



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова  
Кыргызский государственный университет строительства,  
транспорта и архитектуры им. Н. Исанова

На правах рукописи  
УДК 532.546

**БЕКСУЛТАНОВ Жениш Тункатарович**

**МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ  
АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ОПОЛЗНЕЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО  
ТИПА НА ТЕРРИТОРИИ КР**

**01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

**Научный руководитель:**  
доктор физико-математических наук,  
профессор Бийбосунов Б.И.

**Бишкек – 2013**



## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>ГЛАВА 1. ОПОЛЗНЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ И МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ</b>	
1.1 Основные закономерности формирования и развития оползней .....	13
1.2 Основные типы оползней и их классификации.....	20
1.3 Фильтрационные и инфильтрационные факторы .....	33
1.4 Основные уравнения динамики жидкости в оползневых склонах .....	44
<b>ГЛАВА 2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ФИЛЬТРАЦИИ И ИНФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНАХ</b>	
2.1 Приближенно-аналитические решения краевых задач ста- ционарной фильтрации в различных средах.....	54
2.2 Приближенно-аналитические решения краевых задач не- стационарной фильтрации в различных средах .....	68
2.3 Приближенно-аналитический расчет одномерной инфильт- рации жидкости .....	77
2.4 Приближенно-аналитический расчет двумерной инфильт- рации жидкости .....	83
<b>ГЛАВА 3. ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПОЛЗНЕЙ В КЫРГЫЗСТАНЕ</b>	
3.1 Устойчивость оползневых горных склонов.....	91
3.2 Задача расчета устойчивости склона против оползания.....	98
3.3 Методы корреляционно-регрессионного и факторного ана- лиза для прогнозирования оползней.....	104
3.4 Информационные технологии для анализа и прогноза оползней .....	115
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	128
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	132
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ</b> .....	142



## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Территория Кыргызстана, как известно, подвержена экзогенным геологическим процессам (ЭГП). Оползни относятся к экзогенным геологическим процессам и представляют собой один самых распространенных видов природных катастрофических явлений, которые вызывают колоссальные разрушения на больших территориях, приводят к огромным человеческим жертвам, причиняют большой ущерб экономике и природной среде. Оползни имеют широкое распространение на всей территории Кыргызстана, и особенно в Ошской и Джалал-Абадской областях. Практически ежегодно из-за активизации оползней Кыргызстан несет большие материальные потери. В этой связи правительством республики была разработана комплексная программа по исследованию и прогнозированию оползневых процессов и по борьбе с ними.

Как показывают данные многолетних наблюдений и исследования специалистов-гидрогеологов, активизация оползней в Кыргызстане вызывается главным образом гидрогеологическими (колебания уровней грунтовых вод) и метеорологическими (атмосферные осадки, интенсивное снеготаяние в весенний период) факторами, которые, в свою очередь взаимосвязаны с динамикой жидкости в оползневых склонах. Таким образом, исследование фильтрационных и инфильтрационных потоков грунтовых вод, возникающих под действием основных оползнеобразующих факторов, вопросы устойчивости оползневых горных склонов, применение методов математического моделирования, разработка новых компьютерных технологий для изучения и прогнозирования оползней являются очень актуальными и важными для Кыргызстана научно-практическими задачами.

**Связь темы диссертации с крупными научными программами.**



Тема диссертационной работы напрямую связана с государственной научно-исследовательской программой «Математическое моделирование геомеханических процессов в горных районах Кыргызстана (оползневые процессы и селевые потоки)», выполненной лабораторией «Математическое моделирование геомеханических процессов» Института геомеханики и освоения недр НАН КР в 2006-2008 гг.

Кроме того, тематика диссертации связана также с выполнением научно-исследовательской работы на тему «Исследование устойчивости горных склонов, динамики оползневых и селевых процессов и их прогнозирование», по заказу Министерства образования и науки КР (2008 - 2009 гг.).

**Объект и предмет исследования.** Основным объектом исследования диссертационной работы выступают гидродинамические явления и процессы, происходящие в оползневых горных склонах. Исследуются основные факторы формирования, развития и активизации оползней с точки зрения теории гидродинамики. В связи с этим рассматриваются основные классы фильтрационных и инфильтрационных потоков грунтовых вод в оползневых склонах и их воздействие на устойчивость горных склонов против оползания. На основе теории подземной гидродинамики применяются методы математического моделирования различных типов течений грунтовых вод в оползневых горных склонах, которые обусловлены гидрогеологическими факторами, метеорологическими условиями, процессами снеготаяния, стока поверхностных вод и другими факторами, являющимися основными для оползней на территории Кыргызстана. Всесторонний анализ основных оползнеобразующих факторов приводит к гидродинамической классификации возникающих течений грунтовых вод, предлагаются механико-математические модели, которые достаточно адекватно описывают динамику жидкости в оползневых горных склонах и исследуются вопросы устойчивости склонов.



**Цели и задачи исследования.** Основной целью диссертационной работы является: исследование основных оползнеобразующих факторов, построение и решение математических моделей фильтрации и инфильтрации грунтовых вод в оползневых склонах, разработка методик расчета устойчивости оползневых горных склонов против оползания.

В рамках поставленной цели решены следующие конкретные задачи:

- ◆ Рассмотрены математические модели стационарной фильтрации жидкости в оползневых склонах в двухмерной и трехмерной постановке, которые определяются, в первую очередь, гидрогеологическими и метеорологическими факторами. При этом грунтовая масса в оползневых склонах принимается как однородно-изотропная, неоднородная и анизотропная среды.
- ◆ Приближенно-аналитическими методами исследуются плоские и пространственные начально-краевые задачи нестационарной фильтрации при различном строении среды.
- ◆ Исследуются одномерные и плоские начально-краевые задачи инфильтрации жидкости в оползневых склонах.
- ◆ Исследуется устойчивость оползневых горных склонов с точки зрения теории гидродинамики. Формулируется краевая задача на основе схемы приложенных основных физических сил, учитывающей фильтрационное давление.
- ◆ Разработаны вероятностные модели для оползневых процессов и алгоритмы для проведения корреляционно-регрессионного и факторного анализа основных факторов, определяющих развитие и активизацию оползней.

**Научная новизна.** Научная новизна работы заключается в следующем:

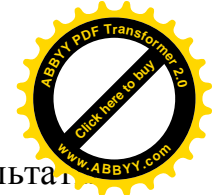
1. Решены в автомодельной форме двумерные и трехмерные краевые задачи стационарной фильтрации для различных видов строения среды: однородная, кусочно-однородная, неоднородная среда.
2. Предложены приближенно-аналитические методы и получены общие и частные решения начально-краевых задач неустановившейся фильтрации подземных вод в плоской и пространственной постановке.



3. Найдены автомобильные решения для одномерных и двумерных задач инфильтрации грунтовых вод в ненасыщенных средах. Приведены общее и частные решения уравнения инфильтрации при различных показателях автомобильности.
4. Предложена методика расчета устойчивости оползневых склонов с учетом давления фильтрационных потоков, которое определяется в процессе постановки и решения краевых и динамических задач фильтрации.
5. Предложены численные алгоритмы для проведения корреляционного, регрессионного и факторного анализа основных факторов проявления оползней на территории Кыргызстана.
6. Разработана новая информационная технология и информационная система для исследования и прогнозирования оползней на территории Кыргызстана.

**Практическая ценность.** Практическая ценность проведенных в диссертационной работе исследований выражается в следующем. Показаны роль и значение фильтрации и инфильтрации жидкости в процессах возникновения, развития и активизации оползней. Предлагается методика определения устойчивости оползневых склонов. Результаты диссертационного исследования дают возможность разработать конкретные меры снижения опасности оползневых процессов на территории страны.

Современными методами исследовано влияние метеорологических и других факторов на активизацию оползней и предложены вычислительные процедуры для проведения корреляционного, регрессионного и факторного анализа. Созданная информационная система является готовым программным продуктом, имеющим удобный и дружелюбный интерфейс, и предназначена для практического применения при исследовании и прогнозировании оползней.



## Экономическая значимость полученных результатов.      Результаты

диссертации, несомненно, обладают экономической значимостью. Проблема изучения и прогнозирования оползневых процессов напрямую завязана на вопросах безопасности населения, населенных пунктов, важных народно-хозяйственных объектов и инженерно-технических коммуникаций, а следовательно на вопросах снижения ущерба для социально-экономической системы в целом. Любые положительные результаты в этой области, которые позволяют минимизировать ущерб и последствия катастрофических природных процессов, имеют важную экономическую компоненту.

### Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Предлагается гидродинамический анализ основных факторов, определяющих формирование, развитие и активизацию оползней, а также основных типов оползней, распространенных на территории Кыргызстана. На основе этого выделяются основные гидродинамические процессы в оползневых горных склонах, которые обусловлены постоянными, медленно изменяющимися и быстро изменяющимися природными факторами и условиями. В результате анализа предложена общая гидродинамическая схема исследования оползневых процессов.
2. Анализ природных факторов позволил выделить основные классы гидродинамических задач невязкой жидкости в различных по своему строению грунтовых горных массах. Формулируются и решаются краевые и начальнокраевые задачи фильтрации и инфильтрации жидкости в оползневых горных склонах с учетом сложного строения среды.
3. Разработан приближенно-аналитический метод решения гидродинамических задач, который основан на автомодельном подходе и методе малого параметра с разложением в ряд. В результате решаются гидродинамические задачи в плоской и пространственной постановке при условии однородности и неоднородности, изотропности и анизотропности среды.



4. Рассмотрены вопросы устойчивости горных склонов против оползания. На основе имеющихся в научной литературе методик расчета предложена новая схема расчета коэффициента устойчивости, которая позволяет учитывать гидродинамические процессы в оползневых склонах и их влияние на возможное оползание.
5. Рассмотрены вопросы прогнозирования оползней и разработаны прогнозные модели, как линейные, так и нелинейные, основанные на теории регрессионного и факторного анализа, а также на сглаживании динамических рядов.
6. Применяются новые информационные технологии и разработана информационная система, которая предназначена для анализа и прогноза оползней, распространенных вблизи населенных пунктов и народнохозяйственных объектов республики. Информационная система содержит обширную базу данных с подробным геологическим и гидрогеологическим описанием оползней.

**Личный вклад соискателя.** Основные результаты диссертационной работы получены лично соискателем. Соискатель самостоятельно разрабатывал основные аналитические методы решения поставленных задач. Им лично получены основные теоретические и практические результаты по математическому моделированию фильтрации и инфильтрации жидкости в оползневых горных склонах. Кроме того, соискатель принимал самое непосредственное участие в создании и разработке информационной системы и вычислительных алгоритмов регрессионного и факторного анализа.

**Апробация работы.** Основные результаты и положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на следующих научных конференциях, семинарах и совещаниях:

1. Международная конференция «Проблемы геомеханики и освоения недр» посвященной 50-летию Института геомеханики и освоения недр и 80-летию академика НАН КР И.Т.Айтматова (г.Бишкек, 15-17 июня, 2011г.)





2. Республиканская научная конференция, посвященной памяти профессора Рақыма Усубакуновича (г.Бишкек, 15-16 мая, 2012г.)

3. Международная конференция «Актуальные проблемы механики сплошных сред» посвященной со дня рождения 80-летию профессора И.Б. Бийбосунова (г.Бишкек, 26-28 июня, 2012г.)

**Публикации.** Основные результаты диссертационной работы были опубликованы в 11 научных работах, основная часть которых приведена в списке литературы в конце диссертации.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 115 наименований, изложенных на 142 страницах машинописного текста, содержит 6 таблиц, 13 рисунков, приложение на 31 страницах. Нумерация формул, рисунков и таблиц в диссертации дается по главам, то есть в каждой главе первая цифра в номерах формул, рисунков и таблиц совпадает с номером данной главы.

### **Обзор научной литературы.**

Теория фильтрации подземных вод возникла в середине прошлого века и за почти полутора вековую историю своего развития превратилась в самостоятельную научную дисциплину. Она продолжает успешно развиваться и находит все большее применение в различных областях: в гидротехническом строительстве, гидрогеологии, геофизике, геологии, физике почв, механике грунтов, нефтегазовой добыче и нефтехимических процессах, строительстве оснований и подземных сооружений, в мелиорации, гидравлике каналов, в накоплении и использовании подземных вод и т.д.

Основы теории фильтрации заложены в работах таких известных ученых, как А.Дарси [98], Ж.Дюпюи [99], Ж. Буссинеск [96], Н.Е. Жуковский [33], Ф. Форхгеймер [81]. Дальнейшее свое развитие теория фильтрации получила благодаря работам Н.Н. Павловского [63], создавшего строгую мате-



матическую теорию движения подземных вод под гидротехническими сооружениями, также известным работам Кочина Н.Е. [42]. В работах К. Терцаги [72], изучавшего природу фильтрационных сил, движения воды в глинах и термодинамические факторы. Следует отметить труды М. Маскета [48], посвященным движению однородных и неоднородных жидкостей; а также Р. Коллинза [41], исследования которого посвящены общим физическим принципам теории фильтрации. В научных трудах В.И. Аравинова и С.Н. Нумерова [3] исследовались фильтрационные потоки через недеформируемые пористые среды; работы Н.Н.Веригина [14], посвящены фильтрации в основаниях гидросооружений. Известны научные публикации В.В. Ведерникова [13], получившего точные решения для неограниченного потока; Н.К. Гиринского [17], исследовавшего фильтрационные потоки в неоднородных грунтах и в горных породах. Следует также отметить широко известные работы Л.С. Лейбензона [45], В.Н. Щелкачева [93] и многих других.

Огромный вклад в развитие теории фильтрации внесли работы таких известных советских ученых, как академик П.Я. Полубаринова-Кочина [65], применившей теорию дифференциальных уравнений для решения целого ряда задач фильтрации; академик С.А. Христианович [84], исследовавшего пространственные фильтрационные потоки, не подчиняющиеся закону Дарси; профессор Н.М. Герсеванов [15], обобщившего закон Дарси на уплотняющие среды; В.А. Флорин [80], в работах которого исследована пространственная консолидация; академик М.А. Лаврентьев [44], разработавшего приближенно-аналитические методы расчета фильтрации; И.А. Чарный [85], исследовавшего ненасыщенные потоки; Г.Н. Положий [66], И.И. Ляшко [46], предложивших вариационные теоремы фильтрации и методы мажорантных областей и суммарных представлений; академик Л.В. Овсянников [61], разработавший метод группового анализа дифференциальных уравнений, который был применен для решения ряда задач гидродинамики; Н.И. Дружинин [30] и П.Ф. Фильчаков [78], применивших метод ЭГДА для решения целого ряда фильтрационных задач; академик Н.Н. Яненко [94], предложившего ме-



тод дробных шагов; профессора М.М. Гришин [23] и Р.Р.Чугаев [86], работы которых посвящены вопросам устойчивости гидросооружений; А.Я. Иоффе [38], А.Н. Мятеев [55], О.В. Голубева [19] и др., исследовавших фильтрационные течения в разнородных, анизотропных и слоистых средах; профессора М.Т. Нужин и Г.Г. Тумашев [59], Н.Б. Ильинский [37] и др., получившие решения некоторых обратных и полуобратных задач фильтрации под гидротехническими сооружениями; академики Николаевский В.Н. [57], С.Н. Антонцев [2], В.Н. Монахов [53], Абуталиев Ф.Б. [1] и др., исследовавшие смешанные краевые задачи фильтрации и влагопереноса в различных средах; профессора А.И. Будаговский [11], В.А. Мироненко и В.М. Шестаков [51], А.Ф. Чудновский [87] и др., работы которых посвящены процессам инфильтрации в почвогрунтах.

Широкой известностью и признанием пользуются работы, переведенные на русский язык, таких ученых, как М.Л. Милн-Томсон [50], Я. Бэр, Д. Заславски, С. Ирмей [12], А.Е. Шейдеггер [89], Дж. Филип [77], П. Роуч [67], К. Флетчер [79] и др.

Создание вычислительной техники определило стремительное развитие численных методов и появление вычислительной гидроаэродинамики (ВГАД). На сегодняшний день насчитывается огромное количество научных работ, посвященных численным методам в теории фильтрации.

Одним из наиболее распространенных и широко применяемым является метод конечных элементов, теоретические основы и применение которого изложены в работах [53], [61], [66], [52] и др.

Необходимо отметить, что современное развитие теории фильтрации практически не позволяет в краткой форме осветить все научные исследования и полученные результаты.

Возникновение и становление механики жидкости и газа в Кыргызстане неразрывно связано с именем проф. Ф.И. Франкля, который стоял у самых ее истоков. За последние два-три десятилетия в Кыргызской Республике сложилась своя национальная научная школа по механике жидкости и газа под ру-



ководством его ученика проф. И. Бийбосунова. Представителями кыргызской школы механиков опубликованы сотни научных работ, они участвовали во многих международных и всесоюзных конференциях и семинарах, что принесло им признание среди ученых и специалистов других стран. Следует отметить работы таких кыргызских ученых, как Бийбосунов Б. И. [8], Бийбосунов А. И. [10], Ч. Джаныбеков [27], Ж. Мамбеткулов [47], А. Исманбаев [40], Джаманбаев М. Д. [29], М. Мурзакматов [54], Туганбаев У. М. [74] и др., посвященных аналитическим, приближенно-аналитическим и численным методам решения различных задач фильтрации и инфильтрации.

Научная литература по ЭГП в целом и по оползневым процессам в частности, приводится в соответствующих разделах диссертационной работы.



# ГЛАВА 1. ОПОЛЗНЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ И МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

## 1.1 Основные закономерности формирования и развития оползней

В научной литературе словом “оползень” обозначают как процесс, событие, так и геолого-морфологическое образование или явление, как результат процесса. Примем следующее определение оползня, как наиболее распространенное в научной литературе: оползень - это смещение на более низкий уровень части горных пород при сохранении контакта с неподвижным основанием. В данном параграфе диссертационной работы приведем обзор современного состояния исследований, посвященных оползневым процессам.

**Основные факторы.** Насчитывается множество факторов, формирующих оползни и их развитие, имеется большое число классификаций самих факторов, определяющих развитие оползневых процессов. Большой обзор и критический анализ существующих классификаций, которые формируют и стимулируют оползни, приводится в работах [20], [24], [25], [32], [34], [90], [43], [49], [56], [58], [68], [69], [70], [71], [76], [88], [92] и др. Как правило, все факторы, которые обуславливают возникновение и развитие оползней, делятся на три большие группы:

- 1) постоянные (не изменяющиеся);
- 2) медленно изменяющиеся;
- 3) быстро изменяющиеся.

К факторам первой группы относятся геологическое строение и рельеф, то есть те факторы, которые на время прогноза считаются неизменными. Факторы этой группы определяют генетические особенности экзогенных геологических процессов, к которым относятся и оползни, и интенсивность их проявления.



Факторы второй группы определяют, как правило, основные тенденции развития оползневых процессов и включают в себя: современную тектонику, климат, гидрологические условия, гидрологию морских берегов, почвы, растительность. В совокупности факторы первой и второй группы составляют основу пространственного прогноза возникновения и развития оползней (глобальные, региональные и локальные прогнозы).

Наконец, к третьей группе относятся следующие факторы: метеорологические (атмосферные осадки, температура и др.), гидрологические (расходы и уровни воды в реках, озерах и т.п.), сейсмические (землетрясения), хозяйственная деятельность, поверхностный сток, влажность и льдистость горных пород, сезонное промерзание и оттаивание, деформация и прочность горных пород. Данная группа факторов обуславливает и определяет режим активации оползневых процессов и составляет основу для временного прогноза оползней (сверхдолгосрочные, долгосрочные и краткосрочные прогнозы). В завершение классификации факторов сведем их в таблицу 1.1 и дадим краткую характеристику некоторых основных факторов, определяющих оползневые процессы.

Геологические условия. Под ними понимаются, как правило, литология, состав и свойства горных пород, а также условия их залегания. Геологические условия, как уже отмечалось, определяют генетические особенности проявления оползней и их интенсивность. Горные породы являются главным фактором формирования экзогенных геологических процессов [62], [69]. Все горные породы по классификации Е.М. Сергеева, подразделяются на два больших класса: скальные и дисперсные. Первые делятся еще на пять больших групп: магматические, метаморфические, осадочные, цементированные, осадочные химические и биохимические и искусственные группы. Одной из важнейших задач при прогнозировании оползней является характеристика горных пород, слагающих определенные формации или стратиграфо - генетические комплексы. Требуется построение их моделей различной сложности и детализации, в большей или меньшей степени, отражающие основные осо-



бенности их состава и строения. Основное при этом - выделить тот элемент или слой формации, который будет определять предрасположенность массива пород к возникновению оползней.

Значительное влияние на развитие оползней оказывают условия залегания пород, играющие важную роль в процессе их разрушения. Обычно различают первичные и вторичные формы залегания горных пород, подробная характеристика и анализ их приведены в работе [82]. На характер и интенсивность оползневых процессов влияет также и направление падения горных пород по отношению к склонам. В работе [90] дается классификация оползней по геологическим условиям развития.

2. Рельеф. Он является важнейшим фактором, определяющим как интенсивность проявления оползневых процессов, так и их генетические особенности. Различают как прямое влияние рельефа на характер и частоту оползней, так и косвенное влияние. Прямое влияние оказывают крутые склоны, морфология речных долин, уклоны тальвегов и т.п. Косвенное воздействие рельефа проявляется в качестве одного из компонентов географической среды, в значительной мере определяющего характер и пространственное распределение циркуляции воздушных масс, атмосферных осадков, температуры, поверхностных и подземных вод, растительного покрова. Необходимым и обязательным условием для развития оползневых процессов является перепад высот рельефа, энергия рельефа. Механизм влияния рельефа на оползневые, селевые процессы, обвалы и др., является чрезвычайно сложным, многогранным и составляет большую область научных исследований.

3. Климатические условия. Под этим понимается режим тепла и влаги, при котором происходит развитие и активация оползневых процессов, изменяющихся как в пространстве (в зависимости от типа климата и региональных особенностей территории), так и во времени. Климатические условия относятся к основной группе изменяющихся факторов, которые в конечном итоге изменяют режим проявления оползневых процессов. Климатические





условия реализуются через определенный тип погоды, характеризующийся соответствующим комплексом метеорологических показателей.

**Таблица 1.1 - Перечень основных факторов развития и активации оползней**

<b>Группы факторов</b>	<b>Что определяют</b>
1. Постоянные: 1. Геологическое строение (тектоника, стратиграфия, литология) 2. Геоморфологические строения (общий характер рельефа, морфология и морфометрия, генезис и возраст)	Генетические особенности оползневых процессов и интенсивность их проявления. Основа пространственного прогноза.
II. Медленно изменяющиеся: 1. Современные тектонические движения 2. Климатические 3. Гидрогеологические 4. Растительность 5. Почвы 6. Гидрология берегов	Общие тенденции оползневых процессов. Основа пространственного прогноза (глобальные, региональные и локальные прогнозы).
III. Быстроменяющиеся: 1. Метеорологические (атмосферные осадки, температура и др.) 2. Гидрологические (расходы и уровни воды и т.п.) 3. Сейсмические (землетрясения) 4. Хозяйственная деятельность 5. Поверхностный сток 6. Влажность и льдистость горных пород 7. Сезонное промерзание и оттаивание 8. Прочность и деформация горных пород	Режим активизации оползневых процессов. Основа временного прогноза (сверхдолгосрочные, долгосрочные и краткосрочные прогнозы).

При этом основными метеорологическими показателями, которые выражают наиболее благоприятный для возникновения и развития оползней тип погоды, является: количество осадков, режим их выпадения, режим темпера-





туры. Как известно, при оползневых процессах повышено количество осадков, и определенный их режим выпадения способствует нарушению устойчивости горных склонов. Практика показывает, что наблюдается тесная взаимосвязь периодов активизации оползневых процессов и периодов повышенных значений различных показателей атмосферных осадков. Понятно, что режим и степень увлажнения территории, режим температуры воздуха, а соответственно, и наиболее общие черты оползневых процессов будут меняться и отличаться в районах с различным климатом. Так, исследование влияния режима климата, в частности увлажнения, на активизацию оползней на горных склонах Чаткало-Кураминской зоны в лессовых породах показало, что наиболее значительное нарушение устойчивости склонов происходит вследствие ливневых дождей, увлажняющих породы по трещинам, служащим естественными водозаборниками атмосферных осадков [58]. Особенно опасны продолжительные дожди для рыхлых глинистых пород. При этом в результате изменения влажности повышается плотность пород (иногда на 20-30%) и уменьшается сопротивляемость сдвигу (иногда на 50% и более), что приводит, естественно, к потере устойчивости [68].

Как известно, каждый тип климата на земном шаре характеризуется определенным комплексом признаков. Развитие оползневых процессов и других экзогенных геологических процессов при различных типах климата, для различных климатических поясов представляет собой отдельный раздел научных исследований, например, можно обратиться к монографии [18], [25], где, в частности, проведено климатическое районирование бывшего СССР.

4. Гидрогеологические условия. Под гидрогеологическими условиями понимаются условия залегания подземных вод - характер вмещающих пород, форма и глубина залегания, направление движения и характер разгрузки; особенности режима подземных вод - изменение уровней, расходов; температура и химический состав подземных вод. Имеется целый ряд исследований, посвященных влиянию гидрогеологических условий на оползневые процессы [32], [34], [43] и др. В этих работах детально исследуется механизм



воздействия подземных вод на оползни, выделяются различные формы и влияния. Некоторые авторы приходят к выводу, что подземные воды влияют и на величину напряжений и на прочность пород [32]. При этом выделяются несколько категорий оползней в зависимости от степени влияния на них гидрогеологических условий: от оползней со значительным воздействием на них подземных вод, до оползней, не связанных с подземными водами. В целом отмечается, что влияние подземных вод на оползневые процессы очень значительно, особенно в тех случаях, когда зона оползневых деформаций проходит в водоносных породах. В работах Г.С. Золотарева отмечается, что главное и существенное воздействие подземных вод - это снижение прочности массива пород, особенно по контактам, в трещинах тектонических, выветривания и слоистости, в зонах перемятия и разуплотнения, где часто имеются скопления глинистого материала. Значения гидростатического и гидродинамического давлений могут быть различными в общем балансе сдвигающих сил для разного типа оползней [34].

Большое значение для развития оползневого процесса имеет положение уровня подземных вод по отношению к основному деформируемому горизонту (ОДГ) или поверхности скольжения. Обычно рассматривают три основных возможных случая:

1) подземные воды залегают значительно ниже ОДГ и даже в период аномального подъема не достигают его и, соответственно, не оказывают существенного влияния на развитие оползней;

2) уровень подземных вод находится выше ОДГ или плоскости скольжения, т.е. оползневые породы и породы скольжения находятся в условиях постоянного обводнения, испытывают гидродинамическое и гидростатическое давление, в этом случае развитие оползней определяется в основном гидрогеологическими условиями и их изменением;

3) ОДГ или поверхность скольжения находятся в зоне колебания уровня подземных вод, т.е. породы испытывают регулярное изменение влажности в результате переменного увлажнения - высушивания, что способствует актив-



ному их выветриванию, разуплотнению, разрушению структурных связей. Как правило, активизация оползней в этом случае связана с периодом поднятия уровня подземных вод.

Таким образом, приведена краткая характеристика некоторых основных факторов возникновения и развития оползней. При исследовании конкретных оползневых объектов могут возникнуть различные комбинации основных и второстепенных оползнеобразующих факторов и для исследователя важно уметь всегда выделять главенствующую роль того или иного оползнеобразующего фактора или группы факторов.



## 1.2 Основные типы оползней и их классификации

На сегодняшний день существует большое число классификаций оползней. Эти классификации очень часто основываются на различных принципах и порой не имеют четкого целевого назначения, для некоторых из них характерны противоречия, недостаточная обоснованность и другие недостатки. В геологической науке существуют классификации, которые охватывают все типы оползней, распространенных на земном шаре и их принято называть универсальными. Другие классификации описывают типы оползней только на региональном уровне или только часть из множества оползней и их принято называть региональными.

В свою очередь, эти две большие группы делятся на основные и частные классификации. При этом, к общим относятся те, которые базируются на наиболее важных, обобщенных признаках, отражающих физическую суть оползневых процессов; к частным - классификации по более второстепенным или отдельным признакам, отражающих ту или иную сторону этих процессов. Однако, следует иметь в виду, что в практических задачах частные классификации могут оказаться важнее, чем общие.

В СНГ наиболее широкой известностью пользуются универсальные классификации оползней Н.Н. Маслова, А.П. Павлова, Г.С. Золотарева, Е.П. Емельяновой, К.А. Гулакяна и В. Кюнтцеля и других. В западноевропейских странах и США наиболее популярны классификации оползней К. Терцаги, С. Шарпа, Д. Варнеса и др.

Следует отметить, что общим недостатком большинства классификаций оползней является отсутствие четко определенных операций по распознаванию в натуральных, природных условиях выделяемых категорий оползней. Большинство исследователей и специалистов считают, что разделение



оползней на отдельные типы целесообразно проводить по механизму оползневой зоны, под которым понимается закономерная последовательность взаимодействия отдельных частей или элементов оползневой зоны, обусловленная в свою очередь, воздействием внешних факторов и изменением состояния геологической среды. Современные представления о механизме оползания, которые положены в основу многих классификаций оползней, довольно различны. Этому способствует и недостаточная изученность механизма оползневых процессов. Кроме того, возможно существование таких типов оползней, которые не вписываются в современные классификации и являются совершенно неизученными. Огромное разнообразие свойств, структуры и состояния горных пород определяют и обуславливают разнообразие оползней, особенности механизма оползания. Поэтому приведем наиболее распространенные в научной литературе пять типов оползней и их характерные особенности.

Оползни скольжения. Данный тип является одним из самых распространенных типов оползней и представляет собой отрыв и последующее соскальзывание отчлененного массива пород по определенной поверхности смещения (скольжения) - преимущественно вогнутой или плоской, реже - неправильной формы (в вертикальном сечении, проведенном по направлению движения оползня - в виде ломаной или кривой неправильной линии). По приуроченности поверхности смещения (подошвы оползающего тела) к имеющимся в массиве склона поверхностям или зонам ослабления, оползни скольжения или сдвига делятся на следующие группы: срезающие (инсеквентные и асеквентные), консеквентные (соскальзывающие) и срезающие - консеквентные. Поверхность смещения или линия смещения срезающих оползней скольжения не совпадает с поверхностями ослабления, их образование сопровождается "срезом" слоев и разрушением структурных связей пород по поверхности смещения. У консеквентных оползней поверхность смещения совпадает с поверхностью (или несколькими поверхностями) ослабления либо полностью, либо на преобладающей части площади, а для сре-



зающе - консеквентных оползней характерно частичное совпадение поверхности смещения с поверхностью (или поверхностями) ослабления. Оползни скольжения (сдвига) имеют повсеместное распространение в горноскладчатых областях и встречаются на всех континентах и во всех климатических зонах.

Оползни выдавливания. Они распространены в условиях платформенных структур, где породы имеют залегание, близкое к горизонтальному, и встречаются выдержанные горизонты глинистых пород. Как правило, их размеры колеблются от нескольких десятков метров до нескольких километров, для них характерна фронтальная или циркообразная форма в плане и блоковое строение. Оползни этого типа отличаются тем, что под действием веса перекрывающей толщи пород из-под подошвы выдавливается (выжимается) относительно слабый слой, залегающий ниже подошвы высокого и крутого уступа, ограничивающего с верховой стороны оползневый склон. При этом от примыкающей к склону прибровочной полосы отчленяется новый оползневый блок, который затем смещается вниз, вовлекая в движение имеющиеся на склоне ранее образовавшиеся оползневые накопления. Разнообразие состава и свойств пород ОДГ (основных деформирующихся горизонтов), а также перекрывающей их толщи пород предопределяет различие форм оползней и особенности их механизма. По количеству проявлений оползни выдавливания занимают одно из первых мест среди прочих оползней, но по интенсивности развития уступают большинству других типов оползней.

Оползни гидродинамического разрушения. Оползни этого типа представляют собой наименее изученный тип оползней. Их подразделяют на две группы: оползни суффозионные и оползни гидродинамического выпора. Оползни гидродинамического разрушения возникают под воздействием гидродинамических сил. Суффозионные оползни представляют собой смещения обводненной массы, образовавшейся в результате суффозионного выноса и связанных с ним мелких обрушений. Эти оползни развиваются регрессивно в виде последовательных циклов обрушения суффозионной ниши, образуя-



щейся в водоносном горизонте и толщу пород, перекрывающую этот горизонт; подвижки происходят в виде одновременного отрыва всего оползневого тела с последующим растеканием (расплавлением) сместившейся массы. В последние годы установлено, что распространенность данного типа оползней более значительна, чем было принято считать ранее.

Оползни течения. Оползни описываемого типа встречаются практически на всем земном шаре и по числу проявлений занимают первое место. При этом размеры большинства из них незначительны, однако, встречаются и крупные оползни, которые захватывают значительные территории. Отличительной особенностью механизма оползней течения является полная или частичная потеря первичной структуры пород в зоне смещения вследствие изменения их влажности. Под воздействием гравитационных, а во многих случаях под действием гидродинамических сил, происходит водно-пластическое течение глинистых пород по заранее подготовленной или сформировавшейся в процессе оползания поверхности. В качестве подтипов различают оползни - потоки, сплывы и оплывины.

Оползни разжижения . Они наиболее характерны в слабо уплотненных породах, которые при оползании разжижаются и очень быстро смещаются вниз по рельефу на большие расстояния. После стабилизации этих оползней повторные явления разжижения пород в оползневом теле не происходят. Оползни разжижения отличаются внезапностью проявления, часто они возникают без видимых внешних воздействий.

Естественно, что помимо вышеприведенных типов оползней, в природе могут встречаться и другие их типы по характеру своего механизма. Необходимо также более углубленно изучать механизмы известных типов оползней, многие особенности которых еще нуждаются в выяснении и уточнении. Надо сказать, что по приведенным типам оползней у специалистов нет единого мнения и в научной литературе по-разному истолковывается их механизм оползания [62]. Установление общих типовых закономерностей и анализ различий между отдельными типами и классами оползней позволит усовершен-





ствовать их диагностику и классификацию, а также методы региональных локальных прогнозов. В заключении надо отметить, что важнейшей особенностью оползневых процессов является их повторяемость во времени или цикличность. Периоды циклов развития одного и того же объекта могут иметь разную длительность в зависимости от интенсивности изменения соотношений между силовыми факторами разрушения и сопротивления. В работах [71], [88] и др. развиваются эти положения, и дается анализ влияния различных природных и техногенных факторов на цикличность оползневого процесса и колебания коэффициента устойчивости склонов.

**Оползневые процессы в Кыргызстане.** Оползневые процессы имеют широкое распространение на территории Кыргызстана. Особенно подвержены этим экзогенным геологическим процессам территория юга республики: Баткенская, Ошская и Джалал-Абадская области. Оползни наносят огромный ущерб государству: уничтожаются и разрушаются земельные угодья, населенные пункты, коммуникации, промышленные объекты, имеются большие человеческие жертвы. Республика ежегодно несет большие многомиллионные потери. Особенно большой ущерб нанесли оползни в 1993-94 гг. Большой опыт исследования оползневых процессов накоплен в Кыргызстане. Специалистами-геологами проводится широкая научно-исследовательская и организационно-техническая работа на протяжении нескольких десятилетий. С целью изучения развития оползневых процессов, выявления закономерностей их формирования, своевременного предупреждения населения об оползневой опасности и выработки рациональных мер борьбы с ними в 1957 году была создана оползневая станция на юге Кыргызстана. На территории республики существовала специальная сеть, состоящая из 20 стационарных оползневых участков с 24-мя режимными скважинами [31], [35]. Специалистами-гидрогеологами описаны и изучены сотни и тысячи оползней, составлены схематические карты распространения оползней по территории республики, различные прогнозные карты, регулярно проводились аэровизуальные наблюдения и многое другое. Соискатель признателен им за предоставлен-



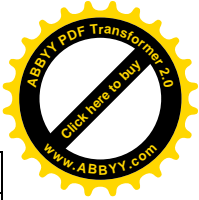


ные материалы, которые составили основу созданной компьютерной базы данных, и надеется на дальнейшее сотрудничество. Кроме того, надо отметить, что различными научно-исследовательскими лабораториями Института геомеханики и освоения недр НАН КР под руководством академика И.Т. Айтматова проводились геологические, гидрогеологические и геофизические исследования, связанные с изучением оползневых процессов на территории Кыргызстана.

Как уже отмечалось, в республике ведутся наблюдения за различными катастрофами, поскольку горные экосистемы Кыргызстана являются неустойчивыми, подверженными катастрофам. Например, за период 1990-2008 годы в Кыргызстане всего произошло более полутора тысяч стихийных бедствий различного происхождения. Из них селевые процессы и паводки за указанный период произошли около 858 раз, за это же время были зарегистрированы более 325 оползневых явлений и другие. В приведенной ниже таблице 1.2 указано количество природных стихийных бедствий в Кыргызстане за период с 1990 года по 2008 год.

**Таблица 1.2 - Экзогенные геологические процессы в Кыргызстане**

Тип ЭГП \ Годы	Оползни	Сели и паводки	Лавины	Всего
1990 г.	2	39	6	47
1991 г.	2	32	0	34
1992 г.	2	32	1	35
1993 г.	3	51	2	56
1994 г.	100	77	6	183
1995 г.	7	25	6	38
1996 г.	7	52	81	140
1997 г.	3	23	3	29
1998 г.	8	52	17	77
1999 г.	15	30	16	61
2000 г.	1	21	10	32
2001 г.	5	9	4	18
2002 г.	19	95	12	126
2003 г.	47	43	25	115
2004 г.	53	46	23	122



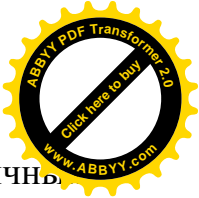
2005 г.	31	45	21	97
2006 г.	13	33	30	76
2007 г.	5	70	14	89
2008 г.	2	83	25	110
<b>Итого:</b>	<b>325</b>	<b>858</b>	<b>302</b>	<b>1485</b>

Мы можем сделать вывод, что за период 1990-2008 годы в Кыргызстане произошло 1485 стихийных бедствий приведенных в таблице. Самым отличительным, в этом периоде был 1994 год, поскольку именно в этом году наблюдается наибольшее количество стихийных бедствий -183, затем 1996 год - 140, самым спокойным, без значительных бедствий считается 2000 год - всего 18.

Распределение оползней на территории республики крайне неравномерно имеет закономерную основу, что связано с особыми геолого-литологическими и климатическими условиями регионов. Основная часть зафиксированных оползней тяготеет к югу республики, а именно - к приферганской среднегорной зоне, хотя оползневые очаги имеют распространение по всей территории республики, степень их активности наиболее высока в Джалал-Абадской и Ошской областях.

По Ошской области оползнеопасным районом является Узгенский, где в бассейнах рек Зергер, Ничке, Кульдук, Джалпакташ, Каратырык находится более 300 очагов оползней, и практически все горные склоны в пределах высотных отметок от 1000 до 2000 м. являются потенциально оползнеопасными. В Алайском районе оползни в основном приурочены к левому склону долины р. Гульча и к правому притоку Джусалы. Оползни в этом районе имеют значительные объемы по сравнению с другими участками и проявляют наибольшую активность. Менее подвержены оползневым процессам Карасуйский и Наукатский районы. Оползни здесь приурочены к бассейнам рек Талдык, Ак-Бура и Аравансай в пределах высотных отметок здесь менее значительна, что связана с меньшим выпадением атмосферных осадков.

В Джалал-Абадской области, Сузакский район наиболее интенсивно подвержен оползневой деятельности. Активность оползневых процессов



очень высокая. Всего насчитывается более 500 очагов оползней различных объемов и генезиса. Наиболее распространены в бассейнах рек Кугарт и Чангет, а также включая город Кок-Джангак. Массовая пораженность склонов оползневыми процессами объясняется наличием здесь мощных массовых суглинков и большим количеством атмосферных осадков выпадающих в весеннее время. Низкая активность оползней за 2000 год связана с количеством и режимом атмосферных осадков и уровненным режимом грунтовых вод.

