 году до н. э. или в 417 году до н. э. Их формирование по мнению указанного автора связано как с сильными землетрясениями прошлого, так и с криповыми подвижками бортов активных разломов.

Один из таких сейсмогенных оползней отрыва-скольжения (согласно классификации гравитационных склоновых процессов, М. Ю. Кропоткина [4]), расположенный на юго-западном склоне хр. Семисом в 0,4 км от устья р. Шингарь, был детально изучен в связи со строительством здесь трубопровода большого диаметра методом микротоннелирования.

Методы исследований. С целью изучения строения оползневой массы, ее морфологии, установления мощности оползневых накоплений, определения кровли несмещенных (коренных) пород, картирования зон тектонических нарушений и зон повышенной трещиноватости, установления гидрогеологических условий склона, состава и свойств слагающих его пород применялся широкий комплекс методов [10,11]. Среди них основными являлись:

- дешифрирование аэро- и космоматериалов;
- маршрутные наблюдения;
- проходка и опробование горных выработок, лабораторные исследования грунтов;
- геофизические исследования: с поверхности земли (электротомография, электропрофилерование, сейсморазведка КМПВ), скважинные методы (электрический гамма, индукционный, акустический каротаж, термометрия, резистивиметрия с засолением, кавернометрия, видеокаротаж в сухих интервалах скважин).

Морские геофизические исследования включали непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП), многолучевое эхолотирование (МЛЭ) и гидролокацию бокового обзора (ГЛБО).

Характеристика сейсмогенных оползней района исследований. Маршрутные наблюдения, дешифрирование космоматериалов, фоновые материалы (ООО «Геопроектстрой») свидетельствуют, что побережье полуострова Абрау характеризуется наибольшей плотностью оползней в сравнении с другими береговыми участками Черного моря. Дешифрирование крупномасштабных космических снимков показало, что наиболее крупные оползневые тела развиты в северо-западной части района работ и приурочены к зоне Утришского (Западноутришского) разлома. Утришский разлом выделен А.Б. Островским [8] и по его данным прослеживается в виде крутого уступа в прибрежной полосе Черного моря от устья р. Сукко до мыса Утриш, где он представлен стенками отрыва оползней и рвами расседания.

По результатам проведенного ООО «Геопроектстрой» исследования, все нарушения в районе работ разделяются на сеймотектонические (рвы и уступы) и сейсмогравитационные (оползни, обвалы и каменные лавины). При этом отчетливо выделяется две генерации сейсмогенных образований.

Наиболее крупные нарушения рельефа береговой зоны зафиксированы в районе мыса Бол. Утриш. Здесь крупный блок флиша достигающий в поперечнике 400-500 м, оторвался от Навагирского хребта и сместился в сторону моря. Характерной чертой Утришской структуры является непропорционально большая по отношению к величине вертикального смещения, ширина рва (90-130) м. Общая длина нарушения (не считая подводной части) – около 1,3 км.

Полевые морские работы выполнялись в районе Утришских оползней ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» в 2005-2006 гг. Установлены, что оползневые тела прослеживаются до глубин моря 40-50 м, образуя высокие (до 25-30 м) банки с крутыми склонами (до 45°). Отмечалось, что на одном из изученных оползней оползневой язык до полутора раз длиннее берегового склона. В этой связи сделано предположение о неоднократном сползании пачек флиша с подталкиванием оползневых масс, сошедших ранее.

К северу от мыса Бол. Утриш оползни прослеживаются вплоть до пос. Су-Псех. В частности, небольшим скальным оползнем поражен восточный склон горы Солдатская (пос. Сукко). В тыловой части оползневой блока, сложенного ненарушенными мергелями и известняками, образовался ров глубиной около 2,5 м при ширине до 6 м. Величина горизонтального перемещения составляет около 140 м, вертикального – 8-10 м. В 10 км на СЗ от этого оползня наблюдается еще один крупный скальный оползень размером до 445 м в поперечнике. В плане он имеет циркообразную форму. Высота стенки отрыва около 10 м. Участок развития оползней, как древних, так и современных прослеживается и в окрестностях пос. Су-Псех. Здесь нами обнаружен древний оползневой цирк дугообразной формы. Его протяженность около 1,5 км. Тело оползня практически полностью уничтожено абразией. Величина смещения блока около 30 м.

