

УДК 624.131.1 (477.9)

В. И. Мельник, В. П. Ильченко, О. Г. Сиденко

Инженерно-геологические исследования материкового склона в районе Южного берега Крыма

Рассмотрены новые методы определения прочностных свойств донных отложений в акваториях морей и океанов непосредственно на борту корабля в судовой лаборатории. Приведен анализ изменения прочности илов в зависимости от их возраста, литологии, характера структурных связей, а также приуроченности к определенным участкам рельефа морского дна. Обращено внимание на сейсмическую активность континентального склона в районе Южного берега Крыма и влияние землетрясений на структурную прочность слабо литифицированных донных отложений.

Народно-хозяйственное освоение морского дна приводит к интенсивному расширению площадей акваторий, подверженных инженерной деятельности человека. Работы по детальному изучению геолого-геоморфологических и инженерно-геологических условий на континентальном склоне Южного берега Крыма (ЮБК) практически только начинаются. Такие исследования представляют интерес как для геологической науки, так и практического освоения этой части акватории Черного моря.

Получение достоверных данных о рельефе и донных осадках на больших глубинах сопряжено с рядом трудностей, связанных с обеспечением надежной и точной привязки точек наблюдений, изменением свойств донных осадков при подъеме их на дневную поверхность вследствие резких перепадов давления и температуры окружающей среды. При проведении работ на материковом склоне нам удалось с помощью радионавигационных средств достичь точности координирования в пределах ± 3 м. Применение же разработанного в Институте геологических наук АН УССР комплекса приборов для экспресс-исследований донных осадков сокращает время обработки колонок грунта до 30—40 мин. При этом плотность и влажность осадков изучали радиоизотопным влагоплотномером непосредственно в грунтотборной трубке, а прочностные параметры — сразу же после извлечения грунта из трубки в судовой лаборатории. Здесь же отбирали пробы газа, содержащегося в осадках, для дальнейшего изучения его химического состава. Как нам представляется, указанная методика весьма перспективна для исследования донных осадков морей и океанов. Она позволяет за сравнительно короткий срок получать информацию на значительной площади. Ниже приведены некоторые результаты выполненных нами исследований с привлечением литературных данных.

Геоморфология. Как известно, Черноморская впадина в геоструктурном плане расположена на стыке двух крупных зон: на севере — мегантиклинорий Балкан, Горный Крым и Большой Кавказ, на юге — Истранджа и складчатое сооружение Понта. Главные особенности рельефа дна Черного моря определяются тектоническим строением ложа и связаны с наиболее крупными тектоническими элементами его областей. В строении дна Черного моря выделено три крупные морфогенетические области: материковая отмель (шельф), материковый склон и глубоководная впадина.

© В. И. МЕЛЬНИК, В. П. ИЛЬЧЕНКО, О. Г. СИДЕНКО, 1990

Исследованный участок расположен на траверзе центра восточной части ЮБК. Здесь континентальный склон примыкает к ядру Крымского антиклинория, находясь в пределах Южно-Крымского синклинория. Бровка склона располагается на глубине 97—100 м. Поверхность его интенсивно расчленена сравнительно глубокими сложнопостроенными долинами и каньонами субнормального к берегу простирания. В поперечном профиле материкового склона четко прослеживаются четыре морфогенетические зоны: 1) гравитационного сноса в пределах прибровочной крутой части склона; 2) спокойной аккумуляции алевро-пелитовых осадков на поверхности гравитационно-структурной террасы; 3) сноса и транзита осадков по склону вдоль подводных долин и каньонов; 4) интенсивной аккумуляции пелитовых осадков.

Первая зона размещена в прибровочной крутой части склона, границами которой являются бровка континентального склона и рывинообразное понижение. Она характеризуется развитием крутых углов наклона (50—60°), наличием вертикальных стенок, преобладанием сноса и слабой современной аккумуляцией осадков. При визуальном обследовании на подводном аппарате (ПА) здесь зафиксировано множество последовательно расположенных вертикальных уступов высотой до 1 м, чередующихся с уклонами 25—40°. В пределах подводной долины описываемая зона имеет вид понижения глубиной 10 и шириной 60—80 м с пологими склонами. Вдоль понижения на расстоянии около 100 м друг от друга отмечаются вертикальные уступы высотой 6—25 м. Между этими уступами расположены площадки с уклонами 45—70°. Характер строения верхней морфогенетической зоны континентального склона позволяет считать ее стенкой сброса по разлому, фиксирующемуся продольными понижениями.

