

УДК 551.4.08→511.462.33

© 2008 г. А.В. ИЛЬИН

**О ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВ-
НЫХ ОТХОДОВ НА ДНЕ ОКЕАНА
(СТ. 2. ОСНОВЫ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗАХОРОНЕНИЯ РАО)**

По современным представлениям дно Мирового океана делится на ряд крупных геоморфологических провинций: шельф, материковый склон, материковое подножие, срединно-океанические хребты и абиссальные равнины [1]. Поскольку сам термин “захоронение” предполагает погребение контейнеров с РАО под чехлом донных отложений, рассмотрим указанные провинции с этой точки зрения.

Шельф сразу отпадает, поскольку на нем практически не накапливаются донные осадки, а сносятся, в основном, на большие глубины. Абиссальные равнины и срединно-океанические хребты имеют маломощный покров донных отложений и характеризуются малыми скоростями осадконакопления (1–2 см/1000 лет). Поэтому они не могут служить местами захоронения отходов.

Остаются две провинции – материковый склон и материковое подножие. Здесь накоплены толщи донных отложений мощностью (толщиной) до 10–15 км. Именно подножие материкового склона или материковое подножие – в высшей степени, перспективная геологическая провинция для захоронения РАО.

Такая перспектива определяется характером рельефа подводной окраины материка, составом донных отложений и особенностями литодинамических процессов в пределах материкового склона.

Материковый склон занимает примерно 15% площади дна океана и характеризуется большим разнообразием морфологии. Самое простое выражение материкового склона представлено элементарной наклонной поверхностью или откосом (рис. 1). Средний угол наклона таких откосов 3–4°. Высота материкового склона составляет, в среднем, 3–4 км, но существенно колеблется от места к месту. В районах глубоководных желобов она достигает 8–10 км. Средняя ширина склона равна 70 км, но также характеризуется пространственной изменчивостью. Рельеф материковых склонов осложнен субгоризонтальными террасами, подводными каньонами и другими формами рельефа. Основные этапы эволюции материкового склона показаны на рис. 2. На первом из них (а) материковый склон напоминал беспорядочное нагромождение тектонических глыб, хребтов, котловин, сбросовых уступов, грабенов. Такое разнообразие первичного рельефа склона было связано с расколом континентальных блоков в начальной стадии дрейфа материков. Следующий этап (б) характеризовался активными процессами осадконакопления, которые выравнивали первичный тектонический рельеф, заполняя впадины донными отложениями. И, наконец, (в), все тектонические формы оказались под мощным чехлом рыхлых осадков. Современные динамические процессы постоянно перераспределяют и перемещают осадочный материал по наклонной поверхности дна. Основными формами рельефа на этой стадии развития материкового склона становятся подводные каньоны и мощные блоки подводных оползней. Подводные каньоны являются руслами суспензионных потоков, которые выносят огромные массы донных осадков к подножию материкового склона и далее – в глубоководные океа-

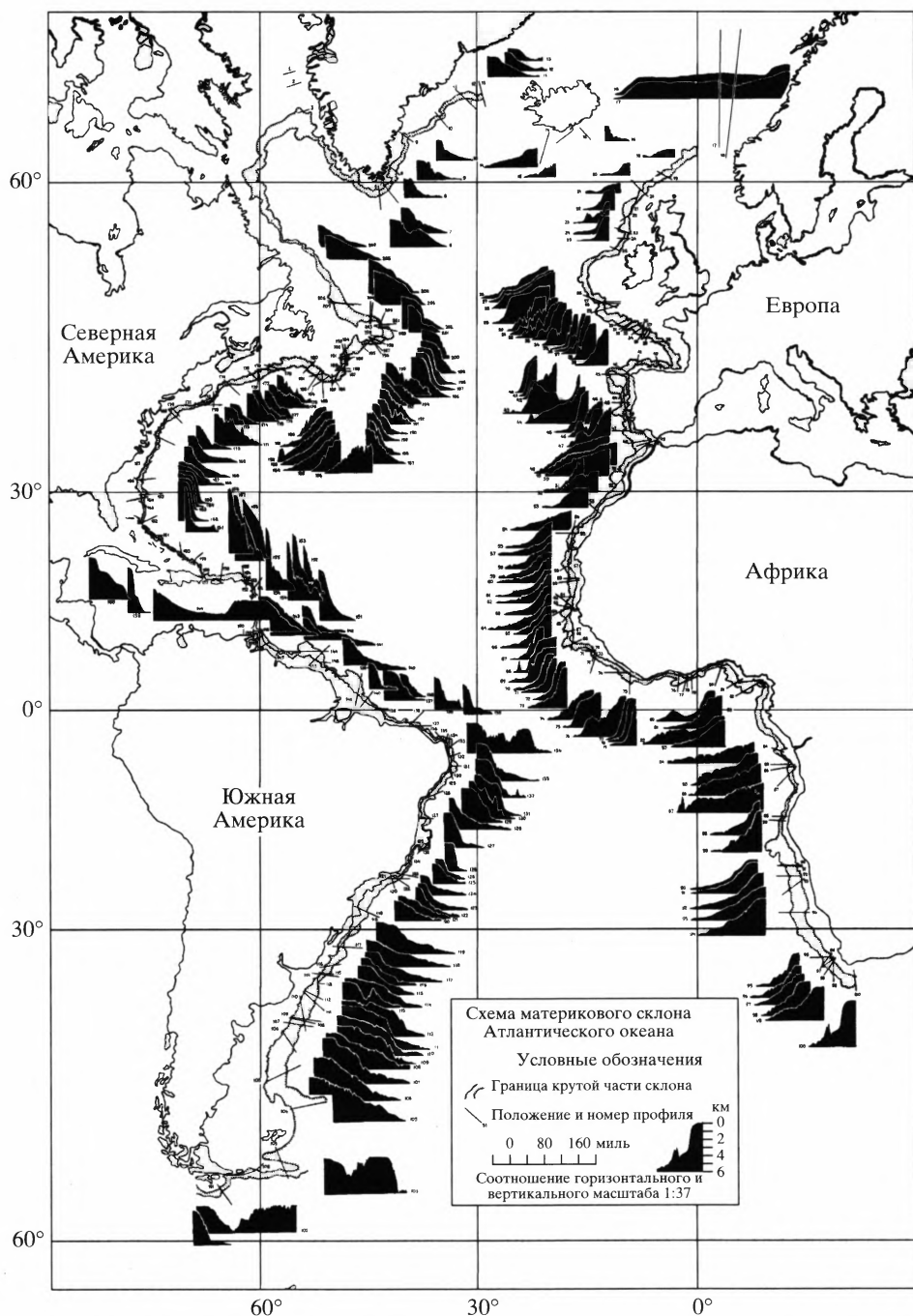


Рис. 1. Общий вид материкового склона Атлантического океана [1]