### Экзогенные геологические процессы в КР

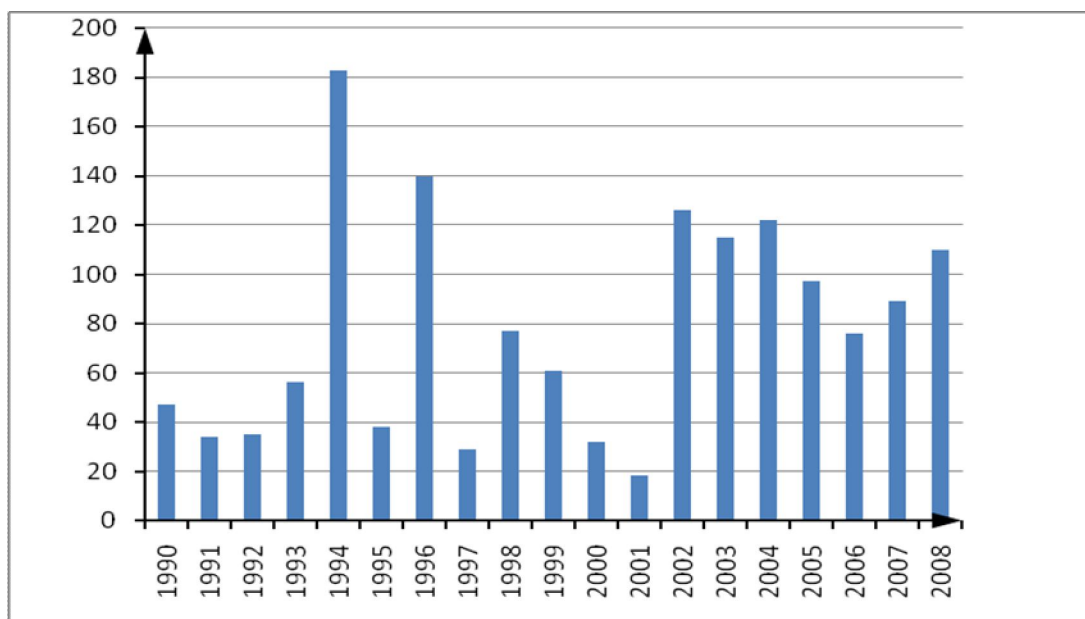


Диаграмма 1.1 Количество стихийных бедствий с 1990 по 2008 годы

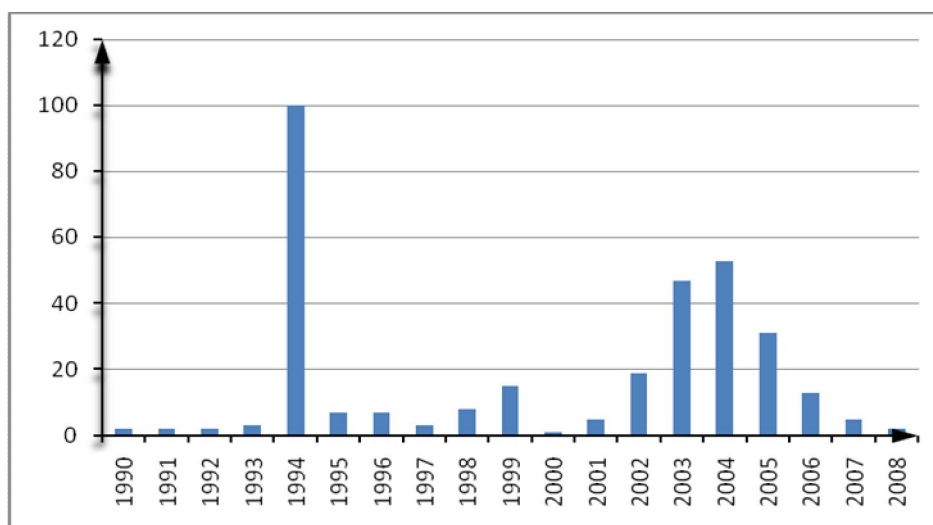
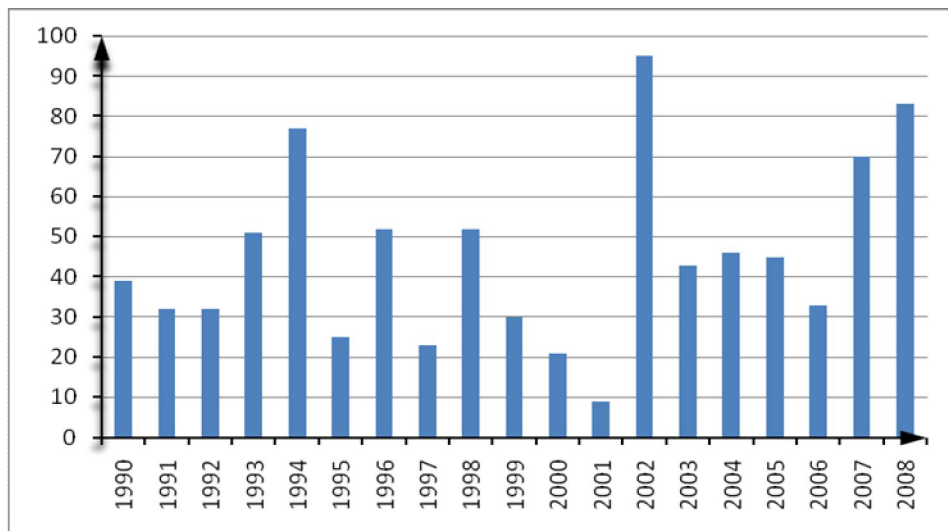
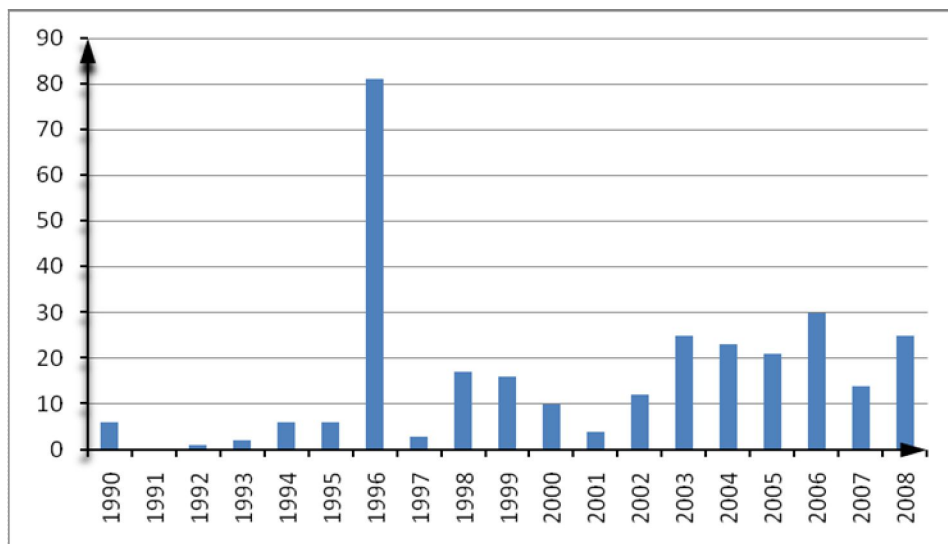


Диаграмма 1.2 Количество оползней с 1990 по 2008 годы



**Диаграмма 1.3 Количество селей и наводков с 1990 по 2008 годы**



**Диаграмма 1.4 Количество лавин с 1990 по 2008 годы**

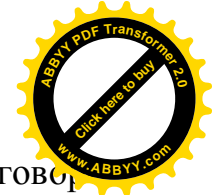
В начале главы были приведены все имеющиеся на сегодня основные факторы формирования и развития оползней, а также классификация оползней по механизму их оползания. Приведенные данные почерпнуты из известных и общепризнанных научных источников и на данном этапе развития горно-геологических наук не вызывают особых сомнений в их достоверности. Известно также, что “...методы геологии совершенно отличны от методов механики: эксперимент в ней совершенно отсутствует и наблюдению в ней принадлежит главнейшая руководящая исследовательская роль. Фактический материал, собранный геологами, в отдельных случаях может быть основанием для проверки выводов механики. Но когда делаются попытки от



геологических предпосылок подойти, например, к решению вопроса об устойчивости откосов, склонов, давлений на туннели, об осадках сооружений, допустимой нагрузке на грунт и т.д., то следовало бы иметь в виду, что в подобных случаях мы вступаем в область физики, механики и ее методов, и что геологические наблюдения в таких вопросах должны быть лишь приняты к сведению как исходный материал для соответствующей организации эксперимента, а не как основание для тех или иных концепций” [15]. Полностью поддерживая данное авторитетное мнение, проанализируем имеющиеся в геологической науке основные факторы формирования и развития оползней, которые были приведены в начале параграфа, с точки зрения механики и, в частности, гидродинамики. Сразу отметим, что не будем касаться механизмов оползания горных склонов - эти вопросы выходят за рамки данной диссертационной работы. В тоже время следует отметить, что изучение механизмов оползания таких типов оползней, как оползни гидродинамического разрушения и оползни внезапного разжижения, проводились в научной лаборатории «Гидроаэродинамики» Института геомеханики и освоения недр НАН КР, сотрудником которой работал соискатель. Нас интересуют гидродинамические явления и процессы в оползнеопасных горных склонах, которые могут привести к оползанию и вопросы устойчивости этих склонов под воздействием исследуемой динамики жидкости.

Анализ основных факторов возникновения и развития оползней на территории Кыргызстана позволяет сделать следующие выводы.

Во-первых, для оползневых процессов, распространенных на значительной территории Кыргызстана, огромное значение имеют гидрогеологические и метеорологические факторы. При этом считается, что геологические условия и рельеф являются необходимым условием для оползневых процессов. Это подтверждается специалистами-геологами, которые на протяжении многих десятков лет вели наблюдения за оползневыми процессами в Кыргызстане и накопили огромный бесценный опыт [31], [35]. Кроме того, многие задачи, вошедшие в данную диссертацию, были обсуждены со специалистами



гидрогеологической экспедиции в ходе выполнения соискателем хозяйственных работ в 2008-2009 годах. Таким образом, рассматриваемые в диссертации задачи, относящиеся к оползневым процессам, имеют помимо теоретического научного интереса и непосредственное практическое значение.

Во-вторых, наряду с гидрогеологическими и метеорологическими условиями, при изучении природы таких важных факторов, как климатические, гидрологические, поверхностный сток, снеготаяние, сезонное оттаивание, мы неизбежно сталкиваемся с динамикой жидкости в оползнеопасных склонах и ее воздействием на устойчивость горных пород и грунтов. Следовательно, воздействие вышеуказанных важнейших оползнеобразующих факторов сводится, в конечном счете, к взаимодействию системы “грунт - вода”. Это чрезвычайно сложная система, для исследования которой используются теория и методы гидродинамики. Итак, под действием климатических, гидрогеологических, метеорологических, гидрологических условий, стока поверхностных вод, снеготаяния, сезонного оттаивания происходит проникновение влаги или движение жидкости в водопроницаемых оползнеопасных горных склонах. Именно такие гидродинамические процессы и явления, именно в таких склонах подлежат дальнейшей классификации и исследованию в данной диссертационной работе.

В-третьих, наиболее важным и главным является вопрос устойчивости исследуемых оползнеопасных горных склонов. Естественно, что динамика жидкости влияет на устойчивость грунтовых массивов, приводит их к нарушению равновесного состояния и потере устойчивости, что влечет за собой их последующее оползание, при возможных других сопутствующих или дополнительных условиях или воздействиях. Как было указано в начале данного параграфа, в геологической науке рассматриваются три возможных случая для основного деформируемого горизонта (ОДГ) или линии скольжения оползней. При этом следует, что в двух случаях из трех возможных для линии скольжения оползней, мы наблюдаем непосредственное воздействие гидродинамических течений на устойчивость оползневых склонов. Таким



образом, ставится задача об устойчивости оползнеопасных горных склонов в  
воздействии на нее возникающих гидродинамических процессов.

Наконец, на основе анализа имеющихся материалов и результатов исследований и наблюдений геологического характера и сводного списка всех встречающихся основных факторов из таблицы 1.1, можно все основные факторы формирования, развития и активизации для оползней на территории Кыргызстана представить в виде таблицы 1.3. Необходимо также отметить, что практически все важнейшие, существенные и значимые факторы для оползней Кыргызстана учитываются в приведенной нами таблице и исследуются в данной диссертационной работе. Исключение составляют такие важные факторы, как деформация и прочность горных пород - их исследование выходит за рамки диссертационной работы, т.к. эти вопросы относятся к теории упругости и механике твердых тел и поэтому они не включены в таблицу 1.3. Для исследования сейсмических и техногенных факторов применяются методы корреляционного и факторного анализа. Дадим некоторые пояснения к основной таблице факторов 1.3.

Такие неизменные факторы, как геологические условия и рельеф, считаются необходимым условием возникновения и развития оползней, и мы их воспринимаем как природную данность.

Следующие факторы, такие, как климатические, гидрогеологические, метеорологические, поверхностный сток, влажность, оттаивание, снеготаяние - взаимосвязаны с различными гидродинамическими процессами, они порождают и обуславливают всевозможные типы фильтрационных и инфильтрационных течений жидкости в различных средах. Кроме того, большинство типов оползней (оползни гидродинамического разрушения, оползни-течения, оползни внезапного разжижения и разрушения и др.) происходят под действием гидродинамических процессов жидкости.

Следовательно, моделируя различные фильтрационные и инфильтрационные течения в различных средах, естественно, при некоторых упрощающих физико-механических допущениях, и применяя современный математи-





ческий аппарат, вычислительную технику и новые компьютерные технологии, мы можем дать количественную и качественную оценку происходящих склоновых процессов и получить новые научные данные о развитии и активизации оползней.

**Таблица 1.3 - Основные факторы формирования, развития и активизации оползней на территории Кыргызстана**

<b>Факторы</b>	<b>Тип</b>	<b>Описание факторов</b>
<b>1. Геологические условия</b>	постоянный	Состав, свойства, структура горных пород, условия их залегания. Определяют генетические особенности проявления оползней и их интенсивность.
<b>2. Рельеф</b>	постоянный	Определяет как интенсивность проявления оползневых процессов, так и их генетические особенности. Необходимым и обязательным условием для развития оползневых процессов является перепад высот рельефа, энергия рельефа.
<b>3. Климатические условия</b>	медленно изменяющийся	Режим тепла и влаги, при котором происходит развитие и активизация оползневых процессов, изменяющихся как в пространстве (в зависимости от типа климата и региональных особенностей территории), так и во времени.
<b>4. Гидрогеологические условия</b>	медленно изменяющийся	Особенности режима подземных вод - изменение уровней, расходов, динамика подземных вод и т.д.
<b>5. Метеорологические условия</b>	быстро изменяющийся	Количество, интенсивность, особенности различных атмосферных осадков.
<b>6. Поверхностный сток</b>	быстро изменяющийся	Особенности имеющегося в оползневых горных склонах поверхностного стока.
<b>7. Влажность, льдистость, оттаивание</b>	быстро изменяющийся	Особенности влажности, льдистости и оттаивания горных пород.
<b>8. Сейсмические условия</b>	быстро изменяющийся	Описывают состояние и особенности сейсмичности исследуемой территории распространения оползней.
<b>9. Техногенные факторы</b>	быстро изменяющийся	Факторы, обусловленные человеческой деятельностью на территории распространения оползней.





### 1.3 Фильтрационные и инфильтрационные факторы

Как известно, территории горных районов Кыргызстана постоянно подвержены таким опасным экзогенно-геологическим процессам, как оползни, сели, обвалы, снежные лавины и другие, которые наносят значительный ущерб народному хозяйству и населению страны. В результате проблема разработки эффективных методов снижения опасностей этих явлений природы, особенно оползневых процессов, является одной из главных задач научных и инженерно-геологических исследований. Решения этих задач возможны лишь после того, как будут осмыслены и достаточно точно описаны количественные и качественные механизмы их возникновения и развития.

На основе фундаментальных принципов механики сплошных сред могут быть рассчитаны процессы оползневых процессов и закономерности их формирования и развития. Таким образом, частые возникновения оползневых процессов на территории горных районов республики наталкивают на мысль о необходимости изучения и определения их основных физико-механических параметров. При этом в качестве основного инструмента исследования оползневого процесса выступают методы моделирования.

Как известно, под методами моделирования понимаются процессы построения, изучения и применения различных моделей. Процесс моделирования взаимосвязан с такими категориями, как абстракция, аналогия, гипотеза и другие, и обязательно включает в себя и построение абстракций, и умозаключений по аналогии, и конструирование научных гипотез и т.д.

Из теории моделирования известно, что познавательные возможности любой модели обуславливаются тем фактом, что модель отражает какие-либо существенные черты исследуемого объекта или процесса. На сегодняшний день наибольшее распространение получили следующие основные три формы методов моделирования:

1. Математическое моделирование. Оно в настоящее время применяется практически во всех отраслях современной науки;



2. Натурное моделирование, которое предусматривает проведение различных экспериментов в природных условиях.

3. Лабораторно-экспериментальное моделирование. Оно позволяет производить изучение механизма развития и зарождения оползневых процессов.

Из этих трех форм методов моделирования самым удобным является метод математического моделирования, так как он представляет собой универсальный подход научного познания. Необходимость использования метода математического моделирования определяется также тем фактом, что многие процессы, явления, объекты непосредственно исследовать невозможно, или же эти исследования и организация опытных наблюдений требуют больших временных и материальных затрат.

Согласно теории математического моделирования, основная задача состоит в выводе дифференциальных уравнений, адекватно описывающих исследуемый процесс при различных вспомогательных данных в виде начально-краевых условий, обеспечивающих единственность решения формулируемой задачи. Замена реального процесса его математической моделью, при тех или иных предположениях и допущениях, позволяет применить для исследования современный математический аппарат и современную вычислительную технику. При этом следует иметь в виду, что одной из важных особенностей методов математических моделей является потенциальная возможность их использования для решения самых разнообразных и разнокачественных задач и, как следствие, применение для решения новых формулируемых задач уже известных апробированных моделей.

Изучение оползневых процессов математическими методами в последние годы находит все более широкое применение при решении прогнозных задач и разработке защитных мероприятий. Математический аппарат предоставляет возможность решать проблему долговременного регионального прогноза, а также локальные прогнозные задачи, в которых оползневые процессы рассматриваются как многофакторные динамические системы.



Таким образом, можно сказать, что направление наших исследований содержит своей целью создание гидродинамической концепции в вопросах формирования и прогнозирования оползней и восполнить тем самым имеющийся пробел в понимании изучаемых природных явлений.

Основной этап наших научных исследований предполагает изучение процессов движения жидкости в оползнеопасных горных склонах, учитывая при этом сложное геологическое строение рассматриваемой среды. Иными словами, ставятся вопросы по определению закономерностей возникновения оползней под действием грунтовых и подземных вод, атмосферных осадков, снеготаяния и поверхностных вод, а также выявить и прогнозировать возможную активизацию и разгрузку имеющихся на территории республики оползневых объектов.

Обратимся теперь непосредственно к гидромеханическим или гидродинамическим аспектам проблемы и их значению и роли в процессах формирования и активизации оползней. Фильтрационные и инфильтрационные течения жидкости в насыщенных и ненасыщенных горных породах, при возможных других дополнительных и сопутствующих условиях, приводят к насыщению и перенасыщению их влагой. Возникают различные изменения, полная либо частичная потеря связности первоначальной структуры грунтов и их физико-механических прочностных свойств, что может послужить основанием для формирования и развития оползневых процессов в горных склонах. Исследование гидродинамических процессов и явлений в оползневых склонах, определение их характеристик и особенностей позволят получить новые научные данные об оползнях и выработать в конечном итоге действенные меры борьбы с ними.

Строго говоря, все факторы, обуславливающие возникновение и развитие оползневых явлений можно разделить на два класса: независимые или основные и производные. К основным или независимым классам относятся геологическое строение горных склонов, рельеф местности, сейсмическая активность территории, и хозяйственная деятельность.



Производные классы факторов включают в себя геокриологические гидрогеологические условия, растительный и почвенный покров, поверхностный сток, а также сезонное промерзание и оттаивание горных пород и другие.

Таким образом, анализируя вышеперечисленные основные факторы образования и активизации оползней, приходим к выводу, что совокупности независимых или основных групп факторов составляют основу глобального возникновения и развития оползней. С математической точки зрения, прибегая к математическим аналогиям, геологическое строение горных склонов, а также рельеф местности будем называть необходимым условием формирования почти всех оползневых процессов.

Остальные независимые группы факторов будут представлять собой достаточные условия, и они играют решающую роль в процессах развития и активизации оползневых явлений. К достаточным условиям относятся и производные классы факторов.

Мы знаем, что исследование оползневых процессов сводится к изучению условий возникновения и развития оползней. В свою очередь при изучении условий развития оползней всегда формулируются и решаются следующие основные задачи:

1. Определение внешних границ оползня и границ между отдельными его блоками (в тех случаях, когда они не выделяются по геоморфологическим признакам).
2. Определение глубины залегания поверхности смещения или ОДГ.
3. Расчленение оползня (в плане и разрезе) на отдельные комплексы пород, различающиеся по литологическому составу, прочности структурных связей, напряженному состоянию и т. д.
4. Определение положения уровня грунтовых вод.
5. Определение направления и интенсивности движения фильтрационного потока.



6. Оценка состояния и физико-механических свойств пород оползневого склона (плотность, трещиноватость, влажность, фильтрационные свойства, прочностные свойства и характеристики напряженного состояния).

Для решения этих основных задач в практике геологических и гидрогеологических изысканий применяются различные геофизические методы: сейсморазведка, электроразведка и электропрофилирование, высокоточная гравиразведка, магниторазведка, методы акустического каротажа, наземная термометрия и многие другие. Для каждой из вышеуказанных задач применяются различные методы исследования:

- Определение внешних границ оползня и границ между отдельными его блоками- производится с применением большинства вышеперечисленных геофизических методов.
- Определение глубины залегания поверхности смещения- возможности использования и методика геофизических исследований во многом определяется положением поверхности смещения. Наиболее благоприятным случаем является смещение оползневого массива по границе разнородных сред или когда смещение происходит по скальному основанию консеквентные оползни. Сложнее решается задача об определении поверхности смещения в случаях, когда она имеет криволинейную форму и приурочена к однородным неслоистым породам (асеквентные оползни), а наибольшие сложности возникают, когда эта поверхность сечет породы разного литологического состава (инсеквентные оползни). Следует отметить, что применение геофизических методов сопровождаются технологической сложностью производства работ, высокими экономическими и временными затратами и т. д.
- Определение положения уровня грунтовых вод - для решения данной задачи используется комплекс геофизических методов: сейсморазведка и другие методы.
- Определение направления и интенсивности движения фильтрационного потока - очень часто оползень представляет собой крупную дренаж, где формируется фильтрационный поток и для наблюдения за его формированием и



продвижением применяются такие методы, как электроразведка методом тестового поля, электропрофилирование методом сопротивления, наземная термометрия, метод зараженного тела и другие.

Итак, основной целью является исследование движения воды в оползневых горных склонах и воздействия фильтрации и инфильтрации на устойчивость склонов против возможного оползания. Разрабатывается гидродинамический подход к исследованию основных оползнеобразующих факторов и в этой связи вполне правомерным выглядит разделение и моделирование основных факторов с точки зрения гидродинамики.

В полном соответствии с данными рассуждениями, рассмотрим различные типы течений жидкости, которые возникают под действием основных оползнеобразующих факторов. В теории фильтрации жидкости различают, как известно, напорную (кривая депрессии отсутствует) и безнапорную (кривая депрессии неизвестна) фильтрацию в насыщенных средах, инфильтрацию или влагоперенос в ненасыщенной среде. Указанные типы течений могут быть как стационарными (установившимися), так и нестационарными (неустановившимися), а среда может быть однородно-изотропной, однородно-анизотропной, неоднородно-изотропной, неоднородно-анизотропной.

Таким образом, когда речь идет о гидрогеологических факторах, то мы сталкиваемся, как правило, с напорными или безнапорными течениями грунтовых вод. В этом случае оползневой поток считается насыщенной средой или представляет собой грунтовую массу. В механике грунтов под грунтовой массой понимают такой грунт, все поры которого заполнены водой, называемой свободной или гравитационной водой. Она гидравлически связанная и подчиняется всем механическим законам, свойственным жидкостям, а именно: в ней под действием давления и силы тяжести возникают напоры, происходит движение воды их области больших напоров в сторону меньших, осуществляется взвешивающееся действие на твердые тела, соприкасающиеся с нею, и прочие явления, присущие воде, находящиеся в сообщающихся сосудах.



Когда исследуются метеорологические факторы, то мы имеем дело процессами проникновения жидкости в оползневые склоны за счет атмосферных осадков, снеготаяния, и среда, где происходит влагоперенос, является ненасыщенной. Итак, будем рассматривать следующие большие классы гидродинамических течений:

1. Фильтрационные течения грунтовых вод (напорная, безнапорная или напорно-безнапорная фильтрация) в насыщенных средах или в грунтовой массе.

2. Инфильтрационные течения или процессы влагопереноса в ненасыщенных средах.

3. Фильтрационные и инфильтрационные течения, когда оползневые склоны состоят из ненасыщенных грунтов.

Следовательно, с точки зрения теории подземной гидродинамики можно охарактеризовать основные факторы формирования, развития и активизации оползней по типу течений жидкости, возникающих под их действием в оползневых склонах. Появляется возможность исследовать основные оползнеобразующие факторы, моделируя возникающие под их воздействием различные типы течений жидкости в оползневых склонах с помощью уравнений фильтрации и инфильтрации при соответствующих начальных и граничных условиях. Воздействие основных факторов формирования, развития и активизации оползней сводится, таким образом, к исследованию фильтрационных и инфильтрационных течений грунтовых вод в оползневых склонах, определению основных физико-математических характеристик изучаемых течений и их влияния на устойчивость оползнеопасных горных склонов.

В силу гидрогеологических условий в оползневых склонах мы исследуем фильтрационные течения грунтовых вод (напорная или безнапорная фильтрация). Метеорологические условия (атмосферные осадки) обуславливают процессы инфильтрации жидкости в оползневые склоны. Процессы инфильтрации в оползневых склонах порождает и снеготаяние в весенний период. Проникновение жидкости в оползневые склоны за счет поверхностных





вод или поверхностного стока порождает как фильтрационные течения с известной кривой депрессии или уровнем грунтовых вод, так и инфильтрационные процессы в ненасыщенной среде.

Итак, можно составить определенную классификацию гидродинамических процессов под воздействием основных оползнеобразующих факторов, которая позволяет специалистам-гидродинамикам сразу выявить и определить тип и характер исследуемого течения грунтовых вод. В соответствии с этим можно выбрать необходимые уравнения фильтрации или инфильтрации жидкости, а также сформулировать вспомогательные данные в виде начальных и граничных условий в рассматриваемых оползневых склонах. Предлагаемый гидродинамический подход к исследованию оползневых процессов позволяет применить методы математического моделирования и формулировать различные краевые и начально-краевые задачи подземной гидродинамики в оползневых склонах.

Введем понятие “фильтрационные факторы”, которые описывают движение подземных и грунтовых вод в оползневых склонах или течение жидкости в системе “грунт-вода”. Эти фильтрационные течения обусловлены гидрогеологическими, гидрологическими условиями и влажностью горных пород. Следовательно, под фильтрационными факторами мы будем понимать совокупность следующих основных факторов:

*Фильтрационные факторы* - включают в себя гидрогеологические условия, гидрологические условия, влажность горных пород и обусловленные ими различные типы фильтрационных течений грунтовых вод.

Значение и роль гидрогеологических, гидрологических условий и влажности пород в процессе формирования и развития оползней огромны и их трудно переоценить, поэтому данные факторы всегда входят во все имеющиеся и распространенные в научной литературе классификации оползнеобразующих факторов. Таким образом, фильтрационные факторы с точки зрения гидродинамики описывают напорные, безнапорные и напорно-безнапорные тече-





ния грунтовых вод в оползнеопасных склонах или в системе “грунт-вода”. Для исследования фильтрационных оползнеобразующих факторов применяется теория фильтрации, которая описывает рассматриваемые течения в виде дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП) различных порядков при соответствующих начальных и граничных условиях.

Введем понятие “инфильтрационные факторы”. Они описывают процессы проникновения влаги в оползневые склоны за счет атмосферных осадков, поверхностного стока, снеготаяния и т.д., которые вызваны и обусловлены климатическими, метеорологическими условиями и т.д. Иными словами, сталкиваемся с различными инфильтрационными процессами или влагопереносом в системе “грунт-вода”. Под инфильтрационными факторами будем понимать совокупность следующих основных оползнеобразующих факторов:

*Инфильтрационные факторы* - климатические условия, метеорологические условия, поверхностный сток, сезонное промерзание и оттаивание горных пород и обусловленные и порождаемые ими инфильтрационные процессы в оползневых склонах и процессы влаго- и массопереноса жидкости.

Как известно, данные факторы играют существенную роль в оползневых процессах, особенно на территории Кыргызстана, и их также включают во все имеющиеся научные классификации основных оползнеобразующих факторов. Они объединены в группу “инфильтрационные факторы” потому, что за счет этих факторов происходит процесс проникновения и впитывания влаги в оползнеопасные массивы, т.е. с точки зрения гидродинамики возникают и происходят инфильтрационные течения в системе “грунт-вода”. Для исследования инфильтрационных факторов формирования и развития оползней применяется теория инфильтрации или влагопереноса жидкости, которая описывает инфильтрационные течения в виде дифференциальных уравнений в частных производных при различных начальных и граничных условиях.

Таким образом, теория гидродинамики описывает практически все основные оползнеобразующие факторы, определяющие движение жидкости в системе “грунт-вода” и позволяет исследовать их аналитическими, прибли-



женно-аналитическими и вычислительными методами подземной гидродинамики. Следовательно, разбивая общеизвестные оползнеобразующие факторы на фильтрационные и инфильтрационные факторы, мы имеем возможность исследовать их методами гидродинамики, моделируя их в виде различных краевых задач, и вычислять все основные физико-механические характеристики исследуемых природных явлений и процессов, получить точную качественную и количественную картину происходящих процессов в оползневых горных склонах. Данная гидродинамическая классификация удобна тем, что позволяет сразу определить характер происходящих гидродинамических процессов в системе “грунт-вода”, с которой мы сталкиваемся в оползневых горных склонах.

Анализ типов оползней, описанных в данной главе, показывает, что введенные понятия “фильтрационные” и “инфильтрационные” факторы играют существенную роль независимо от типов оползней. Просто возможны случаи, когда фильтрационные и инфильтрационные факторы выступают на первое место, им принадлежит главенствующая роль, они являются доминирующими условиями в развитии и активизации оползней. И, наоборот, возможны случаи, когда эти факторы отступают на второй план, а основными факторами выступают другие возможные условия, например, сейсмические, которые не входят в предлагаемую гидродинамическую классификацию. Но в любом случае, можно с полной уверенностью и полным основанием утверждать, что нельзя обойтись без учета фильтрационных и инфильтрационных факторов при исследовании оползневых процессов.

Предлагаемая гидродинамическая классификация составлена по принципу фильтрационных и инфильтрационных процессов в оползневых склонах на основе анализа имеющихся классификаций и удобна для исследования взаимодействия системы “грунт-вода”, с которой мы неизбежно сталкиваемся в процессе изучения оползней. В зависимости от того, какие факторы необходимо учесть в первую очередь (фильтрационные или инфильтрационные), можно применять те или иные математические модели для описания и



исследования течений жидкости в оползневых склонах. Если речь идет о гидрогеологических или гидрологических условиях или влажности оползневых склонов, следовательно, мы имеем дело с фильтрацией подземных и грунтовых вод и для их исследования требуются фильтрационные модели. Если же речь идет о метеорологических условиях или снеготаянии, то они описываются математическими моделями инфильтрации или влагопереноса в различных средах.

Предлагаемая классификация сразу определяет тип гидродинамических явлений, что находит свое отражение в самих названиях групп факторов. В зависимости от этого делается выбор и строится механико-математическая модель, которая описывает либо фильтрацию, либо инфильтрацию. В свою очередь, в зависимости уже от выбранной модели рассматривается вопрос о методах ее решения: аналитические или численные методы. Выбор метода решения обусловлен сложностью дифференциальных уравнений в частных производных и начально-краевых условий для рассматриваемых оползневых объектов.

Следует признать, что данная классификация не является полной и совершенной, не учитывает в должной мере огромное природное многообразие динамики жидкости в различных средах и горных породах. Однако, она может быть принята в качестве рабочей гипотезы, пусть даже в грубой и приближенной форме, особенно, когда речь идет об оползнях, вызванных гидродинамическими факторами.

Можно сделать следующее заключение: основными факторами, определяющими развитие и активизацию оползневых явлений, являются процессы насыщения основной массы горных пород влагой, как за счет подземных и грунтовых вод, так и за счет выпадения осадков, снеготаяния, поверхностного стока на склонах и т.д. Таким образом, значительное влияние на процессы формирования и активизации оползней Кыргызстана оказывают фильтрационные и инфильтрационные течения жидкости в горных оползневых склонах.



## 1.4 Основные уравнения динамики жидкости в оползневых склонах

Рассмотрим модель механики сплошной среды в виде жидкости и твердой частицы, обладающими свойствами непрерывности в смысле распределения массы и легкой подвижности. На основе этих свойств установим основные уравнения динамики жидкости, а также физические области их применения при различных допущениях и упрощениях. При выводе основных уравнений используются известные и ставшие классическими работы по механике сплошных сред, механике жидкости и газа.

Приведем уравнения движения динамики сжимаемой вязкой жидкости.

а) Уравнение состояния, связывающие давление  $P$ , плотность  $\rho$ , температуру  $T$  рассматриваемой жидкости, в общем виде запишется:

$$P = F(\rho, T) \quad (1.4.1)$$

где  $T$  - абсолютная температура в данной точке.

б) Уравнение неразрывности в трехмерных декартовых координатах имеет вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1.4.2)$$

или в векторной форме данное уравнение запишется в следующем виде:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{w}) = 0 \quad (1.4.3)$$

Здесь  $\vec{w} = \vec{i}U + \vec{j}v + \vec{k}w$  - вектор скорости.

Если рассматриваемый процесс происходит на плоскости или на осесимметрическом пространстве, тогда уравнение неразрывности, или иногда его называем уравнением сохранения массы имеет вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \delta \frac{(\rho v)}{y} = 0 \quad (1.4.4)$$



где  $\delta = 0$  - для двумерного случая и для осесимметричного случая:  $\delta = 1$ .

в) Уравнения движения вязкой сжимаемой жидкости. Для составления этих уравнений будем исходить из основного закона механики, согласно которому масса, умноженная на ускорение, равна сумме всех сил, действующих на рассматриваемую массу. Тогда мы получим уравнение движения вязкой сжимаемой жидкости в векторной форме:

$$\rho \frac{D\vec{W}}{Dt} = \vec{F} + \vec{P} \quad (1.4.5)$$

где символ  $\frac{DW}{Dt}$  есть субстанциональное ускорение, равное сумме локальной составляющей  $\frac{\partial W}{\partial t}$ , учитывающей нестационарный характер течения, и конвективной составляющей  $\frac{dW}{dt}$ , учитывающей перемещение частицы. Таким образом, субстанциональное ускорение есть:

$$\frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{dw}{dt}$$

Уравнения движения вязкой сжимаемой жидкости (1.4.5) в декартовых координатах имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \frac{Du}{Dt} = F_x + \frac{\partial \tau_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \\ \rho \frac{Dv}{Dt} = F_y + \frac{\partial \tau_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \\ \rho \frac{Dw}{Dt} = F_z + \frac{\partial \tau_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} \end{array} \right. \quad (1.4.6)$$

Здесь  $F_x, F_y, F_z$  – компоненты по осям  $x, y, z$  массовых сил, отнесенные к единице объема. Остальные члены в правой части уравнений (1.4.6) являются компонентами сил, обусловленных напряжениями вязкой жидкости. Если в уравнение введем соотношения для напряжений и скоростей деформации, то получим уравнения Навье-Стокса, известные как уравнения движения вязкой сжимаемой жидкости:



$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{Du}{Dt} &= F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( 2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \operatorname{div} W \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right], \\ \rho \frac{Dv}{Dt} &= F_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( 2 \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \operatorname{div} W \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right], \\ \rho \frac{Dw}{Dt} &= F_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( 2 \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \operatorname{div} W \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (1.4.7)$$

Если жидкость несжимаемая, тогда:

$$\operatorname{div} \vec{W} = 0,$$

соответственно уравнение (1.4.7) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \\ \rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= F_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right), \\ \rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= F_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right), \end{aligned} \right\} \quad (1.4.8)$$

или в векторной форме получим:

$$\rho \frac{D\vec{W}}{Dt} = \vec{F} - \operatorname{grad} P + \mu \cdot \Delta \vec{W} \quad (1.4.9)$$

Это известные уравнения Навье-Стокса для несжимаемой вязкой жидкости.

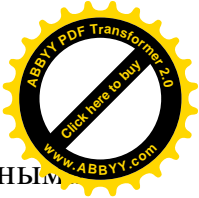
Когда движение вязкой жидкости происходит на плоскости, тогда уравнения

Навье-Стокса примут следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{DW}{Dt} &= F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right), \\ \rho \frac{DW}{Dt} &= F_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1.4.10)$$

Если жидкость несжимаемая, тогда уравнения движения несжимаемой вязкой жидкости для плоского случая примут вид:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{DW}{Dt} &= F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right), \\ \rho \frac{DW}{Dt} &= F_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right), \end{aligned} \right\} \quad (1.4.11)$$



Таким образом, в уравнениях Навье - Стокса (1.4.7) неизвестными величинами являются компоненты скорости  $U, V, W$ , давление  $P$  и в общем случае для сжимаемой жидкости также добавляется плотность  $\rho$ , а уравнений всего три. Тогда, чтобы получить полную систему уравнений (т.е. такая система, в которой число уравнений равно числу неизвестных) необходимо к уравнениям Навье-Стокса присоединить уравнение неразрывности движения (1.4.3) и уравнение состояния (1.4.1).

Основные дифференциальные уравнения движения сжимаемой вязкой жидкости (1.4.7) и их частный случай – уравнение (1.4.10) впервые были выведены французскими учеными Навье (1822 г.) и Пуассоном (1829 г.). В дальнейшем, английский ученый Стокс в 1845 году дал иной вывод, близкий к вышеизложенному, и построенный на гипотезе Ньютона о пропорциональности вязких напряжений скоростям деформации. Если в уравнениях Навье - Стокса коэффициенты вязкости будут равными нулю, то из них получаются, как частный случай, уравнения Эйлера для идеальной жидкости.

Рассмотрим, например, уравнения Эйлера в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{dU_x}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + f_1, \\ \frac{dU_y}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + f_2, \\ \frac{dU_z}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + f_3 - g \end{cases} \quad (1.4.12)$$

где  $U_x, U_y, U_z$  - составляющие вектора средней скорости частиц  $\vec{U}$ , а  $f_1, f_2, f_3$  - составляющие сил сопротивления  $F$ , испытываемого частицами жидкости в грунте,  $P$  - давление.

Выражение для средних ускорений частиц жидкости через их скорости записываются в следующем виде:





$$\begin{cases} \frac{dU_x}{dt} = \frac{\partial U_x}{\partial t} + U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_z}{\partial z}, \\ \frac{dU_y}{dt} = \frac{\partial U_y}{\partial t} + U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_z}{\partial z}, \\ \frac{dU_z}{dt} = \frac{\partial U_z}{\partial t} + U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_z}{\partial z} \end{cases} \quad (1.4.13)$$

Допуская, что скорости фильтрации невелики, величинами  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$  и их производными по координатам  $\partial U_x / \partial x$ ,  $\partial U_y / \partial y$ ,  $\partial U_z / \partial z$  можно пренебречь, а также в силу предполагаемой их малости, можно отбросить и их произведения [57], [42], [12], [85]. Тогда в соотношении (1.4.13) останутся лишь члены, содержащие производные по времени:

$$\frac{dU_x}{dt} \approx \frac{\partial U_x}{\partial t}, \quad \frac{dU_y}{dt} \approx \frac{\partial U_y}{\partial t}, \quad \frac{dU_z}{dt} \approx \frac{\partial U_z}{\partial t} \quad (1.4.14)$$

Согласно [42], закон Дарси понимается как линейный закон сопротивления и поэтому справедлива следующая зависимость:

$$f_1 = -\frac{ng}{k}U_x, \quad f_2 = -\frac{ng}{k}U_y, \quad f_3 = -\frac{ng}{k}U_z \quad (1.4.15)$$

где  $n$  - пористость грунта,  $k$  - коэффициент фильтрации. Подставляя теперь (1.4.15) в исходную систему (1.4.12) и с учетом соотношений (1.4.14), получим следующую систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial U_x}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{ng}{k}U_x, \\ \frac{\partial U_y}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{ng}{k}U_y, \\ \frac{\partial U_z}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} - \frac{ng}{k}U_z - g \end{cases} \quad (1.4.16)$$

Как показано в работе [42], при реальных значениях коэффициента фильтрации, значениями членов:  $\partial U_x / \partial t$ ,  $\partial U_y / \partial t$ ,  $\partial U_z / \partial t$  можно также пренебречь. Мы знаем, что скорость фильтрации выражается через среднюю скорость следующим образом:

$$V = n \cdot U, \quad V_x = n \cdot U_x, \quad V_y = n \cdot U_y, \quad V_z = n \cdot U_z \quad (1.4.17)$$

следовательно, из исходной системы уравнений (1.4.12) вытекает основной закон фильтрации - линейный закон Дарси, который можно записать в виде:



$$V_x = -k_1 \frac{\partial H(x, y, z)}{\partial x}, V_y = -k_2 \frac{\partial H(x, y, z)}{\partial y}, V_z = -k_3 \frac{\partial H(x, y, z)}{\partial z} \quad (1.4.18)$$

или в векторной форме:

$$\vec{V} = -k \cdot \text{grad}H(x, y, z), \quad H(x, y, z) = \frac{P}{\rho g} + z \quad (1.4.19)$$

Подставляя теперь соотношения (1.4.18) в уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1.4.20)$$

получим уравнение, которое описывает фильтрационные течения в неоднородно-анизотропной среде:

$$\frac{\partial}{\partial x} [k_1(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [k_2(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [k_3(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial z}] = 0 \quad (1.4.21)$$

Здесь  $H(x, y, z)$  - искомая функция напора,  $k_1(x, y, z)$ ,  $k_2(x, y, z)$  и  $k_3(x, y, z)$  - заданные коэффициенты фильтрации.

Когда среда считается неоднородно-изотропной ( $k_1 = k_2 = k_3 = k(x, y, z)$ ), то уравнение фильтрации жидкости принимает следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} [k(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [k(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [k(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial z}] = 0 \quad (1.4.22)$$

В случае однородно-анизотропной среды ( $k_1 = \text{const}$ ,  $k_2 = \text{const}$ ,  $k_3 = \text{const}$ , при этом  $k_1 \neq k_2 \neq k_3$ ) уравнение фильтрации запишется в следующем виде:

$$\frac{\partial}{\partial x} [k_1 \frac{\partial H}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [k_2 \frac{\partial H}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [k_3 \frac{\partial H}{\partial z}] = 0 \quad (1.4.23)$$

Наконец, для случая однородно-изотропной среды, когда  $k_1 = k_2 = k_3 = \text{Const}$ , получим известное уравнение Лапласа:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = 0 \quad (1.4.24)$$

В диссертации рассматриваются также задачи и для неустановившегося движения подземных вод. Нестационарные фильтрационные течения в неоднородно-анизотропной среде описываются следующим уравнением:



$$\frac{\partial}{\partial x} [k_1(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [k_2(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [k_3(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial z}] = \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1.4.25)$$

Из последнего уравнения для неоднородно-изотропного строения грунта ( $k_1 = k_2 = k_3 = k(x, y, z)$ ), получим следующее уравнение нестационарной фильтрации:

$$\frac{\partial}{\partial x} [k(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [k(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [k(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial z}] = \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1.4.26)$$

Соответственно для однородно-анизотропных (при  $k_1=const$ ,  $k_2=const$ ,  $k_3=const$ , при этом  $k_1 \neq k_2 \neq k_3$ ) и однородно-изотропных грунтов (когда  $k_1 = k_2 = k_3 = const$ ) уравнения нестационарной или неустановившейся фильтрации жидкости примут следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} [k_1 \frac{\partial H}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [k_2 \frac{\partial H}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [k_3 \frac{\partial H}{\partial z}] = \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1.4.27)$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1.4.28)$$

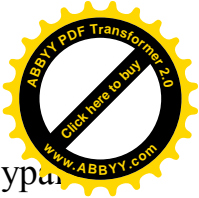
Теперь перейдем к рассмотрению процессов инфильтрации жидкости и приведем основные уравнения. Для исследования инфильтрационных процессов, когда жидкость поступает в грунт или горные породы через их поверхность за счет атмосферных осадков, орошения, сброса сточных вод, поверхностного стока и т.д., наряду с функциями напора, давления, скорости и расхода жидкости, рассматривается функция влажности или концентрации влаги. Основные уравнения инфильтрации или движения жидкости в ненасыщенных средах выводятся аналогичным образом, приведем известные в гидродинамике уравнения относительно функции влажности:

$$\text{div}(D \text{grad} W) + \partial K(w) / \partial z = \frac{\partial W}{\partial t} \quad (1.4.29)$$

или для трехмерного случая в декартовых координатах имеем:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ D(w) \frac{\partial w}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ D(w) \frac{\partial w}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ D(w) \frac{\partial w}{\partial z} \right] + \frac{\partial k(w)}{\partial z} \quad (1.4.30)$$

Здесь  $W(x, y)$  - неизвестная функция влажности,  $D(w)$  – коэффициент диффузии или диффузивности,  $K(w)$  - коэффициент влагопроводности. Очень часто



при решении инфильтрационных задач последним членом в последнем уравнении, обусловленным гравитацией, как правило, пренебрегают.

Роль, значение и физико-механический смысл коэффициента  $D(w)$  в процессах влагопереноса и инфильтрации жидкости приведены подробно в работах [12], [11], [42], [77], [65], [87],[93] и др.

Для двумерного или плоского случая инфильтрации уравнение (1.4.30) принимает вид:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ D(w) \frac{\partial w}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ D(w) \frac{\partial w}{\partial y} \right] + \frac{\partial k(w)}{\partial y} \quad (1.4.31)$$

Случай одномерной вертикальной инфильтрации жидкости описывается уравнением:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ D(w) \frac{\partial w}{\partial x} \right] + \frac{\partial k(w)}{\partial x} \quad (1.4.32)$$

В завершении следует отметить, что уравнения (1.4.29) - (1.4.32) можно записать относительно функции давления или напора, и в этих случаях мы получим идентичные дифференциальные уравнения параболического типа относительно одной переменной (например, функции давления или напора) и коэффициенты в уравнении будут зависеть от этой переменной [12], [102].