Образование второй морфогенетической зоны связано, по-видимому, с опусканием пород нижнего крыла сброса и накоплением в нем продуктов гравитационного сноса и естественного современного осадконакопления. Она ограничивается в верхней части продольным понижением, а в нижней — линией распространения современных осадков, которые для следующей к низу зоны не характерны. Ширина зоны в среднем составляет 2—2,5 км. Поверхность террасовой площадки бугристая, полого наклонена к морскому ложу. При визуальном обследовании на поверхности зафиксированы россыпи камней полуокатанной формы и следы ряби. Очевидно, это материал обвалов с верхней зоны и следы вызванных ими потоков.

Третья морфогенетическая зона является зоной транзита осадочного и гравитационного материала по многочисленным долинам и каньонам на поверхности континентального склона. Наклон поверхности зоны к морскому ложу составляет 10—20° и уменьшается сверху вниз. Характерной особенностью этой зоны является ее интенсивное расчленение долинами и каньонами глубиной 10—15 и шириной 60—80 м. Крутизна склонов этих образований достигает 60° и уменьшается книзу. Дно долины (по данным визуальных наблюдений с ПА) разбито поперечными уступами высотой 0,5—10 м и более.

Четвертая зона охватывает нижнюю часть континентального склона и периферию морского ложа. Ее поверхность ровная, слабо всхолмленная. Угол наклона не превышает 5°. Зона характеризуется интенсивным осадконакоплением.

Тектоника и сейсмичность. Материковый склон ЮБК приурочен к Южно-Крымскому синклинорию, а самая южная выполаживающаяся его часть и подножие — к северному крылу Южно-Крымского антиклинория. Согласно наиболее распространенной точке зрения на механизм образования континентального склона в районе ЮБК, здесь расположен крупный многоступенчатый сброс, по разломам которого происходит опускание и погребение блоков. Интенсивное осадконакопление в нижней наиболее широкой части склона скрывает геоморфологическое строение зон разломов сброса. В верхней части, в зонах замедленной аккумуляции и активизации современных подводных процес-

сов, разрывные нарушения на поверхности дна (в морфологии склона) могут проявляться, во-первых, как граница между первой и второй морфогенетическими зонами, выразившаяся рядом параллельных рытвин, прослеженных визуально с ПА, а во-вторых — как целая серия встреченных на дне каньона вертикальных уступов.

По данным геофизических работ в пределах континентального склона прослеживаются три зоны субширотных разломов, осложненных серией субмеридиональных разрывов местного и регионального значения. Наиболее крупными поперечными зонами разломов являются субмеридионально направленные Алуштинская и Феодосийская зоны. Особенности тектонического строения материкового склона в районе ЮБК обуславливают и его сравнительно высокую сейсмическую активность. Так, за 75 лет текущего столетия в Крымском регионе зарегистрировано 110 случаев землетрясений различной интенсивности. Данные, полученные после 1927 г., указывают на то, что почти все землетрясения связаны с очагами, расположенными в море, к югу от Крымского п-ова.

Область проявления основной части землетрясений приурочена к сравнительно узкой субширотной полосе, образованной крупными элементами глубинного строения: глубинными разломами, континентальным склоном и зоной перехода коры континентального склона и коры океанического типа. Зона перехода коры и континентальный склон собственно и являются сейсмогенной зоной Черного моря Крымского региона. Все регистрируемые очаги землетрясений четко локализуются в четыре группы: севастопольскую, ялтинскую (центральную), судакскую и феодосийскую.