нические котловины. Подводные оползни остаются лежать непосредственно у подножия склона. Оползни и суспензионные потоки – главные агенты литодинамики материкового склона, формирующие особую морфологическую провинцию дна океана – материковое подножие.



Рис. 2. Основные этапы формирования материкового склона

Стадия: А – тектоническая, как следствие разрыва континентов, Б – начальная сглаживания тектонического рельефа осадками, В – зрелая заполнения неровностей склона донными осадками с характерными формами рельефа – оползнями и подводными каньонами

Ширина материкового подножия достигает 300–400 км, но в ряде районов оно развито слабо или отсутствует. Максимальное развитие материковое подножие получило в Атлантическом, Индийском и Северном Ледовитом океанах. В пределах материкового подножия сосредоточена основная масса осадочного материала, находящегося в океане.

Донные отложения материкового склона и материкового подножия представлены, главным образом, алевритовыми и глинистыми частицами с размерами 0.01–0.1 мм. Наибольшее значение для понимания динамических процессов на материковом склоне имеют показатели объемного веса (плотности), влажности, пористости, пределов пластичности, текучести, общего сцепления или пластической прочности осадков [1].

Объемный вес донных отложений материкового склона и подножия колеблется от 1.1 до 1.7 г/см³. Влажность характеризуется значениями 60–80%. Пористость имеет те же параметры. Осадки исключительно пластичны. Верхний предел пластичности лежит намного ниже значений естественной влажности. Он составляет примерно 40%. Это значит, что осадки материкового склона и материкового подножия находятся в текучем или скрыто-текучем состоянии. Особенно важны характеристики общего сцепления осадков или параметры сопротивления сдвигу. На материковом склоне и подножии они редко превышают 100 г/см². Нередко эти значения уменьшаются до нескольких граммов на 1 см². Это значит, что металлический шарик диаметром 1 см и массой 10 г не сможет удержаться на поверхности такого осадка и утонет. Показатели сцепления терригенных осадков, которыми, в основном, сложены материковые склоны, вдвое ниже, чем у карбонатных. Такие характеристики физических свойств осадков свидетельствуют о высокой потенциальной способности грунтов к перемещениям. В спокойном состоянии алевритово-глинистые илы удерживаются силами внутреннего сцепления. Но при нарушении естественной структуры механические свойства осадков резко меняются и показатель сцепления может падать до нуля.

Таким образом, в морских осадках (илах) любые деформации релаксируют в короткие сроки, а трещиноватость твердых кристаллических и осадочных пород на материках, напротив, сохраняется в течение длительных периодов геологической истории.

Материковый склон – зона интенсивной динамики геологических процессов, несравнимой ни с какой другой геоморфологической зоной дна океана. Причины понятны. Это перепад глубин в 3–4 км от бровки шельфа до подножия склона, относительно крутые склоны и тонкие алевритовые и глинистые осадки, с предельно низким внутренним сцеплением. При определенных условиях – сейсмических толчках, землетрясениях, превышениях нагрузок на осадок возникают многообразные подвижки донных отложений (рис. 3). Перемещение донных отложений, как упоминалось, происходит в результате развития суспензионных потоков и оползней.