Суммируя все вышеизложенное в первой главе, систематизируем физическую и математическую постановку задач данной диссертационной работы в виде следующей блок-схемы, приведенной на рисунке 1.1.

В левой части блок-схемы рассматриваются стационарные течения напорной и безнапорной фильтрации жидкости в однородных, неоднородных и анизотропных средах. Формулируются и решаются краевые задачи фильтрации в однородных средах:

1. Одномерные течения жидкости.
2. Двумерные течения жидкости.
3. Пространственные течения жидкости.

Далее формулируются и решаются краевые задачи фильтрации в неоднородных и анизотропных средах:



1. Одномерные течения.
2. Двумерные течения.
3. Трехмерные или пространственные течения.

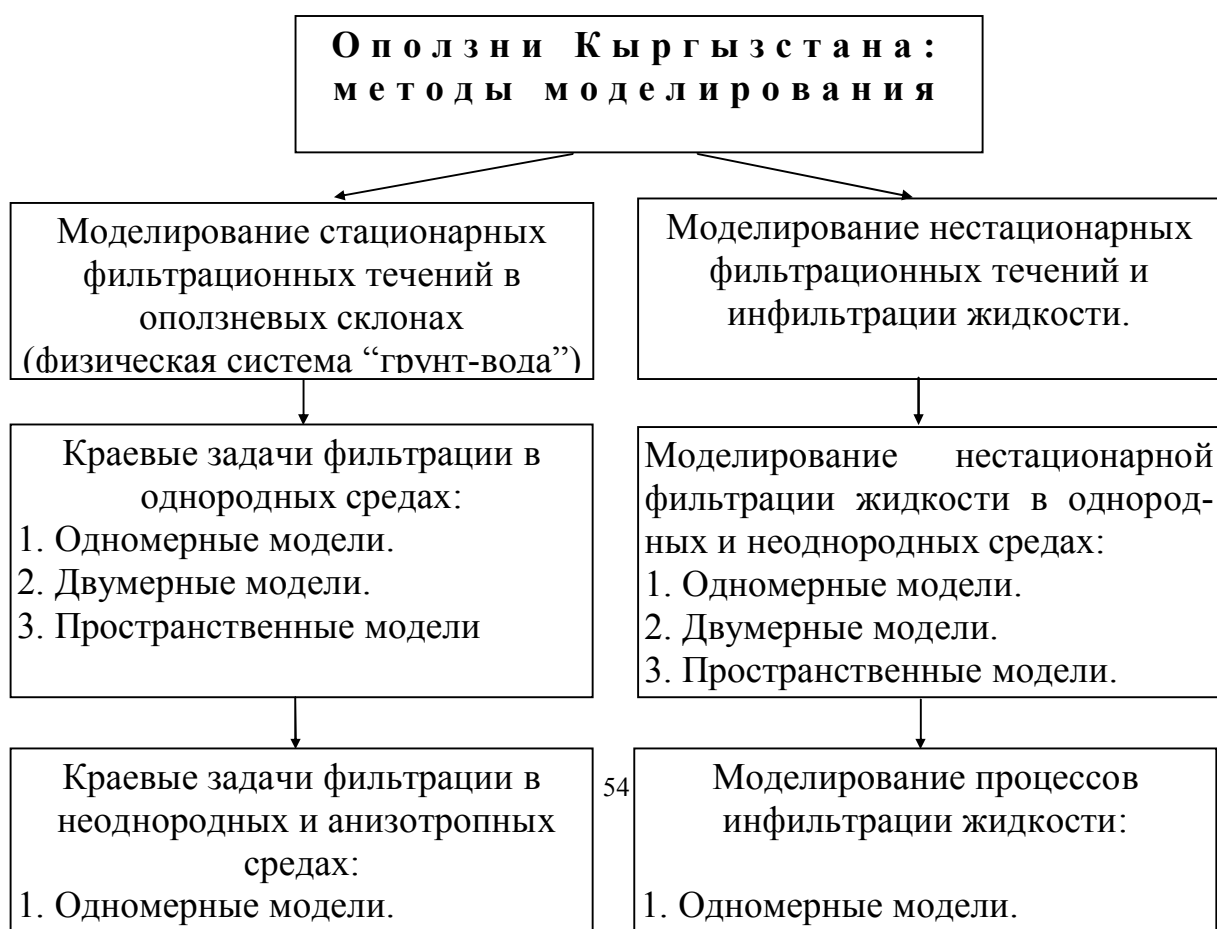
Расчет вышеприведенных фильтрационных течений подземных вод в оползневых склонах при различном строении среды составляет содержимое последующих глав.

В правой части блок-схемы рассматриваются нестационарные течения в однородных и неоднородных средах, а также процессы инфильтрации жидкости в оползневых горных склонах. Процесс моделирования нестационарной фильтрации жидкости в однородных и неоднородных средах проводится для следующих течений:

1. Одномерные нестационарные течения жидкости.
2. Двумерные нестационарные течения жидкости.
3. Трехмерные или пространственные нестационарные течения.

Далее формулируются и решаются задачи инфильтрации жидкости в оползневых склонах:

1. Одномерные модели инфильтрации.
2. Двумерные модели инфильтрации.





***Риснок 1.1 Общая схема исследования фильтрации и инфильтрации  
жидкости в оползневых склонах***  
**Основные выводы к главе 1**

1. В первой части главы изложены основные факторы, которые обуславливают формирование и развитие оползней. В соответствии с принятой в геологической науке методологии, основные факторы разделены на постоянные, медленно изменяющиеся и быстро изменяющиеся факторы. Приведены подробные характеристики каждого из важных факторов, а также приводится понятие линии скольжения оползней или ОДГ для пространственных задач. Особо отмечается, что при исследовании конкретных оползневых объектов, могут возникать различные комбинации основных факторов. В результате некоторые факторы, которые относятся к разряду второстепенных, могут выступить в качестве основных первостепенных факторов. Кроме того, активизацию оползней может вызвать не один важнейший фактор, а несколько факторов, которые рассматривались как несущественные или второстепенные.
2. Во второй части приведены основные типы оползней и их распространенные научные классификации. Приведены оползни, которые имеют распространение на территории Кыргызстана. Применяется гидродинамический подход и на этой основе упор делается, прежде всего, на такие типы оползней, для которых важнейшими факторами выступают гидродинамические процессы в оползневых горных склонах.
3. На основе скрупулезного анализа основных факторов и типов оползней, опираясь на самые распространенные научные классификации, предлагаются



группировки основных факторов на фильтрационные и инфильтрационные факторы, которые определяются гидродинамическими процессами в горных склонах.

4. В последней части главы представлены основные уравнения гидродинамики и соответствующий анализ основных типов течений жидкости в нескольких горных склонах. В работе рассмотрены основные типы фильтрации и инфильтрации невязкой жидкости в различных по своему строению средах. Построена общая схема исследования оползневых процессов на основе гидродинамического подхода.

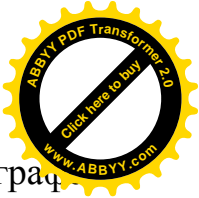
## **ГЛАВА 2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ФИЛЬТРАЦИИ И ИНФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНАХ**

### **2.1 Приближенно-аналитические решения краевых задач стационарной фильтрации в различных средах**

Общеизвестно значение аналитических или полуаналитических и приближенно-аналитических методов решения гидродинамических задач. Нахождение аналитических решений для задач фильтрации и инфильтрации всегда сопряжено с большими математическими трудностями и тем ценнее становятся новые разрабатываемые методы получения точных решений для указанных типов задач. Помимо своего научно-теоретического значения, подобные методы и полученные аналитические или автомодельные решения имеют еще и прикладную ценность для численных методов и тестовых расчетов с помощью вычислительной техники.

В этом параграфе формулируется и решается краевая задача фильтрации в однородно-изотропной среде. Постановка таких краевых задач приемлема, как известно, не только для фильтрационных течений в оползневых склонах, но и для других аналогичных задач механики жидкости в однородных средах. На основе методов малого параметра предлагаются несколько способа





нахождения автомодельных решений для поставленной в этом параграфе фильтрационной задачи.

**1. Решение уравнения фильтрации жидкости в однородно – изотропной среде.**

Как известно, уравнения фильтрации жидкости в однородно-изотропной среде моделируется уравнением Лапласа для двумерного случая в следующем виде:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = 0 \tag{2.1.1}$$

при следующих граничных условиях:

$$\begin{aligned} H(x, y)|_{x=N_1} &= H_{01}(y) & H(x, y)|_{x=N_2} &= H_{11}(y) \\ H(x, y)|_{x=N'_1} &= H_{01}(x) & H(x, y)|_{x=N'_2} &= H_{11}(x) \end{aligned} \tag{2.1.2}$$

$$N_1 \leq x \leq N_2 \qquad N'_1 \leq y \leq N'_2$$

Здесь  $H(x, y)$  – искомая напорная функция. Коэффициенты фильтрации являются известными постоянными.

Решение задачи (2.1.1) –(2.1.2) ищем в автомодельной форме в виде:

$$H(x, y) = (ax + b)^m \cdot f(z), \quad \text{где } z = \left( \frac{ax + b}{ay + b_1} \right)^n \tag{2.1.3}$$

Здесь  $m$  – показатель автомодельности.

Находим  $\frac{\partial H}{\partial x}; \frac{\partial H}{\partial y}; \frac{\partial^2 H}{\partial x^2}; \frac{\partial^2 H}{\partial y^2}$ .

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial x} &= ma(ax + b)^{m-1} \cdot f(z) + na \frac{(ax + b)^{m+n-1}}{(ay + b_1)^n} \cdot f'(z) \\ \frac{\partial H}{\partial y} &= -na \frac{(ax + b)^{m+n}}{(ay + b_1)^{n+1}} \cdot f'(z) \end{aligned} \tag{2.1.4}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} &= m(m-1)a^2(ax + b)^{m-2} \cdot f(z) + na^2(2m+n-1) \frac{(ax + b)^{m+n-2}}{(ay + b_1)^n} \cdot f'(z) + n^2a^2 \frac{(ax + b)^{m+2n-2}}{(ay + b_1)^{2n}} \cdot f''(z) \\ \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} &= n(n+1)a^2 \frac{(ax + b)^{m+n}}{(ay + b_1)^{n+2}} \cdot f'(z) + n^2a^2 \frac{(ax + b)^{m+2n}}{(ay + b_1)^{2n+2}} \cdot f''(z) \end{aligned}$$

Подставляя найденные частные производные (2.1.4) в уравнение (2.1.1) после несложных преобразований получим



$$z^2 \left(1 + z^{\frac{2}{n}}\right) \cdot f''(z) + \left[\frac{n+1}{n} z^{\frac{2}{n}} + \frac{2m+n-1}{n}\right] \cdot z \cdot f'(z) + \frac{m(m-1)}{n^2} \cdot f(z) = 0 \quad (2.1.5)$$

Введем следующее обозначения

$$\mu = \frac{2}{n}; q = \frac{2m+n-1}{n}; d = \frac{n+1}{n}; l = \frac{m(m-1)}{n^2}. \quad (2.1.6)$$

Тогда уравнение (2.1.5) запишется в виде:

$$z^2(1+z^\mu) \cdot f''(z) + (q+dz^\mu)z \cdot f'(z) + l \cdot f(z) = 0 \quad (2.1.7)$$

Уравнение (2.1.7) рассмотрено в работе [9] для случаев  $\mu = -1, n = -2$  и  $\mu = 1, n = 2$ . В данной работе уравнение (2.1.7) рассматривается для случая  $\mu = -2, n = -1$ .

При  $\mu = -2, n = -1$  из уравнения (2.1.7) имеем

$$(z^2 + 1) \cdot f''(z) + 2(1-m)z \cdot f'(z) + m(m-1) \cdot f(z) = 0 \quad (2.1.8)$$

Рассмотрим частные случаи при  $m = -1, m = 0, m = 1$ .

1) при  $m = -1$  из уравнения (8) имеем уравнения

$$(z^2 + 1) \cdot f''(z) + 4z \cdot f'(z) + 2 \cdot f(z) = 0 \quad (2.1.9)$$

решение, которого имеет вид

$$f(z) = (C_1' + C_2'z) \cdot \frac{1}{z^2 + 1} \quad (2.1.10)$$

где  $C_1'$  и  $C_2'$  - произвольные постоянные.

2) при  $m = 0$  из уравнения вида

$$(z^2 + 1) \cdot f''(z) + 2z \cdot f'(z) = 0 \quad (2.1.11)$$

решение, которого имеет вид

$$f(z) = C_1' \arctg z + C_2' \quad (2.1.12)$$

где  $C_1'$  и  $C_2'$  - произвольные постоянные.

3) при  $m = 1$  имеем уравнения

$$f''(z) = 0 \quad (2.1.13)$$

решение, которого запишется в виде

$$f(z) = C_1' z + C_2' \quad (2.1.14)$$

где  $C_1'$  и  $C_2'$  - произвольные постоянные.



Подставляя решения (2.1.10), (2.1.12) и (2.1.14) в формулу (2.1.3) соответственно получаем решения

$$H(x, y) = \frac{C_1(ax + b) + C_2(ay + b_1)}{(ax + b)^2 + (ay + b_1)^2} \quad (2.1.15)$$

$$H(x, y) = C_1 \operatorname{arctg} \frac{ay + b_1}{ax + b} + C_2 \quad (2.1.16)$$

$$H(x, y) = C_1(ay + b_1) + C_2(ax + b) \quad (2.1.17)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  произвольные постоянные которые определяются согласно граничных условий.

## 2. Решение уравнения фильтрации жидкости в однородно – изотропной среде.

Как известно, уравнения фильтрации жидкости в однородно-изотропной среде моделируется уравнением Лапласа для двумерного случая в следующем виде:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = 0 \quad (2.1.18)$$

при следующих граничных условиях:

$$\begin{aligned} H(x, y)|_{x=N_1} &= H_{01}(y) & H(x, y)|_{x=N_2} &= H_{11}(y) \\ H(x, y)|_{x=N'_1} &= H_{01}(x) & H(x, y)|_{x=N'_2} &= H_{11}(x) \\ N_1 \leq x \leq N_2 & & N'_1 \leq y \leq N'_2 & \end{aligned} \quad (2.1.19)$$

Здесь  $H(x, y)$  – искомая напорная функция, коэффициенты фильтрации являются известными постоянными.

Решение задачи (2.1.18) –(2.1.19) ищем в автомодельной форме в виде:

$$H(x, y) = (x + y)^m \cdot f(z), \text{ где } z = \frac{1}{(x + y)^n} \quad (2.1.20)$$

Здесь  $m$  – показатель автомодельности.

Находим

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial x} &= m(x + y)^{m-1} \cdot f(z) - n(x + y)^{m-n-1} \cdot f'(z) \\ \frac{\partial H}{\partial y} &= m(x + y)^{m-1} \cdot f(z) - n(x + y)^{m-n-1} \cdot f'(z) \end{aligned} \quad (2.1.21)$$



$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = m(m-1)(x+y)^{m-2} \cdot f(z) - [m \cdot n + n(m-n-1)](x+y)^{m-n-2} \cdot f'(z) + n^2(x+y)^{m-2n-2} \cdot f''(z) \quad (2.1.21')$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = m(m-1)(x+y)^{m-2} \cdot f(z) - [m \cdot n + n(m-n-1)](x+y)^{m-n-2} \cdot f'(z) + n^2(x+y)^{m-2n-2} \cdot f''(z)$$

Подставляя в уравнение (2.1.19) после несложных преобразований получим

$$z^2 \cdot f''(z) + \frac{2m-n-1}{n} z \cdot f'(z) + \frac{m(m-1)}{n^2} \cdot f(z) = 0 \quad (2.1.22)$$

Уравнение (2.1.22) есть уравнение Эйлера вида:

$$z^2 \cdot f''(z) + az \cdot f'(z) + b \cdot f(z) = 0$$

где  $a = \frac{2m-n-1}{n}$ ,  $b = \frac{m(m-1)}{n^2}$ .

Полагая,

$$\begin{cases} \alpha + \beta = 1 - a \\ \alpha \cdot \beta = b \end{cases}$$

Получим

$$\begin{cases} \alpha + \beta = 1 - \frac{2m-n-1}{n} \\ \alpha \cdot \beta = \frac{m(m-1)}{n^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha + \beta = \frac{2m-1}{n} \\ \alpha \cdot \beta = \frac{m(m-1)}{n^2} \end{cases}$$

Отсюда находим

$$\alpha = \frac{2m-1}{n} - \beta \quad \text{и} \quad \beta^2 - \frac{2m-1}{n} \cdot \beta + \frac{m(m-1)}{n^2} = 0 \quad (2.1.23)$$

$$\beta_1 = \frac{m}{n} \quad \beta_2 = \frac{m-1}{n} \quad (2.1.24)$$

$$\alpha_1 = \frac{m-1}{n} \quad \alpha_2 = \frac{m}{n}$$

Тогда решения уравнения (2.1.22) запишется в виде

$$f(z) = C_1 z^{\frac{m-1}{n}} + C_2 z^{\frac{m}{n}} \quad (2.1.25)$$

при  $\alpha_1$  и  $\beta_1$  и при  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$

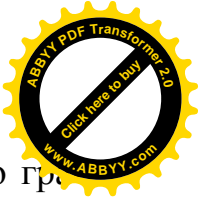
$$f(z) = C_1 z^{\frac{m}{n}} + C_2 z^{\frac{m-1}{n}} \quad (2.1.25')$$

где  $C_1$  и  $C_2$  произвольные постоянные.

Подставляя решения (2.1.25) и (2.1.25') в формулу (2.1.20) получим

$$H(x, y) = C_1(x+y) + C_2 \quad (2.1.26)$$

$$H(x, y) = C_1 + C_2(x+y) \quad (2.1.26')$$



где  $C_1$  и  $C_2$  произвольные постоянные которые определяются согласно граничного условия (2.1.18).

Таким образом, решения уравнения (2.1.18)-(2.1.19) можно записать в виде функции (2.1.26) и (2.1.26').

### **3. Решение уравнения фильтрации жидкости в неоднородно-изотропной среде**

Теперь рассмотрим фильтрацию подземных вод в неоднородно-изотропном грунтовом массиве, когда коэффициенты фильтрации представлены в виде дробно-линейных функций. Для решения такого класса задач разработаны полуаналитические или приближенно-аналитические методы в автомодельной форме.

Рассмотрим коэффициенты фильтрации в виде функций:

$$K_1(x; y) = K_2(x; y) = \left( \frac{ay + b_1}{ax + b} \right)^s$$

Уравнение фильтрации имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \frac{ay + b_1}{ax + b} \right)^s \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \frac{ay + b_1}{ax + b} \right)^s \cdot \frac{\partial H}{\partial y} \right] = 0 \quad (2.1.27)$$

при следующих граничных условиях:

$$\begin{aligned} H(x, y)|_{x=N_1} &= H_{01}(y) & H(x, y)|_{x=N_2} &= H_{11}(y) \\ H(x, y)|_{y=N'_1} &= H_{01}(x) & H(x, y)|_{y=N'_2} &= H_{11}(x) \end{aligned} \quad (2.1.28)$$

$$N_1 \leq x \leq N_2 \qquad N'_1 \leq y \leq N'_2$$

Решение краевой задачи (2.1.27) – (2.1.28) ищем в автомодельной форме в следующем виде:

$$H(x, y) = (ax + b)^m \cdot f(z), \quad \text{где } z = \left( \frac{ax + b}{ay + b_1} \right)^n \quad (2.1.29)$$

Здесь  $m$  – показатель автомодельности.

Далее находим



$$\frac{\partial H}{\partial x} \left( \frac{ay + b_1}{ax + b} \right)^s = -as \frac{(ay + b_1)^s}{(ax + b)^{s+1}}$$

$$\frac{\partial H}{\partial y} \left( \frac{ay + b_1}{ax + b} \right)^s = as \frac{(ay + b_1)^{s-1}}{(ax + b)^s}$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = ma(ax + b)^{m-1} \cdot f(z) + na \frac{(ax + b)^{m+n-1}}{(ay + b_1)^n} \cdot f'(z) \quad (2.1.30)$$

$$\frac{\partial H}{\partial y} = -na \frac{(ax + b)^{m+n}}{(ay + b_1)^{n+1}} \cdot f'(z)$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = m(m-1)a^2 (ax + b)^{m-2} \cdot f(z) + na^2 (2m+n-1) \frac{(ax + b)^{m+n-2}}{(ay + b_1)^n} \cdot f'(z) + n^2 a^2 \frac{(ax + b)^{m+2n-2}}{(ay + b_1)^{2n}} \cdot f''(z)$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = n(n+1)a^2 \frac{(ax + b)^{m+n}}{(ay + b_1)^{n+2}} \cdot f'(z) + n^2 a^2 \frac{(ax + b)^{m+2n}}{(ay + b_1)^{2n+2}} \cdot f''(z) \quad (2.1.31)$$

Подставляя найденные частные производные (2.1.31) в уравнение (2.1.28), после ряда преобразований получим следующее уравнение

$$z^2 \left( 1 + z^{\frac{2}{n}} \right) \cdot f''(z) + \left[ \frac{n-s+1}{n} z^{\frac{2}{n}} + \frac{2m+n-s-1}{n} \right] \cdot z \cdot f'(z) + \frac{m(m-s-1)}{n^2} \cdot f(z) = 0 \quad (2.1.32)$$

Введем следующие обозначения

$$\mu = \frac{2}{n}; \quad q = \frac{2m+n-s-1}{n}; \quad d = \frac{n-s+1}{n}; \quad l = \frac{m(m-s-1)}{n^2}. \quad (2.1.33)$$

Тогда из уравнения (2.1.32) имеем:

$$z^2(1+z^\mu) \cdot f''(z) + (q+dz^\mu)z \cdot f'(z) + l \cdot f(z) = 0 \quad (2.1.34)$$

Рассмотрим данное уравнение при  $\mu = -1, n = -2$ . Тогда имеем

$$q = \frac{3+s-2m}{2}; \quad d = \frac{s+1}{2}; \quad l = \frac{m(m-s-1)}{4}$$

из уравнения (2.1.34) получим

$$z(z+1) \cdot f''(z) + \left( \frac{3+s-2m}{2} \cdot z + \frac{s+1}{2} \right) \cdot f'(z) + \frac{m(m-s-1)}{4} \cdot f(z) = 0 \quad (2.1.35)$$

Пологая

$$f(z) = \eta(\xi), \quad \xi = -z \quad (2.1.36)$$

Из уравнения (2.1.36) получим гипергеометрическое уравнение вида

$$\xi(\xi-1) \cdot \eta''(\xi) + \left( \frac{3+s-2m}{2} \cdot \xi - \frac{s+1}{2} \right) \cdot \eta'(\xi) + \frac{m(m-s-1)}{4} \cdot \eta(\xi) = 0 \quad (2.1.37)$$

С целью упрощения полагаем  $s = 1$ , тогда из последнего уравнения получим



$$\xi(\xi-1) \cdot \eta''(\xi) + [(2-m) \cdot \xi - 1] \cdot \eta'(\xi) + \frac{m(m-2)}{4} \cdot \eta(\xi) = 0 \quad (2.1.38)$$

где

$$\begin{cases} \alpha + \beta + 1 = 2 - m \\ \alpha \cdot \beta = \frac{m(m-2)}{4} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha = (1-m) - \beta \\ [(1-m) - \beta] \cdot \beta = \frac{m(m-2)}{4} \end{cases}$$

Получим уравнение

$$\beta^2 - (1-\beta) \cdot \beta + \frac{m(m-2)}{4} = 0$$

Находим

$$\begin{aligned} \beta_1 &= -\frac{2-m}{2} & \beta_2 &= -\frac{m}{2} \\ \alpha_1 &= -\frac{m}{2} & \alpha_2 &= \frac{2-m}{2} \end{aligned} \quad (2.1.39)$$

Тогда решения уравнения (2.1.38) запишется в следующем виде

$$\eta(\xi) = C_1' \cdot F_1\left(-\frac{m}{2}, \frac{2-m}{2}, 1, \xi\right) + C_2' \cdot F_2\left(\frac{2-m}{2}, -\frac{m}{2}, 1, \xi\right) \quad (2.1.40)$$

где  $F_1$  и  $F_2$  гипергеометрические функции,  $C_1'$  и  $C_2'$  - произвольные постоянные.

Подставляя функцию (2.1.40) в формулу (2.1.37) получим решение уравнения (2.1.36)

$$f(z) = A_1 \cdot F_1\left(-\frac{m}{2}, \frac{2-m}{2}, 1, -z\right) + A_2 \cdot F_2\left(\frac{2-m}{2}, -\frac{m}{2}, 1, -z\right) \quad (2.1.41)$$

где  $F_1$  и  $F_2$  гипергеометрические функции,  $A_1$ ,  $A_2$  - произвольные постоянные.

Подставляя функцию (2.1.41) в формулу (2.1.29) получим

$$H(x; y) = (ax+b)^m \left[ A \cdot F_1\left(-\frac{m}{2}, \frac{2-m}{2}, 1, -\left(\frac{ay+b_1}{ax+b}\right)^2\right) + B \cdot F_2\left(\frac{2-m}{2}, -\frac{m}{2}, 1, -\left(\frac{ay+b_1}{ax+b}\right)^2\right) \right] \quad (2.1.42)$$

где  $F_1$  и  $F_2$  гипергеометрические функции,  $A$ ,  $B$ - произвольные постоянные определяемые согласно граничных условий (2.1.27). Функция (2.1.42) является решением уравнения (2.1.27) при  $n = -2$  и  $s = 1$ .

Теперь рассмотрим уравнения (2.1.37) при  $s = 0$ . Тогда получим уравнение

$$\xi(\xi-1) \cdot \eta''(\xi) + \left[\frac{3-2m}{2} \cdot \xi - \frac{1}{2}\right] \cdot \eta'(\xi) + \frac{m(m-1)}{4} \cdot \eta(\xi) = 0 \quad (2.1.43)$$





где

$$\begin{cases} \alpha + \beta + 1 = \frac{3-2m}{2} \\ \alpha \cdot \beta = \frac{m(m-1)}{4} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha = \frac{1-2m}{2} - \beta \\ \left(\frac{1-2m}{2} - \beta\right) \cdot \beta = \frac{m(m-1)}{4} \end{cases}$$

Отсюда получим уравнение

$$\beta^2 - \left(\frac{1-2m}{2}\right) \cdot \beta + \frac{m(m-1)}{4} = 0$$

Находим

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \frac{1-m}{2} & \beta_2 &= -\frac{m}{2} \\ \alpha_1 &= -\frac{m}{2} & \alpha_2 &= \frac{1-m}{2} \end{aligned} \tag{2.1.44}$$

Тогда решения уравнения (2.1.43) запишется в виде функции при  $\alpha_1 = -\frac{m}{2}; \beta_1 = \frac{1-m}{2}$  в следующем виде

$$\eta(\xi) = C_1' \cdot F_1\left(-\frac{m}{2}, \frac{1-m}{2}, \frac{1}{2}, \xi\right) + C_2' \cdot \xi^2 \cdot F_2\left(\frac{1-m}{2}, \frac{2-m}{2}, \frac{3}{2}, \xi\right) \tag{2.1.45}$$

при  $\alpha_2 = \frac{1-m}{2}; \beta_2 = -\frac{m}{2}$ ,

$$\eta(\xi) = C_1' \cdot F_1\left(\frac{1-m}{2}, -\frac{m}{2}, \frac{1}{2}, \xi\right) + C_2' \cdot \xi^2 \cdot F_2\left(\frac{2-m}{2}, \frac{1-m}{2}, \frac{3}{2}, \xi\right) \tag{2.1.46}$$

где  $F_1$  и  $F_2$  гипергеометрические функции,  $C_1'$  и  $C_2'$  - произвольные постоянные.

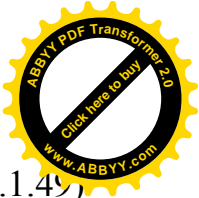
Подставляя функцию (2.1.45) и (2.1.46) в формулу (2.1.36) получим соответственно

$$f(z) = C_1 \cdot F_1\left(-\frac{m}{2}, \frac{1-m}{2}, \frac{1}{2}, -z\right) + C_2 \left(-z^{\frac{1}{2}}\right) \cdot F_2\left(\frac{1-m}{2}, \frac{2-m}{2}, \frac{3}{2}, -z\right) \tag{2.1.47}$$

$$f(z) = C_1 \cdot F_1\left(\frac{1-m}{2}, -\frac{m}{2}, \frac{1}{2}, -z\right) + C_2 \left(-z^{\frac{1}{2}}\right) \cdot F_2\left(\frac{2-m}{2}, \frac{1-m}{2}, \frac{3}{2}, -z\right) \tag{2.1.48}$$

где  $F_1$  и  $F_2$  гипергеометрические функции,  $C_1$  и  $C_2$  - произвольные постоянные.

Далее подставляя функции (2.1.47) и (2.1.48) в формулу (2.1.29) соответственно получим функции



$$H(x, y) = (ax+b)^m \left[ A_1 \cdot F_1 \left( -\frac{m}{2}, \frac{1-m}{2}, \frac{1}{2}, -\left(\frac{ay+b_1}{ax+b}\right)^2 \right) + B_1 \cdot \left(\frac{ay+b_1}{ax+b}\right) \cdot F_2 \left( \frac{1-m}{2}, \frac{2-m}{2}, \frac{3}{2}, -\left(\frac{ay+b_1}{ax+b}\right)^2 \right) \right] \quad (2.1.49)$$

$$H(x, y) = (ax+b)^m \left[ A_2 \cdot F_1 \left( \frac{1-m}{2}, -\frac{m}{2}, \frac{1}{2}, -\left(\frac{ay+b_1}{ax+b}\right)^2 \right) + B_2 \cdot \left(\frac{ay+b_1}{ax+b}\right) \cdot F_2 \left( \frac{2-m}{2}, \frac{1-m}{2}, \frac{3}{2}, -\left(\frac{ay+b_1}{ax+b}\right)^2 \right) \right] \quad (2.1.50)$$

где  $F_1$  и  $F_2$  гипергеометрические функции,  $A_1, B_1, A_2, B_2$  - произвольные постоянные определяемые согласно граничных условий (2.1.27). Функции (2.1.49), (2.1.50) являются решением уравнения (2.1.28) при  $n = -2$  и  $s = 0$ .

#### 4. Решение уравнения фильтрации жидкости в неоднородной среде с помощью ряда.

Предлагается еще один метод решения сформулированной краевой задачи (2.1.27) – (2.1.28), но теперь с помощью разложения в ряд.

Рассматривается уравнения фильтрации

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \frac{ay + b_1}{ax + b} \right)^s \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \frac{ay + b_1}{ax + b} \right)^s \cdot \frac{\partial H}{\partial y} \right] = 0 \quad (2.1.51)$$

где коэффициенты фильтрации

$$K_1(x; y) = K_2(x; y) = \left( \frac{ay + b_1}{ax + b} \right)^s \quad (2.1.52)$$

при следующих граничных условиях:

$$\begin{aligned} H(x, y)|_{x=N_1} &= H_{01}(y) & H(x, y)|_{x=N_2} &= H_{11}(y) \\ H(x, y)|_{x=N'_1} &= H_{01}(x) & H(x, y)|_{x=N'_2} &= H_{11}(x) \\ N_1 \leq x \leq N_2 & & N'_1 \leq y \leq N'_2 & \end{aligned} \quad (2.1.53)$$

Решение краевой задачи (2.1.51) – (2.1.53) ищем в автомодельной форме в следующем виде:

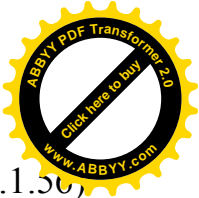
$$H(x, y) = (ax+b)^m \cdot f(z), \quad \text{где } z = \left( \frac{ax+b}{ay+b_1} \right)^n \quad (2.1.54)$$

Здесь  $m$  – показатель автомодельности.

Подставляя функции (2.1.54) в уравнение (2.1.51) после ряда преобразований получим уравнение вида

$$z^2 \left( 1 + z^{\frac{2}{n}} \right) \cdot f''(z) + \left[ \frac{n-s+1}{n} \cdot z^{\frac{2}{n}} + \frac{2m+n-s-1}{n} \right] \cdot z \cdot f'(z) + \frac{m(m-s-1)}{n^2} \cdot f(z) = 0 \quad (2.1.55)$$

Введем следующие обозначения



$$\mu = \frac{2}{n}; q = \frac{2m+n-s-1}{n}; d = \frac{n-s+1}{n}; l = \frac{m(m-s-1)}{n^2}. \quad (2.1.56)$$

Тогда из уравнения (2.1.55) имеем:

$$z^2(1+z^\mu) \cdot f''(z) + (q+dz^\mu)z \cdot f'(z) + l \cdot f(z) = 0 \quad (2.1.57)$$

Рассмотрим данное уравнение (2.1.57) при  $\mu = -1, n = -2$ . Тогда имеем

$$q = \frac{3+s-2m}{2}; d = \frac{s+1}{2}; l = \frac{m(m-s-1)}{4}$$

И получим уравнение

$$z(z+1) \cdot f''(z) + \left( \frac{3+s-2m}{2} \cdot z + \frac{s+1}{2} \right) \cdot f'(z) + \frac{m(m-s-1)}{4} \cdot f(z) = 0 \quad (2.1.58)$$

Решение уравнения (2.1.58) ищем в виде степенного ряда

$$f(z) = \sum_{i=0}^{\infty} C_i z^{i+\sigma} \quad (2.1.59)$$

Где  $C_i$  - неизвестные коэффициенты и  $\sigma$  - неизвестный параметр которые подлежат к определению следует отметить, что ряд (2.1.59) сходящийся.

Находим

$$f'(z) = \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma) z^{i+\sigma-1}$$

$$f''(z) = \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma)(i+\sigma-1) z^{i+\sigma-2} \quad (2.1.60)$$

Подставляя производные (2.1.60) в уравнение (2.1.58) имеем

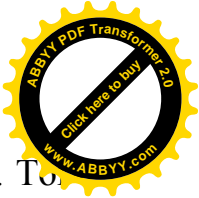
$$z(z+1) \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma)(i+\sigma-1) z^{i+\sigma-2} + \left( \frac{3+s-2m}{2} \cdot z + \frac{s+1}{2} \right) \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma) z^{i+\sigma-1} + \frac{m(m-s-1)}{4} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i z^{i+\sigma} = 0$$

Далее получим

$$\begin{aligned} & \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma)(i+\sigma-1) z^{i+\sigma} + \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma)(i+\sigma-1) z^{i+\sigma-1} + \frac{3+s-2m}{2} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma) z^{i+\sigma} + \\ & + \frac{s+1}{2} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma) z^{i+\sigma-1} + \frac{m(m-s-1)}{4} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i z^{i+\sigma} = 0 \end{aligned}$$

С группируя по степени  $z^{i+\sigma-1}$  и  $z^{i+\sigma}$  получим

$$\begin{aligned} & \left[ \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma)(i+\sigma-1) + \frac{s+1}{2} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma) \right] \cdot z^{i+\sigma-1} + \left[ \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma)(i+\sigma-1) + \right. \\ & \left. + \frac{3+s-2m}{2} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma) + \frac{m(m-s-1)}{4} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i \right] \cdot z^{i+\sigma} = 0 \end{aligned}$$



Пологая в первой скобке  $i = 0$  выделим слагаемое с коэффициентом  $C_0$ . Тогда

да получим

$$\left( C_0 \sigma(\sigma - 1) + \frac{s+1}{2} C_0 \sigma \right) \cdot z^{\sigma-1} + \left[ \sum_{i=0}^{\infty} C_{i+1} (i+1+\sigma)(i+\sigma) + \frac{s+1}{2} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_{i+1} (i+1+\sigma) \right] \cdot z^{i+\sigma} +$$

$$+ \left[ \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma)(i+\sigma-1) + \frac{3+s-2m}{2} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i+\sigma) + \frac{m(m-s-1)}{4} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i \right] \cdot z^{i+\sigma} = 0 \quad (2.1.61)$$

Потребуем, чтобы

$$C_0 \sigma(\sigma - 1) + \frac{s+1}{2} C_0 \sigma = 0, \quad C_0 \neq 0$$

Получим уравнение

$$\sigma \left( \sigma - \frac{1-s}{2} \right) = 0$$

где

$$\sigma_1 = 0, \quad \sigma_2 = \frac{1-s}{2} \quad (2.1.62)$$

Учитывая корни (2.1.62) из уравнения (2.1.61) получим

$$C_{i+1} (i+1+\sigma) \left( i+\sigma + \frac{s+1}{2} \right) + C_i \left[ (i+\sigma) \left( i+\sigma + \frac{1+s-2m}{2} \right) + \frac{m(m-s-1)}{4} \right] = 0$$

Из последнего выражения получим рекуррентную формулу для определения коэффициентов  $C_{i+1}$ , полагая  $C_0 \neq 0$  и  $C_0 = 1$ .

$$C_{i+1} = - \frac{(i+\sigma) \left( i+\sigma + \frac{1+s-2m}{2} \right) + \frac{m(m-s-1)}{4}}{(i+1+\sigma) \left( i+\sigma + \frac{s+1}{2} \right)} \cdot C_i \quad (2.1.63)$$

Учитывая корни (2.1.62) из рекуррентной формулы (2.1.63) получим, рекуррентные формулы по значению корням  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ .

При  $\sigma_1 = 0$

$$C_{i+1} = - \frac{i \cdot \left( i + \frac{1+s-2m}{2} \right) + \frac{m(m-s-1)}{4}}{(i+1) \left( i + \frac{s+1}{2} \right)} \cdot C_i \quad (2.1.64)$$

где  $C_0 \neq 0$ ,  $C_0 = 1$ .

При  $\sigma_2 = \frac{1-s}{2}$



$$C_{i+1} = -\frac{\left(i + \frac{1-s}{2}\right)(i+1-m) + \frac{m(m-s-1)}{4}}{(i+1)\left(i + \frac{3-s}{2}\right)} \cdot C_i \quad (2.1.65)$$

где  $C_0 \neq 0$ ,  $C_0 = 1$ .

Следовательно, решение исходного уравнения (2.1.58) можно записать в виде

$$\begin{aligned} f_1(z) &= z^{\sigma_1} \sum_{i=0}^{\infty} C_i^1 \cdot z^i \\ f_2(z) &= z^{\sigma_2} \sum_{i=0}^{\infty} C_i^2 \cdot z^i \end{aligned} \quad (2.1.66)$$

где коэффициенты  $C_i^1, C_i^2$  определяются из рекуррентной формулы (2.1.64), (2.1.65), корни  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  определены формулой (2.1.62).

Тогда общее решение уравнения (2.1.58) можно написать в следующем виде

$$f(z) = A_1 \cdot z^{\sigma_1} \sum_{i=0}^{\infty} C_i^1 \cdot z^i + B_1 \cdot z^{\sigma_2} \sum_{i=0}^{\infty} C_i^2 \cdot z^i \quad (2.1.67)$$

где  $A_1$  и  $B_1$  произвольные постоянные.

Подставляя функцию (2.1.67) в формулу (2.1.54) получим решение задачи (2.1.51) – (2.1.53) в виде функции

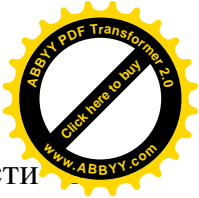
$$H(x; y) = (ax + b)^m \left[ A \left( \frac{ax + b}{ay + b_1} \right)^{n\sigma_1} \sum_{i=0}^{\infty} C_i^1 \cdot \left( \frac{ax + b}{ay + b_1} \right)^{in} + B \left( \frac{ax + b}{ay + b_1} \right)^{n\sigma_2} \sum_{i=0}^{\infty} C_i^2 \cdot \left( \frac{ax + b}{ay + b_1} \right)^{in} \right] \quad (2.1.68)$$

Далее, учитывая корни  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  из формулы (2.1.62), можно записать решение задачи (2.1.51) – (2.1.53) в виде следующей функции

$$H(x; y) = (ax + b)^m \left[ A \sum_{i=0}^{\infty} C_i^1 \cdot \left( \frac{ax + b}{ay + b_1} \right)^{in} + B \cdot \left( \frac{ax + b}{ay + b_1} \right)^{\frac{m(1-s)}{2}} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i^2 \cdot \left( \frac{ax + b}{ay + b_1} \right)^{in} \right] \quad (2.1.69)$$

где  $A$  и  $B$  произвольные постоянные определяемые согласно граничных условий (2.1.53)  $C_i^1, C_i^2$  коэффициенты ряда (2.1.59) определяемые по рекуррентными формулами (2.1.64) и (2.1.65).

### ***5. Автомодельное решение трехмерной стационарной фильтрации жидкости.***



Рассматриваются уравнения стационарной фильтрации жидкости  
 трехмерном виде:

$$K_1 \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + K_2 \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + K_3 \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = 0 \quad (2.1.70)$$

при следующих граничных условиях

$$\begin{aligned} H(x, y, z)|_{x=N_1} &= H_{011}(y, z) & H(x, y, z)|_{x=N_2} &= H_{111}(y, z) \\ H(x, y, z)|_{y=N_1'} &= H_{101}(x, z) & H(x, y, z)|_{y=N_2'} &= H_{111}(x, z) \\ H(x, y, z)|_{z=N_1''} &= H_{110}(x, y) & H(x, y, z)|_{z=N_2''} &= H_{111}(x, y) \end{aligned} \quad (2.1.71)$$

Здесь  $H(x, y, z)$  - искомая напорная функция, коэффициенты фильтрации являются известными постоянными  $K_1 \neq K_2 \neq K_3$ .

Решение задачи (2.1.70) –(2.1.71) ищем в автомодельной форме в виде:

$$H(x, y, z) = (ax + by + cz)^m \cdot f(t), \quad \text{где } t = \frac{1}{(ax + by + cz)^n} \quad (2.1.72)$$

Здесь  $m$  – показатель автомодельности.

Далее находим

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial x} &= am(ax + by + cz)^{m-1} \cdot f(t) - an(ax + by + cz)^{m-n-1} \cdot f'(t) \\ \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} &= a^2 m(m-1)(ax + by + cz)^{m-2} \cdot f(t) - a^2 n(2m-n-1) \cdot \\ & (ax + by + cz)^{m-n-2} \cdot f'(t) + a^2 n^2 (ax + by + cz)^{m-2n-2} \cdot f''(t) \end{aligned} \quad (2.1.73)$$

$\frac{\partial^2 H}{\partial y^2}$  и  $\frac{\partial^2 H}{\partial z^2}$  идентичные, различны только по коэффициентам « $b$ » и « $c$ ».

Подставляя соотношения (2.1.73) в уравнение (2.1.70) после сокращения на  $(ax + by + cz)^{m-2}$  и на  $n^2(K_1 a^2 + K_2 b^2 + K_3 c^2)$ , а затем умножая на  $(ax + by + cz)^{2n}$ , после преобразований получим уравнение следующего вида:

$$f''(z) + \frac{n-2m+1}{n} \cdot t \cdot f'(t) + \frac{m(m-1)}{n^2} \cdot t^2 \cdot f(t) = 0 \quad (2.1.74)$$

решение, которого имеет вид (см. Камке стр.379):

$$f(t) = e^{-\frac{n-2m+1}{4n} \cdot t^2} \left( C_1 \cdot \text{Ch}t \sqrt{\frac{n-2m+1}{2n}} + C_2 \cdot \text{Sh}t \sqrt{\frac{n-2m+1}{2n}} \right) \quad (2.1.75)$$

при  $\frac{n-2m+1}{2n} > 0$ ,

$$f(t) = e^{-\frac{n-2m+1}{4n} \cdot t^2} \left( C_1 \cdot \text{Cos}t \sqrt{-\frac{n-2m+1}{2n}} + C_2 \cdot \text{Sin}t \sqrt{-\frac{n-2m+1}{2n}} \right) \quad (2.1.76)$$



при  $\frac{n-2m+1}{2n} < 0$ , где  $C_1$  и  $C_2$  - произвольные постоянные.

