

На правах рукописи



ИОНОВ ВСЕВОЛОД ЮРЬЕВИЧ

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ПОДВОДНЫХ ОПОЛЗНЕЙ
В ОТЛОЖЕНИЯХ ШЕЛЬФА ЧЁРНОГО МОРЯ
(МЕЖДУ МЫСОМ МАЛ. УТРИШ И БУХТОЙ ХОСТА)**

25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и
грунтоведение

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого–минералогических наук

Москва - 2013

Работа выполнена в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова на кафедре инженерной и экологической геологии геологического факультета

Научный руководитель:

доктор геолого–минералогических наук, профессор

Калинин Эрнест Валентинович

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, генеральный директор группы компаний «Геореконструкция»

Шашкин Алексей Георгиевич

кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт РАН, ведущий научный сотрудник

Соколов Сергей Юрьевич

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН

Защита диссертации состоится 20 декабря 2013 года в 16 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д.501.001.30 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, Ленинские горы, ГЗ МГУ, корпус «А», геологический факультет, аудитория 415.

Автореферат размещен на интернет-сайтах Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова www.geo.web.ru и Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak.ed.gov.ru. С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале отдела диссертаций Фундаментальной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Ломоносовский проспект, 27, сектор «А», 8 этаж, к. 812).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, ученому секретарю диссертационного совета Д.501.001.30, профессору В.Н. Соколову.

Автореферат разослан 15 ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор геол.–мин. наук, профессор



В.Н. Соколов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

При проектировании подводных трубопроводов и сооружений нефте- и газодобывающего комплекса необходимо подробно исследовать геологические и инженерно-геологические процессы [Трофимов, Аверкина, 2009]. Эти процессы могут представлять опасность для целостности подводных сооружений, и, в отличие от субаэральных условий, для подводных практически невозможно разработать мероприятия инженерной защиты от их воздействий. Для областей шельфов, континентальных склонов и их подножий наиболее характерными являются процессы, связанные с мобилизацией и транспортировкой осадочного вещества. Они относятся к экзогенным геологическим процессам, которые обусловлены действием силы тяжести, и формируют группу подводных гравитационных процессов. В настоящей работе под гравитационными понимаются склоновые процессы, связанные с действием гравитационной силы.

Актуальность работы. Интенсивное освоение шельфа Чёрного моря в связи со строительством подводных газопроводов, таких как: «Голубой поток», «Джубга-Лазаревское-Сочи» и «Южный Поток», обуславливает необходимость исследования подводных гравитационных процессов.

Гравитационные процессы на подводных склонах распространены так же широко, как и на склонах дневной поверхности [Hampton et.al., 1996]. Подводные склоны Чёрного моря не являются исключением - отложения гравитационных процессов были обнаружены здесь ещё в первой половине XX в. [Архангельский, 1930; Архангельский, Страхов, 1938]. Многочисленные геофизические и гидрографические исследования континентального склона Чёрного моря, примыкающего к Западному Кавказу, указывают на повсеместное развитие подводных оползней и потоков в массивах грунтов, слагающих его поверхность [Сафьянов и др., 2001; Сорокин, Лукша, 2002; Вержбицкий и др., 2005; Москаленко, Шимкус, 2005; Москаленко и др., 2006; Евсюков, 2009; Есина, Хворощ, 2009]. По данным эхолотных промеров более 50% поверхности континентального склона подвержено воздействию подводных потоков и оползней [Евсюков, 2009].

Подводные гравитационные процессы в Чёрном море исследовались преимущественно учёными литологами и седиментологами. Исследования учёных по этим научным направлениям заключаются в изучении донных отложений и условий их формирования. Интерес инженер-геологов к подводным гравитационным процессам в Чёрном море обусловлен необходимостью инженерной оценки условий строительства подводных газопроводов, кабелей связи, а также освоением нефтегазовых месторождений в последние десятилетия и заключается в изучении механизма, условий, факторов формирования этих процессов и составления прогноза их развития.

По мнению Н.А. Айбулатова [Айбулатов, 2002] и А.С. Фёдорова [Фёдоров и др., 2009] в отложениях, слагающих поверхность Черноморского шельфа, примыкающего к Западному Кавказу, оползневые процессы встречаются крайне ограничено и не представляют опасности для подводных инженерных сооружений. Результаты изысканий для обоснования строительства подводных

газопроводов, выполненных за последние 15 лет, позволили выявить широкое распространение оползневых процессов не только в отложениях, слагающих континентальный склон, но и в отложениях, слагающих шельф Чёрного моря, примыкающий к Западному Кавказу. Накопленный материал позволил сделать выводы о механизме и факторах формирования подводных оползней в рассматриваемом регионе и разработать расчётную схему оценки устойчивости подводных массивов для дальнейшего выполнения моделирования развития оползней на начальной стадии их формирования. Проявление подводных оползней на дне акваторий может приводить к деформациям оснований и разрушению сооружений нефте- и газодобывающего комплекса [Prior, Coleman, 1982], что может привести к негативным экологическим последствиям и экономическому ущербу. Поэтому результаты моделирования оползневого процесса представляют большой интерес для проектирования подводных инженерных сооружений на шельфе и континентальном склоне Чёрного моря, в чём и заключается актуальность настоящей диссертационной работы.

Цель работы. Выявление закономерностей формирования подводных оползней в отложениях шельфа Чёрного моря, примыкающего к Западному Кавказу, на участке между мысом Мал. Утриш и бухтой Хоста и моделирование этих процессов. Для достижения поставленной цели в настоящей работе решались следующие **основные задачи**:

1. сбор и обработка литературных и фондовых данных о подводных гравитационных процессах в Мировом океане и Чёрном море с целью обобщения и критического анализа современных представлений об их типах, факторах формирования, механизмах, а также методах составления прогноза их развития;

2. характеристика инженерно-геологических условий рассматриваемого участка шельфа Чёрного моря;

3. выявление основных типов подводных оползней, развитых в отложениях шельфа Чёрного моря, а также факторов и условий их формирования;

4. составление и обоснование расчётной схемы оценки устойчивости массивов, слагающих подводные склоны рассматриваемого участка шельфа, в соответствии с особенностями инженерно-геологических условий, с целью моделирования развития подводных оползней на начальной стадии их формирования;

5. оценка устойчивости шельфа Чёрного моря и количественная оценка ведущих факторов формирования подводных оползней в массивах рассматриваемого региона;

6. разработка рекомендаций по методике исследования подводных гравитационных процессов для обоснования строительства нефтегазовых сооружений на континентальных окраинах морей и океанов.

Объект исследования. Различные подводные гравитационные процессы, широко развитые на дне Мирового океана и Чёрного моря в частности. **Предметом исследования** являются преимущественно подводные оползни, распространённые в массивах дисперсных грунтов, слагающих шельф Чёрного

моря, примыкающий к Западному Кавказу, на участке между мысом Мал. Утриш и бухтой Хоста. Также в работе рассматриваются различные типы подводных гравитационных потоков, отложения которых широко распространены в области Черноморского континентального склона в пределах рассматриваемого региона.

Фактический материал. При подготовке настоящей работы были использованы новые данные опробования донных грунтов в Чёрном море, полученные при участии автора настоящей работы в ходе рейсов на НИС «Профессор Штокман» и НИС «Академик Голицын» в 2011 г. Также в работе были использованы данные бурения и опробования, полученные в ходе рейсов на НИС «Диорит», данные геофизических, гидрографических и геотехнических работ, полученные на НИС «Акванавт» в 2008 г., НИС «Профессор Штокман», НИС «Академик Голицын», НИС «Хезер Си» и НИС «Борей» в период с 2009 по 2011 гг. В работе были задействованы архивные данные ООО «Питер Газ», которые были критически рассмотрены и глубоко проанализированы автором. Также были использованы материалы, собранные автором в ФГУНПП «Росгеолфонд», которые представляют собой результаты площадных исследований, выполненных для составления государственных геологических карт масштабов 1:50 000 (листы L-37-XXVI-III-A, Б, В, Г; 112 - В, Г; 123 – Б, Г; 124 – А, Б, Г; 125 – А, В), 1:200 000 (листы К-37-III, L-37-XXXIII, L-37-XXXIV), 1:1 000 000 (листы L-37, К-37) в период с 1983 по 2008 гг. Все материалы, представленные в настоящей работе, были подготовлены автором, либо при непосредственном участии автора.