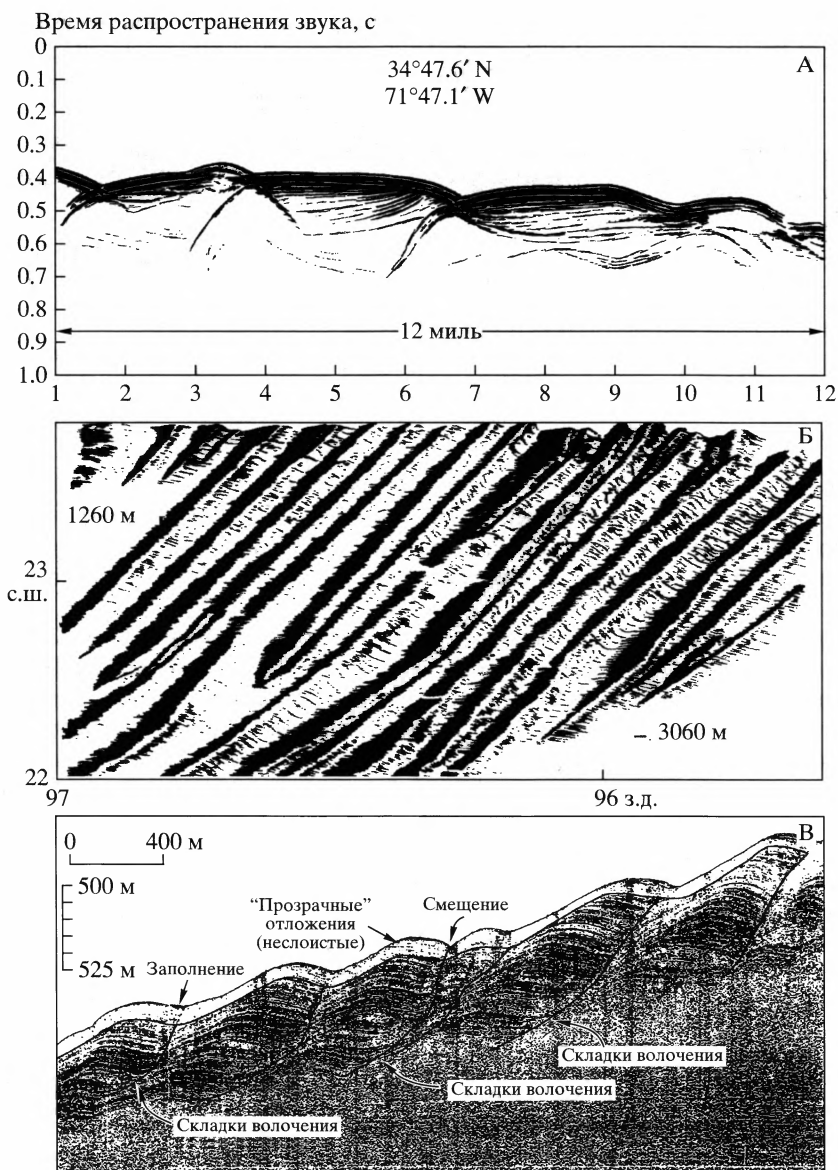


Рис. 3. Различные проявления оползневых форм рельефа

А – подводные оползни в нижней части материкового подножия Северной Америки, Б – гравитационные складки на материковом склоне западной части Мексиканского залива, В – гравитационная складчатость в районе развития оползня Гумбольдта на траверзе северной Калифорнии [2–4]

Первые сведения о суспензионных потоках относятся к 1885 г., когда на дне Женевского озера были замечены течения мутной воды с избыточной плотностью 1.01 г/см^3 . Затем они были обнаружены в других водных бассейнах. Важным признаком существования суспензионных потоков является мелководная фауна, обнаруженная на больших глубинах и градационная структура осадков. Такие осадки были названы турбидитами. В вертикальном разрезе турбидитов нижние горизонты сложены грубозернистыми отложениями, верхние тонкозернистыми. Это значит, что из потока первыми выпадают крупные фракции осадка, затем – тонкие.

Суспензионные потоки на материковом склоне обладают большой энергией. С давних пор известны разрывы телеграфных и телефонных кабелей, проложенных по дну океана. Например, за 30 лет перед устьем р. Магдалена кабель обрывался 15 раз. Причины стали известны недавно. Оказалось, что обрывы приурочены к смещениям масс донных отложений по материковому склону. Особенно характерный пример в этом отношении представляет склон Большой Ньюфаундлендской банки в Атлантическом океане. Во время землетрясения 1929 г. кабель, проложенный на склоне банки, был разорван многократно. При этом первым был поврежден кабель, расположенный в верхней части склона и далее – все ниже расположенные. С учетом известных расстояний между кабелями были рассчитаны скорости суспензионного потока. По соответствующим оценкам они составили ~ 70 км/час. Мощность потока была 30–70 м, а плотность – 1.1 г/см³.

Массы осадочного материала, переносимого суспензионными потоками, характеризуются гигантскими объемами. Суспензионный поток к западу от о-ва Медвежий в Баренцевом море распространился на площади 1880 км² и образовал линзу осадков мощностью 50 м. По некоторым расчетам с бровки шельфа на материковый склон был перенесен объем осадков 18 км³. При этом последовательное наращивание осадочной толщи происходило импульсами, каждые 35–75 лет. Эти процессы происходили сравнительно недавно – в течение последнего ледникового максимума [5, 6]. В пределах упомянутой линзы осадков покоится атомная подводная лодка “Комсомолец” и вероятность подвижек рыхлых осадков в этом районе нельзя исключать.

Непременным условием образования крупного суспензионного потока должен быть оползень. Оползень смещает массу рыхлых отложений, которые при своем движении смешиваются с водой, как это происходит с селевыми потоками на суше. Образуется суспензия плотностью до 1.1 г/см³. Такая суспензия под действием силы тяжести способна распространяться на большие расстояния. Там где склон выполаживается, поток прекращает движение, и из него выпадают массы осадка, формирующие гигантские конусы выноса (рис. 2).

Масштабы суспензионных потоков определяются размерами оползня, которые сами по себе представляют внушительный фактор, изменяющий конфигурацию морского дна. Впервые оползневые явления были установлены в 1930-х годах русским академиком А.Д. Архангельским [7]. В грунтовых колонках, полученных со склонов дна Черного моря, он обнаружил нестратифицированный, перемешанный материал без признаков какой-либо градационной слоистости. В настоящее время известно, что 70% донных осадков Черного моря имеют оползневую природу, а осадочная толща представляет нагромождение крупных оползней различного геологического возраста. Размеры, объемы и формы оползневых блоков характеризуются большим разнообразием.

Изучение подводных оползней продолжалось и в последующие годы. Были выявлены существенные изменения в топографии дна, имеющие отношение к развитию оползневых явлений. Так оползень на подводном склоне о-ва Фиджи вызвал увеличение глубины на 100 м. Примерно на такую же величину, в результате оползания осадков возросла глубина в заливе Сагами (Япония).

Сами оползни возникают как под действием землетрясений, так и при быстром накоплении наносов перед устьями рек или на внешнем крае шельфа. В последнем случае формируется крутой откос склона, определяющий неустойчивое состояние осадков. Когда касательное напряжение силы тяжести превысит величину напряжения сдвига осадка, образуется оползень. Даже при стабильных тектонических условиях процесс может повторяться много раз. Подобная цикличность отмечалась нами на материковом склоне северо-западной Африки. При пересечении склона вдоль его простирания вырисовываются крупные трогообразные долины, шириной 20–25 км.