Подставляя функции (2.1.75) и (2.1.76) в формулу (2.1.72) получим

$$H(x, y, z) = (ax + by + cz)^m \cdot e^{-\frac{n-2m+1}{4n} \frac{1}{(ax+by+cz)^{2n}}} \left[ C_1 \cdot Ch \frac{1}{(ax + by + cz)^n} \cdot \sqrt{\frac{n-2m+1}{2n}} + \right. \\ \left. + C_2 \cdot Sh \frac{1}{(ax + by + cz)^n} \cdot \sqrt{\frac{n-2m+1}{2n}} \right] \quad (2.1.77)$$

при  $\frac{n-2m+1}{2n} > 0$ ,

$$H(x, y, z) = (ax + by + cz)^m \cdot e^{-\frac{n-2m+1}{4n} \frac{1}{(ax+by+cz)^{2n}}} \left[ C_1 \cdot Cos \frac{1}{(ax + by + cz)^n} \cdot \sqrt{\frac{n-2m+1}{2n}} + \right. \\ \left. + C_2 Sin \cdot \frac{1}{(ax + by + cz)^n} \cdot \sqrt{\frac{n-2m+1}{2n}} \right] \quad (2.1.78)$$

при  $\frac{n-2m+1}{2n} < 0$ , где  $C_1$  и  $C_2$  - произвольные постоянные определяемые согласно граничных условий (2.1.71). Таким образом функции (2.1.77) и (2.1.78) определяет решение стационарной трехмерной фильтрации жидкости моделируемой уравнением (2.1.70) по автотомодельной форме (2.1.72).

## 2.2 Приближенно-аналитические решения краевых задач нестационарной фильтрации в различных средах

В данном параграфе исследуются начально-краевые задачи нестационарной фильтрации жидкости в различных средах в пространственной или трехмерной постановке. С помощью приближенно-аналитического подхода найдены аналитические решения сформулированных задач.

### 1. Решение нестационарной фильтрации жидкости в неоднородно-анизотропной среде.

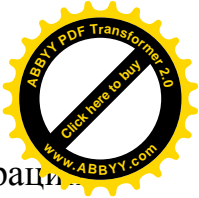
Рассматривается математическая модель неустановившейся фильтрации, представленная в виде начально краевой задачи

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ K_1(x; y) \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ K_2(x; y) \cdot \frac{\partial H}{\partial y} \right] \quad (2.2.1)$$

при следующих начальных и граничных условиях:

$$\begin{aligned} H(x, y, t) \Big|_{t=0} &= H_0(x, y) & 0 \leq t \leq T \\ H(x, y, t) \Big|_{x=N_1} &= H_{1,0}(t, y) & H(x, y, t) \Big|_{x=N_2} &= H_{1,1}(t, y) \\ H(x, y, t) \Big|_{y=N'_1} &= H_{2,0}(x, t) & H(x, y, t) \Big|_{y=N'_2} &= H_{2,1}(x, t) \\ N_1 \leq x \leq N_2 & & N'_1 \leq y \leq N'_2 & \end{aligned} \quad (2.2.2)$$





где  $H(x, y, t)$  - искомая функция напора, коэффициенты фильтрации

$$K_1(x; y) = 2(x + y)^s \quad \text{и} \quad K_2(x; y) = (x + y)^s, \quad K_1(x; y) \neq K_2(x; y)$$

Решение краевой задачи (2.2.1), (2.2.2) будем искать в автомодельной форме в виде:

$$H(x, y, t) = (x + y)^m \cdot f(z), \quad \text{где} \quad z = \frac{t}{(x + y)^n} \quad (2.2.3)$$

Здесь  $m$  – показатель автомодельности.

Находим

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial t} &= (x + y)^{m-n} \cdot f'(z); & \frac{\partial K_1(x, y)}{\partial x} &= 2s(x + y)^{s-1}; & \frac{\partial K_2(x, y)}{\partial y} &= s(x + y)^{s-1}; \\ \frac{\partial H}{\partial x} &= m(x + y)^{m-1} \cdot f(z) - n(x + y)^{m-n-1} \cdot t \cdot f'(z); & & & & \\ \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} &= m(m-1)(x + y)^{m-2} \cdot f(z) - (2m-n-1) \cdot n \cdot t \cdot (x + y)^{m-n-2} \cdot f'(z) + n^2(x + y)^{m-2n-2} \cdot t^2 \cdot f''(z). \end{aligned} \quad (2.2.4)$$

Выражения  $\frac{\partial H}{\partial y}; \frac{\partial^2 H}{\partial y^2}$  идентичны вышеуказанным частным производным.

Подставляя найденные частные производные (2.2.4) в уравнение (2.2.1) после несложных преобразований получим

$$\begin{aligned} \frac{1}{3} \cdot (x + y)^{-n-s+2} \cdot f'(z) &= m \cdot s \cdot f(z) - n(x + y)^{-n} \cdot s \cdot t \cdot f'(z) + m(m-1) \cdot f(z) - \\ &- (2m-n-1) \cdot n \cdot t \cdot (x + y)^{-n} f'(z) + n^2 t^2 (x + y)^{-2n} \cdot f''(z) \end{aligned}$$

С целью упрощения полагаем  $s = -(n - 2)$  и после соответствующих сокращений имеем

$$z^2 \cdot f''(z) + \left[ \frac{2n-2m-1}{n} \cdot z - \frac{1}{3n^2} \right] \cdot f'(z) + \frac{m(m-n+1)}{n^2} \cdot f(z) = 0 \quad (2.2.5)$$

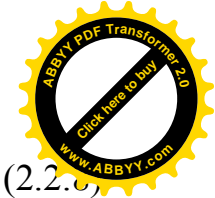
Введем следующие обозначения

$$a = \frac{2n-2m-1}{n}; \quad b = -\frac{1}{3n^2}; \quad c = \frac{m(m-n+1)}{n^2}. \quad (2.2.6)$$

Тогда уравнения (5) принимает вид:

$$z^2 \cdot f''(z) + (az+b) \cdot f'(z) + c \cdot f(z) = 0 \quad (2.2.7)$$

Для решения данного уравнения проведем следующие подстановки и преобразования



$$f(z) = \ell^\xi \cdot \xi^\nu \cdot \eta(\xi), \quad \xi = z^{-1} \quad (2.2.6)$$

Тогда уравнение (2.2.7) примет следующий вид

$$\xi^2 \cdot \eta''(\xi) + [(2-b)\xi + 2\nu + 2 - a] \cdot \xi \cdot \eta'(\xi) + [(1-b) \cdot \xi + 2\nu + 2 - a - b\nu] \cdot \xi \cdot \eta(\xi) + [\nu^2 + \nu(1-a) + c] \cdot \eta(\xi) = 0 \quad (2.2.9)$$

Для упрощения уравнения (2.2.9) потребуем, чтобы имело место равенство относительно  $\nu$ :

$$\nu^2 + \nu(1-a) + c = 0 \quad (2.2.10)$$

Учитывая обозначения (2.2.6) из уравнения (2.2.10) получим

$$\nu^2 + \nu \frac{2m-n+1}{n} + \frac{m(m-n+1)}{n^2} = 0 \quad (2.2.11)$$

корнями которого будут

$$\nu_1 = -\frac{m-n+1}{n} \quad \nu_2 = -\frac{m}{n} \quad (2.2.12)$$

Тогда уравнения (2.2.10) из уравнения (2.2.9) получим

$$\xi \cdot \eta''(\xi) + [(2-b)\xi + 2\nu + 2 - a] \cdot \eta'(\xi) + [(1-b) \cdot \xi + 2\nu + 2 - a - b\nu] \cdot \eta(\xi) = 0 \quad (2.2.13)$$

Далее проведем упрощения в последнем уравнении полагая

$$\eta(\xi) = \ell^{\frac{b-3}{2}\xi} \cdot u(\xi) \quad (2.2.14)$$

Тогда получим уравнения вида

$$\xi \cdot u''(\xi) + [(2\nu + 2 - a) - \xi] \cdot u'(\xi) + \left[ \frac{1-b^2}{4} \cdot \xi + \frac{a+b(2-a)-2(\nu+1)}{2} \right] \cdot u = 0 \quad (2.2.15)$$

Полагая  $b = -1$  (это вполне возможно из физических толкований коэффициентов фильтрации) из последнего уравнения получим вырожденное гипергеометрическое уравнения следующего вида:

$$\xi \cdot u''(\xi) + [(2\nu + 2 - a) - \xi] \cdot u'(\xi) - (\nu + 2 - a) \cdot u(\xi) = 0 \quad (2.2.16)$$

Введем новые обозначения

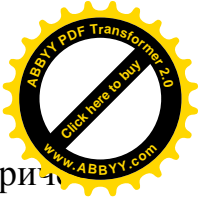
$$p = 2\nu + 2 - a \quad q = \nu + 2 - a \quad (2.2.17)$$

Тогда последнее уравнение преобразуется к следующему виду

$$\xi \cdot u''(\xi) + (p - \xi) \cdot u'(\xi) - q \cdot u(\xi) = 0 \quad (2.2.18)$$

Решение которого запишется в следующем виде

$$u(\xi) = C_1^0 \cdot F(q, p, \xi) + C_2^0 \cdot \xi^{1-p} \cdot F(q - p + 1, 2 - p, \xi) \quad (2.2.19)$$



где  $C_1^0$  и  $C_2^0$  - произвольные постоянные,  $F$  – вырожденные гипергеометрические функции.

Далее учитывая обозначения (2.2.17) и корни (2.2.12) уравнения (2.2.11) получаем

$$\text{при } v_1 = -\frac{m-n+1}{n}; \quad p = \frac{2n-1}{n}; \quad q = \frac{m+n}{n}. \quad (2.2.20)$$

$$\text{при } v_2 = -\frac{m}{n}; \quad p = \frac{1}{n}; \quad q = \frac{m+1}{n}. \quad (2.2.21)$$

Отсюда решение (2.2.19) через значения параметров (2.2.20) и (2.2.21) выражается следующим образом

при  $v_1 = -\frac{m-n+1}{n}$ , решение (2.2.20) принимает вид

$$u(\xi) = C_1^0 \cdot F\left(\frac{m+n}{n}, \frac{2n-1}{n}, \xi\right) + C_2^0 \cdot \xi^{-\frac{n-1}{n}} \cdot F\left(\frac{m+1}{n}, \frac{1}{n}, \xi\right) \quad (2.2.22)$$

при  $v_2 = -\frac{m}{n}$ , решение (2.2.20) принимает вид

$$u(\xi) = C_1^1 \cdot F\left(\frac{m+1}{n}, \frac{1}{n}, \xi\right) + C_2^1 \cdot \xi^{-\frac{n-1}{n}} \cdot F\left(\frac{m+n}{n}, \frac{2n-1}{n}, \xi\right) \quad (2.2.23)$$

где  $C_1^0$ ,  $C_2^0$  и  $C_1^1$ ,  $C_2^1$  - произвольные постоянные,  $F$  – вырожденные гипергеометрические функции.

Теперь подставляя найденные решения (2.2.22) и (2.2.23) в формулу (2.2.14) получим соответственно решения

при  $v_1 = -\frac{m-n+1}{n}$ , имеем

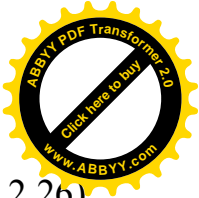
$$\eta(\xi) = \ell^{-2\xi} \left[ C_1^0 \cdot F\left(\frac{m+n}{n}, \frac{2n-1}{n}, \xi\right) + C_2^0 \cdot \xi^{-\frac{n-1}{n}} \cdot F\left(\frac{m+1}{n}, \frac{1}{n}, \xi\right) \right] \quad (2.2.24)$$

при  $v_2 = -\frac{m}{n}$ , имеем

$$\eta(\xi) = \ell^{-2\xi} \left[ C_1^1 \cdot F\left(\frac{m+1}{n}, \frac{1}{n}, \xi\right) + C_2^1 \cdot \xi^{-\frac{n-1}{n}} \cdot F\left(\frac{m+n}{n}, \frac{2n-1}{n}, \xi\right) \right] \quad (2.2.25)$$

Далее, подставляя последние решения (2.2.24) и (2.2.25) в формулу (2.2.8) получим соответственно следующие решения уравнения (2.2.5)

при  $v_1 = -\frac{m-n+1}{n}$ , имеем



$$f(z) = \ell^{-\frac{1}{z}} \cdot z^{-\frac{m-n+1}{n}} \left[ C_1^0 \cdot F\left(\frac{m+n}{n}, \frac{2n-1}{n}, z^{-1}\right) + C_2^0 \cdot z^{\frac{n-1}{n}} \cdot F\left(\frac{m+1}{n}, \frac{1}{n}, z^{-1}\right) \right] \quad (2.2.26)$$

при  $v_2 = -\frac{m}{n}$ , имеем

$$f(z) = \ell^{-\frac{1}{z}} \cdot z^{\frac{m}{n}} \left[ C_1^1 \cdot F\left(\frac{m+1}{n}, \frac{1}{n}, z^{-1}\right) + C_2^1 \cdot \xi^{-\frac{n-1}{n}} \cdot F\left(\frac{m+n}{n}, \frac{2n-1}{n}, z^{-1}\right) \right] \quad (2.2.27)$$

Наконец, подставляя функции (2.2.26) и (2.2.27) в формулу (2.2.3) получим два решения исходного уравнения (2.2.1) в следующем виде

при  $v_1 = -\frac{m-n+1}{n}$ , решение имеет вид

$$H(x, y, t) = \ell^{-\frac{(x+y)^n}{t}} \cdot t^{-\frac{m-n+1}{n}} \cdot (x+y)^{n-1} \left[ C_1^0 \cdot F\left(\frac{m+n}{n}, \frac{2n-1}{n}, \frac{(x+y)^n}{t}\right) + C_2^0 \cdot \frac{t^{\frac{n-1}{n}}}{(x+y)^{n-1}} \cdot F\left(\frac{m+1}{n}, \frac{1}{n}, \frac{(x+y)^n}{t}\right) \right] \quad (2.2.28)$$

при  $v_2 = -\frac{m}{n}$ , решение имеет вид

$$H(x, y, t) = \ell^{-\frac{(x+y)^n}{t}} \cdot t^{\frac{m}{n}} \cdot \left[ C_1^1 \cdot F\left(\frac{m+1}{n}, \frac{1}{n}, \frac{(x+y)^n}{t}\right) + C_2^1 \cdot \frac{(x+y)^{n-1}}{t^{\frac{n-1}{n}}} \cdot F\left(\frac{m+n}{n}, \frac{2n-1}{n}, \frac{(x+y)^n}{t}\right) \right] \quad (2.2.29)$$

где  $C_1^0$ ,  $C_2^0$  и  $C_1^1$ ,  $C_2^1$  - произвольные постоянные определяемые согласно начально-граничным условиям (2.2.2),  $F$  - вырожденные гипергеометрические функции.

## 2. Покажем решение уравнения с помощью степенного ряда.

Рассмотрим уравнение (2.2.7) т.е.

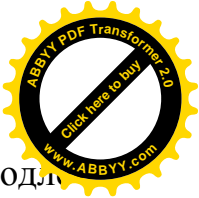
$$z^2 \cdot f''(z) + (az+b) \cdot f'(z) + c \cdot f(z) = 0 \quad (2.2.30)$$

где

$$a = \frac{2n-2m-1}{n}; \quad b = -\frac{1}{3n^2}; \quad c = \frac{m(m-n+1)}{n^2}. \quad (2.2.31)$$

Решение данного уравнения ищем в виде следующего ряда

$$f(z) = \sum_{i=0}^{\infty} C_i z^{i+\sigma} \quad (2.2.32)$$



где  $C_i$  - коэффициенты ряда и  $\sigma$  - параметр они неизвестные величины подлежащие к определению.

Находим

$$f'(z) = \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i + \sigma) z^{i+\sigma-1}$$

$$f''(z) = \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i + \sigma)(i + \sigma - 1) z^{i+\sigma-2} \quad (2.2.33)$$

Подставляя функции (2.2.32) и (2.2.33) в уравнение (2.2.30) после несложных преобразований получим

$$\sum_{i=0}^{\infty} C_i (i + \sigma)(i + \sigma - 1) z^{i+\sigma} + a \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i (i + \sigma) z^{i+\sigma} + b \cdot C_0 \cdot \sigma \cdot z^{\sigma-1} +$$

$$+ b \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_{i+1} (i + \sigma + 1) \cdot z^{i+\sigma} + c \cdot \sum_{i=0}^{\infty} C_i \cdot z^{i+\sigma} = 0 \quad (2.2.34)$$

Потребуем, чтобы

$$b \cdot C_0 \cdot \sigma \cdot z^{\sigma-1} = 0 \quad (2.2.35)$$

$$\text{где } b \neq 0, \quad C_0 \neq 0, \text{ следовательно } \sigma = 0. \quad (2.2.36)$$

Учитывая значение  $\sigma = 0$  из соотношения (2.2.34) получим рекуррентную формулу для определения коэффициентов ряда (2.2.32)

$$C_{i+1} = -\frac{i(i-1) + ai + c}{b(i+1)} \cdot C_i \quad (2.2.37)$$

Учитывая обозначения (2.2.31) из формулы (2.2.37) получим

$$C_{i+1} = 3 \cdot \frac{ni[n(i-1) + 2n - 2m - 1] + m(m-n+1)}{i+1} \cdot C_i \quad (2.2.38)$$

Как видно, полагая  $C_0 \neq 0, \quad C_0 = 1$

при  $i = 0$  имеем

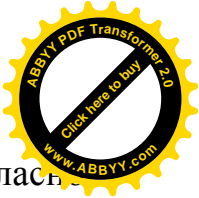
$$C_1 = 3m(m-n+1)$$

при  $i = 1$  имеем

$$C_2 = \frac{n(n-1) + (n-m)(n-2m)}{2} \cdot 3m(m-n+1) \quad \text{и т.д.}$$

Тогда частное решение уравнения (30) можно записать в виде функции

$$f(z) = A \sum_{i=0}^{\infty} C_i \cdot z^i \quad (2.2.39)$$



где  $A$  произвольное постоянное, коэффициенты  $C_i$  определяются согласно рекуррентной формуле (2.2.38) или (2.2.37).

Подставляя функцию (2.2.39) в формулу (2.2.3) получим частное решение исходного уравнения (2.2.1) в виде функции

$$H(x, y, t) = (x + y)^m A \sum_{i=0}^{\infty} C_i \cdot \left( \frac{t}{(x + y)^n} \right)^i \quad (2.2.40)$$

где  $A$  произвольное постоянное определяемое согласно граничными условиями (2.2.2), коэффициенты  $C_i$  определяется рекуррентной формулой (2.2.38).

### 3. Частное решение задачи нестационарной трехмерной фильтрации в однородно-анизотропной среде с помощью ряда

Как известно, краевая задача нестационарной пространственной фильтрации в однородно-анизотропном грунте описывается уравнением в частных производных второго порядка:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ k_1 \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ k_2 \frac{\partial H}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ k_3 \frac{\partial H}{\partial z} \right] = \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2.2.41)$$

при следующих начально-краевых условиях:

$$\begin{aligned} H(x, y, z, t)|_{t=0} &= H_0(x, y, z) & 0 \leq t \leq T \\ H(x, y, z, t)|_{x=N_0} &= H_{01}(t, y, z) \\ H(x, y, z, t)|_{x=N_1} &= H_{11}(t, y, z) \\ H(x, y, z, t)|_{y=N'_0} &= H_{02}(x, t, z) \\ H(x, y, z, t)|_{y=N'_1} &= H_{12}(x, t, z) \\ H(x, y, z, t)|_{z=N''_0} &= H_{03}(x, y, t) \\ H(x, y, z, t)|_{z=N''_1} &= H_{13}(x, y, t) \\ N_0 \leq x \leq N_1 & \quad N'_0 \leq y \leq N'_1 \quad N''_0 \leq z \leq N''_1 \end{aligned} \quad (2.2.42)$$

где  $H(x, y, z, t)$  – искомая функция напора,  $K_1, K_2, K_3$  - коэффициенты фильтрации, грунт считается однородно-анизотропным ( $K_1 \neq K_2 \neq K_3 = const$ ).

Рассмотрим исходную задачу (2.2.41)-(2.2.42). Для решения применим следующий подход и ищем функцию напора жидкости в виде:

$$H(x, y, z, t) = \tau^m \cdot f(\tau), \quad \tau = \frac{t}{(x + y + z)^2} \quad (2.2.43)$$

здесь  $m$ - показатель автомодельности.



Сначала находим производную по времени и производные по X:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\tau^m}{(x+y+z)^2} \cdot \left[ \frac{m}{\tau} f(\tau) + f'(\tau) \right] \quad (2.2.44)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{2t \cdot \tau^m}{(x+y+z)^3} \cdot \left[ \frac{m}{\tau} f(\tau) + f'(\tau) \right] \quad (2.2.45)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = & m(m-1)\tau^{m-2}\tau^2 \frac{4}{(x+y+z)^2} f(\tau) + m\tau^{m-1}\tau \frac{6}{(x+y+z)^2} f(\tau) + m\tau^{m-1}\tau^2 \frac{4}{(x+y+z)^2} f'(\tau) + \\ & + m\tau^{m-1}\tau^2 \frac{4}{(x+y+z)^2} f'(\tau) + \tau^m\tau \frac{6}{(x+y+z)^2} f'(\tau) + \tau^m\tau^2 \frac{4}{(x+y+z)^2} f''(\tau) \\ \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = & \frac{4\tau^m}{(x+y+z)^2} \left[ \tau^2 f''(\tau) + (2m + \frac{3}{2}) \cdot \tau \cdot f'(\tau) + m(m + \frac{1}{2}) f(\tau) \right] \end{aligned} \quad (2.2.46)$$

Аналогичным образом находятся  $\partial H/\partial y$ ,  $\partial H/\partial z$ ,  $\partial^2 H/\partial y^2$ ,  $\partial^2 H/\partial z^2$ . Подставляя соотношения (2.2.44)-(2.2.46) в исходное уравнение (2.2.41) и после несложных преобразований, получим:

$$\begin{aligned} \tau^2 f''(\tau) + \left[ (2m + \frac{3}{2})\tau - \frac{1}{12(k_1 + k_2 + k_3)} \right] f'(\tau) + \left[ m(m + \frac{1}{2}) - \frac{m}{\tau} \frac{1}{12(k_1 + k_2 + k_3)} \right] f(\tau) = 0 \\ \tau^3 f''(\tau) + \left[ (2m + \frac{3}{2})\tau + k \right] \cdot \tau \cdot f'(\tau) + \left[ m(m + \frac{1}{2}) + mk \right] \cdot f(\tau) = 0 \end{aligned} \quad (2.2.47)$$

где:

$$K = -\frac{1}{12(K_1 + K_2 + K_3)} \quad (2.2.48)$$

Теперь решение уравнения (2.2.47) будем искать в виде следующего ряда:

$$f(\tau) = \sum_{i=0}^{\infty} a_i \cdot \tau^{i+\alpha} \quad (2.2.49)$$

Здесь  $a_0 \neq 0$ ,  $\alpha$  – характеристический показатель, который подлежит определению,  $a_i$  ( $i=1,2,\dots$ ) - неизвестные коэффициенты. Следует отметить, что ряд (2.2.49) является сходящимся. После этого вычислим первую и вторую производные:

$$f'(\tau) = \sum_{i=0}^{\infty} a_i (i + \alpha) \cdot \tau^{i+\alpha-1} \quad (2.2.50)$$

$$f''(\tau) = \sum_{i=0}^{\infty} a_i (i + \alpha)(i + \alpha - 1) \cdot \tau^{i+\alpha-2} \quad (2.2.51)$$

Теперь подставляя значения производных (2.2.50)-(2.2.51) в уравнение (2.2.47), имеем:



$$\sum_{i=0}^{\infty} a_i(i+\alpha)(i+\alpha-1)\tau^{i+\alpha+1} + (2m + \frac{3}{2})\sum_{i=0}^{\infty} a_i(i+\alpha)\tau^{i+\alpha+1} +$$

$$+ k\sum_{i=0}^{\infty} a_i(i+\alpha)\tau^{i+\alpha} + [m(m+\frac{1}{2}) + mk]\sum_{i=0}^{\infty} a_i \cdot \tau^{i+\alpha} = 0 \quad (2.2.52)$$

Далее получим:

$$\sum_{i=0}^{\infty} a_i(i+\alpha)(i+\alpha-1+2m+\frac{2}{3})\tau^{i+\alpha+1} + [k\alpha + m(m+\frac{1}{2}) + mk] \cdot a_0\tau^\alpha +$$

$$+ \sum_{i=0}^{\infty} [k(i+1+\alpha) + m(m+\frac{1}{2}) + mk] \cdot a_{i+1}\tau^{i+\alpha+1} = 0 \quad (2.2.53)$$

Исходя из последнего выражения (2.2.53), сделаем следующие допущения:

$$a_0 \neq 0, \quad a_0 \neq 1, \quad k \cdot \alpha + m(m+\frac{1}{2}) + mk = 0 \quad (2.2.54)$$

Тогда для параметра  $\alpha$  получим определяющее соотношение:

$$\alpha = -\frac{m(m+k+\frac{1}{2})}{k} \quad (2.2.55)$$

Выражение (2.2.55) дает возможность для определения характеристического показателя  $\alpha$ , связанного с показателем автомодельности  $m$  и коэффициентом фильтрации  $K$ , где  $K$  определено соотношением (2.2.48). Учитывая теперь формулы (2.2.54)-(2.2.55), из (2.2.53) получим:

$$(i+\alpha+2m+\frac{1}{2})(i+\alpha) \cdot a_i + [k(i+\alpha+1) + m(m+\frac{1}{2}) + km] \cdot a_{i+1} = 0 \quad (2.2.56)$$

После преобразований из последнего выражения имеем:

$$a_{i+1} = -\frac{(i+\alpha)(i+\alpha+2m+\frac{1}{2})}{k(i+\alpha+m+1) + m(m+\frac{1}{2})} \cdot a_i \quad (2.2.57)$$

Таким образом, мы получили рекуррентную формулу для определения коэффициентов исходного ряда (2.2.49). Тогда решение уравнения (2.2.47) можно представить в следующем виде:

$$f(\tau) = A \cdot \tau^{-\frac{m(m+k+\frac{1}{2})}{k}} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} a'_i \cdot \tau^i \quad (2.2.58)$$

где  $a'_i$  – определяется из рекуррентной формулы (2.2.57),  $A$  – это произвольное постоянное. Подставим найденное значение (2.2.58) в формулу (2.2.42) и окончательно получим:





$$H(x, y, z, t) = \left[ \frac{(x + y + z)^2}{t} \right]^{\frac{m(m+\frac{1}{2})}{k}} \cdot A \cdot \sum_{i=0}^{\infty} a'_i \left[ \frac{t}{(x + y + z)^2} \right]^i \quad (2.2.59)$$

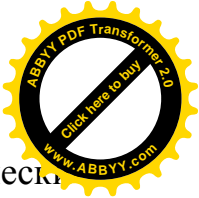
Последнее выражение (2.2.59) представляет собой решение нашего уравнения нестационарной трехмерной фильтрации (2.2.41). Здесь  $a'_i$  – определяется из рекуррентной формулы (2.2.57) и согласно формуле (2.2.56),  $m$ -показатель автомодельности,  $A$  – произвольное постоянное, которое определяется согласно граничных условий задачи (2.2.42). Итак, получены приближенно-аналитические решения нестационарной трехмерной начально-краевой задачи фильтрации вида (2.2.41)-(2.2.42). Они представляют собой, помимо прочего, основу для проверки и сравнения численных решений.

### 2.3 Приближенно-аналитический расчет одномерной инфильтрации жидкости

Итак, под инфильтрационными факторами будем понимать совокупность следующих основных факторов.

*Инфильтрационные факторы* - климатические условия, метеорологические условия, поверхностный сток, сезонное промерзание и оттаивание горных пород и обусловленные и порождаемые ими инфильтрационные процессы в оползневых склонах и процессы влаго- и массопереноса жидкости.

Как известно, данные факторы играют существенную роль в оползневых процессах на территории Кыргызстана, и их также включают во многие научные классификации основных факторов. Они объединены в группу “инфильтрационные факторы” потому, что за счет этих факторов происходит процесс проникновения и впитывания влаги в оползневые массивы, т.е. с точки зрения гидродинамики возникают и происходят инфильтрационные течения в системе “грунт-вода”. Для исследования инфильтрационных факторов формирования и развития оползней применяется теория инфильтрации или влагопереноса жидкости, которая описывает инфильтрационные течения в виде дифференциальных уравнений в частных производных при различных начальных и граничных условиях. Таким образом, теория гидродинамики описывает практически все основные факторы, определяющие движение



жидкости в системе “грунт-вода” и позволяет исследовать их аналитически, численными и приближенно-аналитическими методами подземной гидродинамики. Следовательно, разбивая общеизвестные факторы на фильтрационные и инфильтрационные факторы, мы получаем возможность их исследования методами гидродинамики, моделируя их в виде различных краевых задач. Вычисляя все основные физико-механические характеристики исследуемых природных явлений и процессов, можем получить качественную и количественную картину происходящих процессов в оползневых горных склонах. Данная гидродинамическая классификация удобна тем, что позволяет сразу определить характер происходящих гидродинамических процессов в системе “грунт-вода”, с которой мы сталкиваемся в оползневых склонах.

Рассмотрим следующие задачи. Следует отметить, что влажность грунта (при естественном состоянии и при полном насыщении водой) определяется в результате решения уравнения влагопереноса:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ D(x) \frac{\partial W}{\partial x} \right] + \frac{\partial K(W)}{\partial x} \quad (2.3.1)$$

Для определения фильтрационного процесса используется уравнение нестационарной фильтрации:

$$\frac{\partial H}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left[ K(x) \frac{\partial H(x)}{\partial x} \right] = 0 \quad (2.3.2)$$

Когда среда однородно-изотропная, тогда коэффициент фильтрации является постоянной величиной и этом случае уравнение (2.3.2) примет вид:

$$\frac{\partial H}{\partial t} - K \frac{\partial^2 H(x,t)}{\partial x^2} = 0 \quad (2.3.3)$$

Данное уравнение соответствующими начальными и граничными условиями нами решены аналитически на основании метода автомодельной формы решения дифференциальных уравнений. Тоже самое, можно отметить и для уравнения (2.3.1).

Здесь также для однородно изотропной среды приближенно считается, что

$$D(W) = D_0 = const \quad \text{и} \quad K(W) = K_0 W,$$



тогда уравнение (2.3.1) преобразуется к следующей форме:

$$\frac{\partial W}{\partial t} - D_0 \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - K_0 \frac{\partial W}{\partial x} = 0 \quad (2.3.4)$$

Ниже приведем решения уравнения (2.3.3) при следующих начальных и граничных условиях:

$$\left. \begin{aligned} H(x,t)|_{t=0} &= H_0(x) & 0 \leq x \leq z \\ H(x,t)|_{x=0} &= H_{10}(t) & 0 \leq t \leq T \\ H(x,t)|_{x=z} &= H_{10}(t) & 0 \leq t \leq T \end{aligned} \right\} \quad (2.3.5)$$

Решение начально-краевой задачи (2.3.3) и (2.3.5) будем искать в автомодельной форме:

$$H(x; t) = x^n f(z) \quad (2.3.6)$$

здесь  $z = \frac{t}{x^2}$ ,  $n$  – показатель автомодельности.

Подставляя данное решение в уравнение (2.3.3) и после ряда очевидных преобразований получим:

$$z^2 f''(z) + (m + a_0 z) f'(z) + b_0 f(z) = 0 \quad (2.3.7)$$

где

$$a_0 = -\frac{1}{2}(2n-3); b_0 = \frac{1}{4}n(n-1); \quad m = -\frac{1}{4k}; \quad (2.3.8)$$

С целью дальнейших преобразований полагаем:

$$f(z) = e^{-\xi} \xi^\nu \eta(\xi) \quad \text{где } \xi = z^{-1} \quad (2.3.9)$$

тогда получим:

$$\xi^2 \eta''(\xi) + [(2-m)\xi + 2\nu + 2 - a_0] \xi \cdot \eta'(\xi) + [(1-m)\xi + 2\nu + 2 - a_0 - m\nu] \xi \cdot \eta(\xi) + [\nu^2 + (1-a_0)\nu + b_0] \cdot \eta(\xi) = 0 \quad (2.3.10)$$

Предположим, что выполняется следующее соотношение:

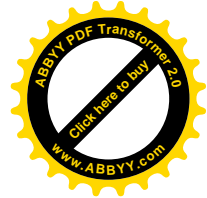
$$\nu^2 + (1 - a_0)\nu + b_0 = 0 \quad (2.3.11)$$

Решение данного уравнения имеет следующий вид:

$$\nu_1 = \frac{1-n}{2}; \quad \nu_2 = -\frac{n}{2} \quad (2.3.12)$$

Согласно соотношению (2.3.11) уравнение (2.3.10) примет вид:

$$\xi \cdot \eta''(\xi) + [2\nu + 2 - a_0 + (2-m)\xi] \cdot \eta'(\xi) + [(1-m)\xi + 2\nu + 2 - a_0 - m\nu] \cdot \eta(\xi) = 0 \quad (2.3.13)$$



Для упрощения полученного уравнения (2.3.13) полагаем, что

$$\eta(\xi) = e^{\frac{m-3}{2}\xi} \cdot U(\xi) \quad (2.3.14)$$

Тогда после некоторых преобразований получим:

$$\xi \cdot U''(\xi) + [2\nu + 2 - a_0 - \xi] \cdot U'(\xi) + \left[ \frac{1-m^2}{4} \xi + \frac{a_0 + m(2-a_0) - 2(\nu-1)}{2} \right] \cdot U(\xi) = 0 \quad (2.3.15)$$

Уравнение (2.3.15) при значениях  $m = \pm 1$ , или тоже самое, что  $k = \pm \frac{1}{4}$ ,

приводится к вырожденному гипергеометрическому уравнению. Однако, принимая во внимание такие физические соображения, что  $K$ , как

коэффициент фильтрации должен быть положительным, т.е., считая  $k = \frac{1}{4}$ ,

принимаем значение  $m = -1$ . Тогда из уравнения (2.3.15) получаем вырожденное гипергеометрическое уравнение следующего вида:

$$\xi \cdot U''(\xi) + [2\nu + 2 - a_0 - \xi] \cdot U'(\xi) + (\nu + 2 - a_0) \cdot U(\xi) = 0 \quad (2.3.16)$$

решениями уравнения (2.3.16) являются следующие функции:

$$U(\xi) = C_1 \cdot \Phi_{11}(q; p; \xi) + C_2 \cdot \xi^{1-p} \Phi_2(q - p + 1; 2 - p; \xi) \quad (2.3.17)$$

здесь

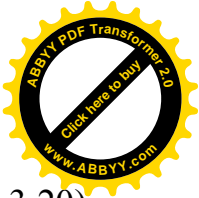
$$p = 2\nu + 2 - a_0 = 2 + n + \frac{1}{2}; \quad q = \nu + 2 - a_0 = \nu + n + \frac{1}{2} \quad (2.3.18)$$

$C_1$  и  $C_2$  – произвольные постоянные;  $\Phi_1(\xi)$  и  $\Phi_2(\xi)$  - вырожденные гипергеометрические функции. Теперь обратимся к корням уравнения (2.3.11). Здесь возможны следующие случаи.

1.  $\nu = \frac{1-n}{2}$ , тогда согласно соотношению (2.3.18) с учетом выражений (2.3.14) и (2.3.17) из формулы (2.3.9) имеем:

$$f(z) = e^{-\frac{1}{z}} \cdot z^{\frac{n}{2}} \left[ C_{02} \cdot \Phi_2\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; z^{-1}\right) + C_{01} \cdot z^{-\frac{1}{2}} \Phi_1\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; z^{-1}\right) \right] \quad (2.2.19)$$

Окончательно получим формулы для функции фильтрационного напора, для чего воспользуемся соотношением (2.3.6), решением (2.3.19), тогда согласно формулы (2.3.6) вытекает следующее решение:



$$H(x;t) = t^{\frac{n}{2}} \cdot e^{-\frac{x^2}{t}} \cdot \left[ C_{02} \cdot \Phi_2\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; \frac{x^2}{t}\right) + C_{01} \cdot \frac{x}{t^{\frac{1}{2}}} \Phi_1\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; \frac{x^2}{t}\right) \right] \quad (2.3.20)$$

2.  $\nu = -\frac{n}{2}$ , тогда окончательно получим:

$$f(z) = e^{-\frac{1}{z}} \cdot z^{\frac{n}{2}} \left[ C_{01} \cdot \Phi_1\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; z^{-1}\right) + C_{02} \cdot z^{-\frac{1}{2}} \Phi_2\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; z^{-1}\right) \right] \quad (2.3.21)$$

$$H(x;t) = t^{\frac{n}{2}} \cdot e^{-\frac{x^2}{t}} \cdot \left[ C_{01} \cdot \Phi_1\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; \frac{x^2}{t}\right) + C_{02} \cdot \frac{x}{t^{\frac{1}{2}}} \Phi_2\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; \frac{x^2}{t}\right) \right] \quad (2.3.22)$$

Сравнивая формулы (2.3.19) с формулой (2.3.21) приходим к выводу, что они почти одинаковые, поэтому считаем, что

$$f(z) = e^{-\frac{1}{z}} \cdot z^{\frac{n}{2}} \left[ C_1 \cdot \Phi_1\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; z^{-1}\right) + C_2 \cdot z^{-\frac{1}{2}} \Phi_2\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; z^{-1}\right) \right] \quad (2.3.23)$$

поступая аналогично образом, получим решение поставленной задачи в следующем окончательном виде:

$$H(x;t) = t^{\frac{n}{2}} \cdot e^{-\frac{x^2}{t}} \cdot \left[ C_1 \cdot \Phi_1\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; \frac{x^2}{t}\right) + C_2 \cdot \frac{x}{t^{\frac{1}{2}}} \Phi_2\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; \frac{x^2}{t}\right) \right] \quad (2.3.24)$$

Очевидно, что задавая различные значения показателя автотомельности, мы сможем получить различные формы для наших функций  $f(z)$  и  $H(x;t)$ .

В диссертационной работе предлагается модель инфильтрации относительно неизвестной функции влажности, которая описывает вертикальный процесс впитывания влаги в грунт и показан разработанный для данного класса инфильтрационных задач приближенно-аналитический метод решения. Рассмотрим процесс впитывания влаги в оползневый массив. Его можно описать квазилинейным дифференциальным уравнением параболического типа второго порядка:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ D(W) \frac{\partial W}{\partial x} \right] + \frac{\partial K(W)}{\partial x} \quad (2.3.25)$$

при следующих начальных и граничных условиях:



$$\begin{aligned}
W(x; t)|_{t=0} &= Q_0(x) \\
W(x; t)|_{x=0} &= Q_0(t) \\
W(x; t)|_{x=h_0} &= Q_1(t)
\end{aligned}
\quad D(W) \frac{\partial W}{\partial x} - K(W) \Big|_{x=h_0} = 0 \quad (2.3.26)$$

Здесь  $W(x; t)$  – искомая функция влажности;  $D(W)$  и  $K(W)$  – соответственно коэффициенты диффузии и влагопроводности и в целом их можно назвать коэффициентами влагопереноса, причем, присутствие в уравнении (2.3.25) коэффициента  $K(W)$  означает что данное одномерное уравнение учитывает как капиллярные, так и гравитационные силы впитывания влаги горным массивом. Если приближенно считать, что:

$$D(W) = D_0 = const; \quad K(W) = K_0 W,$$

тогда исходное уравнение (2.3.25) примет простой вид:

$$\frac{\partial W}{\partial t} - D_0 \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - K_0 \frac{\partial W}{\partial x} = 0 \quad (2.3.27)$$

с соответствующими начальными и граничными условиями, вытекающими из (2.3.26).

Данное уравнение решено различными численными методами, которые, считаем, нет необходимости приводить. Кроме того, оно же решено и аналитически, методом автомодельных решений дифференциальных уравнений в частных производных. Приведем одно из полученных нами автомодельных решений:

$$W(x; t) = x \cdot t^{\frac{n-1}{n}} \cdot e^{\alpha_0 + \beta_0 x - \frac{x^2}{t}} \cdot \left[ C_{01} \cdot \frac{\sqrt{t}}{x} \Phi_1\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; \frac{x^2}{t}\right) + C_{02} \cdot \Phi_2\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; \frac{x^2}{t}\right) \right]$$

Понятно, что здесь, также выбирая различные значения  $n$ - показателя автомодельности, можно легко получить различные частные решения и конкретный явный вид для функции влажности.



## 2.4 Приближенно-аналитический расчет двумерной инфильтрации жидкости

Предварительное изучение оползневых процессов, которые произошли на территории республики, показали, что основными факторами, определяющими развитие и активизацию оползневых явлений, являются процессы насыщения основной массы горных пород влагой как за счет подземных и грунтовых вод, так и за счет выпадения осадков, снеготаяния, поверхностного стока на склонах и т.д. Таким образом, значительное влияние на процессы формирования и активизации оползней Кыргызстана оказывают фильтрационные и инфильтрационные течения жидкости в горных оползневых склонах.

Математически процесс инфильтрации или движение жидкости в ненасыщенных средах можно моделировать относительно функции влажности для плоского случая в виде квазилинейного уравнения:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ D(W) \frac{\partial W}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ D(W) \frac{\partial W}{\partial y} \right] + \frac{\partial K(W)}{\partial y} \quad (2.4.1)$$

начально – краевые условия, налагаемые на искомую функцию влажности  $W(x, y, t)$  имеют вид:

$$W(x, y, t)|_{t=0} = W_0(x, y) \quad 0 \leq t \leq T$$



$$\begin{aligned}
W(x, y, t)|_{x=0} &= f_0(y, t) & 0 \leq x \leq H \\
W(x, y, t)|_{x=h} &= f_h(y, t) \\
W(x, y, t)|_{y=0} &= g_0(x, t) & 0 \leq y \leq H' \\
W(x, y, t)|_{y=h'} &= g_{h'}(x, t)
\end{aligned}
\tag{2.4.2}$$

Здесь  $W(x, y, t)$  - искомая функция влажности,  $D(W)$  - коэффициент диффузивности и диффузии,  $K(W)$  - коэффициент влагопроводности.