Методика работы. Для выявления и картирования отложений подводных гравитационных процессов на дне Чёрного моря были использованы результаты геофизических исследований, которые анализировались с помощью современных программных пакетов Global Mapper, Kingdom и ArcGis. Методы разведочных работ были использованы для изучения геологического разреза и отбора проб донных грунтов, которые затем подвергались испытаниям в судовых и стационарных лабораториях для определения их физических и физико-механических характеристик. Физические и физико-механические свойства донных грунтов затем использовались в расчётно-теоретических исследованиях, которые заключались в моделировании развития подводных гравитационных процессов на начальной стадии их формирования. Математическое моделирование проводилось посредством расчётов устойчивости подводных склонов в одномерной постановке по оригинальной методике, предложенной автором, с использованием разработок представленных в следующих работах [Калинин, 2006; Lee, Edwards, 1986; Hampton et al., 1996; Seed, Rahman, 1978; Hance, 2003; Stability modeling with SLOPE/W 2007..., 2008]. Также расчёты устойчивости выполнялись на двухмерных моделях с использованием методов предельного равновесия на программных комплексах GeoStudio 2007 (GEO-SLOPE International, Ltd.) и Slide 5.0 (Rockscience inc.).

Научная новизна работы.

1) Впервые охарактеризованы инженерно-геологические условия континентальной окраины Чёрного моря.

2) Детально исследованы оползневые явления на шельфе Чёрного моря, подробно охарактеризованы их морфометрические особенности, состав, факторы формирования, механизм и динамика.

3) Разработана новая расчётная схема оценки устойчивости подводных склонов (в одномерной постановке) в соответствии с выявленным механизмом оползневых процессов.

4) Выполнены расчёты устойчивости подводных склонов с учётом особенностей подводного рельефа, состава, строения, состояния и свойств грунтов, а также дополнительных сейсмических и штормовых воздействий.

Теоретическая значимость и прикладная ценность. Полученные данные о подводных оползнях в отложениях шельфа и бровки континентального склона Чёрного моря, примыкающего к Западному Кавказу, могут быть использованы при проведении проектно-изыскательских работ в рассматриваемом регионе. В акватории Чёрного моря существует ряд перспективных нефтегазоносных структур [Роджерс, 2010]. Часть из них расположены в пределах подножия континентального склона, например Туапсинский прогиб, вследствие чего нефтегазоносные территории могут находиться под воздействием подводных гравитационных процессов и оползней в частности. Этот факт приведет к значительному ухудшению условий освоения месторождений - их проблематичной разработке и эксплуатации. Полученные результаты помогут оценить возможную опасность от воздействия этих процессов.

Защищаемые положения.

1. **В массивах дисперсных грунтов внешнего и внутреннего шельфа Чёрного моря при наклонах поверхности от 0.4° и более формируются оползни скольжения.** Во внутреннем шельфе для них характерен песчаный состав смещаемых отложений и мощности не более 1 м, а во внешнем шельфе - глинистый состав и мощности до 6 м.

2. **Разработанная одномерная модель позволяет количественно оценивать устойчивость подводных оползней скольжения на стадии начала их формирования.** Модель учитывает особенности механизма оползневого процесса и предполагает оценку устойчивости фрагмента массива грунта, опирающегося на расчётную поверхность скольжения единичной длины, а также позволяет выявлять критические соотношения между наклонами поверхности и мощностями смещаемых отложений с учётом их состава.

3. **Вблизи бровки континентального склона, где наклон поверхности дна достигает 2° и более, а мощность глинистых грунтов 20 и более метров исключительно под действием силы тяжести могут формироваться оползни, захватывающие массив дисперсных грунтов почти на всю мощность.**

4. **При уклонах поверхности шельфа менее 2°, возникновение оползней возможно только при действии дополнительных нагрузок:** 1) сейсмических с интенсивностями 7 и 9 баллов для массивов, сложенных глинистыми и песчаными грунтами, соответственно; 2) воздействии штормовых волн для массивов, сложенных глинистыми грунтами, при экстремальных характеристиках волнения с периодами повторяемости 100 лет при обеспеченности 0.1%, массивы же сложенные песчаными грунтами в результате воздействия штормовых волн в области шельфа будут сохранять устойчивость.

Личный вклад автора. При подготовке работы автором были собраны геологические и геофизические данные, выполнено их сопоставление и камеральная обработка. Участие автора настоящей диссертации в инженерно-геологических работах на различных судах в Чёрном море позволило получить более глубокое представление о строении массивов морских грунтов. По результатам обработанной геологической информации автором было выполнено более 200 серий одномерных расчётов устойчивости подводных склонов (каждая серия расчётов позволяет получить 200 значений коэффициента устойчивости), а также ряд расчётов устойчивости с использованием современных программных комплексов. При написании работы было лично выполнено обобщение и критический анализ опубликованных материалов по направлению исследований.

Научная апробация и публикации. Основные результаты настоящей работы были представлены на международных конференциях ЛОМОНОСОВ - 2011 и -2012, 6-м международном симпозиуме «Submarine Mass Movements and Their Consequences», EngeoPro-2011, XIX Международной научной конференции (школе) по морской геологии, 6-ом Всероссийском литологическом совещании "Концептуальные проблемы литологических исследований в России" [Ионов, Калинин, 2011], на конференции геологического факультета МГУ "Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии", Ломоносовских четнях в 2011 и 2013 гг., Сергеевских чтениях в 2009 г. По теме диссертации опубликовано 2 работы в журналах рекомендованных ВАК [Ионов и др., 2012; Ионов, 2012], а также 1 работа находится в печати.

Структура и объём. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения и приложения. Рукопись содержит 192 страницы, 52 рисунков и 15 таблиц. Список литературы состоит из 162 наименований, 77 из которых на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору Э.В. Калинин у за руководство над диссертацией, полезные идеи и помощь в выборе верного направления в научной работе. К.г.-м.н. И.К. Фоменко за помощь, оказанную при подготовке расчётной схемы для оценки устойчивости подводных склонов. Также автор глубоко признателен всем сотрудникам кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова за проявленный интерес к диссертационной работе, а также помощь при

подготовке работы к защите, в особенности заведующему кафедрой профессору д.г.-м.н. В.Т. Трофимову, профессору д.г.-м.н. Е.А. Вознесенскому, профессору д.г.-м.н. В.А. Королёву, профессору д.г.-м.н. Ю.К. Васильчуку, профессору д.г.-м.н. В.Н. Соколову, к.г.-м.н. О.В. Зеркалю, к.г.-м.н. Т.И. Аверкиной, к.г.-м.н. Л.Л. Панасьян, к.г.-м.н. С.К. Николаевой. Автор выражает благодарность всем сотрудникам управления инженерных изысканий ООО «Питер Газ» за постоянные консультации и моральную поддержку, в особенности к.г.-м.н. С.Г. Миронюку, С.М. Клещину, С.В. Манжосову, Н.Г. Долинской, Д.А. Науменко, И.А. Островерховой, Д.А. Савину, О.В. Калошиной, К.С. Поповой, к.ф.-м.н. Ю.А. Реве, к.ф.-м.н. О.А.Вербицкой, к.г.н. Д.Е. Беседину, А.Ю. Павлову, А.П. Демонову, О.И. Янчук, В.Е. Морозову, А.М. Ивановой. Многочисленные консультации и советы были получены от А.Г. Рослякова - сотрудника кафедры литологии и морской геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Также автор выражает благодарность профессору Доррику Стоу, доктору Алине Стадницкой, профессору Хафлиди Хафлидэйсону, В.В. Шаниной, И.А. Нуждаеву, В.Ю. Литвину и А.В. Кохану за предоставленные обширные литературные материалы по направлению диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Современные представления о подводных гравитационных склоновых процессах и их инженерно-геологический анализ.