Внутри таких долин наблюдаются “вложенные” трогии менее крупных размеров, шириной до 10–12 км (рис. 4). Это значит, что первая долина сформировалась при оползании ранее накопленной массы, а вторая – после восстановления объемов оса-

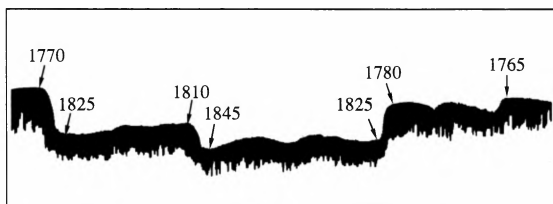


Рис. 4. Двухступенчатые вложенные долины на материковом склоне северо-западной Африки (по данным НИС "Петр Лебедев" Акустического ин-та, 1974 г.)
Цифры со стрелками – глубина в метрах

ны у подножия материкового склона Северной Америки (рис. 3, А). Не исключено, однако, что такая картина деформаций осадочного покрова связана с гравитационной складчатостью, широко известной в осадочных формациях. Пространственная картина подобных преобразований видна на рис. 3, Б. Характерный облик гравитационной складчатости сформировался на континентальной окраине северной Калифорнии в связи с развитием оползня Гумбольдта (рис. 3, В). У подножия Большой Ньюфаундлендской банки околонтурен оползень длиной 50 км, шириной от 20 до 170 км и толщиной 400 м. Объем оползня оценивается в 760 км^3 . Столь же объемные оползневые массы (900 км^3) обнаружены путем сейсмопрофилирования у подножия материкового склона Бангладеш [9]. В этом районе оползень состоит из двух частей – нижней и верхней. Нижняя представлена грязевым потоком, занимающим обширную площадь. Верхняя выглядит как серия когерентных блоков стратифицированных отложений. Блоки отделены один от другого криволинейными сбросовыми плоскостями. Общая площадь оползня, включая зону действия грязевого потока, составляет $\sim 4000 \text{ км}^2$. Батиметрические и сейсмические исследования подводной окраины Юго-Западной Африки выявили гигантские смещения грунтовых масс. Их общая площадь составила $11\,700 \text{ км}^2$, а объем превысил $10\,000 \text{ км}^3$. Процессы оползания нарастили материковое подножие в сторону океана на 25 км. Некоторые ротационные оползневые блоки имеют поперечные (по нормали к склону) размеры до 15 км [10].

В 1986 г. к северо-востоку от м. Гаттерас исследован оползневой комплекс шириной 20 км и длиной 20 км [11]. Объем оползня составляет 128 км^3 , а его мощность 300 м. Оползень имеет двухступенчатую структуру подобную той, которая отмечалась нами на материковом склоне северо-западной Африки (рис. 4). Стена отрыва имеет форму цирка. Показательно, что оба оползня, разделенные во времени, характеризуются одинаковой крутизной стены отрыва – 12° . В то же время наклон материкового склона в этом районе составляет всего 3° . Это значит, что наклон 12° является углом естественного откоса. Другими словами, до возникновения оползня осадочные слои имели наклон $\sim 3^\circ$ и сохранялись в этом положении за счет внутреннего сцепления частиц. Оползень возник в результате наращивания нагрузки на осадочные слои во время понижения уровня океана в четвертичное время. Этому способствовало расположение района оползней перед дельтами рек, впадающих в Атлантический океан и выносящих в море большие объемы осадочного материала. Наиболее интересно, что формирование указанного оползня удалось воспроизвести в лабораторных условиях едва ли не до мельчайших подробностей [11]. Слоистая масса консолидировалась 44 дня, а оползание достигалось путем изменения наклона лотка до 16° (рис. 5).

Оползневой шрам, оставшийся от сползания осадочных масс на материковом склоне северо-западной Африки занимает площадь $18\,000 \text{ км}^2$, а площадь покрытия дна отложениями этого оползня $\sim 30\,000 \text{ км}^2$ [12]. Общий объем оползня оценивается в $1\,100 \text{ км}^3$. В целом на материковом склоне этого района осадочные массы передвинуты на площади $\sim 45\,000 \text{ км}^2$, что эквивалентно территориям Эстонии, Московской об-

дочного материала, на более поздних этапах осадконакопления.

О масштабах подводных оползней в океане можно судить по многочисленным примерам. В 1970 г. на материковом склоне Бразилии обнаружен и обследован оползень длиной 2,5 км и мощностью 300 м. Еще ниже, на материковом подножии зафиксирован расслоенный оползневой блок, мощностью 500 м и длиной 20 км [8]. Подобные расслоенные блоки донных отложений обнаруже-

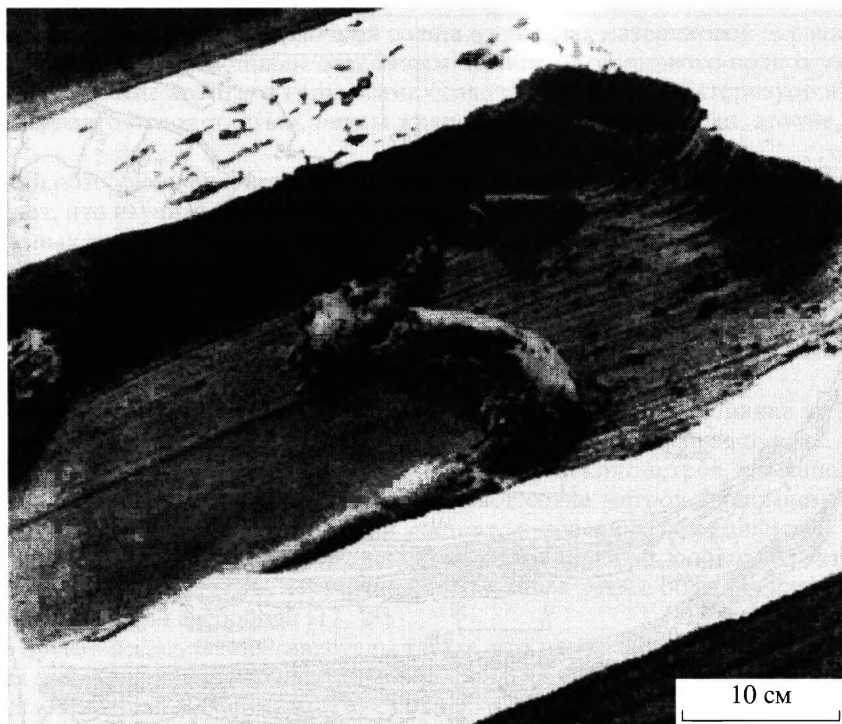


Рис. 5. Подобие оползня Currituck – лабораторная модель [11]

ласти или Нидерландам. Последнее замечание – пусть отвлеченный, но яркий образ перемещения огромных масс осадочного материала на пространствах дна океана, равновеликих крупным регионам или целым государствам.