Учитывая, что функции  $W(x, y, t)$ ,  $D(W)$ ,  $K(W)$  являются аналитическими, их можно представить в виде ряда, в окрестности точки, где  $W(x, y, t)$  обращается в нуль. Тогда имеем

$$D(W) = D_0 + D_1 W + D_2 W^2 + D_3 W^3 + D_4 W^4 + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} D_i \cdot W^i \tag{2.4.3}$$

Далее функции  $W(x, y, t)$  и  $K(W)$  разлагаем в ряд по малому параметру  $\varepsilon$

в виде

$$W(x, y, t) = W_0(x, y, t) \cdot \varepsilon + W_1(x, y, t) \cdot \varepsilon^2 + W_2(x, y, t) \cdot \varepsilon^3 + W_3(x, y, t) \cdot \varepsilon^4 + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} W_i(x, y, t) \cdot \varepsilon^{i+1} \tag{2.4.4}$$

$$K(W) = K_0 W_0 \cdot \varepsilon + K_1 W_1 \cdot \varepsilon^2 + K_2 W_2 \cdot \varepsilon^3 + K_3 W_3 \cdot \varepsilon^4 + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} K_i W_i \cdot \varepsilon^{i+1} \tag{2.4.5}$$

Подставляя функции (2.4.3), (2.4.4) и (2.4.5) в уравнение (2.4.1), и приравнивая коэффициенты при одинаковых степенях  $\varepsilon^i$ , получаем следующие системы уравнений

$$a) \quad \varepsilon : \frac{\partial W_0}{\partial t} - D_0 \left( \frac{\partial^2 W_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_0}{\partial y^2} \right) - K_0 \frac{\partial W_0}{\partial y} = 0 \tag{2.4.6}$$

$$б) \quad \varepsilon^2 : \frac{\partial W_1}{\partial t} - D_0 \left( \frac{\partial^2 W_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_1}{\partial y^2} \right) - K_1 \frac{\partial W_1}{\partial y} = D_1 \left[ \left( \frac{\partial^2 W_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_0}{\partial y^2} \right) W_0 + \left( \frac{\partial W_0}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial W_0}{\partial y} \right)^2 \right]$$

$$\begin{aligned}
в) \quad \varepsilon^3 : \frac{\partial W_2}{\partial t} - D_0 \left( \frac{\partial^2 W_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_2}{\partial y^2} \right) - K_2 \frac{\partial W_2}{\partial y} &= D_1 \left[ \left( \frac{\partial^2 W_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_0}{\partial y^2} \right) W_1 + \left( \frac{\partial^2 W_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_1}{\partial y^2} \right) W_0 \right. \\
&+ 2 \left( \frac{\partial W_0}{\partial x} \cdot \frac{\partial W_1}{\partial x} + \frac{\partial W_0}{\partial y} \cdot \frac{\partial W_1}{\partial y} \right) \left. \right] + D_2 \left[ \left( \frac{\partial^2 W_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_0}{\partial y^2} \right) W_0^2 + 2 \left( \left( \frac{\partial W_0}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial W_0}{\partial y} \right)^2 \right) W_0 \right]
\end{aligned}$$





$$\begin{aligned}
\Gamma) \quad \varepsilon^4 : & \frac{\partial W_3}{\partial t} - D_0 \left( \frac{\partial^2 W_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_3}{\partial y^2} \right) - K_3 \frac{\partial W_3}{\partial y} = D_1 \left[ \left( \frac{\partial^2 W_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_2}{\partial y^2} \right) W_0 + \left( \frac{\partial^2 W_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_1}{\partial y^2} \right) W_1 + \right. \\
& \left. + \left( \frac{\partial^2 W_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_0}{\partial y^2} \right) W_1 + 2 \left( \frac{\partial W_0}{\partial x} \cdot \frac{\partial W_2}{\partial x} + \frac{\partial W_0}{\partial y} \cdot \frac{\partial W_2}{\partial y} \right) + \left( \left( \frac{\partial W_1}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial W_1}{\partial y} \right)^2 \right) \right] + \\
& + D_2 \left[ \left( \frac{\partial^2 W_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_1}{\partial y^2} \right) W_0^2 + 2 \left( \frac{\partial^2 W_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_0}{\partial y^2} \right) \cdot W_0 \cdot W_1 + 4 \left( \frac{\partial W_0}{\partial x} \cdot \frac{\partial W_1}{\partial x} + \frac{\partial W_0}{\partial y} \cdot \frac{\partial W_1}{\partial y} \right) W_0 + \right. \\
& \left. + 2 \left( \left( \frac{\partial W_0}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial W_0}{\partial y} \right)^2 \right) \cdot W_1 \right] + D_3 \left[ \left( \frac{\partial^2 W_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_0}{\partial y^2} \right) W_0^3 + 3 \left( \left( \frac{\partial W_0}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial W_0}{\partial y} \right)^2 \right) \cdot W_0^2 \right].
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
n) \quad \varepsilon^{n+1} : & \frac{\partial W_n}{\partial t} - D_0 \left( \frac{\partial^2 W_n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_n}{\partial y^2} \right) - K_n \frac{\partial W_n}{\partial y} = G \left[ W_0, W_1, \dots, W_{n-1}; D_1, D_2, \dots, D_{n-1}; \frac{\partial W_0}{\partial x}, \frac{\partial W_1}{\partial x}, \dots, \frac{\partial W_{n-1}}{\partial x}; \right. \\
& \left. \frac{\partial^2 W_0}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 W_1}{\partial x^2}, \dots, \frac{\partial^2 W_{n-1}}{\partial x^2}, \frac{\partial W_0}{\partial y}, \frac{\partial W_1}{\partial y}, \dots, \frac{\partial W_{n-1}}{\partial y}, \frac{\partial^2 W_0}{\partial y^2}, \frac{\partial^2 W_1}{\partial y^2}, \dots, \frac{\partial^2 W_{n-1}}{\partial y^2}, \frac{\partial W_0}{\partial x} \cdot \frac{\partial W_1}{\partial x} + \frac{\partial W_0}{\partial y} \cdot \frac{\partial W_1}{\partial y}, \right. \\
& \left. \frac{\partial W_0}{\partial x} \cdot \frac{\partial W_2}{\partial x} + \frac{\partial W_0}{\partial y} \cdot \frac{\partial W_2}{\partial y}, \dots, \frac{\partial W_0}{\partial x} \cdot \frac{\partial W_{n-2}}{\partial x} + \frac{\partial W_0}{\partial y} \cdot \frac{\partial W_{n-2}}{\partial y} \right]
\end{aligned}$$

Соответственно начальные и граничные условия имеют вид

$$\begin{aligned}
& W_0(x, y, t)|_{t=0} = W_{00}(x, y) \quad 0 \leq t \leq T \\
& W_0(x, y, t)|_{x=0} = f_{00}(y, t) \\
a) \quad & W_0(x, y, t)|_{x=h} = f_{0h}(y, t) \quad 0 \leq x \leq H \\
& W_0(x, y, t)|_{y=0} = g_{00}(x, t) \\
& W_0(x, y, t)|_{y=h'} = g_{0h'}(x, t) \quad 0 \leq y \leq H'
\end{aligned} \tag{2.4.7}$$

$$\begin{aligned}
& W_1(x, y, t)|_{t=0} = W_{01}(x, y) \quad 0 \leq t \leq T \\
& W_1(x, y, t)|_{x=0} = f_{01}(y, t) \\
& W_1(x, y, t)|_{x=h} = f_{1h}(y, t) \quad 0 \leq x \leq H \\
б) \quad & W_1(x, y, t)|_{y=0} = g_{01}(x, t) \\
& W_1(x, y, t)|_{x=h'} = f_{1h'}(x, t) \quad 0 \leq y \leq H'
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
W_2(x, y, t)|_{t=0} &= W_{02}(x, y) & 0 \leq t \leq T \\
W_2(x, y, t)|_{x=0} &= f_{02}(y, t) \\
W_2(x, y, t)|_{x=h} &= f_{2h}(y, t) & 0 \leq x \leq H \\
\text{В)} \quad W_2(x, y, t)|_{y=0} &= g_{02}(x, t) \\
W_2(x, y, t)|_{x=h'} &= f_{2h'}(x, t) & 0 \leq y \leq H'
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_3(x, y, t)|_{t=0} &= W_{03}(x, y) & 0 \leq t \leq T \\
W_3(x, y, t)|_{x=0} &= f_{03}(y, t) \\
\text{Д)} \quad W_3(x, y, t)|_{x=h} &= f_{3h}(y, t) & 0 \leq x \leq H \\
W_3(x, y, t)|_{y=0} &= g_{03}(x, t) \\
W_3(x, y, t)|_{x=h'} &= f_{3h'}(x, t) & 0 \leq y \leq H'
\end{aligned}$$

.....

$$\begin{aligned}
W_n(x, y, t)|_{t=0} &= W_{0n}(x, y) & 0 \leq t \leq T \\
W_n(x, y, t)|_{x=0} &= f_{0n}(y, t) \\
\text{п)} \quad W_n(x, y, t)|_{x=h} &= f_{nh}(y, t) & 0 \leq x \leq H \\
W_n(x, y, t)|_{y=0} &= g_{0n}(x, t) \\
W_n(x, y, t)|_{x=h'} &= f_{nh'}(x, t) & 0 \leq y \leq H'
\end{aligned}$$

Рассмотрим первое уравнение системы (2.4.6), так называемое уравнение нулевого приближения т.е

$$\frac{\partial W_0}{\partial t} - D_0 \left( \frac{\partial^2 W_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_0}{\partial y^2} \right) + K_0 \frac{\partial W_0}{\partial y} = 0 \tag{2.4.8}$$

при начально – краевых условиях

$$\begin{aligned}
W_0(x, y, t)|_{t=0} &= W_{00}(x, y) & 0 \leq t \leq T \\
W_0(x, y, t)|_{x=0} &= f_{00}(y, t) \\
W_0(x, y, t)|_{x=h} &= f_{0h}(y, t) & 0 \leq x \leq H \\
W_0(x, y, t)|_{y=0} &= g_{00}(x, t) \\
W_0(x, y, t)|_{y=h'} &= g_{0h'}(x, t) & 0 \leq y \leq H'
\end{aligned} \tag{2.4.9}$$

Решение начально – краевой задачи (2.4.8) – (2.4.9) ищем в автомодельной форме в виде функции

$$W(x, y, t) = (x + y + t)^m \cdot f(z) \text{ где } z = \frac{1}{(x + y + t)^n} \tag{2.4.10}$$



Здесь  $m$  – показатель автомодельности. Находим частные производные

$\frac{\partial W_0}{\partial t}, \frac{\partial^2 W_0}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 W_0}{\partial y^2}$  и подставляя их в уравнение (2.4.8), после ряда несложных

преобразований получим уравнение в следующего вида:

$$f''(z) + \left[ \frac{n-2m+1}{n} - \frac{K_0-1}{2D_0 n} \cdot z^{-\frac{1}{n}} \right] \cdot z^{-n} \cdot f'(z) + \left[ \frac{m(m-1)}{n^2} - \frac{m(K_0-1)}{2D_0 n^2} \cdot z^{-\frac{1}{n}} \right] \cdot \frac{1}{z^{2n}} f(z) = 0 \quad (2.4.11)$$

Полагая в уравнении (2.4.11)  $n=1$  получим

$$z^3 f''(z) + \left[ 2(1-m) \cdot z + \frac{K_0-1}{2D_0} \right] \cdot z \cdot f'(z) + \left[ m(m-1)z + \frac{m(K_0-1)}{2D_0} \right] f(z) = 0 \quad (2.4.12)$$

Введем обозначения

$$a = 2(1-m); b = \frac{K_0-1}{2D_0}; c = m(m-1); d = \frac{m(K_0-1)}{2D_0} \quad (2.4.13)$$

Тогда уравнение (2.4.12) запишется в виде:

$$z^3 f''(z) + (az + b) \cdot z \cdot f'(z) + (cz + d) f(z) = 0 \quad (2.4.14)$$

Это уравнение вида 2.310а (см. Камке стр.436).

Полагая  $f(z) = z^K \cdot U(z)$  где  $K = -\frac{d}{b} = -m$  т.е.

$$f(z) = z^{-m} \cdot U(z) \quad (2.4.15)$$

Получим из уравнения (2.4.14) следующее уравнение

$$z^3 U''(z) + [(a-2m) \cdot z + b] \cdot z \cdot U'(z) + [(m(m+1) - ma + c) \cdot z + (d - bm)] U(z) = 0 \quad (2.4.16)$$

Как видно  $d - bm = 0$ , то из последнего уравнения получим уравнения вида

$$z^2 U''(z) + [(a-2m) \cdot z + b] \cdot U'(z) + [-m(a-m-1) + c] U(z) = 0 \quad (2.4.17)$$

Далее для дальнейшего упрощения полагаем

$$U(z) = e^{\xi} \xi^{\nu} \eta(\xi) \quad \text{где } \xi = Z^{-1} \quad (2.4.18)$$

Тогда из уравнения (2.4.17) получим уравнение:

$$\xi^2 \eta''(\xi) + [(2-b)\xi + (2\nu+2-a)] \xi \cdot \eta'(\xi) + [(1-b)\xi + 2\nu+2-a-b\nu] \xi \cdot \eta(\xi) + [\nu^2 + (1-a)\nu + c] \cdot \eta(\xi) = 0 \quad (2.4.19)$$

Последнем уравнении потребуем, чтобы

$$\nu^2 + (1-a)\nu + c = 0 \quad (2.4.20)$$

Учитывая обозначения из уравнения (2.4.20) получим

$$\nu^2 + (2m-1)\nu + m(m-1) = 0 \quad (2.4.21)$$



Корнями которого будут

$$v_1 = 1 - m; \quad v_2 = -m \quad (2.4.22)$$

Учитывая уравнение (2.4.20) из уравнения (2.4.19) получим

$$\xi \cdot \eta''(\xi) + [(2 - b)\xi + (2\nu + 2 - a)] \cdot \eta'(\xi) + [(1 - b)\xi + (2\nu + 2 - a - b\nu)] \cdot \eta(\xi) = 0 \quad (2.4.23)$$

Для упрощения уравнения (2.4.23) полагаем, что

$$\eta(\xi) = e^{\frac{b-3}{2}\xi} \cdot \varphi(\xi) \quad (2.4.24)$$

Подставляя функцию (2.4.24) в уравнение (2.4.23) после преобразования получаем:

$$\xi \cdot \varphi''(\xi) + [(2\nu + 2 - a) - \xi] \cdot \varphi'(\xi) + \left[ \frac{1-b^2}{4} \xi + \frac{a+b(2-a)-2(\nu+1)}{2} \right] \cdot \varphi(\xi) = 0 \quad (2.4.25)$$

В последнем уравнении во избежание громоздких вычислений связываем коэффициенты теплопроводности и диффузивности соотношением  $K_0 = 1 - 2D_0$  это вполне соответствует физическому толкованию, следовательно  $b = -1$ .

Тогда из последнего уравнения получаем

$$\xi \cdot \varphi''(\xi) + [(2\nu + 2 - a) - \xi] \cdot \varphi'(\xi) + (\nu + 2 - a) \cdot \varphi(\xi) = 0 \quad (2.4.26)$$

Введем обозначения

$$p = 2\nu + 2 - a; \quad q = \nu + 2 - a \quad (2.4.27)$$

и из последнего уравнения имеем

$$\xi \cdot \varphi''(\xi) + (p - \xi) \cdot \varphi'(\xi) + q \cdot \varphi(\xi) = 0 \quad (2.4.28)$$

решение которого запишется в виде

$$\varphi(\xi) = A_1 \cdot \Phi_1(q; p; \xi) + A_2 \cdot \xi^{1-p} \Phi_2(q - p + 1; 2 - p; \xi) \quad (2.4.29)$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – произвольные постоянные;  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  - вырожденные гипергеометрические функции. Подставляя функцию (2.4.29) в формулу (2.4.24) найдем.

$$\eta(\xi) = e^{-2\xi} \cdot [A_1 \cdot \Phi_1(q; p; \xi) + A_2 \cdot \xi^{1-p} \Phi_2(q - p + 1; 2 - p; \xi)] \quad (2.4.30)$$

где  $\xi = Z^{-1}$ . Далее подставляя функцию (2.4.30) в соотношение (2.4.18) получаем функцию



$$U(z) = e^{-\frac{1}{z}} \cdot z^{-\nu} \left[ A_1 \cdot \Phi_1(q; p; z^{-1}) + A_2 \cdot z^{p-1} \Phi_2(q-p+1; 2-p; z^{-1}) \right] \quad (2.4.31)$$

Теперь подставляя функцию (2.4.31) в формулу (2.4.15) найдем решение уравнение (2.4.14)

$$f(z) = e^{-\frac{1}{z}} \cdot z^{-\nu-m} \left[ A_1 \cdot \Phi_1(q; p; z^{-1}) + A_2 \cdot z^{p-1} \Phi_2(q-p+1; 2-p; z^{-1}) \right] \quad (2.4.32)$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – произвольные постоянные;  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  - вырожденные гипергеометрические функции;  $m$ - показатель автомодельности;  $\nu$  - определяется по формуле (2.4.22),  $p$  и  $q$  – определяются формулой (2.4.27).

Теперь учитывая корни  $\nu_1 = 1 - m$ ;  $\nu_2 = -m$  определяем параметры  $p$  и  $q$

$$\text{при } \nu_1 = 1 - m; \quad q_1 = 1 + m, \quad p_1 = 2$$

$$\text{при } \nu_2 = -m; \quad q_2 = m, \quad p_2 = 0$$

Как видно, при  $\nu = -m$ , второй параметр  $p = 0$ . Это означает, что при  $\nu = -m$ , решение уравнения не существует. При  $\nu = 1 - m$ , второй параметр  $p = 2$  целое число. Тогда согласно теории вырожденных гипергеометрических функций (см. Бейтмен Т., Эрдейн А. Высшие трансцендентные функции., т.1-2. М., «Наука») следует, что если второй параметр вырожденной гипергеометрической функции т.е.  $p$  – является целым числом то гипергеометрическая функция  $\Phi$  дает лишь одно решение вырожденного гипергеометрического уравнения, следовательно второго решения не существует.

По этому, ввиду целочисленности параметра  $p=2$  ограничимся только первым решением, которое запишется в виде

$$f(z) = e^{-\frac{1}{z}} \cdot z^{-\nu-m} A_1 \cdot \Phi(1 - m; 2; z^{-1}) \quad (2.4.33)$$

где  $A_1$  – произвольная постоянная.

Подставляя функцию (2.4.33) в соотношение (2.4.10) получим решение уравнение (2.4.8), окончательно в виде функции

$$W_0(x, y, t) = A e^{-(x+y+t)} \cdot (x + y + t)^{1+m} \cdot \Phi(1 + m; 2; (x + y + t)) \quad (2.4.34)$$

где  $A$  – произвольная постоянная, определяемая согласно начально – краевых условий (2.4.2),  $\Phi$  - вырожденная гипергеометрическая функция.



## Основные выводы к главе 2

1. Рассмотрена краевая задача стационарной фильтрации жидкости в различных грунтовых средах в двухмерной постановке. Предложены аналитические методы решения и найдены частные решения задач фильтрации жидкости.
2. Далее формулируется краевая задача стационарной фильтрации в пространственной постановке для различных по строению горных склонов. Найдены аналитические решения фильтрационных задач и определены основные характеристики фильтрационных течений в нескальных оползневых склонах.
3. Следующий рассматриваемый класс гидродинамических процессов в оползневых склонах – нестационарные течения жидкости при различном строении грунта. На основе разработанного приближенно-аналитического метода сначала решаются нестационарные начально-краевые задачи фильтрации жидкости в плоской постановке.
4. Исследуются начально-краевые задачи нестационарной фильтрации жидкости в различных средах в пространственной или трехмерной постановке. С помощью приближенно-аналитического подхода найдены аналитические решения сформулированных задач.
5. В последней части главы исследуются инфильтрационные процессы в оползневых горных склонах, которые могут вызываться такими важными факторами, как метеорологические условия, снеготаяние и т.д. При гидродинамическом анализе оползневых склонов формулируются начально-краевые задачи инфильтрации жидкости при различных физико-механических допущениях. В результате аналитического подхода найдены частные решения инфильтрационных задач относительно искомой функции влажности.
6. Таким образом, на основе гидродинамического анализа основных факторов развития и активизации оползней исследованы все основные классы фильтрационных и инфильтрационных течений жидкости в оползневых склонах. Представлены аналитические расчеты нескольких типов краевых и



начально-краевых задач подземной гидродинамики в различных по своему строению грунтах.

## **ГЛАВА 3. ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПОЛЗНЕЙ В КЫРГЫЗСТАНЕ**

### **3.1 Устойчивость оползневых горных склонов**

Под действием климатических, гидрогеологических, метеорологических, гидрологических условий, стока поверхностных вод, снеготаяния, сезонного оттаивания происходит проникновение влаги или движение жидкости в водопроницаемых оползнеопасных горных склонах. Именно такие гидродинамические процессы являются основными факторами возникновения и развития для оползней внезапного разжижения или гидродинамического разрушения, или, в отдельных случаях, и для других типов оползней. Поэтому наиболее важным и главным является вопрос устойчивости исследуемых оползневых горных склонов.

Естественно, что динамика жидкости влияет на устойчивость грунтовых массивов, приводит их к нарушению равновесного состояния и потере устойчивости, что влечет за собой их последующее оползание, при возможных других сопутствующих или дополнительных условиях или воздействиях.



Как было указано выше, в теории и практике оползневых процессов рассматриваются три возможных случая для основного деформируемого горизонта или линии скольжения оползней. При этом следует, что в двух случаях из трех возможных для линии скольжения оползней, мы наблюдаем непосредственное воздействие гидродинамических течений на устойчивость оползневых склонов. Естественным образом, возникает задача об устойчивости оползневых горных склонов и воздействии на устойчивость гидродинамических процессов.

Можно сформулировать краевую задачу по определению возможного нарушения равновесного состояния оползневых грунтовых массивов, вызванного фильтрационными течениями, учет влияния которых во многих имеющихся методиках расчета устойчивости - отсутствует.

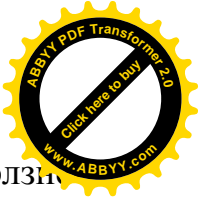
**Расчет устойчивости.** Общеизвестно, что ни одно проектное решение при хозяйственном освоении склонов или строительстве земляных сооружений не принимается без количественной оценки степени устойчивости оползневых склонов и откосов.

На сегодняшний день известно большое количество методов расчета устойчивости склонов, которые учитывают в своих расчетных схемах многообразие типов оползней и используют различные допущения, связанные с формой поверхности скольжения, местоположением областей грунта, находящихся в предельном состоянии, с определением коэффициента устойчивости и т.д. При этом, как правило, проверочные расчеты устойчивости ведутся в условиях плоской задачи.

Приведем следующие методики расчета устойчивости, которые являются наиболее известными и часто применяемыми в практике исследования и прогнозирования оползневых процессов.

1. Метод круглоцилиндрических поверхностей смещения. Данный метод расчета устойчивости предполагает, что смещение массива происходит путем вращения оползневого монолитного тела вокруг центра "О" (рисунок. 3.1. - а). Условием предельного равновесия будет равенство моментов всех дейст-





вующих на оползневое тело сил относительно точки “О”. При этом оползневое тело ABC разбивается на ряд отсеков и с учетом всех объемных масс  $\gamma$  всех слоев, слагающих оползневое тело, вычисляется вес каждого отсека  $P_i$ , который прикладывают к центру линии скольжения  $i$ -го отсека. Далее раскладывая  $P_i$  на составляющие, направленные по радиусу  $N_i$  и по касательной к линии смещения  $T_i$ , составляют уравнение равновесия:

$$\sum T_i \cdot R - \sum N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot R - \sum c_i \cdot l_i \cdot R = 0 \quad (3.1.1)$$

здесь  $R$  - радиус вращения оползневого тела;  $\varphi_i$  и  $c_i$  - угол внутреннего трения и сцепление грунта, выраженные через эффективное напряжение;  $L$  - длина дуги скольжения;  $N_i$  и  $T_i$  вычисляются через измеренные по чертежу значения угла наклона вектора  $T_i$  к горизонту:

$$T_i = P_i \cdot \sin \alpha_i; \quad N_i = P_i \cdot \cos \alpha_i \quad (3.1.2)$$

При этом внутренние силы взаимодействия по вертикальным стенкам отсеков в расчете не учитываются [62], [70], [75], [76], [88]. Коэффициент устойчивости склона определяется соотношением суммы моментов сил, удерживающих оползневое тело, к сумме моментов сил, стремящихся его сдвинуть:

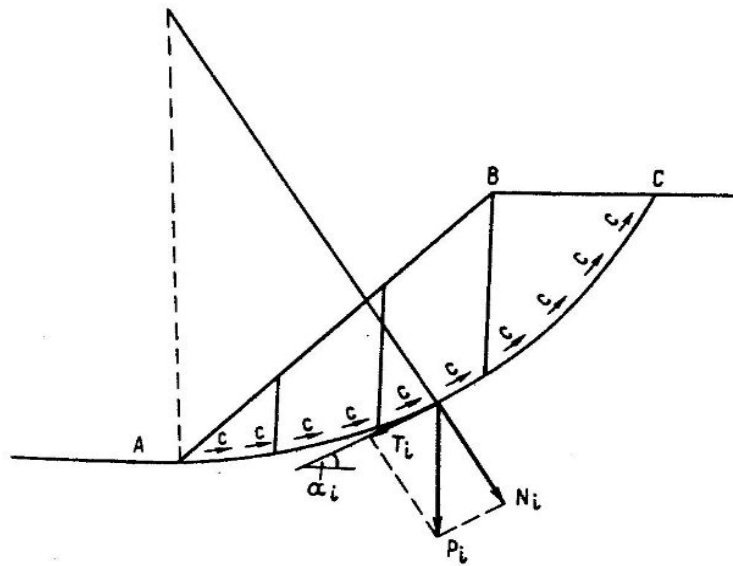
$$K_{ycm} = \frac{\sum M_{y\partial}}{\sum M_{c\partial}} = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^N P_i \cdot \sin \alpha_i} \quad (3.1.3)$$

2. Метод прислоненного откоса. Здесь оползневое тело также разбивается на отсеки, число которых определяется обычно числом прямолинейных отрезков поверхности смещения (см. рисунок 3.1.-б). Рассматривается условие равновесия для  $i$ -го отсека. На вертикальные грани отсека приложены силы оползневого давления  $E_{i-1}$  и  $E_i$ , направленные под углами  $\beta_{i-1}$  и  $\beta_i$  от нормалей к граням отсека. Составляющие веса  $P_i$  определяются аналогично предыдущему методу расчета. Составляются следующие уравнения равновесия путем проекции всех сил на нормаль к основанию отсека и на направление поверхности скольжения:

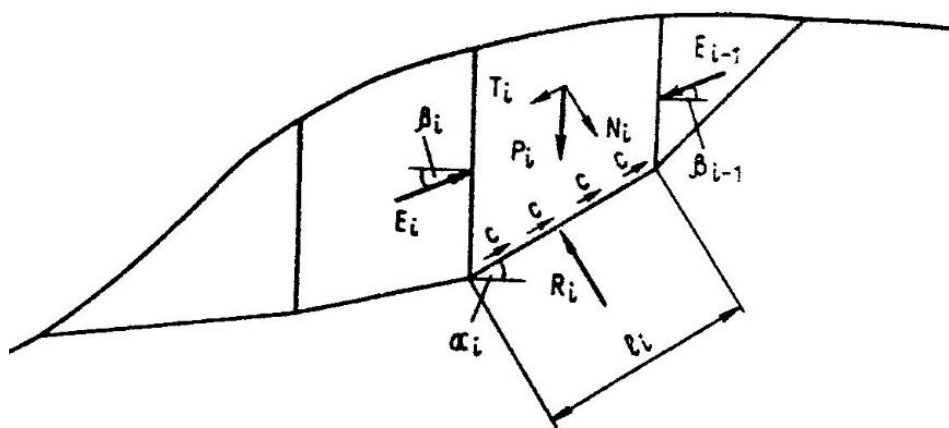
$$R_i = N_i + E_i \cdot \sin(\alpha_i - \beta_i) - E_{i-1} \cdot \sin(\alpha_i - \beta_{i-1}) \quad (3.1.4)$$

$$T_i = c_i \cdot l_i + R_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + E_i \cdot \cos(\alpha_i - \beta_i) - E_{i-1} \cdot \cos(\alpha_i - \beta_{i-1}) \quad (3.1.5)$$

где  $R_i$  - нормальная составляющая реакции основания  $i$  - го отсека. Из этих уравнений находится выражение для определения величины оползневого давления  $E_i$ , умножая величину сдвигающей силы на коэффициент запаса устойчивости, и вычисление оползневых давлений производят последовательно, начиная с верхнего отсека, для которого  $E_{i-1} = 0$ . Коэффициент запаса устойчивости определяют подбором таким образом, чтобы оползневое давление самого нижнего отсека  $E_n = 0$ .



а) метод кругло цилиндрических поверхностей скольжения.



б) метод прислоненного отсека.

**Рисунок 3.1** Схема расчета устойчивости оползневого склона

3. Метод Ю.И. Соловьева. Здесь также склон или откос разбивается на системы вертикальных элементов - схемы отсеков. Считается, что  $N = P \cdot \cos \alpha$



и  $T = \sin \alpha$ . И согласно принципу Лагранжа для возможных перемещений отрезков, коэффициент запаса устойчивости склона определяется следующей формулой ( где  $j_i$  -объемная масса грунта):

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{\sum_{i=1}^N D_i} \quad (3.1.6)$$

$$S_i = P_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + C \cdot b_i \cdot q_i \quad (3.1.7)$$

$$D_i = P_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i$$

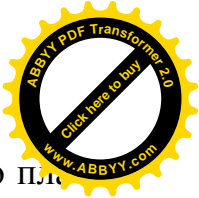
$$P_i = \frac{1}{2} j_i (h_i + h_{i-1}) \cdot b_i; \quad h_i = y_i - y_{i-1} \quad (3.1.8)$$

$$q_i = 1 + \operatorname{tg}^2 \alpha; \quad \operatorname{tg} \alpha_i = \frac{y_i - y_{i-1}}{b_i}$$

К исходной информации вычислений относятся величины:  $y_i$ ,  $y_{i-1}$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ ,  $\operatorname{tg} \varphi$  (при всех значениях  $i$ ). Таким образом, здесь вместо силы  $N_i$  и  $T_i$  учитывается сила давления  $P_i$ . Отсеки (элементы) предполагаются недеформируемыми.

Как отмечено авторами этих методов, результаты расчетов ряда конкретных склонов, полученные на основании численных алгоритмов хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований.

Как утверждают авторы этих приведенных методов, устойчивость склонов во многом определяется условиями их обводнения. Потоки подземных вод оказывают силовое гидродинамическое воздействие и влияют на прочностные показатели пород. Поэтому в данной работе предлагается своя методика расчета устойчивости, основанная на гидродинамическом подходе. В самом общем виде постановка задачи заключается в исследованиях фильтрационных и инфильтрационных процессов в горных породах с учетом их сложного геологического строения. На основе исследования фильтрации формулируется новая задача: требуется определить устойчивость горных склонов на их возможное оползание, так как потоки подземных вод оказывают силовое гидродинамическое воздействие и влияют на прочностные показатели пород.



Разберем действие фильтрационного давления для случая наклонного пласта грунта, залегающего на водоупоре, параллельном поверхности (рис. 3.2). Этот случай благодаря своей простоте позволяет отчетливо представить сущность рассматриваемого вопроса. Кроме того, он имеет и практическое значение, так как весьма часто встречается в задачах об устойчивости оползневых склонов и, в виде одного из допущений, может быть использован в большинстве действительных случаев.

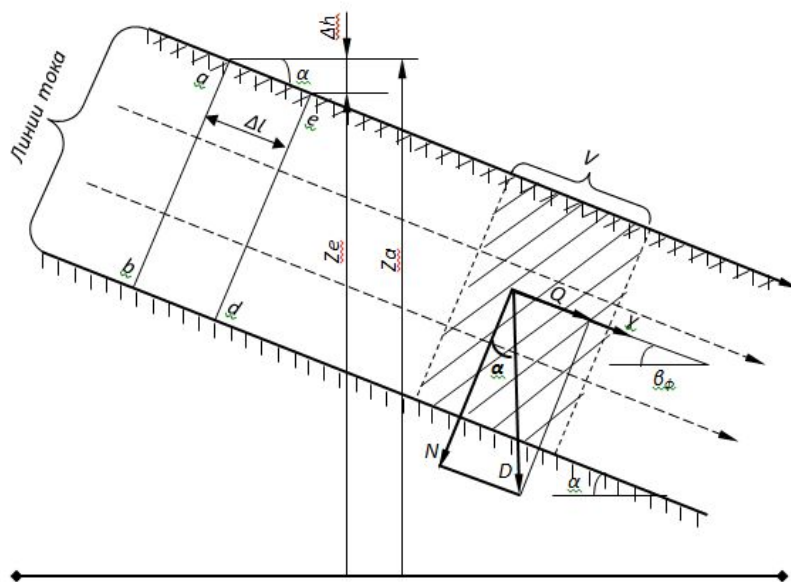
Пусть поры грунта полностью насыщены водой и линии тока воды параллельны поверхности откоса. Соответствующая длина линии тока будет равна:

$$\Delta l = \frac{\Delta h}{\sin \alpha} = \frac{z_a - z_e}{\sin \alpha} \quad (3.1.9)$$

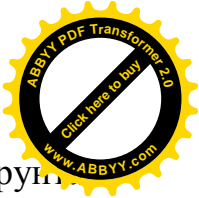
Таким образом, градиент окажется равным:

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{(z_a - z_e) \sin \alpha}{z_a - z_e} = \sin \alpha \quad (3.1.10)$$

Но поскольку принято,  $\alpha = \beta_\phi$ , то  $i = \sin \beta_\phi$ .



**Рисунок 3.2 Наклонный пласт водонасыщенного грунта**



Гидродинамическое (фильтрационное) давление на единицу объема грунта равно градиенту (разности напоров на единицу длины, т.е. объему столба воды), умноженному на удельный вес воды:

$$j_{\text{един.}} = i\gamma_{\omega} = \gamma_{\omega} \sin \beta_{\varphi} \quad (3.1.11)$$

Общее давление на некоторый слой грунта объемом  $V$  будет равно:

$$j = Vj_{\text{един.}} = V\gamma_{\omega} \sin \beta_{\varphi} = V\gamma_{\omega} \sin \alpha \quad (3.1.12)$$

Это давление направлено вдоль линий тока, параллельно поверхности откоса, и является сдвигающей силой.

Пусть поверхностью скольжения является кровля водоупора. Собственный вес грунта в объеме  $V$  с учетом взвешивания будет равен:  $P_C = (\gamma - \gamma_{\omega})V$ .

Сдвигающая составляющая этого веса  $Q$  также направлена вдоль откоса книзу и равна:  $Q = P_C \sin \alpha$ , а нормальная к поверхности скольжения составляющая  $N = P_C \cos \alpha$ . Таким образом:

$$Q = (\gamma - \gamma_{\omega})V \sin \alpha; N = (\gamma - \gamma_{\omega})V \cos \alpha \quad (3.1.13)$$

Общая сдвигающая сила равна  $Q + j$ , а удерживающая сила трения  $T = N \operatorname{tg} \phi$  (если в грунте отсутствует сцепление, в противном случае следует добавить силу  $cL$ ). Коэффициент устойчивости склона для слоя объемом  $V$  будет равен:

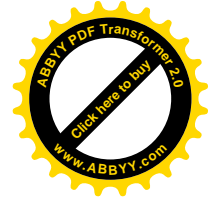
$$\begin{aligned} K_{\text{мып}} &= \frac{Q + j}{N \operatorname{tg} \phi} = \frac{(\gamma - \gamma_{\omega})V \sin \alpha + V\gamma_{\omega} \cdot \sin \alpha}{(\gamma - \gamma_{\omega})V \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi} = \\ &= \frac{\gamma \sin \alpha}{(\gamma - \gamma_{\omega})V \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi} = \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_{\omega}} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \phi} \end{aligned} \quad (3.1.14)$$

При отсутствии фильтрационного и взвешивающего давлений этот коэффициент, был бы равен:

$$K_{\text{мып}} = \frac{Q}{N \operatorname{tg} \phi} = \frac{\gamma V \sin \alpha}{\gamma \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \phi} \quad (3.1.15)$$

Следовательно, при насыщении откоса водой коэффициент устойчивости снижается в  $\frac{\gamma}{\gamma - \gamma_{\omega}}$  раз, то есть во столько раз, во сколько вес скелета грунта

в воздухе больше веса скелета с учетом взвешивания в воде.



### 3.2 Задача расчета устойчивости склона против оползания

Как уже отмечалось, в настоящее время одним из мощных инструментов исследования природных катастрофических процессов, в частности, оползней на территории Кыргызстана являются аналитические методы механики и математической физики. Одним из важных вопросов при изучении оползней является исследование горных склонов на устойчивость в смысле законов механики. На устойчивость склонов существенное влияние оказывают атмосферные осадки и уровень грунтовых вод. Устойчивость склона существенно зависит от взаимного расположения основного деформируемого горизонта (ОДГ или поверхности скольжения) и уровня грунтовых вод. В предыдущем параграфе отмечалось, что устойчивость оползневого склона в механике грунтов характеризуется коэффициентом устойчивости  $K_y$ :

$$K_y = \frac{\sum F_{cd.}}{\sum F_{yd.}}, \quad (3.2.1)$$

где  $F_{cd.}$  - сдвигающие силы, а  $F_{yd.}$  - удерживающие. Будем полагать, что при  $K_y > 1$  склон неустойчив, а при  $K_y < 1$  - устойчив.

К сдвигающим силам здесь будем относить силу тяжести ( $G$ ), гидродинамическое давление жидкости в теле оползня ( $P$ ), а к удерживающим - силу внутреннего трения и силу сцепления, сумму которых обозначим через  $F_r$  и будем называть силой сопротивления сдвигу. Тогда коэффициент устойчивости оползневого склона  $K_y$  можно выразить так:



$$K_y = \frac{G + P}{F_r} \quad (3.2.2)$$

Сила тяжести характеризуется двумя векторами тангенциальным и нормальным составляющими, которые выглядят так:

$$T = G \cdot \sin \alpha, \quad N = G \cdot \cos \alpha, \quad F_r = -K_0 \cdot G \cdot \cos \alpha, \quad K_0 = \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\alpha$  - угол наклона оползневого склона к горизонту;  $K_0$  - коэффициент сдвига, состоящий из суммы коэффициентов внутреннего трения и сцепления.

Из соотношения (3.2.2) следует, что оползневой склон будет устойчивым, если выполняется условие  $P < F_r - G$ . Если имеет место обратное, т.е.  $P > F_r - G$ , то склон будет неустойчивым.

Отметим, что гидродинамическое давление в теле оползня можно определить из уравнения нестационарной фильтрации:

$$\frac{\partial H}{\partial t} - K \cdot \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = 0, \quad (3.2.3)$$

где  $H$  - функция фильтрационного напора;  $K$  - коэффициент фильтрации, причем среда здесь принимается однородно-изотропной.

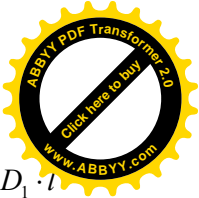
Собственный вес оползневого склона можно определить, решая уравнение влагопереноса:

$$\frac{\partial W}{\partial t} - D_0 \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + K_0 \frac{\partial W}{\partial x} = 0, \quad (3.2.4)$$

где  $W$  - влажность грунта, состоящая из суммы двух видов влажностей - при естественном состоянии и при полном насыщении водой, т.е.  $W = W_{ест.} + W_n$ ;  $D_0$  и  $K_0$  - коэффициенты диффузии и влагопроводности соответственно, которые в целом можно назвать коэффициентами влагопереноса при однородно-изотропной среде.

Тогда коэффициент устойчивости из (3.2.2) будет определяться выражением

$$K_y = \frac{(G_1 + G_2) \cdot \sin \alpha + H_0 \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \cdot \sin \alpha}{(G_1 + G_2) \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad \text{или} \quad K_y = \frac{(G_1 + G_2 + I) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{(G_1 + G_2) \cdot \operatorname{tg} \varphi}, \quad (3.2.5)$$



где  $I = H_0 \cdot \frac{\partial H}{\partial x}$  - сила, связанная с фильтрационным давлением,  $G_1 = \gamma_e \cdot W_e \cdot D_1 \cdot l$

вес естественной (абсолютной) насыщенности грунта,  $G_2 = \gamma_n \cdot W_n \cdot D_2 \cdot l$  - вес при полном насыщении грунта с водой,  $W_e$  - влажность грунта при естественной насыщенности,  $W_n$  - влажность грунта при полном насыщении грунта водой,  $\gamma_e$  - объемный вес рыхлообломочного слоя при естественном насыщении,  $\gamma_n$  - объемный вес при полном насыщении грунта водой,  $D_1, D_2$  - толщины слоев.

В предыдущей главе автором были найдены решения для уравнений влагопереноса (3.2.4) и нестационарной фильтрации (3.2.3):

$$a) W(x, t) = C_1 \cdot \exp\left[\frac{(kx - \lambda t) \cdot (k \cdot k_0 - \lambda)}{D_0 \cdot k^2}\right] + C_2; \quad (3.2.6)$$

$$b) W(x, t) = \frac{D_0 \cdot \lambda}{k_0} \cdot x - \lambda \cdot t_1 + \frac{D_0}{k_0} \cdot C_2 \cdot \exp\left[\frac{k_0 \cdot x}{D_0}\right] + C_1; \quad (3.2.7)$$

$$c) H(x, t) = C_1 + C_2 \cdot \exp\left[-\frac{\lambda}{k \cdot s^2} \cdot (s \cdot x - \lambda \cdot t)\right]; \quad (3.2.8)$$

$$d) H(x, t) = \lambda \cdot t + \frac{\lambda}{k} \cdot \frac{x^2}{2} + C_2 \cdot x + C_1, \quad (3.2.9)$$

где  $k, \lambda, s, C_1, C_2$  - постоянные.

Далее, используя соотношение (3.2.5), можно определить области устойчивости и неустойчивости оползневого склона.

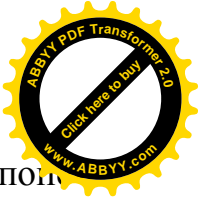
Будем теперь рассматривать задачу о нахождении точного аналитического решения, описывающего движение оползня-потока на основе физической теории мелкой воды.

Для описания движения потока по склону принимаем систему уравнений однослойной мелкой воды, которая в одномерном приближении и в консервативной форме имеет следующий вид [62] :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} = 0, \quad (3.2.10)$$

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 \cos \alpha)}{\partial x} = gh \sin \alpha - \tau_x.$$





Здесь  $t$  - время,  $x$  - координата вдоль склона,  $u(x,t)$  - средняя по поперечному сечению потока скорость вдоль склона,  $h(x,t)$  - высота (мощность) потока, отсчитываемая перпендикулярно поверхности склона,  $\alpha(x)$  - угол наклона склона к горизонту,  $\tau_x$  - проекция силы трения на ось  $x$ .

Сила трения в случае потоков жидкостей имеет следующий вид:

$$\tau = k_g u^2, \quad (3.2.11)$$

где  $k_g$  - коэффициент гидравлического сопротивления.

Для потоков, содержащих глину и камни, потоков типа селей и глинистых растворов рекомендуются для использования формула вида  $\tau = \tau_c + k_g u^2$ , где  $\tau_c$  - величина сухого трения. Для таких потоков справедлива формула  $\tau_c = k_c gh \cos \alpha$ , где  $k_c$  - коэффициент кулоновского трения.

Поэтому выражение для  $\tau_x$  в этом случае принимает вид:

$$\tau_x = k_g u |u| + k_c gh \cos \alpha. \quad (3.2.12)$$

Будем далее рассматривать систему (3.2.10) для модели силы трения (3.2.11), так как в этом случае система (3.2.10) не будет зависеть явно от независимых переменных и допускает точное аналитическое решение типа бегущей волны.