Историю исследования подводных гравитационных процессов можно разделить на два этапа. Первый этап характеризуется их изучением с седиментологической точки зрения. Второй этап связан с развитием инженерно-хозяйственной деятельности человека на морском дне – поиском и разведкой полезных ископаемых, обустройством месторождений, прокладкой подводных трубопроводов и кабелей связи.

Началом исследования подводных гравитационных процессов на первом этапе можно считать появление теории формирования олистостромов и олистолитов в конце XIX-начало XX в. Начиная со второй половины 1930-х г., появляются работы, в основе которых лежит физическое моделирование гравитационных потоков. На рубеже XX и XXI вв. появляется всё большее количество работ, посвящённых теме подводных гравитационных процессов. Отдельно стоит отметить работы [Hampton et.al., 1996; Locat, Lee, 2000; Elverhoi et.al., 2005], а также разрабатываются компьютерные программы специально для решения задач по математическому моделированию подводных гравитационных потоков [Imran et.al., 2001].

В современной России учёные также интересуются проблемой подводных гравитационных процессов. Можно обратить внимание на разработки А.С. Полякова [Поляков, 2001; Поляков, 2000; Поляков, 2001; Поляков, 2002], И.Н. Завьялова [Завьялов, Жмур, 2010] и круга авторов из Южного отделения Института Океанологии им. П.П. Ширшова РАН [Москаленко, Шимкус, 2005; Москаленко, Шимкус, 1976]. В публикациях А.С. Полякова можно обнаружить

предложения по классификации подводных гравитационных процессов, а также описан их механизм.

Несмотря на широкое распространение подводных гравитационных процессов на дне Чёрного моря, они являются слабо изученными. Одной из первых публикаций посвящённой тематике оползневых процессов на дне Чёрного моря является работа А.Д. Архангельского 1930 г. [Архангельский, 1930]. В дальнейшем, эти процессы, рассматривались в 1980-е - 2000-е гг. во время исследования подводных каньонов [Сафьянов, 1980; Сафьянов, Пыхов, 1981; Соловьёва, Сорокин, 1993; Сорокин, Лукша, 2002]. В конце XX в. сотрудниками «Южморгеологии» при проведении геофизических работ был обнаружен гигантский оползень, площадью в 200 км² в области объединённого конуса выноса палео-Дона и палео-Кубани [Казанцев, Кругляков, 1998], который в дальнейшем был до исследован группой геологов из этой же компании [Андреев и др., 2003]. В начале XX в. развитием проблематики подводных оползней в отложениях континентальной окраины Чёрного моря активно занимается круг авторов из Института Океанологии им. П.П. Ширшова РАН [Москаленко, Шимкус, 2005; Вержбицкий и др., 2005; Москаленко и др., 2006].

Оползневые процессы в отложениях Черноморского шельфа, примыкающего к Западному Кавказу, упоминаются в единичных публикациях [Джанджгава, 1990; Болдырев, 1957; Айбулатов, 2002].

К настоящему моменту составлено множество различных классификаций подводных гравитационных процессов, которые представлены в следующих работах [Обстановки осадконакопления и фации, 1990; Поляков, 2000; Prior, Coleman, 1984; Locat, Lee, 2000, Meunier, 1993]. Обобщение и анализ классификаций подводных гравитационных процессов, выполненные автором, позволяют выделить следующие подгруппы подводных гравитационных процессов: обвалы, крип, оползни и потоки, - и составить классификацию, представленную в таблице 1. Необходимо обратить внимание, что практически все исследователи, рассматривая классификации подводных гравитационных процессов, указывают на связь подводных оползней и потоков, так как в подводных условиях оползни по мере движения могут постепенно разрушаться и преобразовываться в потоки. Сначала в обломочные, а затем, при полной дезинтеграции оползневого тела, в турбидные.

Наиболее характерными формами рельефа, с которыми связано формирование подводных оползней, являются: фьорды, речные дельты, глубоководные конусы выноса, континентальные склоны, вулканические острова и континентальные окраины, расположенные вблизи тающих ледников [Hampton et al., 1996]. Общим для всех этих форм является наличие наклонного дна и источника большого количества осадочного материала.

Для обнаружения и картирования подводных гравитационных процессов основными являются геофизические и гидрографические исследования. В дальнейшем для отбора проб используются методы разведочных работ, которые включают бурение, пробоотбор лёгкими техническими средствами и полевые опытные работы (СРТ, SCPTU, T-bar и пр.). Для изучения подводных

гравитационных процессов в лаборатории необходимо выполнять определения физических, физико-механических свойств грунтов, а также определение возраста отложений. Для изучения механизма динамики подводных гравитационных процессов зачастую проводят физическое моделирование и/или строят различные математические модели.

Таблица 1. Генетическая классификация подводных гравитационных процессов

Группа	Подгруппа	Тип	Вид	
Подводные гравитационные склоновые процессы	Обвалы	оползни-обвалы	-	
		вывалы	-	
		развалы	-	
		щебнисто-глыбовые лавины	-	
	Крип	-	-	
	Оползни	Скольжения	-	
		Срезающие	-	
		Разжижения	-	
		Сложно структурированные	-	
	Потоки	Обломочные потоки	Глинистого состава	
			Песчаного состава	
		Турбидные потоки	Высокой плотности	
			Низкой плотности	

Глава 2. Инженерно-геологические условия шельфа и основные факторы формирования оползней в рассматриваемом регионе.

Для исследования подводных гравитационных процессов в акватории Российского сектора Чёрного моря был выбрано три смежных района, расположенных в северо-восточной части бассейна и прилегающих к шельфу, расположенному вблизи Западного Кавказа (рис. 1). Районы были выбраны исходя из активного строительства подводных газопроводов в этом регионе.

Рельеф. В пределах континентальной окраины Чёрного моря, примыкающей к складчато-глыбовому сооружению Большого Кавказа, в рельефе дна можно выделить следующие элементы: шельф и континентальный склон.

В пределах рассматриваемых районов шельф представляет собой пологую абразионно-аккумулятивную равнину шириной от 1.5 (р. Шахе) до 14 км (г. Сочи). Территория шельфа ограничена с северо-востока урезом воды, а с юго-запада бровкой континентального склона (край шельфа). Бровка континентального склона представляет собой линию, разделяющую шельф и

континентальный склон и расположена в диапазоне глубин от ~30 м (р. Шахе) до 180 м (пос. Лазаревское). В пределах шельфа выделяется три зоны: бенч, внутренний шельф и внешний шельф.

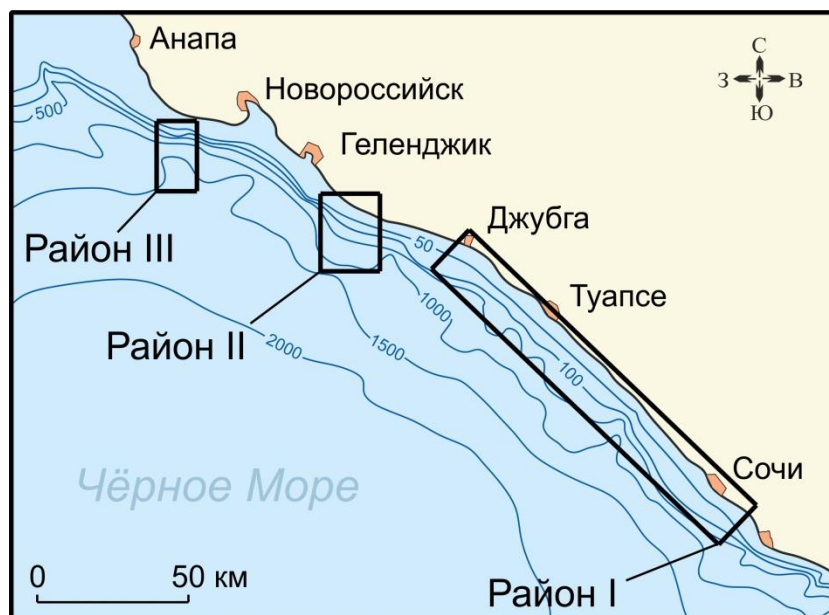


Рис. 1. Карта-схема расположения рассматриваемых районов в пределах шельфа Чёрного моря, примыкающего к Западному Кавказу

Бенч (грядовый бенч) представляет собой зону абразионного рельефа, которая протягивается узкой полосой вдоль береговой линии, характеризуется шириной до 500 м и прослеживается до глубин 8-20 м. Бенч развит практически повсеместно в области берега Чёрного моря, протягивающегося вдоль Западного Кавказа, отсутствуя на участках вблизи устьев рек. Поверхность бенча неровная и наклонена в юго-западном направлении (перпендикулярно береговой линии) в среднем под углом в первые градусы ($\sim 3^\circ$).