Наиболее мощное проявление оползневых процессов обнаружено на материковом склоне Норвегии [13, 14]. По данным 1987 г. оползневые массы в районе Сторегга составили объем в 5700 км^3 . Они были передвинуты на расстояние почти 900 км до глубины 2500 м. Мощность передвинутых масс достигала 1.5 км, при средних значениях 400 м. Ширина головной части оползня равнялась 290 км. Оползневые блоки оторвались от склона на глубине 1000 м и проползли затем ~200 км до глубин 2000–2500 м. Угол наклона поверхности склона не превышал при этом 0.3° . Общая площадь срыва составила 34000 км^2 .

В состоянии неустойчивого равновесия находятся крупные массы осадочного материала северной части Камчатского залива. С учетом интенсивной эрозионной деятельности в Камчатском каньоне и постоянной сейсмической активности, здесь возникают разномасштабные оползневые тела. Объем оползней достигает нескольких кубических километров. Так крупный оползневой блок объемом более 5 км^3 разделяет русло Камчатского каньона на две части – северную и южную [15]. Факторами, способствующими оползанию осадочного чехла, помимо землетрясений, может быть повышенная газонасыщенность осадков и разгрузка на шельфе напорных грунтовых вод. Поверхностью скольжения оползневых блоков служит подошва глинистого слоя, в основании которого лежат газонасыщенные осадки – “смазка” для скольжения. Иногда поверхность скольжения выходит на дно каньона, возвышаясь над его тальвегом на 100–150 м. При этом образуются висячие оползневые блоки, протяженностью по фронту 10–20 км и объемом в десятки кубических километров.

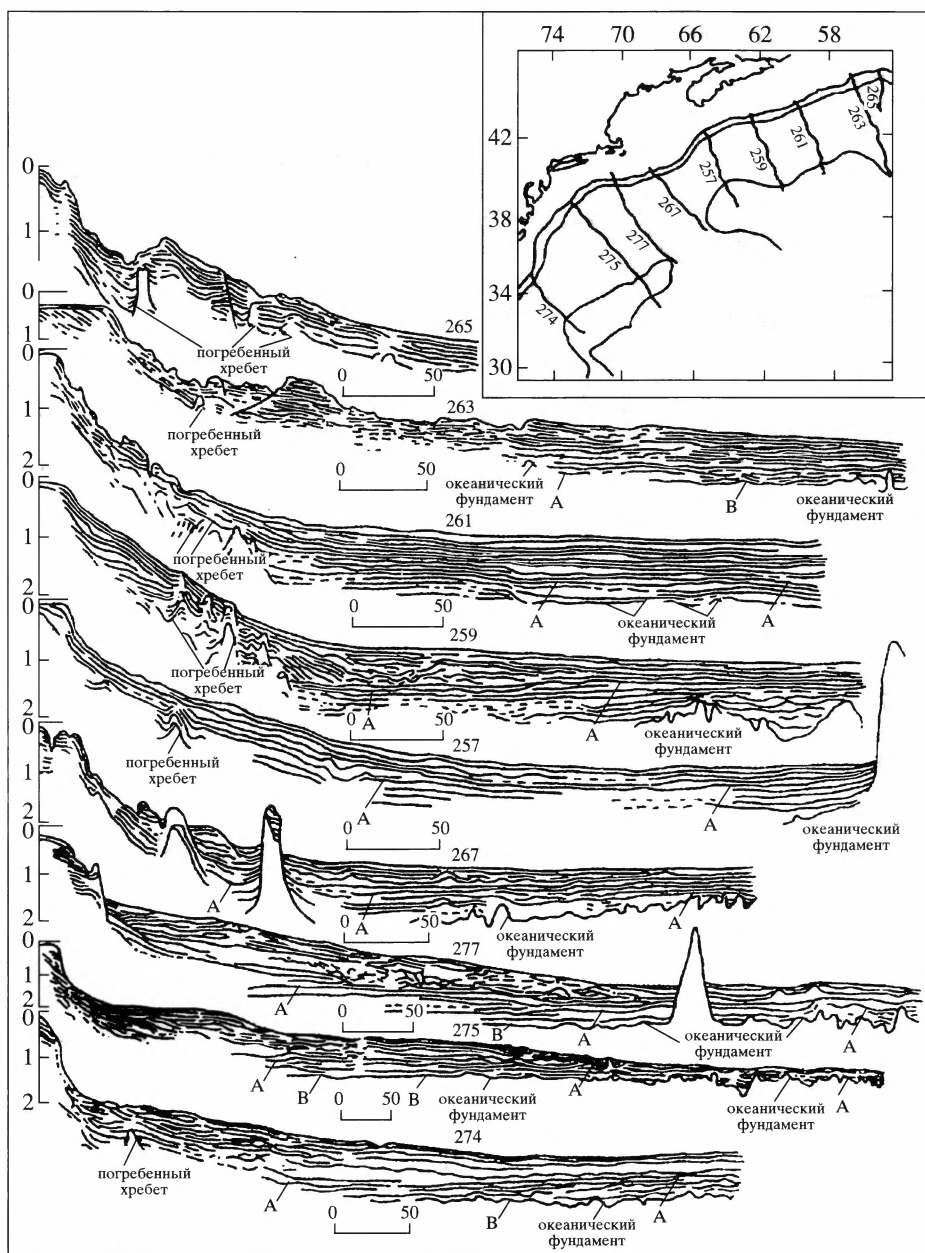


Рис. 6. Структура материкового подножия Северной Америки [1]

Можно еще перечислять сведения о грандиозных подводных оползнях. Они были исследованы у побережья островов Фиджи, в дельтах Миссисипи и Магдалены, в заливе Сагами (Япония), близ Ниццы (Франция), на огромных пространствах дна Тихого и Атлантического океана. В Бискайском заливе нарушения осадочного чехла оползнями отмечены на 95% площади материкового склона [16]. Ограничимся выводом, что этот природный феномен имеет в океане широчайшее распространение.