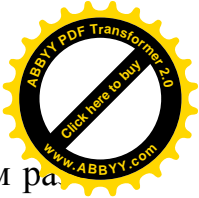
Тогда будем иметь следующую математическую модель:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} = 0, \quad (3.2.13)$$

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial (hu^2 + \frac{1}{2} gh^2 \cos \alpha)}{\partial x} = gh \sin \alpha - k_g \cdot u^2.$$

В настоящей работе для простоты будем принимать, что склон является постоянным по крутизне.

В качестве начальных условий для задачи об интегрировании системы нелинейных уравнений в частных производных первого порядка (3.2.13) будет задание начальных распределений для функций скорости течения и высо-



ты потока  $u(x, t)$  и  $h(x, t)$  на отрезке, малом по сравнению с характерным размером рассматриваемого потока и большим, по сравнению с  $h_0(x, t)$ .

Будем искать решение системы (3.2.13) в форме решения бегущей волны:

$$h = h(x, t) = H(z), u = u(x, t) = U(z), \quad (3.2.14)$$

где  $z = mx - \lambda t$ ;  $m, \lambda = const$ . Здесь величина  $\lambda/m$  играет роль скорости распространения волны ( $\lambda$  может быть любого знака, значение  $\lambda = 0$  отвечает стационарному решению, а значение  $m = 0$  - пространственно-однородному решению) [88]. Решения типа бегущей волны характеризуются тем, что профили этих решений в разные моменты времени получаются друг из друга преобразованием сдвига и можно ввести движущуюся с постоянной скоростью декартову систему координат, в которой профиль искомой величины будет постоянным [88]. При  $\lambda > 0, m > 0$  волна движется вдоль оси  $Ox$  вправо (в сторону увеличения значений  $x$ ).

Поиск решения системы (3.2.13) в форме (3.2.14) производится согласно алгоритму, изложенному в работе [88]. Тогда задача интегрирования системы (3.2.13) сводится к интегрированию следующего нелинейного дифференциального уравнения:

$$H \left[ -\frac{\lambda^2}{k} + \frac{\lambda^2 \cdot (H - C_1) \cdot C_1}{k \cdot H^2} + \frac{\lambda^2 \cdot (H - C_1)}{k^2 \cdot H} + (k \cdot \cos \alpha) \cdot H \right] = g \cdot \cos \alpha - \frac{k_g \cdot \lambda^2 \cdot (H - C_1)^2}{H^2} \quad (3.2.15)$$

Интегрирование уравнения (3.2.15) было проведено с помощью мощного математического пакета MatLab. Общие решения системы (3.2.13) получены в неявном виде в форме бегущих волн:

$$\begin{aligned} z = x - t = & \frac{1}{2} \cdot \frac{h^2 \cdot k^3 \cdot \cos \alpha}{q_1} + \frac{\lambda^2 \cdot h \cdot g \cdot k^2 \cdot \cos \alpha}{q_1^2} - \frac{\lambda^4 \cdot h \cdot (k_g)}{q_1^2} - \frac{\lambda^2 \cdot h \cdot g \cdot k^3 \cdot \cos \alpha}{q_1^2} + \\ & + \frac{\lambda^4 \cdot h \cdot k \cdot k_g}{q_1^2} - \frac{2 \cdot \lambda^2 \cdot h \cdot k^3 \cdot k_g \cdot C_1 \cdot \cos(\alpha)}{q_1^2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda^2 \cdot C_1 \cdot q_3 \cdot g^2 \cdot k^4 \cdot \cos^2 \alpha}{q_1^3} + \frac{\lambda^6 \cdot C_1 \cdot q_3 \cdot (k_g)^2}{2q_1^3} + \\ & + \frac{\lambda^2 \cdot C_1 \cdot q_3 \cdot g^2 \cdot k^5 \cdot \cos^2 \alpha}{2q_1^3} - \frac{\lambda^6 \cdot q_3 \cdot k \cdot (k_g)^2 \cdot C_1}{2q_1^3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda^2 \cdot (C_1)^2 \cdot q_3 \cdot g \cdot k_g \cdot k^5 \cdot \cos^2 \alpha}{q_1^3} + \\ & + \frac{3\lambda^4 \cdot (C_1)^2 \cdot (k_g)^2 \cdot q_3 \cdot k^3 \cdot \cos \alpha}{2q_1^3} + \frac{\lambda \cdot q_2 \cdot g^2 \cdot (\cos^2 \alpha) \cdot k^4 \cdot C_1}{q_1^2 \sqrt{g \cdot k_g \cos \alpha}} - \frac{\lambda^3 \cdot q_2 \cdot g \cdot (\cos \alpha) \cdot k^2 \cdot k_g \cdot C_1}{q_1^2 \sqrt{g \cdot k_g \cos \alpha}} - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{\lambda^3 \cdot C_1 \cdot k_g \cdot q_2 \cdot g \cdot k \cdot \cos \alpha}{q_1^3 \sqrt{g \cdot k_g \cos \alpha}} + \frac{\lambda^5 \cdot q_2 \cdot (k_g)^2 \cdot C_1}{q_1^2 k \sqrt{g \cdot k_g \cos \alpha}} + \frac{2\lambda^3 \cdot q_2 \cdot (\cos \alpha) \cdot k^2 \cdot (k_g)^2 \cdot (C_1)^2}{q_1^2 \sqrt{g \cdot k_g \cos \alpha}} \\
 & - \frac{\lambda^3 \cdot C_1 \cdot k_g \cdot q_2 \cdot g^2 \cdot k^3 \cdot \cos^2 \alpha}{q_1^3 \sqrt{g \cdot k_g \cos \alpha}} + \frac{\lambda^7 \cdot q_2 \cdot (k_g)^3 \cdot C_1}{q_1^3 k \sqrt{g \cdot k_g \cos \alpha}} + \frac{\lambda^3 \cdot q_2 \cdot (\cos^2 \alpha) \cdot k^4 \cdot g^2 \cdot k_g \cdot C_1}{q_1^3 \sqrt{g \cdot k_g \cos \alpha}} \\
 & - \frac{\lambda^7 \cdot C_1 \cdot (k_g)^3 \cdot q_2}{q_1^3 \sqrt{g \cdot k_g \cos \alpha}} + \frac{\lambda^3 \cdot q_2 \cdot (k_g)^2 \cdot k^4 \cdot (C_1)^2 \cdot g \cdot \cos^2 \alpha}{q_1^3 \sqrt{g \cdot k_g \cos \alpha}} + \frac{3\lambda^5 \cdot q_2 \cdot (\cos \alpha) \cdot k^2 \cdot (k_g)^3 \cdot (C_1)^2}{q_1^3 \sqrt{g \cdot k_g \cos \alpha}} + C_2,
 \end{aligned} \tag{3.2.16}$$

где

$$\begin{aligned}
 C_2 &= \text{const}, \quad q_1 = g \cdot k^2 \cdot \cos \alpha - k_g \cdot \lambda^2, \quad q_2 = \text{arth} \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot q_1 \cdot h + 2 \cdot k_g \cdot \lambda^2 \cdot C_1}{\lambda \cdot C_1 \cdot k \cdot \sqrt{g \cdot k_g \cdot \cos \alpha}} \right), \\
 q_3 &= \ln(g \cdot \cos \alpha) \cdot k^2 \cdot h^2 - k_g \cdot \lambda^2 \cdot h^2 + 2 \cdot k_g \cdot \lambda^2 \cdot h \cdot C_1 - k_g \cdot \lambda^2 \cdot (C_1)^2.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 z = x - t &= C_2 + \frac{\lambda^2 \cdot (C_1)^2 \cdot k^3 \cdot \cos \alpha}{2d_1(\lambda - k \cdot u)^2} - \frac{\lambda^3 \cdot g \cdot k^2 \cdot C_1 \cdot \cos \alpha}{d_1^2(\lambda - ku)} - \frac{\lambda^5 \cdot k_g \cdot C_1}{d_1^2(\lambda - ku)} - \frac{\lambda^3 \cdot g \cdot k^3 \cdot C_1 \cdot \cos \alpha}{d_1^2(\lambda - ku)} \\
 & - \frac{\lambda^5 \cdot C_1 \cdot k \cdot k_g}{d_1^2(\lambda - k \cdot u)} - \frac{2 \cdot \lambda^3 \cdot k_g \cdot k^3 \cdot (C_1)^2 \cdot \cos \alpha}{d_1^2(\lambda - ku)} - \frac{\lambda^2 \cdot d_3 \cdot g^2 \cdot (\cos^2 \alpha) \cdot k^4 \cdot C_1}{2 \cdot d_1^3} + \frac{\lambda^6 \cdot d_3 \cdot (k_g)^2 \cdot C_1}{2 \cdot d_1^3} + \\
 & + \frac{\lambda^2 C_1 d_3 g^2 k^5 \cos^2 \alpha}{2 \cdot d_1^3} - \frac{\lambda^6 d_3 (k_g)^2 k \cdot C_1}{2 \cdot d_1^3} + \frac{\lambda^2 d_3 g \cdot (\cos^2 \alpha) \cdot k^5 (C_1)^2 k_g}{2 \cdot d_1^3} + \frac{3\lambda^4 d_3 k^3 (k_g)^2 \cdot (C_1)^2 \cos \alpha}{2 \cdot d_1^3} + \\
 & + \frac{\lambda \cdot C_1 \cdot d_2 \cdot g^2 \cdot k^4 \cdot \cos^2 \alpha}{2 \cdot d_1^3} - \frac{\lambda^3 d_2 g \cdot (\cos \alpha) \cdot k^2 C_1 \cdot k_g}{d_1^2 \sqrt{g k_g \cos \alpha}} - \frac{\lambda^3 \cdot d_2 g k \cdot (k_g) C_1 \cdot \cos \alpha}{d_1^2 \sqrt{g k_g \cos \alpha}} + \\
 & + \frac{\lambda^5 C_1 d_2 (k_g)^2}{d_1^2 \sqrt{g k_g \cos \alpha}} - \frac{2\lambda^3 d_2 (k_g)^2 k^2 \cdot (C_1)^2 \cos \alpha}{d_1^2 \sqrt{g k_g \cos \alpha}} - \frac{\lambda^3 d_2 g^2 \cdot (\cos^2 \alpha) \cdot k^3 C_1 k_g}{d_1^3 \sqrt{g k_g \cos \alpha}} + \frac{\lambda^7 d_2 (k_g)^3 C_1 \cos \alpha}{d_1^3 k \sqrt{g k_g \cos \alpha}} + \\
 & + \frac{\lambda^3 C_1 k^4 d_2 (k_g) g^2 \cos^2 \alpha}{d_1^3 \sqrt{g k_g \cos \alpha}} - \frac{\lambda^7 d_2 (k_g)^3 \cdot (C_1)}{d_1^3 \sqrt{g k_g \cos \alpha}} + \frac{\lambda^3 d_2 g k^4 (C_1)^2 (k_g)^2 \cdot \cos^2 \alpha}{d_1^3 \sqrt{g k_g \cos \alpha}} + \frac{3\lambda^5 d_2 (k_g)^3 k^2 (C_1)^2 \cos \alpha}{d_1^3 \sqrt{g k_g \cos \alpha}}
 \end{aligned} \tag{3.2.17}$$

где

$$\begin{aligned}
 C_2 &= \text{const}, \quad d_1 = g \cdot k^2 \cdot \cos \alpha - (k_g) \cdot \lambda^2, \quad d_2 = \text{arth} \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot \frac{d_1 \cdot C_1 \cdot \lambda}{\lambda - ku} + 2 \cdot k_g \cdot \lambda^2 \cdot C_1}{\lambda \cdot C_1 \cdot k \cdot \sqrt{g \cdot k_g \cdot \cos \alpha}} \right), \\
 d_3 &= \ln \left( \frac{g \cdot k^2 \cdot (C_1)^2 \cdot \lambda^2}{(\lambda - ku)^2} - \frac{\lambda^4 \cdot (C_1)^2 \cdot \lambda^3}{(\lambda - ku)^2} + \frac{2 \cdot k_g \cdot \lambda^3 \cdot (C_1)^2}{\lambda - ku} - k_g \cdot \lambda^2 \cdot (C_1)^2 \right).
 \end{aligned}$$

Таким образом, в неявной форме (3.2.17) мы определили общие решения системы уравнений движения потока (3.2.10) для случая применения силы в виде (3.2.11).



### **3.3 Методы корреляционно-регрессионного и факторного анализа для прогнозирования оползней**

Данный параграф третьей главы посвящен задачам прогнозирования оползневых процессов методами корреляционного и регрессионного анализа.

Рассмотрим задачи исследования и прогнозирования оползней современными методами корреляционно-регрессионного анализа, которые являются важнейшей составной частью математической статистики.

Основным инструментарием выступает прогнозная модель, то есть математическая модель, параметры которой вычисляются и оцениваются методами математической статистики. Данная модель служит средством анализа и прогноза исследуемых конкретных оползневых процессов с использованием реальной статистической информации.

**Корреляционно-регрессионный анализ.** Особое место в математической статистике, как отмечалось выше, занимают методы корреляционного и регрессионного анализа. Они решают следующие основные задачи: во-первых, определение формы связи между эндогенными и экзогенными показателями или факторами прогнозных моделей; во-вторых, позволяют измерять тесноту связи между ними; наконец, в-третьих, анализировать влияние, как всех факторов, так и каждого в отдельности.



Процесс построения и решения прогнозных моделей является достаточно сложным и его можно условно разделить на следующие основные этапы, процедуры или шаги:

1. Определение цели исследования и постановка задачи.
2. Построение системы показателей и логический отбор факторов, наиболее влияющих на каждый показатель.
3. Выбор формы связи изучаемых показателей между собой и отобранными факторами или выбор типа прогнозной модели.
4. Сбор исходной информации и статистических данных, анализ входной информации.
5. Построение прогнозной модели, определение ее параметров.
6. Проверка качества построенной модели, ее адекватности по отношению к изучаемому объекту или процессу, а также достоверности и точности модели.
7. Анализ и интерпретация полученных результатов.
8. Использование построенной модели для анализа и прогнозирования.

В практике построения и применения регрессионных моделей особое значение приобретает построение системы показателей исследуемого объекта или процесса и определение основных факторов, влияющих на каждый выбранный показатель.

Методы корреляционно-регрессионного анализа предъявляют определенные требования к основным факторам, которые входят в прогнозную модель. Приведем некоторые из этих основных правил при построении моделей:

- каждый из факторов, включаемых в регрессионную модель, должен быть обоснован теоретически;
- целесообразно выбирать и включать в модель только важнейшие факторы, которые оказывают существенное влияние на исследуемый объект;



- желательно включать в модель только линейно независимые факторы, так как наличие взаимозависимых факторов вызывает мультиколлинеарность, что отрицательно влияет на качество модели;
- рекомендуется включать в прогнозную модель только такие факторы, которые могут быть определены количественно;
- нельзя включать в одну регрессионную модель совокупный фактор и составляющие его частные факторы, что приводит к неоправданному увеличению его влияния на зависимые показатели модели и искажению объективной реальности.

Рассмотрим теперь основные регрессионные модели, используемые в диссертационной работе. В соответствии с общепринятой классификацией, наши прогнозные модели делятся на линейные и нелинейные, модели парной и множественной регрессии.

Согласно принятым процедурам корреляционно-регрессионного анализа, формулируется постановка задачи по исследованию оползневых процессов, распространенных на территории КР.

В случае парной линейной корреляции математическая модель представляется в следующем виде:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x \quad (3.3.1)$$

где  $y$  - эндогенная переменная (например, количество или частота оползней);  $x$  – экзогенная переменная,  $b_0$  и  $b_1$  - вычисляемые коэффициенты уравнения регрессии.

Следующая регрессионная модель анализирует взаимосвязь результативных признаков с факторными признаками с помощью параболической или квадратичной регрессии вида:

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 \quad (3.3.2)$$

На очередном этапе нашего статистического анализа строятся соответствующие модели, которые основываются на гиперболической регрессии:

$$y = b_0 + b_1 / x \quad (3.3.3)$$



Дальнейшие наши исследования включают в себя анализ на базе уравнения степенной регрессии:

$$y = b_0 x^{b_1} \quad (3.3.4)$$

Процесс корреляционно-регрессионного анализа продолжается построением модели логарифмической регрессии, описываемой уравнением:

$$y = b_0 + b_1 \cdot \lg x \quad (3.3.5)$$

Разработанная в диссертационной работе методика прикладного статистического анализа и прогнозирования завершается построением модели показательной регрессии:

$$y = b_0 \cdot b_1^x \quad (3.3.6)$$

Отметим, что по приведенным регрессионным моделям сначала анализируем ряды проявления оползней, поэтому:  $y$  - эндогенная переменная;  $x = t$  - время (год, полугодие, квартал или месяц). Затем по этим моделям переходим к анализу парной регрессии частоты оползней в зависимости от основных природных факторов или показателей. В заключительной части строим модели множественной регрессии. Таким образом, для корреляционно-регрессионного анализа и прогноза оползней в КР предлагаются шесть типов линейных и нелинейных регрессионных моделей.

#### Методы анализа динамических рядов.

В этой части параграфа рассматривается теория динамических или временных рядов для анализа и прогноза оползней в Кыргызстане. Известно, что в экологических и природных системах происходят динамические процессы, которые проявляются, прежде всего, в виде рядов тех или иных показателей в определенном хронологическом порядке, которые отражают процесс развития исследуемых явлений в целом.

Динамические процессы служат для принятия или отклонения моделей природных, экологических или социально-экономических систем, а также являются основой для разработки прикладных моделей. Как известно, последовательность наблюдений одного показателя, упорядоченных в зависимости от последовательно возрастающих или убывающих значений другого показателя



теля, называется динамическим рядом. Когда в качестве показателя выбирается время, тогда такой динамический ряд называется временным рядом. Кроме того, временные ряды, образованные показателями, характеризующими исследуемые явления, на определенный момент времени, называются моментными рядами. В случае, когда уровни временного ряда образуются путем агрегирования за определенный интервал времени, такие ряды называют интервальными временными рядами. При этом временные ряды могут быть образованы из абсолютных, относительных или из средних значений показателей, которые обозначают как производные ряды.

Итак, цель нашего анализа временных рядов можно сформулировать следующим образом. Выбирается временной ряд (количество или частота проявления оползней) и строится математическая система, которая описывает его поведение. На основе этого проводится прогноз поведения временного ряда.

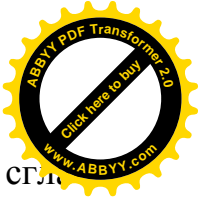
В современном статистическом и эконометрическом анализе разработано большое число методов сглаживания и прогноза временных рядов, как для одномерных, так и для многомерных случаев. Анализ динамических рядов можно разделить на следующие этапы, процедуры или задачи:

- Проверка гипотезы о существовании тенденций.
- Сглаживание временных рядов.
- Анализ кривых роста и выбор формы кривой.
- Экстраполяция трендов и построение прогнозов.

Приведем краткое изложение вышеуказанных четырех процедур и рассмотрим наиболее распространенные методы и модели применительно к перечисленным этапам в отдельности.

*1. Проверка гипотезы о существовании тенденций.* Для процедуры выявления существования трендов, применяются следующие распространенные методы: метод Ирвина, метод проверки разностей средних уровней, метод Фостера – Стюарта.





2. *Сглаживание временных рядов.* Данная процедура относится к сглаживанию исследуемых рядов различных показателей. Приведем наиболее известные методы сглаживания рядов: метод простой скользящей средней, метод взвешенной скользящей средней, метод экспоненциального сглаживания или адаптивная модель Брауна, итерационные методы фильтрации (отсеивания), метод простой средней, метод Персонса, метод Четверикова.

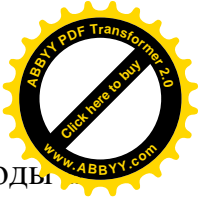
3. *Анализ кривых роста.* Данный раздел теории временных рядов основан на применении методов экстраполяции данных с помощью, так называемых кривых роста, или статистической динамики. Основная цель разработки трендовых моделей заключается в построении прогноза на предстоящий период времени. В статистических и эконометрических исследованиях наиболее часто применяются следующие кривые роста: полиномиальные, экспоненциальные кривые; S-образные кривые. Мы будем использовать полиномиальные кривые.

Отметим, что в специальной литературе имеется большое число методов, которые позволяют выбрать тип кривой, а к наиболее известным методам относятся следующие:

- метод конечных разностей или метод Тинтнера, является одним из самых распространенных методов;
- метод характеристик прироста, является более универсальным для предварительного выбора кривых роста;
- общеизвестный метод наименьших квадратов.

Перейдем к заключительному этапу анализа и прогноза временных рядов исследуемых показателей.

4. *Экстраполяция трендов и построение прогнозов.* Прогнозирование с помощью трендовых моделей основывается на экстраполяции. Как уже отмечалось, под экстраполяцией понимается распространение закономерностей, связей и соотношений, действующих в изучаемом периоде, за его пределы. Итак, в прогнозных моделях отражаются закономерности, наблюдаемые в прошлом и настоящем, и возможен относительно достоверный прогноз



на будущее. В современной теории имеются следующие известные методы модели для анализа и прогнозирования временных рядов: метод Холта; метод двойного сглаживания Брауна; метод адаптивного сглаживания Брауна; метод Бокса-Дженкинса; метод Муира; модель Холта-Винтера; модель Тамара; модели Харрисона и другие. Перейдем теперь к численным результатам.

***Расчет временных рядов проявления и активации оползней.***

Основными моделями для анализа и прогноза динамических рядов будут выступать следующие полиномиальные уравнения:

$$\bar{Y}_t = a_0 + a_1 t \tag{3.3.7}$$

$$\bar{Y}_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 \tag{3.3.8}$$

$$\bar{Y}_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \tag{3.3.9}$$

$$\bar{Y}_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 \tag{3.3.10}$$

$$\bar{Y}_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5 \tag{3.3.11}$$

Здесь  $\bar{Y}_t$  - ряды активизации оползней,  $t$  – временной период, коэффициенты полинома  $a_i$  - вычисляются в ходе анализа.

При прогнозе временных рядов применяются 3-х, 5-ти, 7-ми, 9-ти, 11-ти точечные схемы сглаживания.

Аналогичные вычислительные эксперименты по сглаживанию динамических рядов полиномиальными кривыми проведены для частоты проявления оползней в КР. Как и в случае регрессионного анализа, по численным результатам аппроксимации динамических рядов построены годовые, полугодовые и поквартальные прогнозы.

Формирование и активизация оползневых процессов на юге Кыргызстана определяются сложным геологическим строением склонов, современным движением земной коры, тектоникой, сейсмичностью региона, гидрогеологическими и климатическими условиями, метеорологическими факторами. Многолетние наблюдения за проявлением оползней позволили выявить, что в бассейнах рек Яссы, Кугарт, Кара-Дарья и др., образуются наиболее крупные оползни, причем их активизация характеризуется цикличностью проявления. Периодическая цикличность оползней подразделяется на повторяе-



мость оползневых смещений на одном и том же участке, и на периодичности распределения активизации оползней во времени по региону. При этом, как правило, выделяются периоды разной вероятности оползневых процессов, связанных с периодичностью природных явлений.

Активизация оползневых процессов (до 70%) происходит весной во время затяжных дождей, после обильного снеготаяния и при этом эмпирически была отмечена определенная периодичность количества выпадения осадков и активизации оползней.

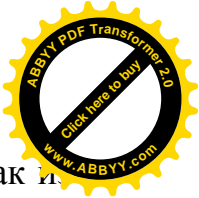
**Анализ данных наблюдений.** При изучении влияния общих признаков явлений на другие из цепи признаков, характеризующих данное явление, выбираются два признака: факториальный и результативный. В нашем случае мы располагаем многолетними данными наблюдений за количеством годовых осадков и количеством происшедших оползней за тот же временной интервал. Следовательно, факториальным признаком мы выбираем количество годовых осадков, а в качестве результирующего фактора - количество оползней. Очевидно, что между этими двумя признаками должна существовать статистическая связь, то есть между ними существует корреляционная зависимость. Данный подход обоснован тем, что атмосферные осадки являются одним из основных факторов возникновения и развития оползней на территории Кыргызстана.

**Бассейн р. Кугарт.** Данные наблюдений за оползнями в бассейне р. Кугарт приведены в таблице 3.1. Нам известны: количество осадков, выпавших в период с 1969 г. по 2002 г. и количество оползней за этот период. Проведем корреляционно-регрессионный анализ по таблице 3.1.

Множество чисел зависимости количества оползней  $Y$  от суммарных осадков  $X$  на плоскости можно аппроксимировать некоторой прямой, называемой уравнением регрессии:

$$Y(x) = A + b \cdot X \quad (3.3.12)$$

где  $A$  и  $b$  - коэффициенты регрессии,  $X$  - независимая случайная величина.



Коэффициенты А и b в общей теории статистики определяются, как известно, методом наименьших квадратов, исходя из условия:

$$Q = \sum_{i=0}^n (Y - A - b \cdot X)^2 = Q_{\min} \quad (3.3.13)$$

По результатам расчетов, выполненных для оползней в бассейне р. Кугарт, получены следующие значения коэффициента корреляции:

$$R_{x,y} = \text{cov}[X, Y] / \delta_x \cdot \delta_y = 0,7316 \quad (3.3.14)$$

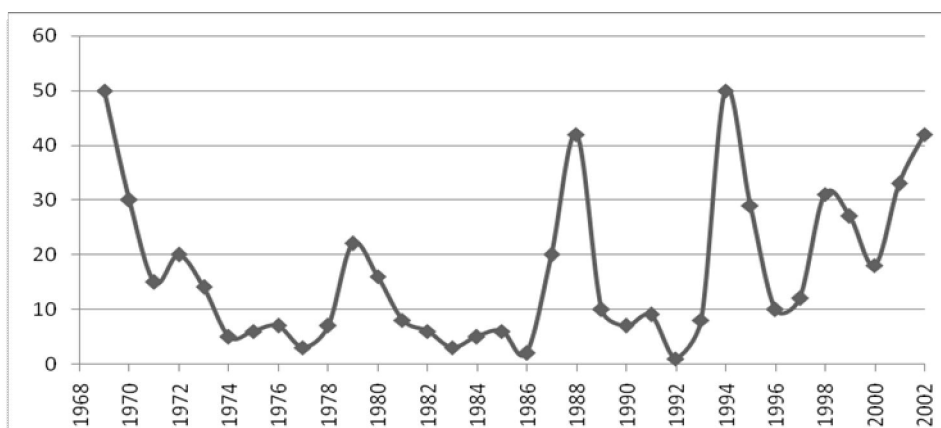
где  $-1 \leq R \leq 1$

$$\text{Cov}[X, Y] = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^n (X_i - X) \cdot (Y_i - Y) \quad (3.3.15)$$

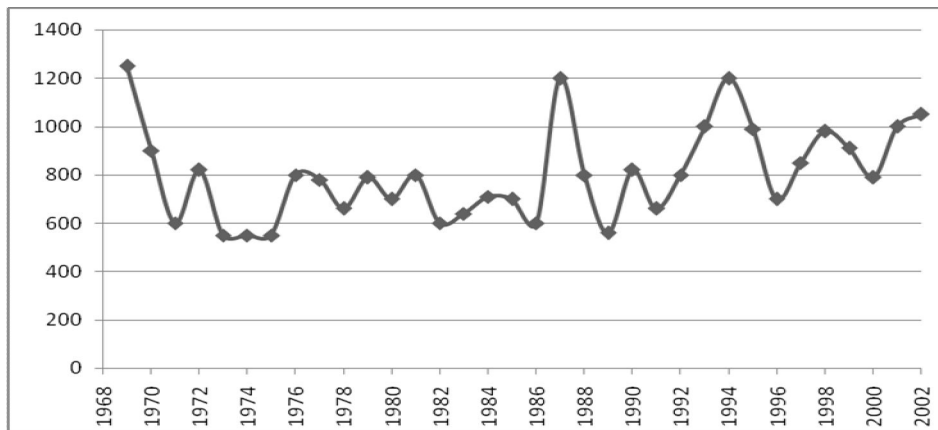
X, Y - средние значения для X, Y; n - количество наблюдений,  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  - дисперсия. Тогда уравнение регрессии будет иметь следующий вид:

$$Y = A + b \cdot X = -25,96 + 0,053 \cdot X \quad (3.3.16)$$

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы: количество оползней участка р. Кугарт имеет тесную корреляционную связь с количеством суммарных годовых осадков. Атмосферные осадки являются основным фактором активизации оползней для данного оползнеопасного участка. На диаграммах 3.1 и 3.2 приведены зависимости количества оползней от годовых осадков и временного периода.



**Диаграмма 3.1** Количество оползней в бассейне р.Кугарт



**Диаграмма 3.2 Количество осадков в бассейне р. Кугарт**

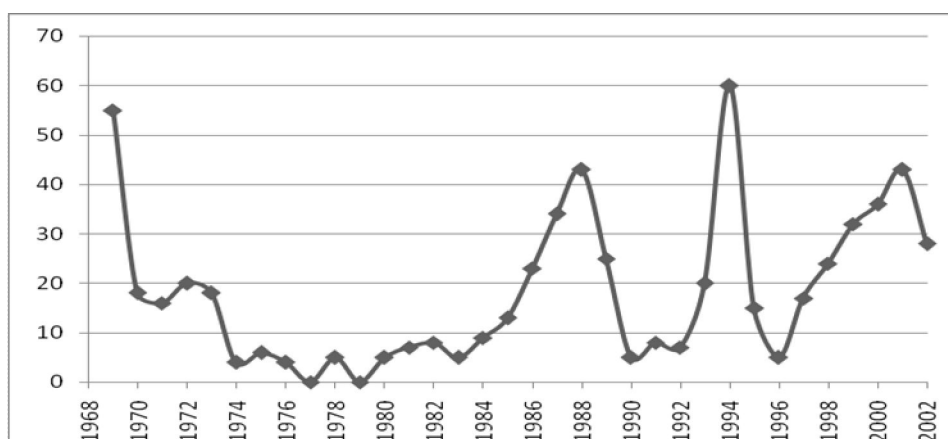
Бассейн р. Кара-Дарья. Данные наблюдений за оползнями в бассейне р. Кара-Дарья приведены в таблице 3.2. По данному оползневому участку нам известны: количество осадков, выпавших за период с 1969 г. по 2002 г. и количество оползней за этот период. Проведем корреляционно-регрессионный анализ по таблице 3.2. Расчеты показали, что коэффициент корреляции имеет значение:

$$R_{x,y} = \text{cov}[X, Y] / \delta_x \cdot \delta_y = 0,638 \quad (3.3.17)$$

Уравнение регрессии в данном случае принимает следующий вид:

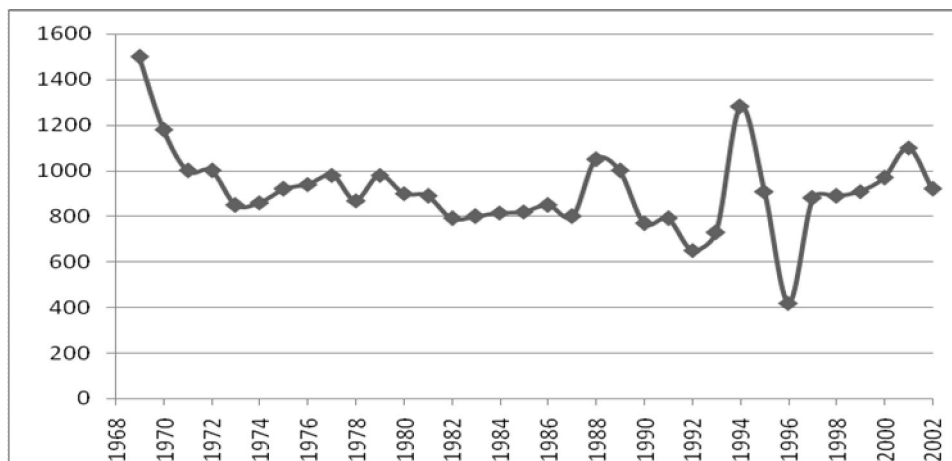
$$Y = A + b \cdot X = -31,46 + 0,054 \cdot X \quad (3.3.18)$$

Основываясь на анализе проведенных расчетов, можно сделать следующие заключения: активизация оползней в бассейне реки Кара-Дарья тесно связана с количеством выпавших годовых осадков и последние выступают как основной фактор активизации оползней на данном оползневом участке. Диаграммы 3.3 и 3.4 наглядно представляют зависимости количества оползней от атмосферных осадков и временного периода.





**Диаграмма 3.3** *Количество оползней в бассейне р.Кара-Дарья*

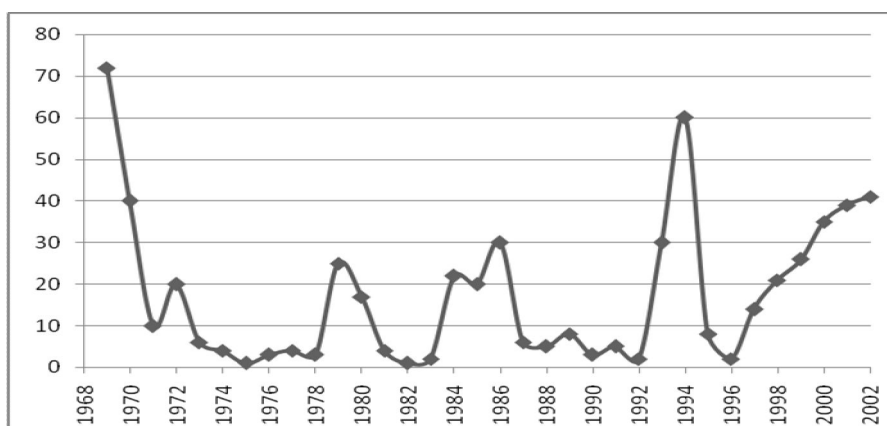


**Диаграмма 3.4** *Количество осадков в бассейне р. Кара-Дарья*

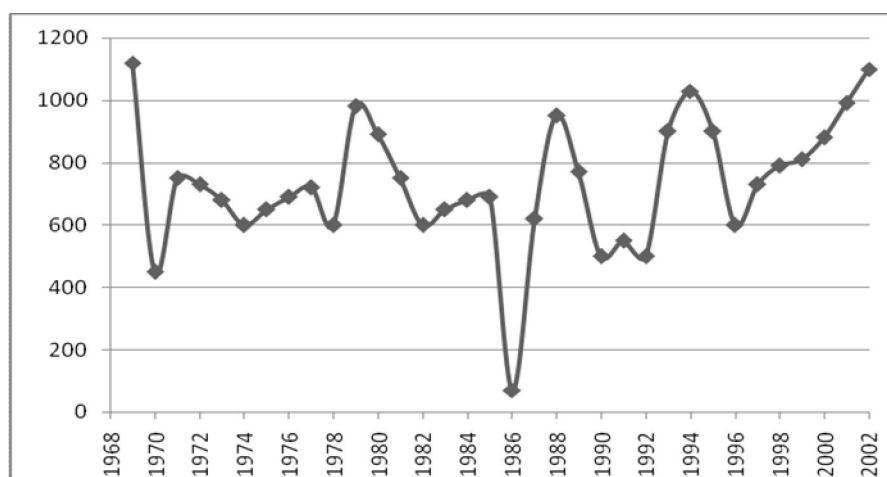
Бассейн р. Яссы. Данные наблюдения за оползнями в бассейне р. Яссы приводятся в таблице 3.3. Как в предыдущих случаях, по этому оползневому участку нам известны: количество осадков, выпавших за период с 1969 по 2002 гг. и количество оползней за этот период. Проведенный корреляционно-регрессионный анализ показал следующие результаты. Коэффициент корреляции оказался равным:

$$R_{x,y} = \text{cov}[X, Y] / \delta_x \cdot \delta_y = 0,4749 \quad (3.3.19)$$

В силу того, что значение коэффициента корреляции оказалось малым и тем самым теснота корреляционной связи - незначительной, то построение уравнения регрессии лишено смысла. Следовательно, для активизации оползней в бассейне р. Яссы атмосферные осадки не играют главенствующую роль. Для данного оползневого участка основную роль в активизации оползней могут играть другие факторы, скорее всего динамика подземных и грунтовых вод. На диаграммах 3.5 и 3.6 приведены зависимости для участка р. Яссы.



**Диаграмма 3.5** *Количество оползней в бассейне р.Яссы*



**Диаграмма 3.6** *Количество осадков в бассейне р. Яссы*

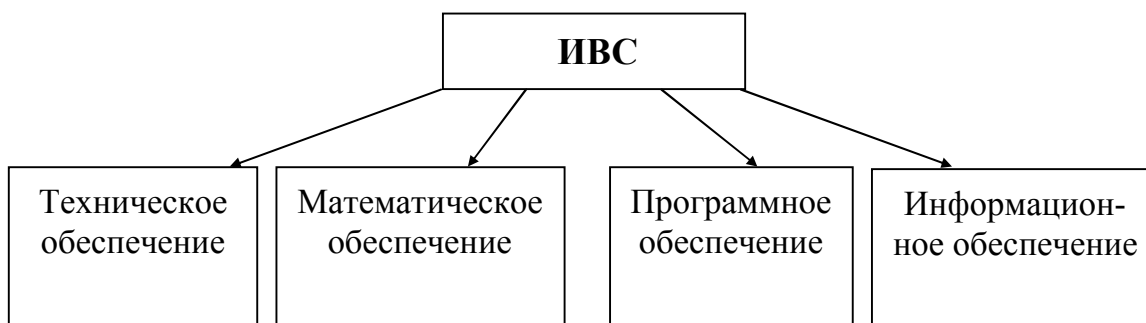
Таким образом, выяснено, что атмосферные осадки во многом определяют активизацию оползневых процессов в Южном Кыргызстане (например, оползневые участки реки Кугарт и реки Кара-Дарья), но не всегда, как в случае оползневой участка реки Яссы, выступают главным и определяющим фактором.

### **3.4 Информационные технологии для анализа и прогноза оползней**

Современный уровень научных исследований предполагает и обязывает разработку и применение новых информационных технологий. В связи с этим ставится следующая задача: разработать новую информационную технологию для исследования и прогнозирования оползней на территории Кыргызстана. Под информационной технологией будем понимать процесс, использующий совокупность средств и методов сбора, обработки и перемещения данных (первичной информации) для получения информации нового ка-



чества о состоянии исследуемых оползневых процессов. Для достижения поставленной цели разработана информационно - вычислительная система (ИВС). Данная ИВС отвечает всем необходимым требованиям, предъявляемым к информационным системам. Рассмотрим стандартную структуру информационной системы (рисунок 3.3):



**Рисунок 3.3 Типовая структура информационной системы**

*Техническое обеспечение.* В эту подсистему входят персональные компьютеры последних моделей, устройства накопления, сбора, обработки и вывода информации, устройства передачи данных и телекоммуникации.

*Математическое обеспечение.* Под этим понимается совокупность математических методов, моделей, алгоритмов и программ для реализации цели и назначения информационной системы, а также для нормального функционирования технических средств.

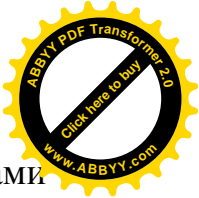
*Программное обеспечение.* В состав этой подсистемы входят общесистемные и специальные программные продукты:

- комплексы программ, ориентированных на пользователя и предназначенных для решения стандартных информационных задач;
- пакеты прикладных программ, реализующие разработанные модели разной степени адекватности, отражающие функционирование исследуемых реальных объектов.

*Информационное обеспечение.* Данный элемент ИВС представляет собой совокупность информации, данных наблюдений за оползневыми и селевыми процессами, а также обзор научной литературы по исследуемой проблеме и т.д.

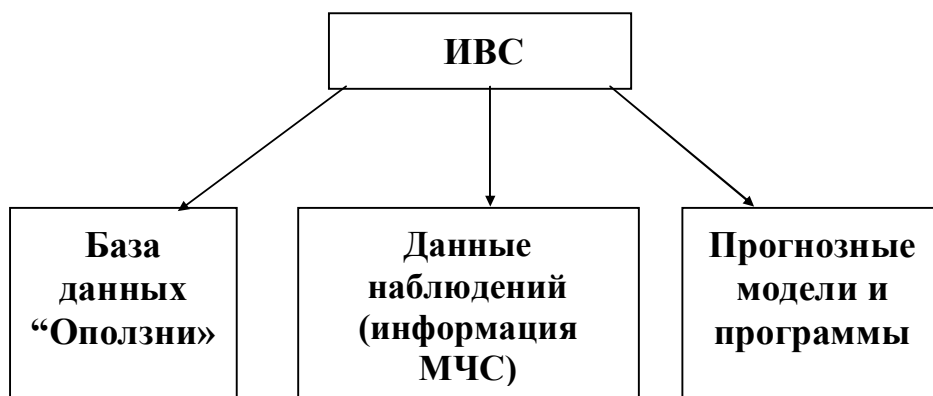
Назначение и структура. Предлагаемая ИВС предназначена:





- для исследования оползневых процессов на территории КР методами регрессионного и факторного анализа;
- для обеспечения системной, вычислительной, информационной и графической поддержки при прогнозировании оползней;
- для учебного пособия в ВУЗах по новым компьютерным технологиям и численным методам.

Рассмотрим структуру предлагаемой ИВС, показанной на рисунке 3.4. Данный информационно-вычислительный комплекс состоит из отдельных блоков или модулей. Очень важно отметить, что поставка программного продукта заинтересованным пользователям может производиться как в виде отдельных самостоятельных модулей, так и всей системы.



*Рисунок 3.4 Структура информационной системы*

### **Проектная часть**

#### **Постановка задачи**

Основная задача: разработка программы, разработка базы данных «Оползни».

Подзадачи:

- В среде MSACCESS создать базу данных, соответствующую поставленной задаче.
- В среде Delphi создать средство управления базой данных под ОС Windows.



- В разрабатываемой программе предусмотреть защиту от несанкционированного доступа.
- В проектируемой программе предусмотреть возможность редактирования базы данных.
- Добавить возможность поиска из базы данных по запросам пользователя.
- Добавить возможность выбора языка интерфейса из базы данных по запросам пользователя.
- Создать возможность вывести на печать выбранную запись из БД.

### **Проектирование базу данных**

База данных создается средствами MSACCESS и содержит данные наблюдений и описание оползней, расположенных вблизи населенных пунктов или народно-хозяйственных объектов на территории Кыргызстана.

Задаем ему имя – kochkubaza.mdb. Далее создадим и откроем таблицы в режиме конструктора. После этого заносим поля, по которым создается индекс.

В базу данных вошли как результаты наших исследований, так и данные, предоставленные специалистами Министерства геологии и МЧС КР. Итак, рассмотрим назначение и структуру разработанной базы данных по оползням, распространенным на территории Кыргызстана.

### **Разработка интерфейса базы данных**

Интерфейс определяет набор функций и процедур, которые могут быть использованы для взаимодействия программы с объектом.

В данной разработке создан процедурно – ориентированный интерфейс со свободной навигацией, с меню на главной форме. Пользовательский интерфейс представляет собой средство взаимодействия пользователя с программой. При разработке пользовательского интерфейса следует учитывать потребности, опыт и способности пользователя. В силу большого разнообразия пользователей и программных средств существует множество различных



стилей пользовательских интерфейсов, при разработке которых могут использоваться разные принципы и подходы. Основные принципы:

- пользовательский интерфейс должен базироваться на терминах и понятиях, знакомых пользователю;
- пользовательский интерфейс должен быть единообразным;
- пользовательский интерфейс должен позволять пользователю исправлять собственные ошибки.