Внутренний шельф является зоной аккумулятивного рельефа, расположенной в области частого волнового воздействия и ограничивается изобатами 10-30 м. Поверхность внутреннего шельфа ровная и наклонена в сторону бровки континентального склона под углом порядка 1° . В области внутреннего шельфа на поверхности дна зачастую наблюдаются следы волновой ряби.

Внешний шельф представляет собой зону аккумулятивного рельефа вне области частого волнового воздействия и ограничивается бровкой континентального склона, которая может быть обнаружена по резкому увеличению глубин. Поверхность внешнего шельфа ровная с наклоном поверхности преимущественно менее 1° (в среднем порядка $\sim 0.25^\circ$). В зоне внешнего шельфа наблюдаются редкие эрозионные ложбины и гряды, которые связаны с палеорельефом рассматриваемой территории.

В юго-западном направлении, с увеличением крутизны поверхности рельефа, шельф сменяется континентальным склоном, который представляет собой резко расчленённую структурно-эрозионную поверхность и характеризуется крутизной до 60° .

Геологическое строение. Для всех рассмотренных элементов рельефа характерно различное геологическое строение.

В зоне *грядового бенча* практически полностью отсутствуют четвертичные отложения и на поверхности залегают скальные и полускальные грунты, представленные терригенным флишем. В межгрядовых понижениях могут наблюдаться волновые отложения, представленные гравийно-галечными грунтами - продуктами разрушения терригенного флиша.

В зоне *внутреннего шельфа* залегают преимущественно пески, ракушечники, а также гравийно-галечные отложения. По мере увеличения глубины в составе отложений может повышаться количество пылеватой фракции. Мощность рыхлых отложений в пределах зоны внутреннего шельфа может достигать 20 м.

В зоне *внешнего шельфа* с поверхности залегают прибрежно-морские, аллювиально-морские и биогенно-морские отложения, представленные различными илами. В илах наблюдается большое количество раковин моллюсков, а на участках, прилегающих к устьям рек, наблюдается увеличение в составе пылеватой и песчаной фракций. Мощность рыхлых отложений в зоне внешнего шельфа в среднем составляет около 20 м, увеличиваясь в области бровки континентального склона (до ~40 м) и в осевых частях речных долин (до 120 м).

Согласно геофизическим данным, слои, сложенные рыхлыми отложениями, в области шельфа залегают субгоризонтально (параллельно поверхности дна) с небольшим наклоном в сторону бровки континентального склона. Дочетвертичный преимущественно полускальный массив, залегающий на поверхности дна в зоне бенча и представленный терригенным флишем, в зонах внутреннего и внешнего шельфа постепенно погружается под толщу четвертичных отложений. Инженерно-геологические условия в области шельфа являются практически неизменными.

В верхней и наиболее крутой части континентального склона на поверхность выходят скальные и полускальные грунты, представленные терригенным флишем дочетвертичного возраста. Рыхлые отложения четвертичного возраста можно наблюдать лишь в межгрядовых понижениях. Рыхлые отложения представлены различными разновидностями дисперсных грунтов с большим количеством включений крупнообломочного материала. Инженерно-геологические условия в пределах континентального склона сильно изменяются, что заключается в резкой расчленённости рельефа и различном геологическом строении, как по падению склона, так и по простиранию.

В тектоническом отношении практически вся рассматриваемая территория шельфа и континентального склона Чёрного моря, как и три анализируемых района, расположены в пределах западной части складчато-глыбового сооружения Большого Кавказа, преимущественно в Чвежипсинской и частично в Новороссийско-Лазаревской альпийских складчатых зонах.

Следует отметить, что район I, расположен преимущественно в пределах шельфа, а районы II и III в пределах шельфа и континентального склона.

При рассмотрении цифровой модели дна района I в отложениях, слагающих внутренний шельф, было обнаружено три участка, на которых развиты оползневые тела.

Первый участок расположен вблизи пос. Новомихайловский. Оползневое тело было обнаружено в диапазоне глубин от 12 м до 18 м. Протяжённость оползневого тела ~480 м, ширина ~190 м, мощность смещённых отложений порядка 1 м. В центральной части обнаруженного тела наблюдается блок протяжённостью 70 м и шириной 100 м, предположительно с ненарушенной структурой осадков (рис. 2). Наклон поверхности составляет 0.76° .

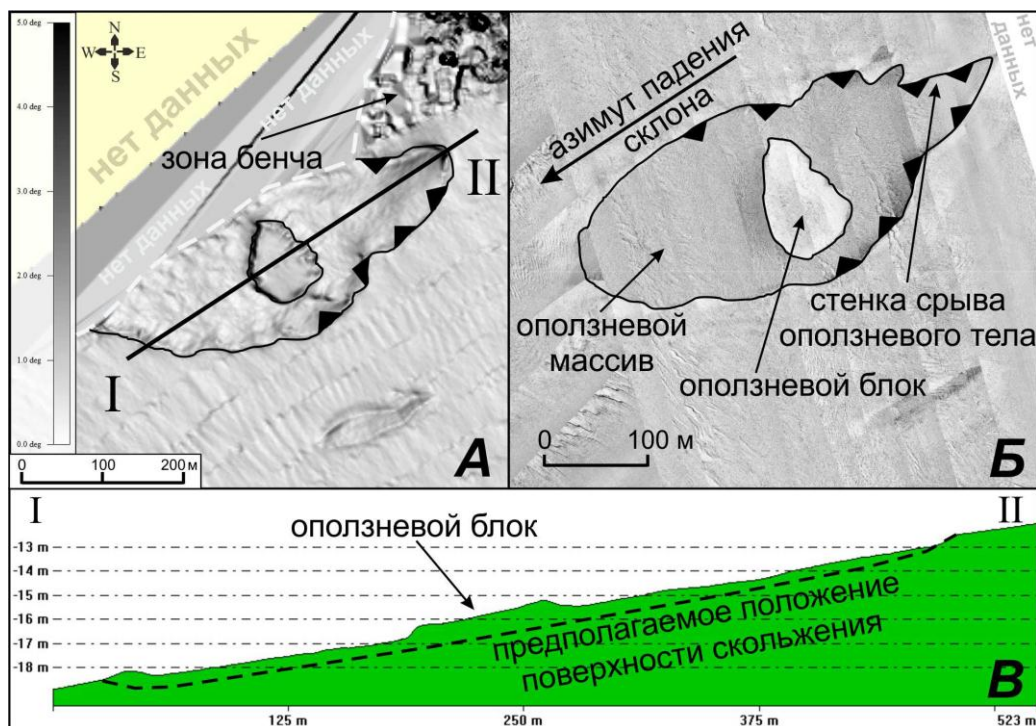


Рис. 2. А - фрагмент цифровой модели рельефа дна с оползневым телом вблизи пос. Новомихайловский. Б – сонарное изображение дна того же участка. В – профиль, показывающий рельеф дна, по линии I-II (см. рис. 2А)

Второй участок расположен вблизи г. Туапсе. Оползневое тело находится в диапазоне глубин от 15 до 25 м. Протяжённость оползня 800 м, ширина порядка 750 м (оползневое тело выходит за границы съёмки), мощность менее 1 м. В непосредственной близости от оползневого тела на дне обнаруживаются неровности рельефа, схожие с трещинами бортового отпора и стенками отрыва оползней. Наклон поверхности составляет 0.65° .