Общая картина состояния осадочной толщи в пределах материковой окраины представлена на рис. 6. Под мощным осадочным чехлом материкового подножия погребены вулканические хребты и горы. Сама осадочная толща характеризуется нерегулярной перемятой слоистостью, видны крупные оползневые блоки, другие осадочные тела.

Краткий обзор данных о перемещениях донных отложений на материковом склоне показывает, что научная база об оползневых явлениях разработана достаточно глубоко и в разных аспектах. Можно сказать, что в этом отношении имеется ясный взгляд на природу вещей.

Взаимосвязь данных о подводных оползнях с проблемой захоронения РАО

Для понимания таких взаимосвязей важно сконцентрировать внимание на масштабах рассматриваемых процессов. А именно, следует четко себе представить, что ширина оползней по фронту движения измеряется сотнями километров, а толщина (мощность) перемещенных осадочных масс составляет сотни метров. Напомним, что эти гигантские объемы донных отложений состоят, в основном, из глинистых частиц, обеспечивающих наиболее плотную упаковку и консервацию любых объектов, оказавшихся на конечном пункте перемещения оползня, а также обладающих способностью к максимальной адсорбции [17, 18].

Эти и другие исследования свидетельствуют, что наиболее активными сорбентами являются глинистые минералы – монтмориллонит, каолинит, бентонит и др. При этом отмечена важнейшая закономерность – концентрация РАО экспоненциально убывает с удалением от источника излучения. Например, после аварии в районе Буле (Гренландия) большая часть плутония обнаружена в осадках до глубины 10 см. Другими словами, при незначительных объемах концентрация РАО может снизиться до фоновых величин уже в пределах первых метров [18].

Такие цифры несоизмеримы с десятками и сотнями метров осадка в оползне, под которым будут захоронены контейнеры с РАО. Поэтому объемы захороняемых суперэкзотоксикантов могут быть практически неограниченными.

Учитывая кризисное состояние проблемы захоронения РАО и полное отсутствие эффективных подходов к ее решению, феномен подводных оползней в Мировом океане представляется единственной альтернативой надежной изоляции РАО. Нетрудно представить, насколько прочно и надежно будут захоронены такие отходы под мощным чехлом донных отложений, окажись они в зоне аккумуляции оползней. Это будет поистине *геологическое захоронение РАО*, охватывающее все мыслимые сроки течения естественной радиоактивности.

В сущности, задача сводится к одному: в нужном месте и в нужное время создать необходимые условия для возникновения подводного оползня. Чрезвычайная подвижность грунтов материкового склона облегчает решение технических вопросов, нацеленных на создание таких условий. Поскольку оползни чаще всего вызываются сейсмическими толчками и землетрясениями, первое, что необходимо проверить – это осуществление взрывов в скважинах материкового склонах. В настоящее время существуют методы управления распределением энергии взрыва, разработаны основы техногенного воздействия на массивы горных пород, возможно сообщение “подрабатываемой толще заданной искусственной податливости” [19]. При этом, можно сформировать, по-видимому, оползень любого масштаба, как по фронту, так и по глубине. Не исключены и другие способы инициирования оползневых процессов. В частности, рассматривается возможность возникновения оползней из-за потери газа газогидратами, которые широко распространены в донных отложениях. При этом происходит разжижение грунтов, что способствует оползанию осадков. Главной причиной смещения осадочных масс на склоне является нарушение внутриспорового давления грунта, и любое манипулирование этим физическим параметром приводит либо к деформации

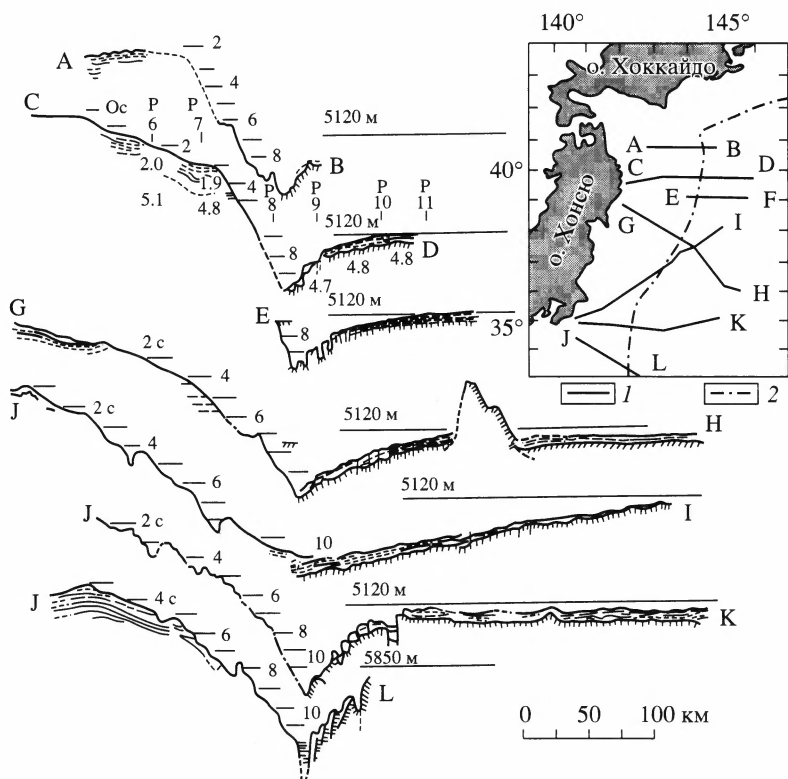


Рис. 7. Структура дна Японского глубоководного желоба
1 – положение профилей, 2 – ось желоба

осадочной толщи, либо к ее подвижкам. Вообще, существуют разные подходы определения степени стабильности склонов [6].