Характеристика изученного оползня. Изученный оползень сформировался на склоне ЮЗ экспозиции, в узле пересечения зон разрывных нарушений разных направлений. Зоны выделены по геоморфологическим признакам (приурочены к балкам на суше и ложбинам в пределах бенча), а также геофизическими методами. Угол наклона склона достигает 50-65°. Оползень имеет в плане циркообразную форму, длина его тела достигает 160 м, ширина около 700 м. Продольный профиль оползня в плане ступенчатый, средний угол наклона поверхности изменяется от 30° до 45°. Высота стенки отрыва изменяется от 3-4 до 12 - 15 м. Мощность оползня по данным геофизических исследований (ЭТ, видеокаротаж скважин), кавернометрии бурения изменяется от 20 м до 60 м, уменьшаясь вниз по склону. Язык оползня срезан активным клифом, высота которого достигает 20 м.

В стенке отрыва оползня обнажаются мергели и песчаники, залегающие моноклинално и довольно круто падающие в сторону моря. Песчаник серовато-коричневого цвета, прочный, плитчатый. Прослой песчаника фрагментарно перекрыт мергелями серыми сильновыветрелыми, сильно трещиноватыми, малопрочными. Падение пластов – юг-юго-запад (параллельно склону) 56°.

Делясивные образования представлены преимущественно мергелями известковыми от очень низкой прочности до средней прочности, переслаивающиеся с известняками глинистыми и алевроитовыми от малопрочных до прочных; известковыми песчаниками от средней прочности до прочного; известковыми алевролитами средней прочности и алевроитовыми известняками, от средней прочности до прочных. При подготовке образцов для лабораторных испытаний на физические и физико-механические свойства, обладающих от пониженной до очень низкой прочности, происходило их разрушение, что являлось также следствием повышенной трещиноватости описываемых толщ. Вследствие этого, в основном, были опробованы грунты от малопрочных до прочных.

У ненарушенных коренных пород скорость продольных волн (V_p) составила 3000 - 3300 м/с, а поперечных (V_s) - 1500-1700 м/с. В зонах повышенной трещиноватости скорости понижаются, V_p до 2650 м/с, V_s до 1350 м/с. В оползневых накоплениях, скорости также уменьшаются, но изменяются в большом диапазоне $V_p = 1200-2400$ м/с, $V_s = 600-1300$ м/с. Это свидетельствует о сложном строении оползневого тела и наличии в нем ненарушенных блоков пород флиша. Необходимо отметить, что сейсморазведка КМПВ имеет определенные ограничения при работе на участках с инверсионными разрезами.

Сейсмические данные были дополнены электротомографией. Опыт использования этого метода для выявления разрывных нарушений и зон повышенной трещиноватости представлен в нашей работе [5]. На рис. 1 демонстрируется пример применения электротомографии при исследовании рассматриваемого оползневого участка. Как видно, на разрезе достаточно четко прослеживаются границы древнего оползня, благодаря пониженным значениям удельного электрического сопротивления (УЭС) оползневых отложений.

При определении мощности оползневых накоплений хорошо себя зарекомендовали также методы видеокаротажа и кавернометрии. На рис. 2 в интервале глубин 28-30 м одной из скважин прослеживается зона контакта оползневого тела с несмещенными коренными породами. Отчетливо видно, что толща оползневых образований в этом интервале представлена глыбами, скрепленными глинистым материалом, имеются пустоты, размер которых превышает номинальный диаметр скважины в 2-4 раза. Ниже залегают породы коренного основания, стенки скважины «гладкие», без трещин и каверн. Далее по стволу скважины в коренных породах встречаются трещины, заполненные кальцитом.