Третий участок расположен в верховьях каньона реки Шахе. Один из оползней расположен в диапазоне глубин 8-10 м. Длина оползня 280 м, ширина 200 м, мощность порядка 1 м. Другой оползень находится в диапазоне глубин 13.5-21.0 м. Протяжённость 1000 м, ширина 320 м, мощность также составляет порядка 1 м. Наклон поверхности составляет 0.40° .

По ближайшим к оползням станциям опробования можно сделать вывод о преимущественно песчаном составе обнаруженных подводных оползней. По механизму смещения все оползни можно охарактеризовать, как оползни скольжения.

В пределах района II в четвертичных отложениях, слагающих континентальный склон, в некоторых станциях опробования и скважинах были встречены глинистые конгломераты (галька тугопластичной глины и аргиллита в глинистом матриксе). Также были встречены редкие и тонкие прослой песка и битой ракуши. Наличие в разрезе глинистых конгломератов указывает на оползневой генезис отложений [Архангельский, 1930], а тонкие прослой песка и битой ракуши (мощностью до 10 см) свидетельствуют о периодическом возникновении в прошлом подводных гравитационных потоков на континентальном склоне рассматриваемого региона.

В пределах района III в зоне внешнего шельфа вблизи бровки континентального склона в рельефе ярко выражены оползневые тела со стенками отрыва, трещинами бортового отпора, а также на дне прослеживаются многочисленные оползневые ступени. Обнаруженные оползневые тела характеризуются шириной от 400 до 1000 м, длиной от 200 до 500 м и мощностью до 6 м. Часть оползневых тел после отрыва от основного массива переместилась на расстояние до 150 м в сторону бровки континентального склона. По мере приближения к бровке континентального склона оползневые тела расчленяются на отдельные блоки трещинами, параллельными простиранию подводных склонов. Обнаруженные оползневые тела лежат на поверхности с наклоном от 1° до 10° , что можно увидеть на цифровой модели рельефа дна и условно на геофизических разрезах.

На цифровой модели рельефа дна видно, что оползневые тела и трещины бортового отпора прослеживаются вдоль всей бровки континентального склона и уходят вглубь шельфа на расстояние до 1 км. Трещины бортового отпора очерчивают формирующиеся оползневые тела шириной до 2 км и длиной до 1 км.

На поверхности рельефа, осложнённого оползневыми деформациями, наблюдаются небольшие понижения или ложбины. Понижения связаны с участками растяжения массива грунтов, его локальным разрывом и последующим формированием трещин бортового отпора. Нечёткие контуры этих ложбин могут быть связаны с существованием различных течений, которые постепенно размывают их борта.

Механизм оползневого процесса обусловлен геологическим строением рассматриваемого района. Оползни наблюдаются только в дисперсных грунтах и находятся, по-видимому, во временно стабилизированном состоянии. На сейсмоакустических разрезах видно, что поверхности скольжения оползней совпадают с поверхностями напластования дисперсных отложений. Согласно данным по единичным станциям гравитационного прободоотбора, оползневые тела сложены илами и глинами с большим количеством (порядка 20-30%) раковин моллюсков. Исходя из геологического строения рассматриваемого района, можно сделать вывод, что поверхность скольжения имеет плоскую форму, а смещение оползней происходит по прослоям, характеризующимся заниженными прочностными характеристиками. Обнаруженные оползни по механизму смещения являются оползнями скольжения.

В четвертичных отложениях шельфа района III отмечается широкое распространение газонасыщенных осадков, которое проявляется в виде ярких пятен на сейсмоакустических разрезах. Глубина залегания газонасыщенных осадков от поверхности дна в пределах четвертичного комплекса изменяется от 20 см до десятков м.

Из всего многообразия факторов формирования подводных оползней, наиболее возможными для шельфа Чёрного моря, примыкающего к Западному Кавказу, будут являться: рельеф, состав, строение, состояние и свойства грунтов, землетрясения, штормовые волны и техногенное воздействие.

Таким образом, оползни скольжения формируются в массивах дисперсных грунтов, внешнего и внутреннего шельфа Чёрного моря при наклонах поверхности от 0.4 и более градусов. Для оползней во внутреннем шельфе характерен песчаный состав смещаемых отложений и мощности не более 1 м, а для оползней во внешнем шельфе глинистый состав и мощности до 6 м.

Глава 3. Обоснование расчётной схемы устойчивости отложений шельфа и учёт дополнительных воздействий.

Оценка устойчивости склонов является одной из классических задач инженерной геологии. В большинстве случаев задача решается в плоском сечении и предполагает построение инженерно-геологических разрезов, совпадающих с наиболее возможным направлением смещения оползня. Такая методика могла быть использована только для района II, в то же время дополнительно была разработана методика оценки устойчивости подводных склонов посредством одномерного моделирования, с помощью которой была оценена устойчивость массивов дисперсных грунтов в пределах как района I, так и района II.

В главе 2 было показано, что геологическое строение шельфа характеризуется простой и средней сложностью инженерно-геологических условий. На шельфе рыхлые отложения залегают субгоризонтально с небольшим падением в сторону бровки континентального склона, при этом слои залегают параллельно поверхности рельефа. Для каждой зоны шельфа, примыкающего к Западному Кавказу, характерно геологическое строение, выдержанное в её пределах.

Территория рассматриваемого шельфа Чёрного моря подвержена оползневым процессам, при этом на её поверхности формируются оползни, длина и ширина которых превышает их мощность на несколько порядков. Исходя из геологического строения рассматриваемого региона, поверхность скольжения обнаруженных оползневых тел можно аппроксимировать плоскостью, которая совпадает с прослоями, характеризующимися низкими значениями прочности. Обнаруженные оползневые тела можно рассмотреть в виде тел или блоков залегающих на наклонной плоской поверхности. Для таких тел не обязательно рассчитывать устойчивость вдоль всей расчётной поверхности скольжения, а достаточно рассмотреть устойчивость одного фрагмента оползневого тела, который опирается на расчётную поверхность скольжения и ограничен с обеих сторон вертикальными плоскостями (рис. 3).

Для удобства проведения расчётов можно рассмотреть фрагмент, опирающийся на участок поверхности скольжения единичной длины. Расчёт устойчивости таких тел представляет собой классическую задачу, рассмотренную во многих литературных источниках [Hance, 2003; Stability Modeling with Slope/W..., 2008; Lee, Edwards, 1986]. Схема для решения такой задачи представлена на рис. 3.

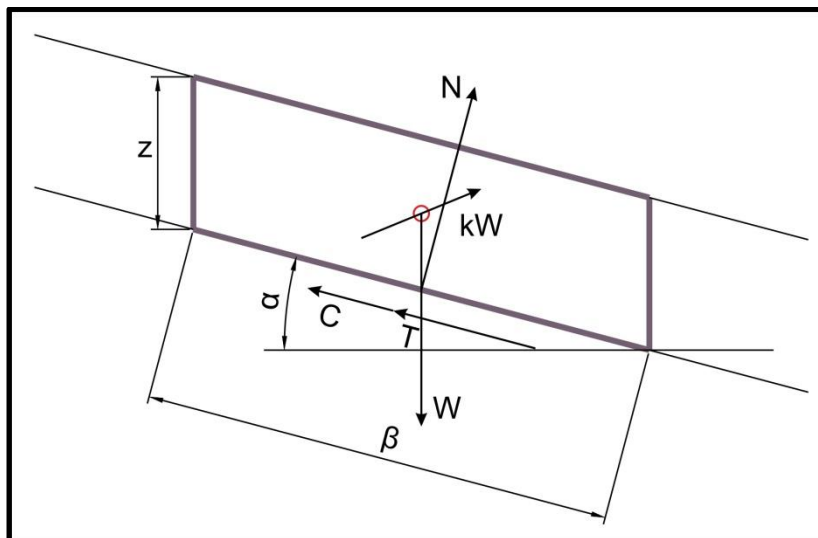


Рис. 3. Фрагмент оползневого тела и силы, действующие на него. Для расчёта в одномерной постановке ($\beta=1$).