Развитие оползней с целью захоронения РАО можно инициировать на материковых склонах многих районов Мирового океана. Главным критерием должно быть наличие мощного чехла рыхлых осадочных пород на склоне. Такие склоны характерны для, так называемых, пассивных окраин континентов, где землетрясения и заметные тектонические движения проявляются редко. Здесь в течение десятков миллионов лет накопились толщи донных отложений мощностью до 5–17 км. Больше всего таких склонов в Атлантическом и Индийском океанах, а также в Арктике и Антарктике. Менее благоприятны в этом отношении материковые склоны Тихого океана, где активные тектонические процессы не позволили сформировать склоны с мощным осадочным чехлом (рис. 7). Вместе с тем глубоководные желоба Тихого и Индийского океанов представляются заманчивыми, а, возможно, приоритетными, структурами для захоронения РАО. По той причине, что дно желобов расположено между двумя противостоящими склонами – естественными ограничителями перемещения оползня. В этом случае можно осуществить прямое попадание оползня в намеченный пункт. Но предварительно они должны быть особенно тщательно исследованы с целью обнаружения достаточно мощных осадочных толщ, залегающих на склонах.

Противостоящие склоны существуют и на других подводных окраинах, например, в желобе Скагеррак у южной оконечности Норвегии или Новоземельском желобе в Карском море. На схеме рельефа материкового склона Атлантики также можно видеть признаки подобных структур в различных районах и на различных батиметрических уровнях (рис. 1). Есть конкретные примеры заполнения депрессий оползнями,

сползающими с верхних частей материкового склона (рис. 8).

Если говорить о создании условий для искусственного оползания донных осадков, то, в первую очередь, необходимо уточнить геологические и физические параметры осадочной толщи. Для этого следует провести соответствующие исследования. Прежде всего, должна быть получена географическая панорама избранного района. С этой целью необходимо провести детальную батиметрическую съемку с применением современной техники: многолучевых эхолотов, сонаров, фотоаппаратуры, автономных погружающихся аппаратов. При этом будут определены геометрические параметры дна, степень горизонтального и вертикального расчленения дна, углы наклона, наличие или отсутствие котловин или желобов, которые могли бы послужить для размещения в них контейнеров с РАО и последующего захоронения под массой оползня.

Первоначальное изучение параметров внутреннего строения материкового склона следует начинать с сейсмического профилирования. Это позволит выявить характер слоистости осадочной толщи. По результатам профилирования наметить точки бурения и провести его с помощью судна типа “Джойдес Резолюшен”. Целью бурения должен быть отбор образцов из полученных кернов для изучения физико-технических и геохимических характеристик грунтов в вертикальном разрезе. Далее, по результатам исследований важно провести пространственную корреляцию слоистости осадочной толщи с выявлением перспективных слоев, воздействие на которые приведет к максимально эффективному оползанию массы осадков.

На базе полученных результатов необходимо осуществить лабораторное моделирование для воспроизведения предполагаемого смещения вниз того или иного объема осадков. Опыт подобного моделирования имеется (рис. 5). Такая предварительная подготовка обеспечит успех беспрецедентной операции по захоронению РАО или любых других отходов промышленного производства.

Проверку новой концепции целесообразно начинать с исследования небольших районов, имеющих для России приоритетное значение. Например, с организации морской геологической экспедиции в районы подводных склонов Новой Земли, сопряженных с Новоземельским желобом, где уже лежат контейнеры и другие носители РАО [21].

Концепция захоронения РАО под чехлом донных отложений вполне оригинальна, не имеет аналогов в мире и может рассматриваться как новая, научно обоснованная технология.

Оценка возможности организации международного проекта по реализации новой концепции захоронения РАО

Предварительные исследования потребуют организации морских экспедиций с применением современных технических средств. Это будет стоить немалых расходов. Поэтому, наиболее оптимальным подходом к организации подобных исследований является международное сотрудничество.

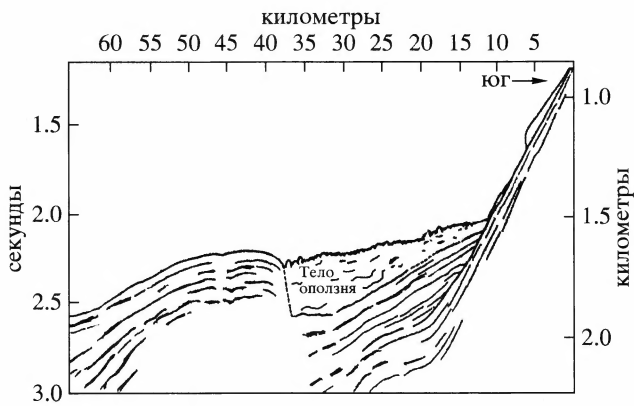


Рис. 8. Подводный оползень Ренджер на Мексиканском склоне в Калифорнийском заливе [20]

Известные морские геологи России, США, Англии, Норвегии и других стран могли бы принять участие в подобных работах. По личной переписке с некоторыми из них и контактам на международном уровне у автора сложилось представление, что такое сотрудничество организовать можно. Для начала, по-видимому, следует создать организационный комитет, который наметил бы общий план всей работы и ее первостепенные задачи. Все последующие действия могли бы осуществляться в соответствии с решениями этого комитета по согласованию с правительственными структурами. Поскольку спектр научных исследований довольно широк, то, в конечном итоге, целесообразна организация международного института по осуществлению проекта. Конечно, главные трудности, с которыми придется столкнуться – это финансирование проекта. Поэтому важно акцентировать внимание на том, что речь идет о *единственном выходе* из создавшейся ситуации с захоронением РАО. Предлагаемая концепция имеет надежное научное обоснование, а ее практическое воплощение – гарантия от угрозы ядерного загрязнения Земли. Ценность концепции состоит также в том, что она может рассматриваться в более широком плане и использоваться для захоронения любых других суперэкоотоксикантов.