По интенсивности преобладают землетрясения в 3—5 баллов. Так, за период с 1802 по 1924 гг. зарегистрировано около 57 ощутимых землетрясений, из которых интенсивностью в 3—5 баллов было 47, в 6 баллов — семь, в 7 баллов — три. С 1925 по 1964 г. еще зарегистрировано 48 ощутимых землетрясений, в том числе только за 1925—1934 гг. — 37 случаев. При этом наиболее разрушительным в Крыму было землетрясение 1927 г., интенсивность которого достигала 8 баллов. Наблюдения последующих лет показали, что после этого землетрясения в 1928 г. было зарегистрировано 97 землетрясений (афтершоков), в 1929 г. — 53, в 1930 г. — 34, с последующим быстрым ослаблением процессов, связанных с землетрясением 1927 г.

Дальнейшие инструментальные наблюдения показали, что сейсмическая активность 1927 г. и последующих лет давала рецидивы в виде отдельных 3—5-балльных землетрясений и в период с 1932 по 1963 г. Небольшие, за последние годы редко происходящие ощутимые землетрясения в Крыму способствуют забвению вероятности сильных землетрясений на полуострове и создают иллюзию монотонно-слабой и незначительной сейсмичности региона. В действительности же процессы, связанные с изменением тектонических напряжений и накоплением потенциальной энергии упругих деформаций, здесь, несомненно, существуют и требуют всестороннего исследования. Так, по данным анализа, выполненного З. И. Аграновичем в 1963—1964 гг., вероятность возникновения землетрясений в 4 балла составляет не реже одного раза в 4 года, а в 8 баллов — не реже одного раза в 200 лет. В связи с этим особое внимание необходимо уделять задачам антисейсмической прочности возводимых зданий и сооружений, а также вопросам влияния землетрясений на прочностные свойства донных отложений при инженерном освоении акватории. Это касается прежде всего участков континентального склона, где в периоды сейсмической активности существенно интенсифицируются процессы оползнеобразования, мутьевые потоки и другие явления.

Геологическое строение. В пределах исследованного участка, представляющего собой часть района материкового склона с активной неотектонической деятельностью, развит сложнопостроенный закономернослоистый позднечетвертичный осадочный чехол, в котором выделя-

ется три стратиграфических горизонта: новоэвксинский, древнечерноморский и новочерноморский. В некоторых местах установлено наличие более древних, по-видимому дочетвертичных, отложений. Выделенные горизонты четвертичных и дочетвертичных осадков хорошо диагностируются по литологическим особенностям и физико-механическим свойствам. Распространение и мощности установленных отложений взаимосвязаны с особенностями геоморфологического строения территории. На водоразделах присутствуют отложения всех выделенных стратиграфических горизонтов. На склонах и днищах каньонов их мощности уменьшаются.

Новоэвксинские слои залегают в нижних горизонтах разреза на водоразделах и их склонах, в русловых частях каньонов. Вскрытая мощность слоев достигает 469 см. Они представлены серыми различными оттенков илами с примесью голубой компоненты цветовой гаммы. Верхняя часть имеет слабо-зеленоватый оттенок, в нижней встречаются коричневатые, розоватые, пастельные оттенки, образующие полосчатость. Это терригенные глинистые илы. Характерной особенностью их является наличие маломощных (до 1 см) прослоев песчано-алевритовой размерности, выраженная сульфидизация железа, представленного в основном метастабильными формами. Встречаются мелкие галька и гравий, отдельные крупные неокатанные обломки вулканогенно-осадочного типа, обломки раковин моллюсков. Повышенная плотность этих отложений способствует образованию крутых бортов каньонов.

Древнечерноморские отложения залегают на новоэвксинских слоях и представлены переслаивающимися терригенными бескарбонатными и слабоизвестковыми пелитовыми и алеврито-пелитовыми илами, бедными органическим веществом, с органогенно-обломочными и биогенными сапропелевидными илами. Они характеризуются зеленовато-серой окраской, местами с бурыми и коричневатыми оттенками. Характерной особенностью является наличие большого количества четких прослоев коричневатого оттенка, обогащенных сапропелеподобным органическим веществом. Мощность древнечерноморских илов достигает 645 см. В целом они представлены глинистыми и алеврито-глинистыми илами, покрывающими водоразделы и их пологие склоны.