W – вес фрагмента оползневого тела, z – глубина от поверхности дна до расчётной поверхности скольжения, α – наклон поверхности скольжения и рельефа, β – длина основания фрагмента, N – нормальная реакция опоры, C – сила сцепления, T – сила трения, kW – сейсмическая сила

С помощью одномерных расчётов выяснялось, при каких соотношениях мощности смещаемых отложений (z) и уклона поверхности рельефа (α) возможно формирование оползней для каждой разновидности грунтов четвертичного возраста в пределах рассматриваемых районов. В том числе и при учёте дополнительных воздействий.

Посредством одномерного моделирования были выполнены следующие группы расчётов устойчивости: при различных значениях уклонов поверхности склонов (от $1-40^\circ$), мощностях смещаемых отложений (1-20 м), сейсмических нагрузках (от 7 до 10 баллов по MSK-64), нагрузках от воздействия штормовых волн (от 2.2 до 13.6 м) и при различных параметрах прочности смещаемых отложений (в эффективных напряжениях, полных напряжениях, а также с недренированным сцеплением). Необходимо отметить, что при расчётах с параметрами прочности, определённых при полных напряжениях и с недренированным сцеплением, в модели опосредованно учитывалась газонасыщенность грунтов.

Для бровки континентального склона (в пределах района II) расчёты устойчивости также выполнялись в классической постановке с использованием инженерно-геологических разрезов (двухмерные модели). Расчёты как на одномерных, так и на двухмерных моделях выполнялись с помощью методов предельного равновесия. Использование инженерно-геологических разрезов

при проведении моделирования позволило определить размеры и морфометрические особенности расчётных оползневых тел.

В предложенной постановке и с учётом всех перечисленных факторов и изменяемых параметров расчёты устойчивости были выполнены впервые.

Таким образом, для моделирования стадии начала формирования оползней в отложениях шельфа Чёрного моря, было предложено две расчётные схемы. *Первая схема* представляет собой одномерную модель, а *вторая схема* представляет собой двухмерную задачу с использованием инженерно-геологических разрезов. Разработанная одномерная модель позволяет количественно оценивать устойчивость подводных оползней скольжения на стадии начала их формирования. Модель учитывает особенности механизма оползневого процесса и предполагает оценку устойчивости фрагмента массива грунта, опирающегося на расчётную поверхность скольжения единичной длины, а также позволяет выявлять критические соотношения между наклонами поверхности и мощностями смещаемых отложений с учётом их состава и свойств. Решение двухмерной задачи позволяет определить наиболее возможные размеры и положения оползневых тел.

Глава 4. Оценка устойчивости отложений, слагающих шельф Чёрного моря, при действии только гравитационной силы.

Оценка устойчивости Черноморского шельфа, то есть моделирование начала формирования оползня, выполнялось только для районов I и II.

Результаты оценки устойчивости подводных склонов при учёте действия только гравитационной силы по обоим районам показывают, что в области шельфа дисперсные грунты залегают устойчиво. Однако по мере приближения к бровке континентального склона и увеличения наклона поверхности рельефа, даже в статических условиях формирование оползней становится возможным. В результате расчётов по одномерной схеме были выявлены существенные различия в устойчивости глинистых и песчаных грунтов. Глинистые грунты оказались менее устойчивыми, чем песчаные.

Наименее устойчивыми грунтами являются глинистые грунты, а именно: различные илы, суглинки и глины, - характеризующиеся текучей до мягкопластичной консистенцией, при этом эти грунты являются наиболее распространёнными в зоне внешнего шельфа и в целом на рассматриваемой территории. Без учёта дополнительных воздействий обрушение слабых глинистых грунтов при мощности смещаемых отложений в 20 м может происходить уже при наклоне поверхности в 2-4° (*илы глинистые, илы суглинистые, илы глинистые газонасыщенные, глины и суглинки текучепластичные*), что соответствует зоне внешнего шельфа в непосредственной близости от бровки континентального склона. Следует отметить, что значение мощности в 20 м соответствует максимальной мощности массива дисперсных грунтов в области шельфа.

Обрушение песчаных грунтов без дополнительного воздействия в области шельфа практически невозможно. При мощности смещаемых отложений в 10 м, что соответствует максимальной мощности песчаных отложений по

данном бурения, обрушение происходит при наклоне дна в 35° , что соответствует наиболее крутой части континентального склона, где рыхлые отложения практически отсутствуют. Следует отметить, что песчаные грунты характеризуются более высокими значениями прочностных характеристик по сравнению с глинистыми грунтами, что может быть обусловлено тем, что они приурочены или были приурочены в прошлом преимущественно к области внутреннего шельфа и находятся или находились под частым воздействием штормовых волн.

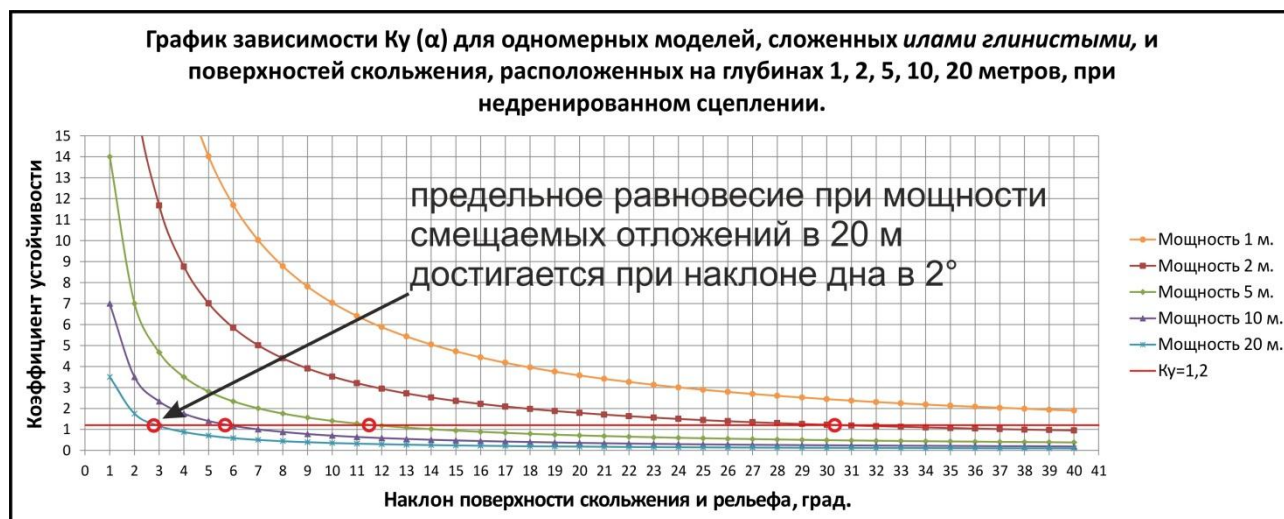


Рис. 4. Результаты расчёта по одномерной модели для илов глинистых (район I) и поверхностей скольжения, расположенных на глубинах 1, 2, 5, 10 и 20 м, при недренажном сцеплении