Назначение и структура базы данных. Созданная база данных (БД) содержит сведения об оползнях, расположенных в непосредственной близости от населенных пунктов и важных хозяйственных объектов. Назначение базы данных - это автоматизация предоставления пользователям всей необходимой информации об оползнях; хранение, отслеживание, постоянное пополнение и обновление, обработка и анализ имеющейся информации по оползням; оперативное создание требуемых информационных отчетов и твердых копий, вывод на печать фотографий, рисунков, схематических карт распространения оползней и т.д. База данных состоит из стандартных элементов: таблиц, форм, запросов, отчетов, макрокоманд и модулей.

Таблицы. На первом этапе проектирования БД созданы таблицы, как основа любой реляционной базы данных. При региональном и локальном изучении оползней существуют общие положения, которых мы будем придерживаться при создании БД.

Региональное исследование оползней проводится, как правило, для изучения и выявления пространственной изменчивости их формирования, проявления, развития и активации. Исследуется устойчивость региона или территории, составляется региональный прогноз оползневых процессов. В ходе проведения сложных и многообразных геолого-инженерных работ выявляются основные геологические условия, рельеф, климатические условия и другие факторы формирования и развития оползней, изучаются склоны и участки проявления оползней, проводится типизация оползней, их классифи-



кация по механизму оползня, исследуются оползневые смещения и их основные закономерности и др.

Локальное исследование оползней проводится, как правило, для оценки оползневой опасности для отдельных участков, разработки локального прогноза, исследуются механизмы развития оползневых процессов и т.д. Как известно, локальные исследования проводятся после региональных и их особенность заключается в многообразии, комплексности, всесторонности и предельной детализации изучаемых объектов.

На основе регионального и локального изучения оползней создаются соответствующие отчеты, карты, схемы, фондовые материалы и т.п. При этом существуют специальные формы предоставления необходимой информации по результатам исследований. Разработаны кадастры, которые включают необходимый перечень информации и обязательные позиции, которые должны быть отражены в результатах исследований.

Наша задача заключается в том, чтобы предлагаемая БД правильно отражала и точно соответствовала принятым нормам составления результатов исследования или результирующих материалов. В соответствии с вышеизложенным, созданы следующие таблицы для БД.

1. Таблица «Местоположение оползней» – содержит информацию, в какой области, в районе, в селе были оползни, из них точное местонахождение участков, административное положение, даты образования оползня и наблюдений, есть ли или нет опасности для людей, жилищ, административным и хозяйственным объектам и т.д.

2. Таблица «Основные факторы и методы их моделирования» содержит такие сведения как гидрогеологические условия, метеорологические условия, сейсмические условия, снеготаяние, сезонное оттаивание, поверхностный сток, ряды наблюдений и т.д. Так же это таблица содержит в себе такие важные данные, как режим подземных вод, режим инфильтрации, коэффициенты фильтрации, влажность грунта, физико-механические свойства



грунта, оценка устойчивости, определение линии смещения, математические модели и методики решения.

3. Таблица «Количество оползней» содержит в себе сведения, которые были использованы в исследовании чисел образованных оползней в бассейнах реки Кугарт, Кара-Дарья и Яссы. Так же информацию в каком году они образовались и количество осадков за этот год. С помощью этих данных мы получили результаты корреляционно - регрессионного и факторного анализа (ряды наблюдений, экстраполяция рядов, интерполяция рядов, корреляционно – регрессионный анализ, однофакторный и многофакторный анализ, уравнение регрессии, математические модели, графики и диаграммы, локальные прогнозы и др.).

4. Таблица «Общая характеристика оползней» включают следующие поля: глубина, длина, ширина, площадь поверхности, объем оползней, форма в плане и в профиле, характер рельефа, базис оползня. Также содержит необходимую информацию о положении ОДГ относительно подошвы склона, строении оползневого массива, о глубине захвата пород смещением.

5. Таблица «Количество произошедших чрезвычайных ситуации на территории Кыргызской Республики» включает в себе следующие данные, о числе природных катастроф произошедшие за каждый год в семи областях нашей республики, а также в Бишкеке. Такие как: землетрясение, оползни, сели, подтопления, сильные дожди, техногенные аварии, инъекция, сильный ветер, пожар, град, снегопад, камнепад и т.д.

Формы. Следующий элемент базы данных - это формы, представляющие собой, как известно, альтернативный способ отображения данных и используются для ввода, управления, просмотра и печати данных. При этом используются различные виды форм: простые и табличные формы; составные формы, которые содержат поля из нескольких таблиц; формы-диаграммы для графической информации и формы с функциями.

Запросы. Следующий объект базы данных - запросы, которые позволяют делать выборки из базы данных, управлять записями данных, обобщать и



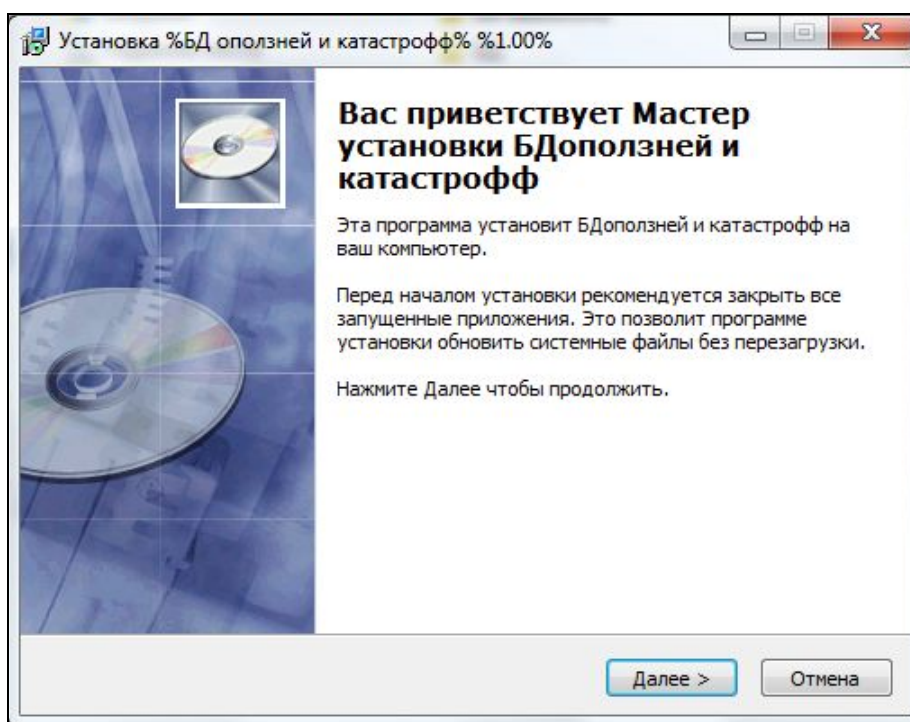
объединять данные, выводить на экран и на печать информацию по заданным условиям и критериям. База данных содержит несколько запросов, которые могут видоизменяться, создаваться в считанные минуты по желанию пользователя.

Отчеты. Они предназначены для вывода информации в наиболее удобном для пользователя виде. В базе данных созданы несколько типов отчетов: простые, табличные отчеты, многоуровневые отчеты. Как известно, средства Access позволяют организовать любые отчеты по желанию пользователя в любой момент времени.

Не исключено, что база данных имеет недостатки, но она постоянно совершенствуется по мере накопления информации и эксплуатации заинтересованными пользователями. База данных является ключевым элементом информационно-вычислительной системы, на базе которой строятся математические модели оползневых процессов и разрабатываются численные методы их решения, прогнозные модели и корреляционный, факторный анализ и т.д.

### **Реализация функционального назначения программного продукта**

Для того чтобы разработанная программа работала полноценно, вначале нужно установить эту программу на компьютере, несмотря на то что программа на кыргызском языке, на компьютере автоматически устанавливаются кыргызские шрифты, которые написаны вместе внутри программы (рис. 3.5).



***Рисунок 3.5 Установка базы данных оползней***

После того как, выполнив все условия программы, на показанном месте появиться начальный знак программы (рисунок 3.6). Для того чтобы привести в действие программу, нужно направить курсор мыши на начальный знак программы и два раза кликнуть по левой кнопки мыши.

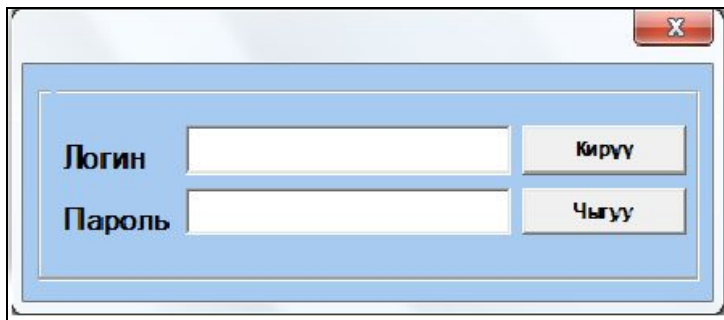


***Рисунок 3.6 Начальный знак программы***

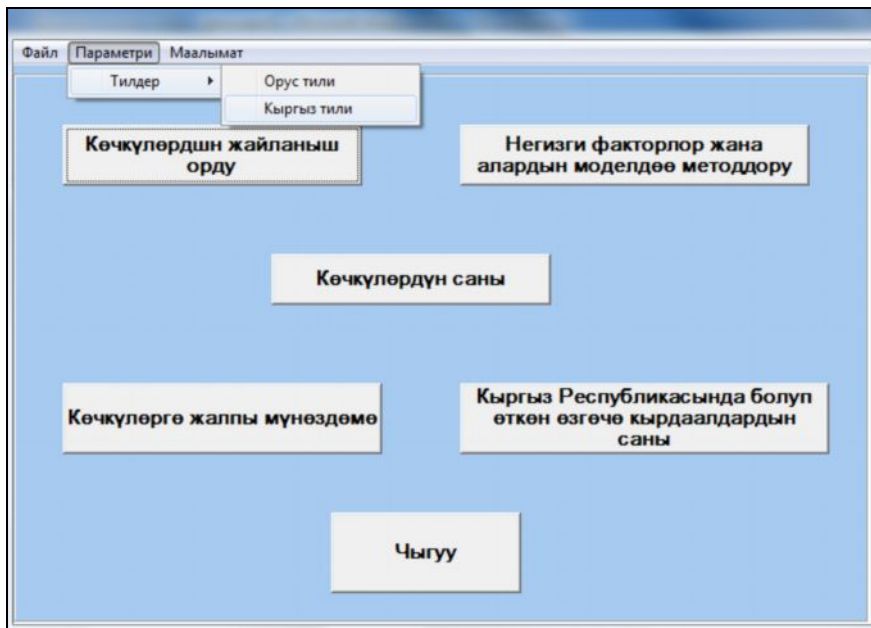
Вся работа с программой сводится к работе с главной формой и соответствует функциональному назначению программного средства.

При запуске программы открывается заставка программы, а затем выводится форма для введения логина и пароля (рисунок 3.7). Если пользователь введет правильно логин и пароль тогда дается доступ к базе данных «Оползни Кыргызстана» иначе программа выдает сообщение что вы ввели неправильный логин и пароль.

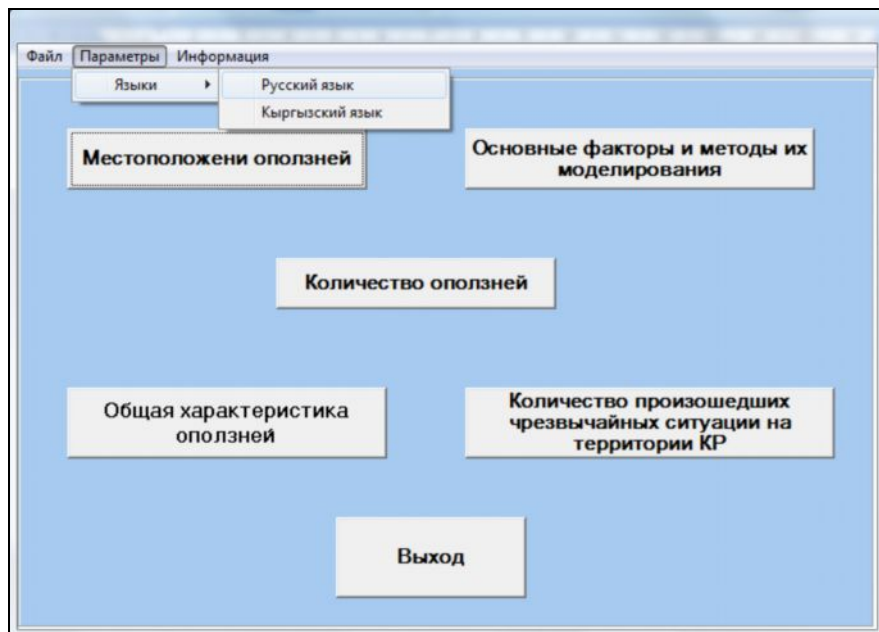




*Рисунок 3.7 Форма введения логина и пароля*



*Рисунок 3.8 Основная форма программы (на кыргызском языке)*



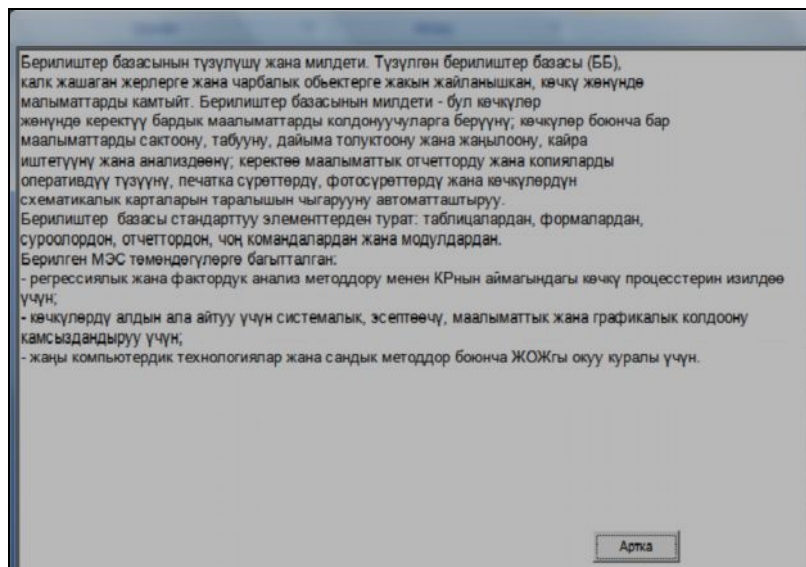
*Рисунок 3.9 Основная форма программы (на русском языке)*

После того как будет введен правильный логин и пароль, на экране монитора откроется основная форма. Там, на строке параметров, можно выбрать язык



который мы хотим для нашей информационной системы (рис. 3.8 и рис. 3.9)

На строке информации есть краткая информация о программе (рис.3.10).



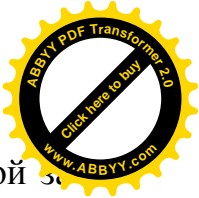
**Рисунок 3.10 Краткая информация о программе на строке информации**

Здесь содержится вся информация о выше написанных таблиц. Например, посмотрим на таблицу «Местоположение оползней», содержит информацию, в какой области, в районе, в селе были оползни, из них точное местонахождение участков, административное положение, даты образования оползня и наблюдений, есть ли или нет опасности для людей, жилищ, административным и хозяйственным объектам и т.д (рисунок 3.11).

№	Область	Район	Айылокругу	Участок	Изилденүү убактысы	Түрү	Параметри
12	Жалал-Абад	Сузак	Тайгараев	Кызыл-Суу	3.23.04.2000	Көчкү жүрүү баскычында	мектеп, турак жайлар көчүрүлдү
13	Жалал-Абад	Токтогул	Кара-Көл шаары	Кара-Суу дарыясы	06.05.2000	Көчкү	Көчкү тураксуз абада
14	Жалал-Абад	Токтогул	Кара-Көл	Сухой сай	06.05.2000	Көчкү	Жылышуу жок
15	Ош	Алай	Конура-Дөбө	Шамаке	09.03.2000	Көчкүнүн активтениши	Савай каналдын жабылышы
16	Ош	Алай	Гүлчө	Таш-Короо	24.04.2000	Көчкү	Турак жайлар коркунучта
17	Ош	Кара-Кулжа	Кара-Куз	Жетим-Дөбө	24.04.2000	Жаңы көчкү, 70x5x120	Турак жайлар коркунучтуу жайда
18	Ош	Кара-Суу	Катта-Талдык	Эшме	27.01.2000	Көчкү жарангасы	Турак жайлар деформацияланган
19	Ош	Кара-Суу	Катта-Талдык	Садырбай	24.01.2000	Көчкү жарангасы	Садырбай айылы коркунучта

**Рисунок 3.11 Таблица о местоположениях оползней**

Если пользователь хочет просматривать записи БД, производить выборку из БД по указанному признаку, добавлять записи, редактировать записи



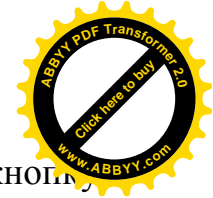
си БД (рисунок 3.12), получать дополнительные сведения по выбранной записи, а также выводить на печать (рисунок 3.13) или же найти какую – либо информацию, то можно автоматическим путём привести это действие, нажимая на соответствующую кнопку.

**Рисунок 3.12 Форма для редактирования данных**

<b>Негизги факторлор жана алардын моделдөө методдору</b>	
<b>№</b>	1
<b>Негизги факторлор</b>	Геологиялык шарттар
<b>Класстары жана типтери</b>	Көз карандысыз же негизгилер турактуу
<b>Факторлордун баяндалып жазылышы</b>	Тоо тектеринин түзүмү, касиети, структурасы алардын кат-кат болуп жатуу шарты. Көчкүлөрдүн көрүнүү жана алардын интенсивтүүлүк генетикалык
<b>Факторлорду моделдөө</b>	Фильтрациянын жана инфильтрациянын теңдемелерин тандоо аныкталат, баштапкы-четки жана четтик шарттардын тиби, теңдемелердин коэффициентинде
<b>Изилдөө методдору</b>	Чөйрөнүн татаал геологиялык түзүлүшүн эске алуу менен, көчкү жүрүү беттериндеги суюктуктун фильтрация жана инфильтрация маселелери.

**Рисунок 3.13 Форма печати**

Например, если мы хотим найти оползни, которые произошли на какой – либо области, в районе или же в округе села, то нам покажут соответствующую информацию. Если вы нажмете на кнопку «Показать все» вы вернетесь ко всем данным на базе данных. После того как, вы добавили соответствующую информацию на базу данных или изменили, нажимая на кнопку «Сохранить» вы можете сохранить свои действия. Нажимая на кнопку «На-



зад» мы вернемся к форме, с которой работали ранее. Нажимая на кнопку «Выход» мы выходим из системы информации.

Преимущество разработанной информационной системы «Оползни Кыргызстана» является в следующем:

- уменьшаются затраты времени на поиск и редактирование необходимой информации об оползнях;
- внедрение безбумажной технологии обработки информации сильно сокращает расходы на покупку бумаги и других расходных материалов;
- использование разработанной программы позволяет упорядочить большие объемы информации для удобного использования;
- значительно уменьшается вероятность ошибок при ведении статистики об оползнях Кыргызстана.

### **Основные выводы к главе 3**

1. В первой части главы обсуждаются важнейшие вопросы устойчивости горных склонов против оползания. С практической точки зрения, по сути это основной вопрос, который интересует специалистов – практиков. Рассмотрены основные вопросы устойчивости и приведены соответствующие методики расчета и их схемы. Далее, на основе гидродинамического подхода, который применяется в данной диссертации, предложена методика расчета устойчивости склонов против оползания с учетом гидродинамических процессов в оползневых склонах.
2. Формулируется и решается задача расчета устойчивости горных склонов против оползания с учетом гидродинамических течений и процессов. На основе решения начально-краевой гидродинамической задачи предлагаются методики расчета устойчивости горных склонов.
3. На основе предложенной общей схемы исследования оползней, рассмотрены задачи прогнозирования активизации оползневых объектов на территории Кыргызстана. Задачи прогнозирования формулируются на базе теории корреляционного, регрессионного и факторного анализа. Предложены линейные



и нелинейные прогнозные модели с учетом основных факторов, вызывающих формирование, развитие и активизацию оползней.

4. Для исследования и прогнозирования оползневых процессов, распространенных в Кыргызстане применяются также новые информационные технологии. В работе предложена новая информационная система, которая предназначена для анализа и прогноза оползней Кыргызстана. Информационная система состоит из нескольких основных блоков, в качестве программного инструментария применяются современные языки программирования и СУБД. Предложенная система имеет также практическое значение и ценность, позволяет строить прогнозы на основе вышеприведенных методов регрессионного и факторного анализа. ИС содержит обширную базу данных по конкретным оползням, распространенных вблизи населенных пунктов и важных народнохозяйственных объектов и коммуникаций.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Первая глава** диссертации посвящена оползневым процессам и методам их моделирования. В первом параграфе главы изложены основные факторы, которые обуславливают формирование и развитие оползней. В соответствии с принятой в геологической науке методологии, основные факторы разделены на постоянные, медленно изменяющиеся и быстро изменяющиеся факторы. Приведены подробные характеристики каждого из важных факторов. Особо отмечается, что при исследовании конкретных оползневых объектов, могут возникать различные комбинации основных факторов. В результате некоторые факторы, которые относятся к разряду второстепенных, могут выступить в качестве основных первостепенных факторов. Кроме того, активизацию оползней может вызвать не один важнейший фактор, а несколько факторов, которые рассматривались как несущественные или второстепенные.

Во втором параграфе главы приведены основные типы оползней и их распространенные научные классификации. Приведены оползни, которые имеют распространение на территории Кыргызстана. Применяется гидродинамический подход и на этой основе упор делается, прежде всего, на такие типы оползней, для которых важнейшими факторами выступают гидродинамические процессы в оползневых горных склонах.

В третьем параграфе главы рассмотрена такая проблема, как на основе скрупулезного анализа основных факторов и типов оползней, опираясь на самые распространенные научные классификации, предлагаются группировки основных факторов на фильтрационные и инфильтрационные факторы, которые определяются гидродинамическими процессами в горных склонах.

В последнем параграфе главы представлены основные уравнения гидродинамики и соответствующий анализ основных типов течений жидкости в нескальных горных склонах. В работе рассмотрены основные типы фильтрации и инфильтрации невязкой жидкости в различных по своему строению



средах. Построена общая схема исследования оползневых процессов на основе гидродинамического подхода.

**Вторая глава** диссертации называется, аналитические решения краевых задач фильтрации и инфильтрации жидкости в оползневых склонах и состоит из четырех параграфов.

В первом параграфе рассмотрена краевая задача стационарной фильтрации жидкости в различных грунтовых средах в двухмерной постановке. Предложены аналитические методы решения и найдены частные решения задач фильтрации жидкости.

Далее формулируется краевая задача стационарной фильтрации в пространственной постановке для различных по строению горных склонов. Найдены аналитические решения фильтрационных задач и определены основные характеристики фильтрационных течений в нескальных оползневых склонах.

Следующий рассматриваемый класс гидродинамических процессов в оползневых склонах – нестационарные течения жидкости при различном строении грунта. На основе разработанного приближенно-аналитического метода сначала решаются нестационарные начально-краевые задачи фильтрации жидкости в плоской постановке.

Исследуются начально-краевые задачи нестационарной фильтрации жидкости в различных средах в пространственной или трехмерной постановке. С помощью приближенно-аналитического подхода найдены аналитические решения сформулированных задач.

В последней части главы исследуются инфильтрационные процессы в оползневых горных склонах, которые могут вызываться такими важными факторами, как метеорологические условия, снеготаяние и т.д. При гидродинамическом анализе оползневых склонов формулируются начально-краевые задачи инфильтрации жидкости при различных физико-механических допущениях. В результате аналитического подхода найдены частные решения инфильтрационных задач относительно искомой функции влажности.



Таким образом, на основе гидродинамического анализа основных факторов развития и активизации оползней исследованы все основные классы фильтрационных и инфильтрационных течений жидкости в оползневых склонах. Представлены аналитические расчеты нескольких типов краевых и начально-краевых задач подземной гидродинамики в различных по своему строению грунтах.

**Третья глава** диссертационной работы посвящена вопросам устойчивости оползневых склонов и прогнозирования оползней в Кыргызстане и состоит из четырех параграфов.

В первой части главы обсуждаются важнейшие вопросы устойчивости горных склонов против оползания. С практической точки зрения, по сути это основной вопрос, который интересует специалистов – практиков. Рассмотрены основные вопросы устойчивости и приведены соответствующие методики расчета и их схемы.

Далее, на основе гидродинамического подхода, который применяется в данной диссертации, предложена методика расчета устойчивости склонов против оползания с учетом гидродинамических процессов в оползневых склонах.

В третьей части на основе предложенной общей схемы исследования оползней, рассмотрены задачи прогнозирования активизации оползневых объектов на территории Кыргызстана. Задачи прогнозирования формулируются на базе теории корреляционного, регрессионного и факторного анализа. Предложены линейные и нелинейные прогнозные модели с учетом основных факторов, вызывающих формирование, развитие и активизацию оползней.

В четвертой части главы рассмотрена проблема, что для исследования и прогнозирования оползневых процессов, распространенных в Кыргызстане применяются также новые информационные технологии. В работе предложена новая информационная система, которая предназначена для анализа и прогноза оползней Кыргызстана. Информационная система состоит из нескольких основных блоков, в качестве программного инструментария приме-



няются современные языки программирования и СУБД. Предложенная система имеет также практическое значение и ценность, позволяет строить прогнозы на основе вышеприведенных методов регрессионного и факторного анализа. ИС содержит обширную базу данных по конкретным оползням, распространенных вблизи населенных пунктов и важных народнохозяйственных объектов и коммуникаций.



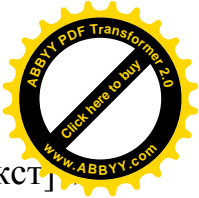


## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абуталиев Ф.Б.** Методы математического моделирования гидродинамических процессов [Текст] / Ф.Б. Абуталиев, Н. Н. Ходжибаев, У. Умаров, И.И. Измаилов. - М.: “Недра”, 1972. –С.64.
2. **Антонцев С.Н.** Математические модели фильтрации в почвогрунтах. [Текст] / С.Н. Антонцев, Ю.И. Капранов, А.А. Кашеваров и. др. // В сб.: Проблемы теории фильтрации. -М.: Наука,1987. -С.5-15.
3. **Аравин В.И.** Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде [Текст] / В.И. Аравин, С.Н. Нумеров. - М.: Гостехиздат, 1953. - С.616.
4. **Аравин В.И.** Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений [Текст] / В.И. Аравин, С.Н. Нумеров. - М.-Л.: Стройиздат, 1955. -С.221.
5. **Бийбосунов И.Б.** Приближенно-аналитический метод решения некоторых плоских задач газовой динамики [Текст] / И.Б. Бийбосунов, Ж.М. Мамбеткулов. Монография.– Бишкек. Илим, 1995. -С.212.
6. **Бийбосунов И.Б.** Современные аналитические и приближенно-аналитические методы плоских и осесимметричных течений газовой динамики [Текст] / И.Б. Бийбосунов, У.М. Туганбаев. Монография. -Бишкек, Илим, 1999. –С.225.
7. **Бийбосунов И.,** Исманбаев А.И., Бийбосунов А.И., Орозобекова А.К. Динамика оползневых процессов [Текст] / И. Бийбосунов, А.И. Исманбаев, А.И. Бийбосунов, А.К. Орозобекова. // Материалы международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития строительной науки» - Бишкек, часть 1, 2000 г., -С.159-163.
8. **Бийбосунов Б.И.** Моделирование и решение оптимизационных задач напорной фильтрации при сложном строении грунта [Текст] / Б.И. Бийбосунов. - Бишкек: Илим, 1998. –С.256.



9. **Бийбосунов Б. И.** Аналитические и приближенно-аналитические методы фильтрации и инфильтрации жидкости в различных средах [Текст] / Б. И. Бийбосунов, М.У. Уметалиев. - Бишкек: Илим, 1998. –С.162.
10. **Бийбосунов А. И.** Методы прикладной механики и информационных технологий для расчёта оползней и селей в Кыргызстане [Текст] / А. И. Бийбосунов. Монография. -Бишкек. Илим, 2003. –С.183.
11. **Будаговский А.И.** Впитывание воды в почву [Текст] / А.И. Будаговский. // Изв. АН СССР. - М., 1955. –С.25-29.
12. **Бэр Я.** Физико-математические основы фильтрации воды [Текст] / Я. Бэр, Д. Заславски, С. Ирмей. - М.: Мир, 1971. –С.320.
13. **Ведерников В.В.** Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа [Текст] / В.В. Ведерников. -М.-Л.: Госстройиздат, 1939. –С. 248.
14. **Веригин Н.Н.** Фильтрация в основании плотин при сложном подземном контуре [Текст] / Н.Н. Веригин. // Дисс..., Московский инж.-строит. ин-т, 1940. –С.142.
15. **Герсеванов Н.М.** Основы динамики грунтовой массы [Текст] / Н.М. Герсеванов. - М.-Л., Строй-издат, 1937.-С.352.
16. **Герсеванов Н.М.** Теоретические основы механики грунтов и их практическое применение [Текст] / Н.М. Герсеванов, Д.Е. Польшин. - М., Госстройиздат, 1948. –С.243.
17. **Гиринский Н.К.** Расчет фильтрации под гидротехническими сооружениями на неоднородных грунтах [Текст] / Н.К. Гиринский. - М.: Стройиздат, 1941. –С.136.
18. **Гирс А.А.** Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы [Текст] / А.А. Гирс. - Л., Гидрометеоиздат, 1966. –С.235.
19. **Голубева О.В.** Методы расчета фильтрации в криволинейно-анизотропных основаниях гидросооружений [Текст] / Голубева О.В.. - М.: ИПМ АН СССР, Препринт № 118, 1978. -С.174-179.



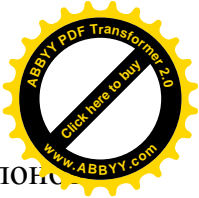
20. **Горянов Н.Н.** Изучение оползней геофизическими методами [Текст] / Н.Н. Горянов и др. - М.: Недра, 1987. –С.267.
21. **Григорян С.С.** Новый закон трения и механизм крупномасштабных горных обвалов и оползней [Текст] / С.С. Григорян. // ДАН СССР: т.244. N4 - 1979. –С.185-190.
22. **Григорян С.С. и др.** Математическое моделирование горных обвалов и оползней больших объемов [Текст] / С.С. Григорян и др. // Инж. геология. - N6 - 1983. –С.154-159.
23. **Гришин М.М.** Гидротехнические сооружения [Текст] / М.М. Гришин. - М.: Высшая школа, 1979. –С.764.
24. **Гулакян К.А.** Прогнозирование оползневых процессов [Текст] / К.А. Гулакян, В.В. Кюнтцель, Г.П. Постоев. - М.: Недра, 1977. –С.354.
25. **Дзержевский Б.Л.** Циркуляционные механизмы в северном полушарии в XX веке [Текст] / Б.Л. Дзержевский // Тр. Межведом. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР.- М., 1968. –С.169-174.
26. **Джаныбеков Ч.** Математическое моделирование движения грунтовых вод в многослойных средах [Текст] / Ч. Джаныбеков. - Фрунзе: Илим, 1982. – С.183.
27. **Джаныбеков Ч.** Методы фильтрационных расчетов в слоистых средах [Текст] / Ч. Джаныбеков, М. Джаманбаев, Д. Бекболотов. - Фрунзе: “Илим”, 1983. –С.195.
28. **Джаныбеков Ч.** Методы идентификации гидрогеофизических параметров и прогнозирования процессов загрязнения подземных вод [Текст] / Ч. Джаныбеков, М. Мурзахматов. Монография. – Бишкек, 2005. -С.179.
29. **Джаманбаев М.** Методы решения и идентификации параметров математической модели процессов переноса [Текст] / М. Джаманбаев. Монография.– Бишкек, 1996. -С.121.
30. **Дружинин Н.И.** Метод электрогидродинамических аналогий и его применение при исследовании фильтрации [Текст] / Н.И. Дружинин. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956. -С.347.



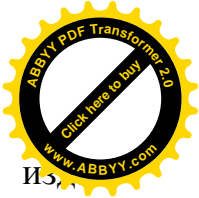
31. Ежегодник по изучению режима оползней на территории юга Кыргызстана по работам Ошской гидрогеологической партии [Текст] /. - Бишкек, ПО “Кыргызгеология”, 1991. –С.226.
32. **Емельянова Е.П.** Основные закономерности оползневых процессов [Текст] / Е.П. Емельянова. - М.: Недра, 1972. –С.346.
33. **Жуковский Н.Е.** Теоретическое исследование о движении подпочвенных вод [Текст] / Н.Е. Жуковский. // Жур. Русск. физ.-хим. общ. -1889. - №21. - №1. –С.184-206.
34. **Золотарев Г.С.** Современные задачи инженерно-геологического изучения оползней, обвалов и селевых потоков в горноскладчатых областях [Текст] / Г.С. Золотарев. В кн.: Геолог. закономер. развития оползней, обвалов и селевых потоков. - М.: изд. МГУ, 1976. –С.368.
35. **Ибатулин Х.В.** Сводный отчет по изучению режима оползней на территории юга Киргизии по работам [Текст] / Х.В. Ибатулин и др. 1975 - 84 гг. - Фрунзе, ПО “Кыргызгеология”, 1985. –С.248.
36. Изучение режима оползневых процессов [Текст]/ под ред. Шеко А.И. - М.: Недра, 1982. –С.156.
37. **Ильинский Н.Б.** Методы построения подземного контура гидротехнических сооружений [Текст] / Н.Б. Ильинский и др. - Казань: изд. Казан. унив., 1963. –С.324.
38. **Иоффе А.Я.** К вопросу о фильтрации воды в неоднородной среде [Текст] / А.Я. Иоффе // ЖТФ.- 1935 - т.5 - вып.1. –С.165-172.
39. Информационно-поисковая система “Стационарное изучение оползней” [Текст] / - М., ВСЕГИНГЕО, 1979. –С.64.
40. **Исманбаев А.** Течения подземных вод в пластах с макровключениями [Текст] / А. Исманбаев. - Бишкек: Илим, 1995. –С.183.
41. **Коллинз Р.** Течение жидкостей через пористые материалы [Текст] / Р. Коллинз. - М., Мир, 1964. – С.351.
42. **Кочин Н.Е.** Теоретическая гидродинамика [Текст] / Н.Е. Кочин и др.. - М.: Физматгиз, 1963. –С.583.



43. **Кюнтцель В.В.** Закономерности оползневого процесса на Европейской территории СССР [Текст] / В.В. Кюнтцель. - М.: Недра, 1980. –С.387.
44. **Лаврентьев М.А.** Методы теории функций комплексного переменного [Текст] / М.А. Лаврентьев. - М.: Наука, 1965. –С. 736.
45. **Лейбензон Л.С.** Движение природных жидкостей и газов в пористой среде [Текст] / Л.С. Лейбензон. - М.: Гостехиздат, 1947. –С.244.
46. **Ляшко И.И.** Решение фильтрационных задач методом суммарных представлений [Текст] / И.И. Ляшко. - Киев: изд. КГУ, 1963. –С.248.
47. **Мамбеткулов Ж.М.** Приближенно-аналитический метод решения некоторых плоских задач газовой динамики [Текст] / Ж.М. Мамбеткулов, И.Б.Бийбосунов. Монография. – Бишкек, Илим, 1995. –С.212.
48. **Маскет М.** Течение однородных жидкостей в пористой среде [Текст] / М. Маскет. - М.-Л.: Гостоптехиздат, 1949. –С.628.
49. **Маслов Н.Н.** Основы механики грунтов и инженерной геологии [Текст] / Н.Н. Маслов - М.: Высшая школа, 1968. –С.511.
50. **Милн - Томсон Л.М.** Теоретическая гидродинамика [Текст] / Л.М. Милн - Томсон. - М.: Мир, 1960. –С.655.
51. **Мироненко В.А.** Основы гидрогеомеханики [Текст] / В.А. Мироненко, В.М. Шестаков. - М., Недра, 1974. –С.295.
52. **Михлин С.Г.** Вариационные методы в математической физике [Текст] / С.Г. Михлин. - М., Наука, 1970. –С.512.
53. **Монахов В.Н.** Краевые задачи со свободными границами для эллиптических систем уравнений [Текст] / В.Н. Монахов. - Новосибирск: Наука, 1977.
54. **Мурзакматов М.У.** Применение вариационно-разностного метода к решению задач фильтрации подземных вод [Текст] / М.У. Мурзакматов. - Автореф. канд. дисс. -Фрун-зе, АН Кирг. ССР, 1975. –С.18.
55. **Мягиев А.Н.** Напорный комплекс подземных вод и колодцы [Текст] / А.Н. Мягиев // Изв. АН СССР, отд. тех. н. 1947. -№9. -С.169-188.

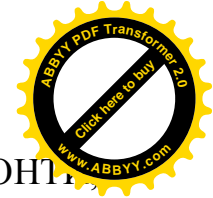


56. **Никитин Р.М.** Закономерности обводнения горных оползневых склонов (на примере Юго-Западного Тянь-Шаня) [Текст] / Р.М. Никитин, И.Ф. Фиделли // Склоновые процессы. - М.: изд. МГУ, 1988. - Вып. 3. –С.184-190.
57. **Николаевский В.Н.** Механика насыщенных пористых сред [Текст] / В.Н. Николаевский и др. - М., Недра, 1970. –С.336.
58. **Ниязов Р.А.** Динамика горных склонов Чаткало-Кураминской зоны [Текст] / Р.А. Ниязов, М.А.Петрухина. - Ташкент: ФАН, 1977. –С.168.
59. **Нужин М.Т.** Обратные краевые задачи и их приложения [Текст] / М.Т. Нужин, Г.Г. Тумашев. - Казань: изд. Казан. унив., 1965. –С. 333.
60. **Нумеров С.Н.** Об учете инфильтрации или испарения воды со свободной поверхности при расчете движения грунтовых вод [Текст] / С.Н. Нумеров. // Прикл. мат. и мех. - 1940. -№ 5-6. –С.11-17.
61. **Овсянников Л.В.** Групповой анализ дифференциальных уравнений [Текст] / Л.В. Овсянников. - М.: Наука, 1978. –С.400.
62. Оползни и сели [Текст] / ЮНЕСКО. - М.: Мир, 1988. –С.351.
63. **Павловский Н.Н.** Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и ее основные приложения [Текст] / Н.Н. Павловский. // Собр. соч. - М.-Л.: изд. АН СССР, 1956. –С.753.
64. **Пилатовский В.П.** Основы гидромеханики тонкого пласта [Текст] / В.П.Пилатовский. - М.: Недра, 1966. –С.320.
65. **Полубаринова - Кочина П.Я.** Теория движения грунтовых вод [Текст] / П.Я. Полубаринова - Кочина. - М.: Наука, 1977. –С.664.
66. **Положий Г.Н.** Численное решение двумерных и трехмерных краевых задач математической физики и функции дискретного аргумента [Текст] / Г.Н. Положий. - Киев: изд. КГУ, 1962. –С.161.
67. **Роуч П.** Вычислительная гидродинамика [Текст] / П. Роуч. - М.: Мир, 1980. –С.616.
68. **Славянов В.Н.** Вероятность развития оползней под влиянием гидрометеорологических факторов [Текст] / В.Н. Славянов // Современные методы прогноза оползневых процессов. - М., Наука, 1964. –С.79.



69. **Сергеев Е.М.** Инженерная геология [Текст] / Е.М. Сергеев. -М.: изд. МГУ, 1978. –С.384.
70. **Тихвинский Н.О.** Оценка и прогноз устойчивости оползневых склонов [Текст] / Н.О. Тихвинский. -М., 1988. –С.183.
71. **Тер-Степанян Г.И.** Новые методы изучения оползней [Текст] / Г.И. Тер-Степанян. - Ереван: изд. АН Арм. ССР, 1978. –С.54.
72. **Терцаги К.** Теория механики грунтов [Текст] / К. Терцаги. - М., Госстройиздат, 1961. –С.506.
73. **Туганбаев У.М.** Основные факторы, влияющие на развитие оползневых и селевых процессов [Текст] / У.М. Туганбаев, М.Б. Байтемирова. - Бишкек, сборник «Современные проблемы механики сплошных сред», № 9, 2009 г. – С.102-107.
74. **Туганбаев У.М.** Современные аналитические и приближенно-аналитические методы плоских и осесимметричных течений газовой динамики [Текст] / У.М. Туганбаев, И.Б. Бийбосунов. Монография.– Бишкек, Илим, 1999. –С.225.
75. Указания по расчету устойчивости земляных склонов [Текст] / - Л.: Энергия, 1967. –С. 127.
76. **Федоров И.В.** Методы расчета устойчивости склонов и откосов [Текст] / И.В. Федоров. - М.: Стройиздат, 1962. –С.76.
77. **Филип Дж.Р.** Теория инфильтрации [Текст] / Дж.Р. Филип. // В сб.: Изометрическое передвижение влаги в зоне аэрации. - Л.: Гидрометеиздат, 1972. -С.6-71.
78. **Фильчаков П.Ф.** Теория фильтрации под гидротехническими сооружениями [Текст]/П.Ф. Фильчаков.- Киев: изд. АН УССР, т.1-2,1960.–С.308+256.
79. **Флетчер К.** Вычислительные методы в динамике жидкостей [Текст] / К. Флетчер. в 2-х томах. - М.: Мир, 1991. –С.328.
80. **Флорин В.А.** Основы механики грунтов [Текст] / В.А. Флорин. - М., Госстройиздат, 1961. –С.376.





81. **Форхгеймер Ф.** Гидравлика [Текст] / Ф. Форхгеймер. - М.-Л.: ОНТИ, 1935. –С.615.
82. **Херасков Н.П.** Тектоника и формации. Избранные труды [Текст] / Н.П. Херасков. - М., Наука, 1967. –С.138.
83. **Хмельник М.И.** Фильтрационное течение при наличии круглого включения в пласте [Текст] / М.И. Хмельник. // Физика горных пород и процессов. - М., МОПИ, 1967. –С.185.
84. **Христианович С.А.** Движение грунтовых вод, не следующее закону Дарси [Текст]/С.А. Христианович.//Прикл. мат. и мех., т.4, вып.1, 1940. -С.33-52.
85. **Чарный И.А.** Подземная гидромеханика [Текст] / И.А. Чарный. - М.-Л.: Гостехиздат, 1956. -С.196.
86. **Чугаев Р.Р.** Подземный контур гидротехнических сооружений [Текст] / Р.Р. Чугаев. - Л.: Госэнергоиздат, 1962. – С.237.
87. **Чудновский А.Ф.** Теплофизика почв [Текст] А.Ф. Чудновский. - М.: Наука, 1976. – С.353.
88. **Шахунянец Г.М.** Расчет устойчивости склонов и откосов против скольжения пород [Текст] Г.М. Шахунянец. - Киев: изд. КГУ, 1964. –С.19-23.
89. **Шейдеггер А.Е.** Физика течения жидкости через пористые среды [Текст] / А.Е. Шейдеггер. - М., Гостоптехиздат, 1960. –С.250.
90. **Шеко А.И.** Закономерности формирования и прогноз селей [Текст] / А.И. Шеко. - М.: Недра, 1980. –С.296.
91. **Шехтер Р.С.** Вариационный метод в инженерных расчетах [Текст] / Р.С. Шехтер. - М.: Мир, 1971. –С.292.
92. **Шустер Р.** Оползни. Исследование и укрепление [Текст] Р. Шустер, Р. Кризек. -М., 1981. –С.368.
93. **Щелкачев В.Н.** Подземная гидравлика [Текст] / В.Н. Щелкачев. - М.: Гостехиздат, 1949. –С.524.
94. **Яненко Н.Н.** Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики [Текст] Н.Н. Яненко. - Новосибирск: Наука, 1967. С.196.
95. **Baver L.D.** Soil physics [text] / L.D. Baver. - New York, Wiley, 1948. -P.489.