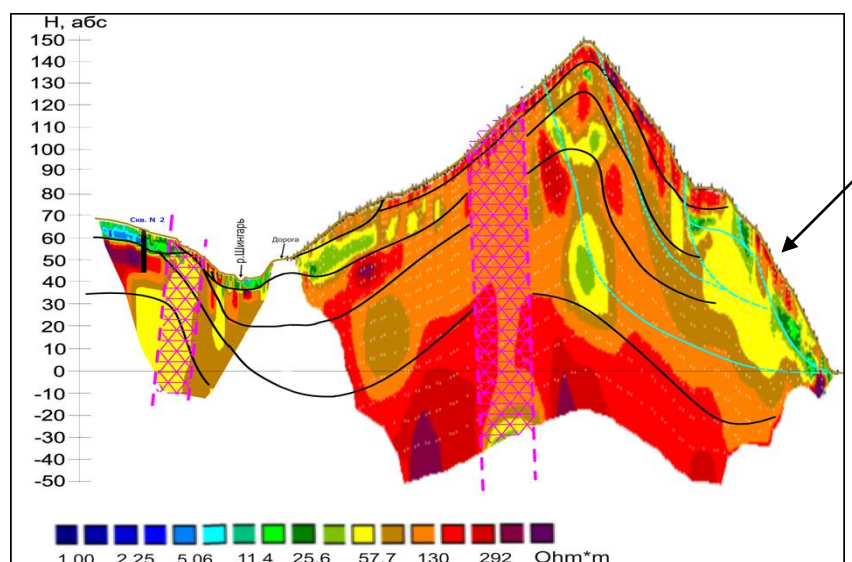


Рис. 1. Геоэлектрический разрез долины р. Шингарь и хр. Семисом. Вертикальные зоны повышенной трещиноватости – «штриховка»; предполагаемые зеркала скольжения оползневых тел – «прерывистые линии»; древний оползень – «стрелки»



а



б

Рис. 2. Кадры видеосъемки ствола скважины: а-крупнообломочные оползневые накопления в интервале глубин 28 - 30 м; б- коренные отложения мел-палеогенового флиша.

Оценка устойчивости склона. С целью составления прогноза проявления оползневых процессов на рассматриваемом участке, вдоль оси проектируемого трубопровода были выполнены расчёты устойчивости склона. Расчёты устойчивости склонов, сложенных породами флиша (известняки, песчаники, алевролиты) и оползневыми накоплениями, выполнялись по методу Н.Н. Куваева [3].

В ходе проведения инженерно-геологических изысканий было выявлено несколько возможных поверхностей скольжения оползневых тел. Одна поверхность скольжения была выявлена по данным бурения, ряд возможных поверхностей скольжения был

выявлен в процессе проведения геофизических работ. Так как поверхность скольжения древнего оползня, выявленная по данным бурения, залегает на глубине ~50 м, а самая глубокая потенциальная поверхность скольжения залегает на глубине ~85 м, расчёты были выполнены для обеих поверхностей с целью прогноза возможных подвижек, изученного древнего оползневоего тела и образования нового оползня.

Расчёты скальных оползней, результаты которых приведены ниже, основаны на аппроксимации поверхности скольжения двумя плоскостями. При этом оползневой блок разделён вертикальной плоскостью на два фрагмента, чтобы каждый из фрагментов опирался на одну из двух плоскостей скольжения (рис. 3).