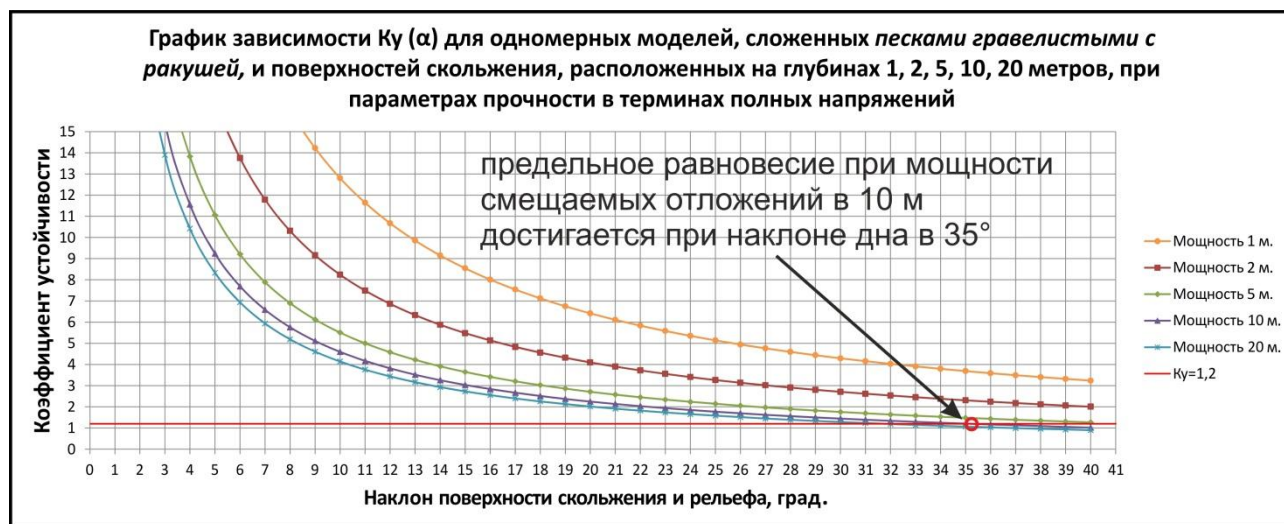


Рис. 5. Результаты расчёта по одномерной модели для песков гравелистых с ракушкой (район I) и поверхностей скольжения, расположенных на глубинах 1, 2, 5, 10 и 20 м, при параметрах прочности в терминах полных напряжений

Таким образом, вблизи бровки континентального склона, где наклон поверхности дна достигает 2 и более градусов, а мощность глинистых грунтов 20 и более метров, исключительно под действием силы тяжести могут формироваться оползни, захватывающие массив дисперсных грунтов на всю мощность.

Глава 5. Оценка устойчивости отложений, слагающих шельф Чёрного моря, с учётом дополнительных воздействий.

Результаты расчётов устойчивости подводных склонов посредством одномерного моделирования с учётом сейсмического воздействия показывают, что текучие и текучепластичные разновидности глинистых грунтов теряют устойчивость, как в области шельфа, так и в области бровки континентального склона при интенсивности сейсмического сотрясения от 7 баллов. Песчаные грунты в области шельфа теряют устойчивость при сейсмических нагрузках 9-10 баллов, а в области бровки континентального склона при интенсивностях 7-8 баллов. Согласно результатам двухмерного моделирования при сейсмическом воздействии в 7 баллов, наибольшая протяжённость расчётных оползневых тел составляет 280 м при мощности смещаемых отложений в 20 м (рис. 6). С увеличением интенсивности сейсмического воздействия, протяжённость оползневых тел увеличивается, и при интенсивности 10 баллов выходит за пределы рассматриваемых инженерно-геологических разрезов.

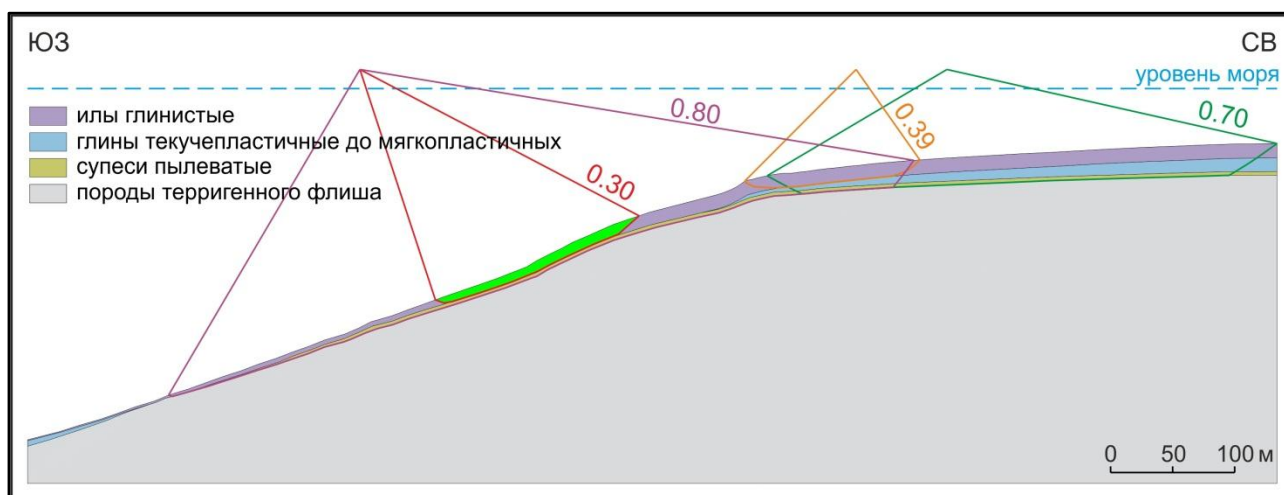


Рис. 6. Результаты оценки устойчивости подводных склонов района II (указаны коэффициенты устойчивости) по второй схеме с учётом сейсмического воздействия интенсивностью 7 баллов по линии разреза 1–1. Соотношение масштабов горизонтального к вертикальному 1:1. Зелёным выделена область, которая очерчивает поверхность скольжения с минимальным значением коэффициента устойчивости

Результаты расчётов, выполненных с учётом воздействия штормовых волн, показывают, что оползни, вызванные воздействием этого фактора, могут возникать преимущественно в глинистых грунтах текучей и текучепластичной консистенции. Возникновение оползней, вызванных воздействием штормовых волн, в песчаных грунтах возможно только в области бровки континентального склона. Условия для возникновения подводных оползней в песчаных грунтах, вызванных воздействием штормовых волн, могут быть встречены лишь в области подводного каньона р. Шахе, где бровка континентального склона расположена в области внутреннего шельфа, где залегают преимущественно песчаные грунты. Формирование оползней, вызванных этим видом воздействия в рассматриваемом регионе, как в глинистых, так и в песчаных грунтах

возможно только при экстремальных характеристиках волнения с периодами повторяемости 100 лет при обеспеченности 0.1%. При этом оползневые процессы могут затрагивать массивы дисперсных грунтов на всю мощность. Результаты расчётов показали, что воздействие волн влияет на устойчивость подводных массивов грунтов только на глубинах моря менее 60-80 м, а на больших глубинах практически не заметно.

Таким образом, при уклонах поверхности шельфа менее 2 градусов, возникновение оползней возможно только при действии дополнительных нагрузок: 1) сейсмических с интенсивностями 7 и 9 баллов для массивов, сложенных глинистыми и песчаными грунтами, соответственно; 2) воздействию штормовых волн для массивов, сложенных глинистыми грунтами, при экстремальных характеристиках волнения с периодами повторяемости 100 лет при обеспеченности 0.1%, массивы же сложенные песчаными грунтами в результате воздействия штормовых волн в области шельфа будут сохранять устойчивость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ опубликованных данных позволяет утверждать о широком распространении подводных гравитационных процессов на дне Мирового океана. Исследования подводных гравитационных процессов в Чёрном море проводились преимущественно в области континентального склона, при этом считалось, что в области шельфа, примыкающего к Западному Кавказу, оползневые процессы встречаются крайне ограниченно и не представляют опасности для подводных инженерных сооружений. Новые данные позволили сделать выводы о широком распространении оползней не только в области континентального склона, но и в области шельфа Чёрного моря, примыкающего к Западному Кавказу.