Заключение

В соответствии с “Совместной декларацией о сотрудничестве в целях разработки высокотехнологических программ в области ядерных отходов”, подписанной в 1997 году в Вашингтоне, предлагается альтернативное решение проблемы захоронения РАО. Эта альтернатива является *единственным* реальным выходом из создавшегося положения с захоронением РАО, и по существу, – новой оригинальной технологией консервации ядерных отходов под чехлом донных отложений подводных окраин Мирового океана.

В статье изложены основные принципы новой концепции по захоронению радиоактивных отходов на дне океана и дана объективная оценка современных подходов к решению этой проблемы. Затронуты общие вопросы практического осуществления новой концепции. Дальнейшая задача заключается в детализации знаний о подводных окраинах материков применительно к решению проблемы захоронения РАО и выявления перспективных районов дна для этих целей. Важное значение имеет популяризация концепции, поскольку на сегодняшний день, она представляет единственную и безальтернативную возможность для эффективного решения первостепенной экологической задачи. Необходимость подобной популяризации диктуется тем, что в России и других ядерных державах локализация РАО в недрах материковой земной коры возведена в ранг государственной политики, что, на наш взгляд, углубляет кризисное состояние проблемы захоронения радиоактивных отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин А.В. Геоморфология дна Атлантического океана. М.: Наука, 1976. 232 с.
2. Ballard J.A. Structure of the lower Continental Rise hills of the western North Atlantic // *Geophysics*. 1966. V. 31. № 3. P. 506–523.
3. Bryant W.R., Antonie J., Ewing M., Jones B. Structure of Mexican continental shelf and slope // *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*. 1968. V. 52. № 7. P. 1204–1228.
4. Gardner J.V., Prior D.B., Field M.E. Humboldt Slide – a large shear-dominated retrogressive slope failure // *Marine Geology*. 1999. V. 154. P. 323–338.
5. Laberg J.S., Vorren T.O. Late Weichselian submarine debris flow deposits on the Bear Island Trough Mouth Fan // *Marine Geology*. 1995. V. 127. P. 45–72.
6. Lee H.J., Locat J., Dartuall P. et al. Regional variability of slope stability application to the Eel Margin, California // *Marine Geology*. 1999. V. 154. P. 305–321.
7. Архангельский А.Д. Оползание осадков на дне Черного моря и геологическое значение этого явления // *Бюл. МОИП. Отд. геол.* 1930. Т. 8. № 1–2. С. 3–14.

8. Moore T.C., van Andel T.G.H. et al. Large submarine slide of Northeastern continental margin of Brazil // Am. Ass. of Petr. Geol. Bull. 1970. V. 54. № 1. P. 125–128.
9. Moore D.G., Curray R., Emniel F.J. Large submarine slide (olistostrome) associated with Sunda arc subduction zone, Northeastern Indian Ocean // Marine Geology. 1976. V. 21. P. 211–226.
10. Dingle R.V., Robson S. Slumps, canyons and related features on the continental margin off East London, SE Africa (SW Indian Ocean) // Marine Geology. 1985. V. 67. P. 37–54.
11. Prior B., Doyle H., Neurauter T. The Currituck slide, mid-atlantic continental slope revisited // Marine Geology. 1986. V. 73. P. 25–45.
12. Embley R.W. Anatomy of some Atlantic margin sediment slides and some comments on ages and mechanisms // Marine slides and other mass movements. New York: Plenum Press. 1982. P. 189–213.
13. Dawson A.G., Long D., Smith D.E. The Storegga slides: evidence from eastern Scotland for a possible tsunami // Marine Geology. 1988. V. 82. P. 271–276.
14. Jansen E., Befring S., Bugge T. et al. Large submarine slides on the Norwegian continental margin: Sediments transport and timing // Marine Geology. 1987. V. 78. P. 77–107.
15. Егоров Ю.О., Осипенко А.В. Подводные оползневые процессы в каньонах северной части Камчатского залива // Океанология. 1999. Т. 39. № 4. С. 605–614.
16. Kenyon N.H. Mass-wasting features on the continental slope of Northwest Europe // Marine Geology. 1987. V. 74. P. 57–77.
17. Громов В.В., Москвин А.И., Сапожников Ю.А. Техногенная радиоактивность Мирового океана. М.: Энергоатомиздат, 1985. 272 с.
18. Айбулатов Н.А., Артюхин Ю.В. Геоэкология шельфа и берегов Мирового океана. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 304 с.
19. Трубецкой К.Н. Центр проблем освоения недр Земли // Вестн. РАН. 1999. Т. 67. № 12. С. 1113–1116.
20. Normark W.R. Ranger Submarine Slide, Northern Sebastian Vizcaino Bay, Baja California, Mexico // Geol. Soc. of Am. Bull. 1974. V. 85. P. 781–784.
21. Ильин А.В. Захоронения радиоактивных отходов на дне океана. Новая концепция // Тез. докл. X Межд. экологич. симпозиума “Урал атомный, Урал промышленный”. Екатеринбург: Ин-т Проблем Экономики УрО РАН, 2002. С. 72–74.

Акустический ин-т им. Н.Н. Андреева

Поступила в редакцию
03.10.2006

ON GEOMORPHOLOGIC ASPECT OF RADIOWASTES DISPOSAL INTO OCEAN-BED (PAPER 2. THE OUTLINES OF NEW RD TECHNOLOGY)

A.V. IL'IN

Summary

The disposal of the exhaust nuclear fuel and radiowastes into the ocean-bed under clastic deposits on the continental margin may serve as alternative to the established practice of land burial. The landslides are an important lithodynamic factor within this geomorphologic zone. The artificial landslides may form the clastic deposits flow to cover the storage containers previously located on the bottom. The choice of appropriate places in the ocean is practically indefinite.