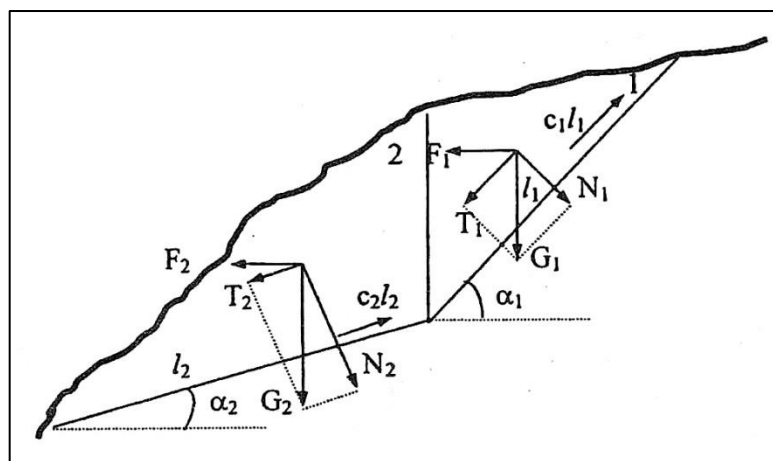


Рис. 3. Схема для расчёта устойчивости скального оползня. G – вес фрагмента оползневоего тела, T – сдвигающая сила, N – нормальная сила, c – сцепление, l – длина основания фрагмента, α – угол между поверхностью скольжения и горизонталью, F – сейсмическая сила. Цифры 1 и 2 указывают на номера фрагментов

Для расчёта коэффициента устойчивости были использованы следующие соотношения:

$$K_y = \frac{(N_1 \operatorname{tg} \varphi_1 + c_1 l_1) \cos(\alpha_1 - \alpha_2) + N_2 \operatorname{tg} \varphi_2 + c_2 l_2}{T_1 \cos(\alpha_1 - \alpha_2) + T_2},$$

$$\begin{aligned} N_1 &= G_1 (\cos \alpha_1 - K_c \sin \alpha_1), \\ N_2 &= G_2 (\cos \alpha_2 - K_c \sin \alpha_2), \\ T_1 &= G_1 (\sin \alpha_1 + K_c \cos \alpha_1), \\ T_2 &= G_2 (\sin \alpha_2 + K_c \cos \alpha_2). \end{aligned}$$

где K_y – коэффициент устойчивости, K_c – коэффициент сейсмичности, φ – угол внутреннего трения, остальные обозначения указаны на рис.3.

Расчётные поверхности скольжения показаны на рис. 4.

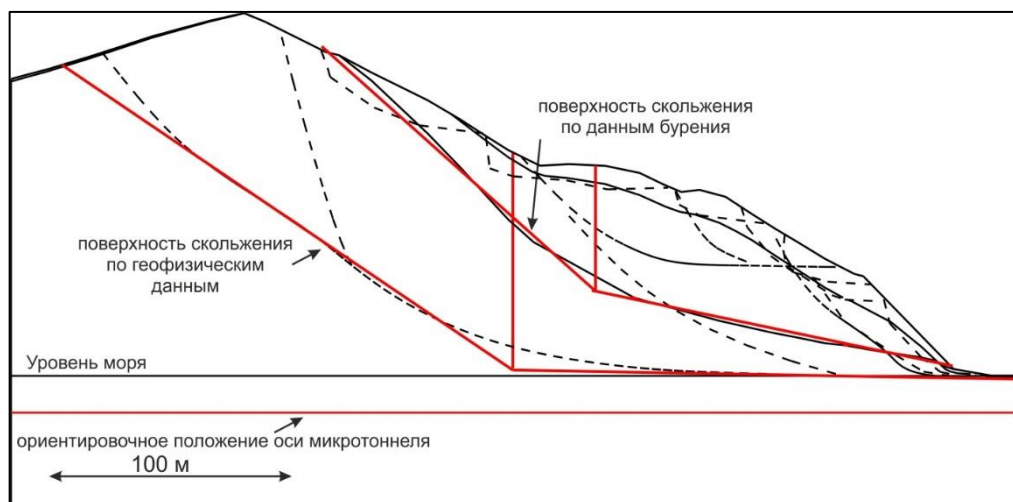


Рис. 4. Геомеханическая схема, использованная для расчётов устойчивости скальных оползней. Пунктирными линиями показаны поверхности скольжения оползней по геофизическим данным. Соотношение масштабов горизонтального к вертикальному 1:1

Расчёты устойчивости скальных оползней выполнялись для двух условий:

- 1) для естественного состояния склона;
- 2) для естественного состояния склона с учётом сейсмического воздействия силой 8,2 балла по шкале MSK-64.