2. Сопоставление и анализ новых геолого-геофизических материалов позволили охарактеризовать инженерно-геологические условия шельфа Чёрного моря и выявить условия и факторы формирования подводных гравитационных процессов в рассматриваемом регионе. Для области шельфа характерны следующие особенности:

- наклон поверхности дна менее 1°;
- различное геологическое строение зон внутреннего и внешнего шельфа с преимущественным залеганием песчаных грунтов в зоне внутреннего шельфа и преобладанием глинистых грунтов в зоне внешнего шельфа;
- повсеместное распространение грунтов, характеризующихся низкими прочностными характеристиками, мощность которых может достигать 40 м;
- субгоризонтальное залегание массива дисперсных грунтов в области шельфа с падением слоёв в сторону бровки континентального склона;
- широкое распространение подводных оползней;
- среди многообразия факторов формирования подводных оползней наиболее возможными в рассматриваемом регионе являются: рельеф, состав, строение, состояние и свойства грунтов, землетрясения, штормовые волны и техногенное воздействие.

3. Оползневые тела распространены как в зоне внутреннего, так и в зоне внешнего шельфа, при наклонах поверхности дна от 0.4° . Выявлены отличия оползней во внутреннем и внешнем шельфе. Оползни во внешнем шельфе распространены в глинистых грунтах и характеризуются мощностями до 6 м. Для оползней во внутреннем шельфе характерен песчаный состав и мощности, не превышающие 1 м. Оползни, как во внешнем, так и во внутреннем шельфе относятся к оползням скольжения.

4. Для моделирования стадии начала формирования оползней предложено две расчётные схемы. *Первая схема* представляет собой одномерную модель, которая предполагает оценку устойчивости фрагмента массива грунта, опирающегося на расчётную поверхность скольжения единичной длины. Модель позволяет выявить критические соотношения между наклонами поверхности и мощностями смещаемых отложений для различных разновидностей грунтов. Разработанная одномерная модель позволяет выполнять следующие группы расчётов устойчивости: при различных значениях уклонов поверхности склонов, мощностях смещаемых отложений, сейсмических нагрузках, нагрузках от воздействия волн и при различных параметрах прочности смещаемых отложений. *Вторая схема* представляет собой двухмерную задачу с использованием инженерно-геологических разрезов, которая позволяет определить наиболее возможные размеры и положения оползневых тел.

5. Обнаружено, что при действии только гравитационной силы, согласно результатам расчётов, формирование оползней возможно только в зоне внешнего шельфа, вблизи бровки континентального склона, на участках, где мощность массивов дисперсных грунтов глинистого состава достигает 20 м и более. При этом такой массив дисперсных грунтов может быть вовлечён в оползневой процесс на всю мощность. Оползание песчаных грунтов при действии только гравитационной силы в области шельфа практически невозможно.

6. Результаты выполненных расчётов позволили установить основные факторы формирования подводных оползней в отложениях рассматриваемого участка шельфа, которыми являются: рельеф (наклон поверхности), состав, строение, состояние и свойства грунтов (включая газонасыщенность), - а также дополнительные природные и техногенные воздействия. При формировании оползней на шельфе ввиду незначительных уклонов его поверхности, согласно расчётам, гравитационная сила должна дополняться воздействием штормовых волн, сейсмичностью или нагрузками техногенной природы. *При сейсмическом воздействии* в области шельфа следует ожидать массового проявления оползневых процессов, захватывающих массивы дисперсных грунтов на всю мощность, уже при сотрясениях с интенсивностями от 7 баллов. *Воздействие штормовых волн* влияет на устойчивость подводных массивов грунтов только на глубинах моря менее 60-80 м. Формирование оползней, вызванных этим видом воздействия в рассматриваемом регионе, как в глинистых, так и в песчаных грунтах возможно только при экстремальных характеристиках волнения с периодами повторяемости 100 лет при обеспеченности 0.1%. При

этом оползневые процессы могут затрагивать массивы дисперсных грунтов на всю мощность. Наибольшую опасность этот вид воздействия представляет на участках близости верховьев подводных каньонов к береговой линии, таких как каньон р. Шахе.

7. Результаты настоящей диссертационной работы позволили разработать рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития гравитационных процессов на континентальных окраинах морей и океанов для обоснования строительства нефтегазовых сооружений.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в реферируемых журналах из списка ВАК

1. *Ионов В.Ю., Калинин Э.В., Фоменко И.К., Миронюк С.Г.* Условия формирования подводных оползней в отложениях бровки континентального склона Чёрного моря в районе посёлка Архипо-Осиповка // Инженерная геология. 2012. №5. С. 36-46.
2. *Ионов В.Ю.* Опыт исследования подводных оползней для обоснования строительства морских нефтегазовых сооружений // Инженерные изыскания. 2012. №6. С. 52-63.

Статьи в сборниках

3. *Ионов В.Ю., Калинин Э.В.* Оползни на Кавказском шельфе Чёрного моря и оценка их устойчивости // Концептуальные проблемы литологических исследований в России: материалы 6-го Всероссийского литологического совещания (Казань, 26-30 сентября 2011 г.). - Казань: Казан.ун-т, 2011. - Том I. – С 351-354.
4. *Ионов В.Ю., Калинин Э.В.* Методы исследования подводных оползней для обоснования строительства подводных газопроводов // Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии. Труды международной научной конференции: Москва, геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 25-26 мая 2010 г. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 2010. - С. 99-100.
5. *Ионов В.Ю.* Факторы формирования подводных оползней на Кавказском шельфе Чёрного моря // Геология морей и океанов: Материалы XIX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. V. – М.: ГЕОС, 2011. – С. 108-112.
6. *Ионов В.Ю.* Современные представления о возникновении подводных оползней // Сергеевские чтения. Научное обоснование актуализации нормативных документов инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий. Выпуск 12. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (23-24 марта 2010 г.). – М.: РУДН, 2010. – С. 120-125.
7. *Ionov V.J.* Triggering mechanisms of submarine landslides on the Caucasian shelf of the Black Sea // Environmental Geosciences and Engineering Survey for Territory Protection and Population Safety (EngeoPro-2011) / International Conference under

the aegis of IAEG, Moscow, Russia, September 6-8, 2011/ Abstracts to Proceedings. – Moscow: ИП Киселева Н.В. (IE Kiseleva N.V.), 2011. – P. 97-98.

8. *Ionov V.Yu., Kalinin E.V., Fomenko I.K., Mironyuk S.G.* Regional Slope Stability Assessment Along the Caucasian Shelf of the Black Sea // Submarine Mass Movements and Their Consequences. Advances in Natural and Technological Hazards Research / 6th International Symposium. Volume 37. – Switzerland: Springer International Publishing, 2014. – pp. 201-212.

Тезисы докладов

9. *Ионов В.Ю., Калинин Э.В.* Гравитационные процессы на подводных склонах Чёрного моря // Научная конференция. Ломоносовские чтения (ноябрь 2011 г.). – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. С. 108.

10. *Ионов В.Ю., Калинин Э.В.* Инженерно-геологические условия формирования и прогноз развития оползневых процессов в отложениях шельфа северо-восточного сектора Чёрного моря // Научная конференция. Ломоносовские чтения (апрель 2013 г.). – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2013.

11. *Ионов В.Ю.* Факторы возникновения подводных гравитационных процессов // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2011» / Отв. ред. А.И. Андреев, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, М.В. Чистякова. [Электронный ресурс] — М.: МАКС Пресс, 2011. — 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. - Систем. требования: ПК с процессором 486+; Windows 95; дисковод DVD-ROM; Adobe Acrobat Reader. ISBN 978-5-317-03634-8

12. *Ионов В.Ю.* Подводные оползневые процессы в отложениях бровки континентального склона Чёрного моря в районе п. Архипо-Осиповка // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2012» / Отв. ред. А.И. Андреев, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, К.К. Андреев, М.В. Чистякова. [Электронный ресурс] — М.: МАКС Пресс, 2012. — 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. - Систем. требования: ПК с процессором 486+; Windows 95; дисковод DVD-ROM; Adobe Acrobat Reader. ISBN 978-5-317-04041-3