Наиболее молодыми являются новочерноморские отложения. Они отделяются от залегающих ниже древнечерноморских осадков серией прослоев белого карбонатного тонкодисперсного материала. Новочерноморские осадки представляют собой литологически однородную толщу глинистых илов, иногда с примесью алевритового материала. У бровки шельфа в них появляются обломки раковин моллюсков. Эти отложения встречены на водоразделах и частично на пологих склонах. Некоторые отложения деформированы процессами оползания.

Дочетвертичные образования неустановленного возраста, выявленные на отдельных участках материкового склона, представлены обломками темно-серых слабослюдистых аргиллитов, серыми и светло-серыми глинами, голубоватыми, глинистыми, плотными, с острорребристым изломом мергелями.

Инженерно-геологические условия. На основе анализа данных прочностных свойств донных осадков, а также с учетом их геоморфологической приуроченности и стратиграфической принадлежности была проведена типизация исследованной площади по инженерно-геологическим условиям. При этом было выделено четыре участка. В качестве основного критерия приняты значения сопротивления сдвигу τ_m , полученные на глубинах 1 м. Ниже приведена краткая характеристика инженерно-геологических условий по каждому из выделенных участков.

Первый типовой участок занимает водораздельное пространство между двумя каньонами. Батиметрические отметки изменяются от 1245 до 1265 м. Участок исследован восемью станциями. Мощность колонок поднятого грунта составляет 490—645 см. С поверхности до глубины 20 см здесь встречены современные (новочерноморские) пелитовые илы жидкотекучей консистенции. Ниже залегают сравнительно мощная

толща (95—625 см) древнечерноморских осадков, представленных биогенно-терригенным пелито-алевритовым илом с большим количеством прослоев кокколитов и сапропелей. Консистенция — вязкотекучая. Максимальная мощность приурочена к верхней части водораздела, где прочность осадков достигает 70 гПа только на глубинах более 350 см. Эти грунты характеризуются по всему разрезу слабой плотностью (1,20—1,38 г/см³). Их прочность, обусловленная в основном структурными связями ближней коагуляции, не превышает 10—88 гПа. На двух станциях на глубинах более 500 см зафиксирована прочность 101—123 гПа, что объясняется увеличением количества алевритовых частиц в осадке. Под древнечерноморскими илами на пяти станциях вскрыты новоэвксинские отложения мощностью 80—430 см, представленные относительно плотными пелитовыми илами, с пятнисто-полосчатой структурой из-за включений гидротроиллита. Плотность новоэвксинских илов составляет 1,5—1,75 г/см³ при прочности 50—130 гПа. Значения этих параметров постепенно возрастают от вершины водораздела к его склону.

Второй типовой участок приурочен к верхней части приводораздельного склона. Глубина моря здесь колеблется от 1081 до 1379 м. Участок исследован 15 станциями. Мощность поднятых колонок грунта варьирует от 306 до 570 см. Слой современных осадков практически отсутствует, составляя местами 2—10 см. Для древнечерноморских илов, залегающих с поверхности, характерно уменьшение их мощности до 10 см, что связано с усилением гидродинамической активности подводных течений на данном участке. Плотность этих илов составляет 1,15—1,43 г/см³ при прочности 10—70 гПа. В местах, где наблюдается переслаивание пелитовых и сапропелевых прослоев, прочность возрастает до 100—150 гПа. Плотность при этом не изменяется, что свидетельствует о преобладании структурной составляющей прочности.

Новоэвксинский горизонт встречен во всех колонках, но в семи из них у подножия склона он залегаєт с поверхности. По гранулометрическому составу новоэвксинские илы являются алеврито-пелитовыми. Плотность их вниз по разрезу постепенно увеличивается от 1,5 до 1,75 г/см³. Но там, где они выходят на поверхность и смыта толща более молодых осадков, их плотность на глубины 80 см не превышает 1,22—1,48 г/см³, что связано с накоплением у подножий склонов деформированного оползневого материала. Этим же, по-видимому, объясняется также уменьшение прочности с поверхности до глубины 80 см от 200 до 75 гПа. Ниже 80 см, а также на остальной площади участка отложения новоэвксина характеризуются увеличением прочности вниз по разрезу от 50 до 210 гПа.