Выполненные расчёты показали, что при естественном состоянии склона для потенциальной поверхности скольжения, выявленной по геофизическим данным, характерно значение коэффициента устойчивости 4,0, а в расчётах по варианту 2 (с учётом сейсмического воздействия) $K_u=2,4$. Полученные значения коэффициентов устойчивости свидетельствуют об устойчивом состоянии массива грунтов, опирающегося на рассматриваемую расчётную поверхность.

Для поверхности скольжения по данным бурения для варианта 1 (при естественном состоянии склона) характерно значение коэффициента устойчивости 6,6, а при учёте сейсмического воздействия 3,7.

Результаты расчёта устойчивости скальных оползней показывают, что их можно отнести к оползням длительной стабилизации (по СП 11-105-9 часть II [11]), так как они находятся в устойчивом положении, как в естественном состоянии, так и при расчётном сейсмическом воздействии.

Литература:

1. Алексеев М. М., Ходырев Н. А. Оползневые процессы на морском побережье между Анапой и Новороссийском // Материалы Харьковского отдела Географического общества Украины. Вып. XII. Гидрогеология и инженерная геология. –М.: Недра, 1973, с. 86-88.
2. Болдырев В. Л. Обвальнo-оползневой тип берега // Труды Института Океанологии. Том XXI, 1957, с. 118-132.
3. Калинин Э.В. Инженерно-геологические расчёты и моделирование. –М.: Изд-во Московского ун-та, 2006. -246 с.
4. Кропоткин М.П. Гравитационные склоновые процессы - возможная общая классификация // Инженерная геология, 2017, №4, с. 28-38.
5. Миронюк С. Г., Науменко Д. А., Винда А. А. Применение методов сейсмо - и электротомографии для обнаружения зон повышенной трещиноватости при строительстве трубопроводов способом наклонно-направленного бурения в горно-складчатой области // Инженерные изыскания, 2012, №9, с. 18-24.

6. Несмеянов С. А. Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа. – М.: Недра, 1992. -254 с.
7. Никонов А. А. Об исторических землетрясениях и сейсмическом потенциале в районе г. Анапы // Сейсмологический бюллетень Украины за 1993 год. Симферополь, 1996, с. 84-87.
8. Островский А.Б. Палеосеймотектонические дислокации на Черноморском побережье Северо-Западного Кавказа в связи с оценкой современной сейсмической опасности этой территории // Комплексные исследования Черноморской впадины. М.: Наука, 1970, с. 46-58.
9. Попков В.И., Крицкая О.Ю., Остапенко А.А. Сейсмогравитационные деформации и оценка сейсмической опасности южного склона Северо-Западного Кавказа // Актуальные проблемы современной сейсмологии: сборник докладов Международной конференции, посвященной 50-летию Института сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз, 12-14 октября 2016 г. Ташкент, Узбекистан. Ташкент, 2016, с. 452-456.
10. Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям на оползневых склонах Северного Кавказа с целью их хозяйственного освоения. – М.: Стройиздат, 1983,-68 с.
11. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. –М.: ПНИИИС Госстроя России, 2000, с. 14-20.
12. Хромовских В. С., Никонов А. А. По следам сильных землетрясений. – М.: Наука, 1984. -144 с.
13. Хромовских В. С., Солоненко В. П., Семенов Р. М., Жилкин В. М. Палеосейсмология Большого Кавказа. –М.: Наука, 1979. - 188 с.
14. Шуляков Д. Ю. Классификация оползней на территории Северного Кавказа//Геология, география и глобальная энергия, 2011, №2 (41), с. 293-300.