В новоэвксинских отложениях установлены гидротроиллитовые прослой мощностью 50—70 см, что приводит к увеличению прочности до 140—200 гПа при плотности 1,44—1,61 г/см³. Эти прослой встречены на разных глубинах и характеризуются повышением структурной прочности. В нарушенном сложении прочность этих прослоев резко уменьшается до 50—70 гПа. Коэффициент структурной прочности составляет 2,5—2,8.

Третий типовой участок расположен в нижней части склона и на присклоновых участках каньонов. Глубина моря изменяется от 1081 до 1419 м. Он опробован семью станциями. Мощность поднятых колонок грунта составляет 187—320 см. Здесь практически полностью отсутствуют илы древнечерноморского возраста. Они встречены лишь на двух станциях, где мощности их составляют 20 и 68 см. Илы новоэвксинского возраста обогащены гравийно-галечным материалом и обломками раковин. Плотность илов в начале разреза составляет 1,4—1,62 г/см³, а с глубиной возрастает до 1,7—1,9 г/см³. По гранулометрическому составу илы алеврито-пелитовые, прочность их 150—250 гПа. Необходимо отметить, что в пяти колонках наблюдается падение прочности с поверхности до глубины 15—40 см на 40—60 гПа. Прослой гидротроиллита, повсеместно встречающиеся по всей толще, обладают

более высокой прочностью (150—270 гПа при плотности 1,58—1,64 г/см³), чем аналогичные прослои второго участка.

Четвертый участок приурочен в основном к русловым частям каньонов. Батиметрические отметки изменяются от 1081 до 1449 м. Участок исследован 14 станциями. Мощность поднятых колонок колеблется от 40 до 205 см. Осадки этого участка существенно отличаются от всех предыдущих по литологии, состоянию и физико-механическим свойствам. Здесь вскрыты, как правило, переотложенные новозвксинские илы, обогащенные включениями гравийно-галечного материала, песка, обломков раковин. Только на одной станции поднято 15 см илов древне-черноморского возраста со слабой плотностью (1,33—1,48 г/см³) и прочностью до 10 гПа. Значение сопротивления вращательному срезу на семи станциях изменяется скачкообразно в пределах 86—729 гПа (в среднем 250 гПа). Причем, резкое падение прочности наблюдается после первых 10—30 см, но затем, к забою, прочность постепенно возрастает. Плотность отложений также изменяется незакономерно — от 1,45 до 1,89 г/см³. Постепенное увеличение плотности и прочности вниз по колонке характерно только для пяти станций, которые расположены несколько в стороне от русла каньона. Здесь прочность на пенетрацию составляет 267—729 гПа, а плотность — 1,59—1,76 г/см³.

Вниз по склону каньона наблюдается уменьшение перепадов значений показателя прочностных свойств. Основную роль в показателях прочности играет ее остаточная составляющая, которая в верховьях каньона достигает 50—70 % общей прочности (до глубины моря 1340 м), а южнее преобладает структурная составляющая, доля которой достигает 50—70 % и более.

В заключение необходимо отметить, что анализ результатов определения прочностных, деформационных, физических и классификационных показателей свойств донных осадков исследованной территории, которые здесь не приведены, показывает, что степень литификации отложений — их структурная прочность, плотность, угол внутреннего трения, сцепление, модуль деформации, а также содержание глинистой фракции — закономерно возрастает от более молодых к более древним осадкам. Кроме того, наблюдается рост количества микроагрегатов в новозвксинских отложениях по сравнению с таковым более молодых. Поэтому, несмотря на увеличение содержания глинистой фракции, определяемой по схеме дисперсного анализа, влажность на пределе текучести и число пластичности у этих отложений намного ниже, чем у более молодых илов.

По гранулометрическому составу практически все изученные осадки представлены пелитовыми илами с содержанием фракции менее 0,005 мм от 33 до 85 %. Прочностные свойства этих грунтов обусловлены структурными связями, прочность которых возрастает от более молодых к более древним. После разрушения структуры прочность отложений уменьшается в 1,3—3 раза и более. Особенно велика потеря прочности в слабо литифицированных осадках, которые в нарушенном сложении характеризуются вязкотекучим состоянием. Для разрушения структурной прочности большинства отложений достаточно нагрузки около 50—250 гПа. Поэтому устойчивость этих пород при землетрясениях даже незначительной интенсивности (до 5 баллов) резко уменьшается, так как гидравлический удар вызывает мгновенный рост порового давления в водонасыщенных грунтах, разрушает структурные связи и превращает указанные осадки в вязкотекучую жидкость.

Кроме исследования инженерно-геологических параметров, нами проведено также геохронологическое датирование осадков методами термолюминесцентного анализа и радиоуглеродным. Полученные данные удовлетворительно согласуются с визуальным стратиграфическим расчленением изученных осадков. Было также выполнено определение химического состава газовых проб, извлеченных из поднятых осадков специально разработанным в Институте геологических наук АН УССР прибором для отбора газа непосредственно на борту корабля.

1. Геология СССР. Т. 8. Крым / Отв. ред. М. В. Муратов.— М.: Недра, 1969.— Ч. 1: Геологическое описание.— 575 с.
2. Геология шельфа УССР / Под ред. Е. Ф. Шнюкова.— Киев: Наук. думка, 1982.— 174 с.
3. Гончаров В. П., Непрочнов Ю. П., Непрочнова А. Ф. Рельеф дна и глубинное строение Черноморской впадины.— М.: Наука, 1972.— 157 с.
4. Мельник В. И. Взаимосвязь рельефа и осадконакопления на континентальном склоне в восточной части ЮБК // Тез. докл. VIII Всесоюз. школы мор. геологии (Геленджик, 10—16 окт. 1988 г.).— М., 1988.— Т. 2.— С. 68—69.
5. Мельник В. И., Ильченко В. П. Инженерно-геологические свойства донных осадков одного из каньонов континентального склона в восточной части ЮБК (Черное море) // Междунар. симпоз. «Инженерная геология шельфа и континентального склона морей и океанов мира» (Тбилиси—Батуми, 1—6 окт. 1988 г.): Тез. докл.— Тбилиси, 1988.— С. 46—48.

Ин-т геол. наук. АН УССР, Киев
ПГО «Крымгеология», Симферополь

Статья поступила
18.10.89

Резюме

Розглянуто нові методи визначення міцних властивостей донних відкладів в акваторіях морів та океанів безпосередньо на борту корабля в судновій лабораторії. Наведено аналіз змінення міцності мулу в залежності від його віку, літології, характеру структурних зв'язків, а також від приналежності до певних ділянок рельєфу морського дна. Звернено увагу на сейсмічну активність континентального схилу в районі Південного берега Криму і вплив землетрусів на структурну міцність слабо літфікованих донних відкладів.

Summary

While carrying out works on the continental slope the radionavigation aids have permitted achieving accuracy of coordination within ± 3 m. Application of a complex of devices for proximate research of bottom deposits developed at Institute of Geological Sciences of the Ukr. SSR Academy of Sciences decreases the time of treatment of cores to 30—40 min.

УДК 551.46

И. П. Бондарев

Биоэрозия или газоиндукция?

По данным наблюдений из обитаемого подводного аппарата описаны отрицательные формы нанорельефа, имеющиеся на внешнем шельфе Южно-Китайского моря. Проведено их сопоставление с аналогичными образованиями, известными в других районах океана.

На основе анализа собственных и литературных данных делается предположение, что рассматриваемые эрозионные формы являются результатом совокупного воздействия на грунт роющих гидробионтов (на начальном этапе возникновения), придонных течений и мигрирующих сквозь осадочную толщу газов. Ведущая роль в этом процессе принадлежит последним.

На шельфе и верхней части материкового склона многих морских бассейнов выявлены многочисленные эрозионные отрицательные микро-наноформы рельефа размером от первых сантиметров до 150 м в поперечнике и до 20 м глубиной. Их количество настолько велико, что позволяет некоторым исследователям выделить специфический тип рельефа — «пятнистое дно» (mottled seabed) [3].

Шотландский шельф, Эгейское море, дельта р. Ориноко, Северное море [3], Атлантическое побережье США [5], Южно-Китайское море [4], — вероятно, не исчерпывают перечень районов их развития. Однако,

© И. П. БОНДАРЕВ, 1990