96. **Boussineso J.** Recherches theoriques sur l'ecoulement des nappes d'eau infiltrées dans le sol et sur le debit sources [text] / J. Boussineso. //J.math.pures et appl. 10. -n. 1. -1904. -P.5-78
97. **Collins R. E.** Flow of fluids through porous materials [text] / R. E. Collins. - New York, Reinhold,., 1961. -P.270.
98. **Darcy H.** Les fontaines publiques de la ville de Dijon [text] / H. Darcy. -Paris. -1856.
99. **Dupuit J.** Etudes theoriques et pratiques sur le mouvement des eaux [text] / J. Dupuit. -Paris. -1863. -P.304.
100. **Gardner W.R.** Dynamic aspects of water availability to plants [text] / W.R. Gardner. - Soil Sci., 89. 1960. -P.63-73.
101. **Klute A.** Some theoretical aspects of the flow of water in unsaturated soils [text] / A. Klute. - Proc. Soil Sci. Soc. Am., 16, N 2. 1952. -P. 144-150.
102. **Richards L. A.** Capillary conduction of liquids through porous medium [text] / L. A. Richards. - Physics, 1. 1931. -P. 318-333.
103. **Sharp S.F.** Landslides and related phenomena. A study of mass-movements of soil and rock [text] S.F. Sharp.- Pageant Book. New - Jersey. - 1938. P.137.
104. **Terzaghi K.** Ingenieur geologie [text] / K. Terzaghi. -Wien and Berlin. -1929. P.506.
105. **Бексултанов Ж.Т.** Көчкү беттериндеги стационардык эмес фильтрациянын баштапкы - четки маселелерин жакындаштырылган - аналитикалык эсептөө [текст] / Ж.Т. Бексултанов, Б.И. Бийбосунов, М.У. Уметалиев. // Научный журнал «Наука и новые технологии». – Бишкек. - 2011. №9.
106. **Бексултанов Ж.Т.** Тоо беттериндеги суюктуктун стационардык фильтрациясынын четки маселелеринин чыгарылышы [текст] / Ж.Т. Бексултанов, Б.И. Бийбосунов. // Научный журнал «Наука и новые технологии». – Бишкек. - 2011. №9.
107. **Бексултанов Ж.Т.** Көчкү жүрүүгө каршы жантайма беттин туруктуулугун эсептөө маселеси [текст] / Ж.Т. Бексултанов, Б.И. Бийбосунов, А.Б. Чечебаев. // Научный журнал «Известия ВУЗов» – Бишкек. - 2012. №5.



108. **Бексултанов Ж.Т.** Фильтрациондук жана инфильтрациондук процесстердин негизги теңдемелери жана алардын чыгарылыштары [текст] / Ж.Т. Бексултанов. // И.Арабаев атындагы КМУ жарчысы. – Бишкек. - 2012. №1. – С.76-79.

109. **Бексултанов Ж.Т.** Кыргызстандын түштүк аймагында таралган көчкүлөрдү прогноздоо үчүн корреляциялык-регрессиялык анализдин методдору [текст] / Ж.Т. Бексултанов // Научный журнал «Наука и новые технологии» - Бишкек. - 2013. №1. –С.10-14.

110. **Бексултанов Ж.Т.** Жер көчкү беттериндеги суюуктуктун бир өлчөмдүү инфильтрациясын эсептөө [текст] / Ж.Т. Бексултанов, Б.И. Бийбосунов, М.У. Уметалиев. // Сб.: Современные проблемы механики сплошных сред. – Бишкек. – 2013. Вып. 17.

111. **Бексултанов Ж.Т.** Бир тектүү – анизотроптун чөйрөдөгү стационардык эмес үч өлчөмдүү фильтрациянын маселелерин катарлардын жардамы менен чыгаруу [текст] / Ж.Т. Бексултанов, Б.И. Бийбосунов, М.У. Уметалиев. // Сб.: Современные проблемы механики сплошных сред. – Бишкек. – 2013. Вып. 17.

112. **Бексултанов Ж.Т.** Информационная система «Оползни Кыргызстана» [текст] / Ж.Т. Бексултанов, Б. И. Бийбосунов, К.С. Ачекеев. // Патент на базу данных. – Бишкек. – 2013.

113. **Бексултанов Ж.Т.** Кыргызстандагы көчкүлөрдү анализдөө жана прогноздоо үчүн маалыматтык технологияларды колдонуу [текст] / Ж.Т. Бексултанов, Б.И. Бийбосунов. // Интернет журнал ВАК КР. – Бишкек. - 2013.

114. **Бексултанов Ж.Т.** Кыргызстандын аймагындагы көчкү процесстеринин фильтрациялык жана инфильтрациялык факторлору [текст] / Ж.Т. Бексултанов, М. У. Уметалиев. // Вестник КГУ им И. Арабаева. –Бишкек. - 2013.

115. **Бексултанов Ж.Т.** Решение уравнения фильтрации жидкости в неоднородной среде с помощью ряда [текст] / Ж.Т. Бексултанов // Научный журнал «Поиск – Изденіс». Серия естественно-технических наук - г. Алма-Ата. - 2013.



## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 3.1 - Данные о количестве оползней для прогноза

Годы	Количество оползней	Осадки	Годы	Количество оползней	Осадки
1969	50	1250	1990	7	820
1970	30	900	1991	9	660
1971	15	600	1992	1	800
1972	20	820	1993	8	1000
1973	14	550	1994	50	1200
1974	5	550	1995	29	990
1975	6	550	1996	10	700
1976	7	800	1997	12	850
1977	3	780	1998	31	980
1978	7	660	1999	27	910
1979	22	790	2000	18	790
1980	16	700	2001	33	1000
1981	8	800	2002	42	1050
1982	6	600			
1983	3	640			
1984	5	710			
1985	6	700			
1986	2	600			
1987	20	1200			
1988	42	800			
1989	10	560			



**Таблица 3.2 - Данные о количестве оползней для прогноза**

Годы	Количество оползней	Осадки	Годы	Количество оползней	Осадки
1969	55	1500	1990	5	770
1970	18	1180	1991	8	790
1971	16	1000	1992	7	650
1972	20	1000	1993	20	730
1973	18	850	1994	60	1280
1974	4	860	1995	15	910
1975	6	920	1996	5	420
1976	4	940	1997	17	880
1977	0	980	1998	24	890
1978	5	870	1999	32	910
1979	0	980	2000	36	970
1980	5	900	2001	43	1100
1981	7	890	2002	28	920
1982	8	790			
1983	5	800			
1984	9	815			
1985	13	820			
1986	23	850			
1987	34	800			
1988	43	1050			
1989	25	1000			



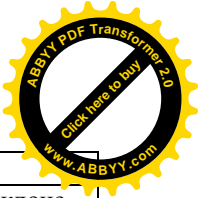
Таблица 3.3 - Данные о количестве оползней для прогноза

Годы	Количество оползней	Осадки	Годы	Количество оползней	Осадки
1969	72	1120	1990	3	500
1970	40	450	1991	5	550
1971	10	750	1992	2	500
1972	20	730	1993	30	900
1973	6	680	1994	60	1030
1974	4	600	1995	8	900
1975	1	650	1996	2	600
1976	3	690	1997	14	730
1977	4	720	1998	21	790
1978	3	600	1999	26	810
1979	25	980	2000	35	880
1980	17	890	2001	39	990
1981	4	750	2002	41	1100
1982	1	600			
1983	2	650			
1984	22	680			
1985	20	690			
1986	30	70			
1987	6	620			
1988	5	950			
1989	8	770			

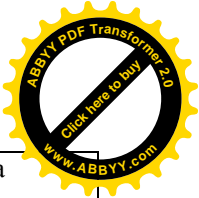


## Вводимые данные по оползням для базы данных «Оползни». ОПОЗНИ ПО ДЖАЛАЛ-АБАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Местоположение объекта	Вид ОПП Дата происше- ствия	Дата обследо- вания	Зона поражения
<b>2000 год</b>			
<b>Аксы́йский район</b>			
Кара-Сууский а/о <i>с. Кара-Суу уч. Ийри-Булун</i>	оползень	9.05.2000	подмыв береговой линии р. Кара-Суу
Кашка-Сууский а/о <i>с. Кашка-Суу уч. Тогорок-Сай</i> канал Кара-Башат	оползание грун- тов	3-23.04.2000	перекрытие оросительного ка- нала L= 50 м
Авлетимский а/о <i>с. Авлетим уч. Шадыбек-Булак</i>	оползень	3-23.04.2000	угрозы ж/домам нет
<b>Ала-Букинский район</b>			
Оруктинский а/о Орукту-Сай	оползень	21.08.2000	разрушен дюкер, поливная сис- тема
<b>Базар-Коргонский район</b>			
Талды-Булакский а/о <i>с. Кёк-Алма уч. Коргон-Жар</i>	оползень	25.05.2000	угрозы жилым домам нет
<b>Ноокенский район</b>			
<i>г. Таи-Кумыр уч. Восточный ул. Уметалиева</i> сай Русская Соль	оползень	3-23.04.2000 26.07.2000	угрозы жилым домам нет
<b>Сузакский район</b>			
Кугартский а/о <i>с. Жергетал</i> склон С экспозиции	формируется оползень	22.08.2000	под угрозой жилые дома
Кыз-Кольский а/о <i>с. Кызыл-Кия</i>	трещины L=150 м	18.08.2000	под угрозой жилые дома
Кыз-Кольский а/о <i>с. Ак-Тоок</i>	оползень	25.09.2000	под угрозой жилые дома
Кыз-Кольский а/о <i>с. Кара-Булак</i>	оползень	30.09.2000	под угрозой жилые дома
Кара-Алминский а/о <i>с. Орток</i>	оползень	20.09.2000	под угрозой жилые дома
а/о Тайгараева <i>с. Кызыл-Суу</i>	оползень в ста- дии подготовки	3-23.04.2000	школа, жилые дома ранее от- селены
<b>Токтогульский район</b>			
г. Кара-Куль <i>завод Достук</i> <i>р. Кара-Суу</i>	оползень	6.05.2000	оползень в неустойчивом со- стоянии
г. Кара-Куль <i>уч. ул. Жан-Кышто</i> <i>уч. Сухой сай</i>	оползень	6.05.2000	подвижек нет
<b>2001 год</b>			
<b>Аксы́йский район</b>			
Кара-Суйский а/о <i>с. Ийри-Булун</i>	оползень 1997 г.	24.03.2001	основная часть оползня сошла, жилые дома не пострадали
Кызыл-Тууский а/о <i>с. Кызыл-Туу</i>	оползень, сель	1-4.08.2001	в 3 части села под угрозой жи- лые дома
<b>Ала-Букинский район</b>			
Оруктинский а/о <i>с. Орукту</i>	оползень	24.03.2001	разрушен дюкер и поливная система на территории Орукту- Сая
<b>Базар-Коргонский район</b>			
Могольский а/о <i>уч. Кёк-Тонду</i>	оползень 1994 г.	03.03.2001	угрозы дому нет
<b>Сузакский район</b>			
Кыз-Кольский а/о <i>с. Сары-Булак</i>	оползень	15.04.2001 20.05.2001	на склоне В экспозиции трещина L= 50 м; под угрозой жилые дома
<b>2002 год</b>			

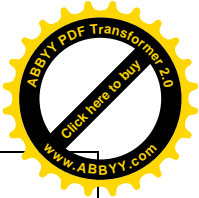


	<b>Аксы́йский район</b>			
	Авлетимский а/о <i>уч.Шадыбек-Булак</i>	оползень	09.05.2002	в южной части села на склоне С экспозиции активизация оползня; угроза домам
	Кара-Джыгачский а/о <i>с.Сыны уч.Сары-Булак</i>	формирование оползня	29.04.2002 19.06.2002	в Ю-В части села, на склоне 3 экспозиции образование трещин отрыва; угрозы домам нет
	Кызыл-Тууский а/о <i>с.Аркыт уч.Кызыл-Алма</i>	формирование оползня	09.05.2002	в В части села на склоне 3 экспозиции трещины длиной 10 м, угрозы домам нет
	<b>Базар-Коргонский район</b>			
	<b>Могольский а/о с.Оогон-Талаа</b> <i>уч. Уч-Кол</i>	17.04.2002 оползень 70х30х8	05.05.2002	под угрозой жилые дома
	<b>Могольский а/о с.Чкалова</b>	29.04.2002 оползень 60х25х5	05.05.2002	сошёл оползень в Ю части села
	<b>Сузакский район</b>			
	Кёк-Артский а/о <i>с.Жылгыз-Жангак</i>	формирование оползня	07.02.2002	на склоне С экспозиции трещины отрыва L=50 м, под угрозой дом
	Кёк-Артский а/о <i>с.Жылгыз-Жангак</i>	формирование оползня	05.02.2002	на склоне В экспозиции трещины отрыва до 80 м, под угрозой дома
	Кыз-Кольский а/о <i>с.Кара-Март уч. Чат</i> слияние р.Ой-Тал, Кара-Жыгач	оползень 3.02.2002	7.02.2002	оползень 40х20х5 м остановился в русле р.Кара-Март
	Кыз-Кольский а/о <i>с.Кара-Март</i>	формирование оползень	10.05.2002	в опасной зоне жилой дом
	Курманбековский а/о <i>с.Таран-Базар</i>	формирование оползня	24.05.2002	подвижек не наблюдается
	Таш-Булакский а/о <i>уч.Кара-Джыгач</i>	5-02.02 г. оползень V= 265 тыс.м <sup>3</sup>	10.03.2002	перекрыт руч.Ашым-Булак с образованием подпрудного озера V= 70 тыс. м <sup>3</sup> , угрозы нет
	Г.Кок-Джангак <i>ул.Кольцевая</i>	оползень-оплывина 29.09.2002	30.09.2002	под угрозой жилые дома
	г.Кок-Джангак <i>ул.Пионерская 33</i>	формирование оползня	29.03.2002	под угрозой жилой дом
	г.Майлуу-Суу <i>завод «Электроизолит»</i>	12.05.2002 оползень Тектоник V=400 м <sup>3</sup>	17.07.2002	оползень перекрыл и отжал реку Майлуу-Суу в сторону завода Изолит Подмыв фундаментов механического цеха, складов готовой продукции
	г.Майлуу-Суу	оползни	23.12.2002	активизация оползней Тектоник, Кой-Таш и в районе автозаправки
	<b>Чаткальский район</b>			
	Каныш-Киянский а/о <i>с.Айгыр-Джол уч.Кара-Суу лев.борт р.Кара-Суу</i>	18.02.02 г. оползень V= 35х400х10	03.03.2002 02.05.2002	перекрыта водоотводная канава (400 м) обеспечивающая водой 100 дворов
	Каныш-Киянский а/о <i>с.Айгыр-Джол уч.Кара-Суу</i>	формирование оползня	02.05.2002	в северной части села, на склоне Ю экспозиции трещины отрыва длиной 50 м, угрозы домам нет
	<b>2003 год</b>			
	<b>Аксы́йский район</b>			
	Ак-Джолский а/о <i>с.Райкомол пр.борт р.Райкомол</i>	формирование оползня	5.05.2003	Угрозы жилым домам нет

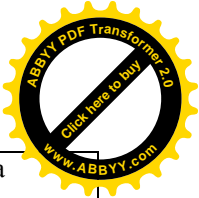


Ак-Джолский а/о с.Ак-Джол уч.Шына лев.борт р.Акжол	оползень V=15 тыс.м <sup>3</sup>	16.06.2003	под угрозой жилые дома
Ак-Сууский а/о с.Тёо-Басты	формирование оползня	28.05.2003	под угрозой жилые дома
Кара-Джыгачский а/о с.Сыны уч.Сары-Булак Ю.В.часть	оползневая трещина	21.04.2003 г.	угрозы жилым домам пока нет
Кара-Суйский а/о с.Кызыл-Кель лев.борт р.Карасуу	формирование оползней	5.05.2003 16.06.2003	угрозы жилым домам нет
<b>Ала-Букинский район</b>			
Орюктинский а/о с.Борбу пр.борт р.Орюктю-Сай	формирование оползня	26.04.2003	деформированы мет.трубы дю- кера D=52 см в основании склона; под угрозой жилые до- ма
<b>Базар-Коргонский район</b>			
Арсланбобский а/о с.Жарадар пр.борт р.Жарадар	оползень V=1 тыс.м <sup>3</sup>	17.05.2003	угрозы жилым домам нет
Базар-Коргонский а/о с.Беш- Бадам центр . часть лев.борт р.Кара-Ункур	формирование оползня	28.04.2003 29.05.2003	под угрозой жилые дома
Базар-Коргонский а/о с.Беш- Бадам нижняя часть лев.борт сая Жол-Кыя	оползень	28.04.2003	под угрозой жилые дома
Базар-Коргонский а/о с.Беш- Бадам л. борт р.Кара-Ункур	формирование оползня V= 2 млн. м <sup>3</sup>	8.07.2003	в опасной зоне жилой дом
Базар-Коргонский а/о с.Беш- Бадам л. борт р.Кара-Ункур	формирование оползня V=25 м <sup>3</sup>	19.08.2003	в опасной зоне жилой дом
Кенешский а/о с.Кара-Жыгач лев.борт р.Уч-Булак	оползень 1996 г.	28.04.2003	опасности жилому дому нет
Могольский а/о с.Чарба, уч.Улаш правый борт р.Арсланбоб	оползень V=8 тыс.м <sup>3</sup>	17.05.2003	возможен повторный сход
Могольский а/о с.Кызыл-Суу пр.борт р.Арсланбоб	оползень	28.04.2003	под угрозой жилые дома
Могольский а/о с.Ооган-Талаа	формирование 2-х оползней	28.04.2003	под угрозой жилые дома
Могольский а/о с.Ооган-Талаа	оползень 1998 г., сель	28.04.2003	грязевыми потоками заносит 3 участка
Могольский а/о с.Кёк-Тонду уч.Ортонкуайыл	формирование оползня V=200 м <sup>3</sup>	17.05.2003	опасности для жилого дома нет
Могольский а/о с.Чкалова лев.борт р.Кара-Ункур	оползень март 2003 г. V=25 тыс м <sup>3</sup>	26.10.2003	занесен участок дома Матка- дырова С., есть угроза дому
Талды-Булакский а/о с.Кыргыз- Каба пр. борт р.Гава-Сай	формирование оползня V= 49 тыс. м <sup>3</sup>	8.07.2003	под угрозой жилые дома
<b>Ноокенский район</b>			
Шайданский а/о с.Тоскоол лев.борт р.Тоскоол	оползеньV=20 тыс.м <sup>3</sup>	31.10.2003	под угрозой жилые дома
<b>Сузакский район</b>			
Багышский а/о с.Жаны-Куч (Сафаровка) лев.борт р.Кок- Жангак	формирование оползня V= 1,5- 2,0 млн.м <sup>3</sup>	23.04.2003	под угрозой жилые дома
Барпынский а/о с.Боз-Чычкан лев.борт р.Чангет	формирование оползня	21.04.2003	под угрозой жилые дома
Барпынский а/о уч.Порбу лев.борт р.Чангет	оползень V=10 тыс.м <sup>3</sup>	21.04.2003	перегорожена река, смыто 30 м а/д Д-Абат-Чангет (20-й км)
Барпынский а/о с.Сай пр.борт р.Чангет	оползень V=200 тыс.м <sup>3</sup>	21.04.2003	разрушен жилой дом

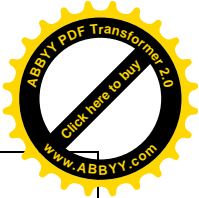




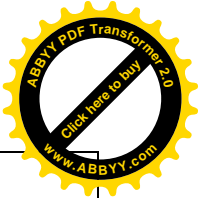
	Барпынский а/о с. Сай пр. борт р. Чангет	оползень	24.07.2003	под угрозой жилой дом
	Барпынский а/о с. Маркай	формирование оползня	21.04.2003	под угрозой жилые дома
	Кара-Алминский а/о с. Орток	оползень V=400 м <sup>3</sup>	19.05.2003	в опасной зоне 1 дом
	Кара-Алминский а/о уч. Чечен-городок	формирование оползня	19.05.2003	под угрозой жилые дома
	Кара-Алминский а/о уч. Кыргыз-Малаа пр. борт р. Орток	формирование оползня	19.05.2003	под угрозой жилые дома
	Кёк-Артский а/о с. Уч-Малай пр. борт р. Уч-Малай	оползень V=10 тыс.м <sup>3</sup>	5.05.2003	под угрозой жилые дома
	Курманбекский а/о с. Сары-Булак лев. борт р. Кугарт С-З часть села	оползень-оплывина	5.05.2003	под угрозой жилые дома
	Курманбекский а/о с. Гаран-Базар С часть	оползень V=400 м <sup>3</sup>	4.06.2003	угрозы жилым домам нет
	Курманбекский а/о с. Канжыга Ю часть	формирование оползня	16.07.2003	угрозы жилым домам нет
	Курманбекский а/о с. Калмак-Кырчын	оползень	5.12.2003	под угрозой жилые дома
	Курманбекский а/о с. Калмак-Кырчын	оползень	5.12.2003	под угрозой жилые дома
	Курманбекский а/о уч. Сары-Кюнгей лев. борт р. Кугарт	формирование оползня	16.07.2003 5.12.2003	подвижек нет
	Курманбекский а/о уч. Сары-Кюнгей р. Ончунунсу	оползни	16.07.2003	в опасной зоне жилой дом
	Курманбекский а/о уч. Сары-Кюнгей В. часть	оползень V=7 тыс.м <sup>3</sup>	16.07.2003	в опасной зоне жилой дом
	Курманбекский а/о уч. Сары-Кюнгей С-В часть села	формирование оползня	16.07.2003	под угрозой жилые дома
	Кыз-Кельский а/о уч. Майдан лев. бер. р. Карамарт	формирование оползня	5.05.2003	под угрозой жилые дома
	Кыз-Кельский а/о уч. Кош-Кунгой	оползень V=5 тыс.м <sup>3</sup>	5.05.2003	под угрозой жилые дома
	Кыз-Кельский а/о уч. Жаны-Айыл	формирование оползня V=6 тыс.м <sup>3</sup>	5.05.2003	под угрозой жилые дома
	Кыз-Кельский а/о с. Кашка-Терек	древний оползень 1994	21.04.2003	под угрозой жилые дома
	Кыз-Кельский а/о с. Кызыл-Кия лев. борт р. Кызылкия	формирование оползня	14.05.2003	под угрозой жилые дома
	Кыз-Кельский а/о а/д Сузак-Каду, 32,5 км пр. борт р. Каду	оползень-оплывина	21.04.2003	в опасной зоне а/дорога, на 33 и 33,2 км дорога разрушена
	Кызыл-Тууский а/о с. Соку-Таш пр. борт р. Ачи	формирование оползня	5.05.2003	на склоне В экспозиции трещины отрыва
	Кызыл-Тууский а/о с. Соку-Таш р. Ачы-Сай	формирование оползня	10.07.2003	угрозы жилым домам нет
	Кызыл-Тууский а/о с. Алмалуу пр. борт Алмалуу	оползень	5.05.2003	под угрозой жилые дома
	Кызыл-Тууский а/о с. Талаа-Булак	оползень V=22 тыс.м <sup>3</sup>	5.05.2003	под угрозой жилые дома
	Сузакский а/о с. Жапын пр. борт р. Чангет	оползень 18.04.2003 V=1 млн.м <sup>3</sup>	21.04.2003	под угрозой жилые дома
	Сузакский а/о с. Жапын лев. борт р. Чангет	формирование оползня	9.07.2003	под угрозой жилые дома
	Таш-Булакский а/о с. Таш-Булак	оползень 1994 г.	30.07.2003	под угрозой жилые дома
	пгт. Кок-Жангак ул. Красноармейская	оползень, сель 23.04.2003	23.04.2003	под угрозой жилые дома



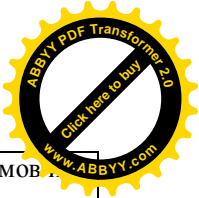
	пгт.Кок-Жангак ул.Суйоркулова	формирование оползня	23.04.2003	под угрозой жилые дома
	пгт.Кок-Жангак ул.Подгорная	формирование оползня $V=11000\text{м}^3$	12.06.2003	под угрозой жилые дома
	<b>Токтогульский район</b>			
	г.Кара-Куль завод Достук пр.борт р.Карасуу	оползень 1998 $V=15\text{ тыс.м}^3$	4.05.2003	под угрозой жилые дома
	г.Джалал-Абад квартал № 25	формирование оползня	25.06.2003	угрозы жилым домам нет
	г.Майлуу-Суу	оползень Изо-лит	9.04.2003	активизация правого блока оползня $V=60\text{ тыс.м}^3$ , под угрозой здание заводоуправления, лаборатория, склады
	г.Майлуу-Суу Здание ДСШ	оползень	30.05.2003	под угрозой здание ДСШ в р-не электромеханического техникума
	г.Майлуу-Суу ул.Бедресей 35 а, 23	оползни	30.05.2003	под угрозой жилые дома
	г.Майлуу-Суу ул.Пионерская 10	оползень $V=30\text{ тыс.м}^3$	30.05.2003	под угрозой жилые дома
	г.Майлуу-Суу пос.Южный Каражигач ул.Шахтерская 18	оползень $V=10\text{ тыс.м}^3$	30.05.2003	под угрозой жилой дом
	г.Майлуу-Суу пос.Кок-Таи пос.Северный Каражигач ул.Калинина	формирование оползня $V=8\text{ млн.м}^3$	23-26.04.2003	под угрозой жилые дома
	г.Майлуу-Суу пос.Сары-Бээ ул.Пионерская, 17, 19-1,19-6	формирование оползня $V=50\text{ тыс.м}^3$	23-26.04.2003	под угрозой жилые дома
	г.Майлуу-Суу пос.Сары-Бээ ул.Горького39,40	формирование нового оползня	23-26.04.2003	под угрозой жилые дома
	г.Майлуу-Суу пос.Сары-Бээ ул.Базарная	формирование 3 новых оползней	23-26.04.2003 Мелешко	под угрозой жилые дома
	г.Майлуу-Суу пос.Сары-Бээ ул.Загородняя 100в, 37 а	формирование нового оползня $V=15\text{ тыс.м}^3$	23-26.04.2003	под угрозой жилые дома
	г.Майлуу-Суу пос.Сары-Бээ ул.Толстого 28г	оползень	23-26.04.2003	под угрозой жилые дома
	г.Майлуу-Суу пос.Сары-Бээ ул.Молодежная 30	сплыв	23-26.04.2003	разрушена защитная ж/б подпорная стенка, и несущей стены дома
	г.Майлуу-Суу пос.Сары-Бээ ул.К.Маркса 16	оползень $V=80\text{ тыс.м}^3$	25.04.2003	оползень достиг жилого дома
	г.Майлуу-Суу пос.Кок-Таи ул.Кокташская 4а	формирование оползня $V=150\text{ м}^3$	23-26.04.2003	
	г.Майлуу-Суу ул.Намазбекова 97 а лев.борт р.Ашвазсай	формирование оползня	12.11.2003	под угрозой жилой дом
	<b>2004 год</b>			
	<b>Аксыйский район</b>			
	Авлетимский а/о с.Авлетим уч.Шадыбекбулак	активизация оползня	28.04.2004	под угрозой жилые дома
	Авлетимский а/о уч.Чонташ пр.борт р.Авлетим	30.04.2004 оползень $V=700\text{ м}^3$	2.05.2004	под угрозой жилые дома
	Авлетимский а/о уч.Чонташ лев.борт сая Боонункур	формирование оползня	2.05.2004	под угрозой жилые дома
	Авлетимский а/о уч.Шадыбекбулак	оползень	26.04.2004	под угрозой жилые дома



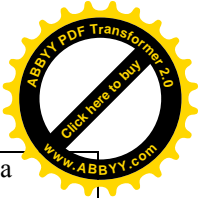
Авлетимский а/о <i>уч.Шадыбекбулак</i>	оползень	23.07.2004	под угрозой жилой дом
Акжолский а/о <i>с.Райкомол</i>	оползень	26.04.2004	под угрозой 3 жилых дома
Аксууский а/о <i>уч.Тообасты</i> пр.борт р.Аксуу	активизация оползня 1998 г.	5.05.2004	под угрозой жилые дома
Карасууский а/о <i>с.Жузумжан</i> <i>уч.Алтыайры</i> лев.борт р.Жузумжан	18.02.2004 сход оползня $V=30 \text{ м}^2$	20.02.2004 20.05.2004	под угрозой жилые дома
Карасууский а/о <i>уч.Бичела-Аюу</i>	формирование оползня	20.05.2004	под угрозой жилые дома
Карасууский а/о <i>с.Кезарт</i> лев.борт сая Кезарт	оползень $V=15$ тыс.м <sup>3</sup>	28.04.2004	под угрозой жилой дом
Карасууский а/о <i>с.Кезарт</i>	оползень	15.05.2004	под угрозой дом
Карасууский а/о <i>уч.Кызылкол</i> лев.борт р.Карасуу	27.04.2004 оползень $V=300$ м <sup>3</sup>	28.04.2004	перекрыта а/д Актерек- Авлетим
Кызыл-Тууский а/о <i>с.Жылгын</i> пр.борт р.Кожоата	формирование оползня	28.04.2004	под угрозой жилые дома
Кызыл-Тууский а/о <i>с.Жылгын</i> пр.борт р.Кожоата	оползень $V=2$ тыс.м <sup>3</sup>	5.05.2004	угрозы школе «Жылгын», угро- зы домам пока нет
Кызыл-Тууский а/о <i>с.Жылгын</i>	оползень	15.05.2004	под угрозой жилой дом
Кызылтууский а/о <i>уч.Турбаза</i> пр.борт р.Кожоата	оползень $V=600 \text{ м}^3$	5.05.2004	под угрозой жилые дома
Кызылтууский а/о <i>с.Жангакункур</i>	оползень	26.04.2004	под угрозой жилой дом
<b>Базар-Коргонский район</b>			
Арсланбобский а/о <i>с.Гумхана</i>	оползень	12.06.2004	под угрозой дом
Базаркоргонский а/о <i>с.Бешбадам</i> лев.борт р.Караункур	формирование оползня	12.02.2004	под угрозой жилые дома
Базаркоргонский а/о <i>с.Бешбадам</i> лев.борт р.Караункур	активизация оползня	26.04.2004	под угрозой жилые дома
Базаркоргонский а/о <i>с.Бешбадам</i>	формирование оползня	12.06.2004	под угрозой жилой дом
Базаркоргонский а/о <i>с.Бешбадам</i> лев.борт р.Караункур	формирование оползня	8.07.2004	под угрозой жилой дом
Кенешский а/о <i>с. Уч-Булак</i>	оползень	12.06.2004	под угрозой жилые дома
Могольский а/о <i>с.Ооган-Талаа</i>	оползень	17.03.2004	под угрозой жилой дом
Могольский а/о <i>с.Кёк-Алма</i>	оползень	12.06.2004	под угрозой жилой дом
Могольский а/о <i>с.Улаачы</i>	оползень	26.04.2004	под угрозой жилые дома
Талдыбулакский а/о <i>с.Кыргыз- Каба</i> пр.борт р. Кааба	оползень $V=49$ тыс.м <sup>3</sup>	8.07.2004 26.04.2004	под угрозой жилой дом
Талдыбулакский а/о <i>с.Коктонду</i>	оползень	26.04.2004	под угрозой жилой дом
<b>Ноокенский район</b>			
Шайданский а/о <i>с.Шынга</i> лес.хоз-во	оползень $V= 80$ куб.м	30.04.2004	под угрозой жилой дом
<b>Сузакский район</b>			
Кёкартский а/о <i>с. Уч-Малай</i>	оползень	26.04.2004	под угрозой жилые дома
Курманбекский а/о <i>с.Кенжылга</i>	оползень	26.04.2004	под угрозой жилой дом
Курманбекский а/о <i>с.Сары- Булак</i>	оползень	16.05.2004	1 дом разрушен
Курманбековский а/о <i>с.Таран- Базар</i>	оползень	10.05.2004	под угрозой жилые дома
Курманбековский а/о <i>с.Таран- Базар</i> пр.борт р.Кугарт	оползень	12.07.2004	угрозы домам Маматкуловой М. и Кишенова А. пока нет
Курманбековский а/о <i>с.Таран- Базар</i>	формирование оползня	16.05.2004	под угрозой 18 жилых домов, СПШ им.Камбарова



Курманбековский а/о с.Таран-Базар лев.борт р.Кугарт	активизация древнего оползня	16.05.2004	перекрыто русло
Курманбековский а/о с.Копсогор	оползень	10.05.2004	под угрозой жилые дома
Курманбековский а/о с.Копсогор	оползень	12.07.2004	под угрозой жилые дома
Курманбековский а/о с.Чон-Канжыга	оползень	10.05.2004	под угрозой жилые дома
Курманбековский а/о с.Калмак-Кырчын	формирование оползня V= 10 тыс.м <sup>3</sup>	20.04.2004	под угрозой жилые дома
Курманбековский а/о с.Калмак-Кырчын	формирование оползня V= 300 м <sup>3</sup>	12.07.2004	под угрозой жилые дома
Курманбекский а/о уч.Сарыкунгой	оползень	26.04.2004	под угрозой жилые дома
Кыз-Колский а/о с.Карамарт	оползень	26.04.2004	под угрозой жилые дома
г.Кок-Жангак ул.Суеркулова	оползень	10.04.2004	угрозы домам нет
г.Кокжангак	оползень	2.04.2004	под угрозой жилые дома
г.Кок-Жангак Детсад № 7	оползень	24.06.2004	над детсадом сошел небольшой оползень
<b>Токтогульский район</b>			
г.Каракуль уч.завод Достук пр.борт р.Карасуу	оползень	7.08.2004	под угрозой жилые дома
<b>Чаткальский район</b>			
Канышкыянский а/о с.Айгыржол пр.борт р.Карасуу	оползень	7.04.2004	разрушена а/д Айгыржол-Карасуу на L=20 м
Сумсарский а/о п.Шекафтар (В окраина) лев.борт р.Сумсар	активизация др.оползня	18.06.2004	под угрозой жилые дома
г.Жалал-Абад Курорт подхоз	формирование оползня	13.02.2004	жилым домам угрозы пока нет
г.Жалалабат Курорт подхоз	активизация оползня	3.05.2004	под угрозой жилые дома
<b>2005 год</b>			
Аксыйский район			
Авлетимский а/о с.Авлетим пр.борт р.Итагар	активизация оползня 1996	25.03.2005	под угрозой жилые дома
Авлетимский а/о с.Авлетим уч.Шадыбекбулак	активизация оползня	17.05.2005	под угрозой жилой дом
Авлетимский а/о с.Авлетим уч.Шадыбекбулак пр.борт р.Итагар	оползень 1994 г.	9.09.2005	под угрозой жилые дома
Авлетимский а/о уч.Кокжангак пр.борт р.Кокжангак	активизация оползня	24.03.2005	под угрозой жилые дома
Авлетимский а/о уч.Кокжангак	активизация оползня	17.05.2005	под угрозой жилой дом
Аксууский а/о с.Тообасты пр.борт р.Аксу	оползень 1998 г.	17.05.2005	опасности дома, помимо уже отселенных, нет
Жаны-Жолский а/о с.Кой-Таиш	активизация оползня	24.03.2005	под угрозой жилые дома

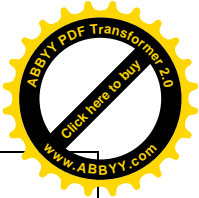


<b>Кара-Сууский а/о с.Жузумжан</b> лев.борт р.Жузумжан	формирование оползня	17.05.2005	под угрозой 5 жилых домов, строящаяся школа
<b>Кара-Сууский а/о с.Чалдыбар</b> пр.борт р.Карасуу	формирование оползня V=20 тыс.м <sup>3</sup>	6.10.2005	под угрозой жилой дом
<b>Кызыл-Тууский а/о с.Жылгын</b> пр.борт р.Кожоата	активизация оползня	24.03.2005	под угрозой жилые дома
<b>Кызыл-Тууский а/о с.Жылгын</b>	формирование оползня	11.04.2005	под угрозой 5 жилых домов здание школы
<b>Ала-Букинский район</b>			
<b>Кёк-Серекский а/о с.Сарыкыя</b> лев.борт р.Сарыкыя	формирование оползня V= 60 тыс.м <sup>3</sup>	19.05.2005	под угрозой жилые дома
<b>Орюктинский а/о уч.Борду</b> пр.борт р.Орюктусай	формирование оползня	7.10.2005	под угрозой дом
<b>Ноокенский район</b>			
<b>Шайданский а/о</b> уч.Казанмазар лев.борт р.Казанмазар	Оползень 11.06.2005 V= 700 тыс.м <sup>3</sup>	5.07.2005	разрушена в/х автодорога, пе- рекрыта речка
<b>Сузакский район</b>			
<b>Кара-Алминский а/о с.Кара- Алма уч.Кандуубулак</b> пр.борт р.Кандуубулак	формирование оползня	15.03.2005	под угрозой жилые дома
<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> уч.Калкамыйи пр.борт р.Орток	формирование оползня	23.04.2005	под угрозой жилые дома
<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> уч. Чеченгородок	формирование оползня	23.04.2005	под угрозой жилые дома
<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> уч. Чеченгородок лев.борт р.Орток	формирование оползня	31.03.2005	под угрозой жилые дома
<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> уч. Чеченгородок лев.борт р.Орток	формирование оползня	23.04.2005	под угрозой жилые дома
<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> уч.Контора лесхоза лев.борт р.Орток	оползень	31.03.2005	трещина в доме под угрозой здание конторы лесхоза
<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> уч.Контора лесхоза пр.борт р.Орток	оползень	31.03.2005	под угрозой жилые дома
<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> уч.Айтбайколот	оползень	31.03.2005	под угрозой жилой дом
<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> уч.Актерек	оползень, под- топление	31.03.2005	под угрозой жилой дом

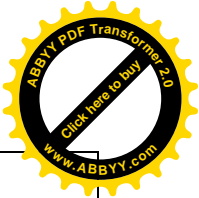


<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> <i>уч.Кыргызалма</i>	активизация оползня 1994	23.04.2005	под угрозой жилые дома
<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> <i>уч.Кыргызалма (центр)</i>	формирование оползня V =10,5 м <sup>3</sup> .	23.04.2005	под угрозой жилые дома
<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> <i>уч.Кыргызалма</i>	формирование оползня	29.07.2005	под угрозой дом
<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> <i>уч.Аюучанкан</i>	оползень 2004 г.	23.04.2005	под угрозой дом
<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> <i>уч.Кандуубулак</i>	формирование оползня	21.04.2005	под угрозой дом
<b>Кара-Алминский а/о с.Орток</b> <i>уч.Кандуубулак</i>	оползень	21.04.2005	угрозы домам нет
<b>Курманбекский а/о с.Таран- Базар пр.борт р.Кугарт</b>	оползневые трещины	13.10.2005	угрозы домам пока нет
Кыз-Колский а/о с.Ак-Тоок	оползень V= 20тыс.м <sup>3</sup>	28.03.2005	угрозы домам пока нет
<b>Кыз-Колский а/о с.Каду С-3 часть</b>	оползень, под- топление	26.04.2005	жилой дом деформирован
<b>Кыз-Колский а/о с.Кызкол а/д Сузак-Каду, 31 км, лев.борт р.Каду</b>	оползень	12.04.2005	разрушено 130 м полотна
<b>Кызыл-Тууский а/о с.Алмалуу лев.борт р.Ачы</b>	оползень V=17,5 тыс.м <sup>3</sup>	8.04.2005	перекрыта автодорога и русло реки
<b>Сузакский а/о с.Кыржол уч.Даарысу лев.борт р.Чангет</b>	формирование оползня	19.01.2005	угрозы домам пока нет
<b>Ырыский а/о с.Ачы пр.борт р.Ачысай</b>	оползневые трещины	14.05.2005	1 жилой дом аварийный
<b>г.Кок-Жангак ул.Карьерная 2,4</b>	формирование оползня	15.06.2005	под угрозой жилые дома
Токтогульский район			
<b>Сары-Камышский а/о уч.Ак- Колот правый борт р.Сарыкамыш</b>	24-26.04.2005 оползень V= 2 млн.м <sup>3</sup>	28.04.2005	перекрыто русло р.Сарыкамыш с образ-ем завального озера 300x100 м; разрушена а/д Ор- нок-Сары-Камыш (800 м), 10 опор ЛЭП 10, 2 опоры ЛЭП 0,4 и КТП, разрушены 3жилых до- ма
<b>Сары-Камышский а/о уч.Кара-Баткак пр.борт р.Сарыкамыш</b>	сход оползня V= 200 тыс.м <sup>3</sup>	28.04.2005	завалена а/дорога Орнок-Сары- Камыш на L = 100 м
<b>Сары-Камышский а/о уч. Сай Ак-Колот</b>	оползень	28.04.2005	формирование оползня, под уг- розой жилой дом





<b>Сары-Камышский а/о уч. Чат лев.борт р.Сарыкамыш</b>	смещение древнего оползня	29.04.2005	под угрозой жилой дом
<b>Сары-Камышский а/о с.Сары-Камыш</b>	оползень V=млн.м <sup>3</sup> 25.04.2005	31.07.2005	разрушена автодорога Орнок-Сарыкамыш (1 км)
<b>Перевал Кыргоо а/д Орнок-Сары-Камыш</b>	формирование оползня 100x50 м	28.04.2005	под угрозой а/д полотно (частично завалено)
<b>Чаткальский район</b>			
<b>Сумсарский п/с уч.Шарапкана лев.борт р.Сумсар</b>	оползень V=25тыс.м <sup>3</sup>	14.05.2005	под угрозой жилые дома
<b>Сумсарский п/с с.Шекафтар</b>	оползень	24.05.2005	под угрозой жилые дома
<b>Чаткальский а/о уч.Жеркупоро лев.борт р.Чаткал</b>	оползень V=20 тыс.м <sup>3</sup>	6.09.2005	под угрозой жилой дом
г.Майлуу-Суу			
	Оползень «Изо-лит»	23.03.2005	активизация правого блока, под угрозой заводоуправление, лаборатория, склады
	Оползень «Тектоник-1» 13.04.2004 V=300 тыс.м <sup>3</sup>	14.04.2005 Кулуев	перекрыто русло реки, разрушена а/д Майлуусуу-Сарыбээ, затоплена территория завода
<b>Хвостохранилища 3,9,18</b>	оползень	14.04.2005	активизация оползня выше хвостохранилищ
<b>Ул.Дачная 36 лев.борт р.Майлуусуу</b>	формирование оползня	12.04.2005	под угрозой жилой дом
<b>П.Сары-Бээ ул.Левобережная 78-82 лев.борт р.Майлуусуу</b>	активизация 2 оползней	12.04.2005	под угрозой жилые дома
<b>Ул.Левобережная 69</b>	формирование оползня V=150тыс.м <sup>3</sup>	7.05.2005	под угрозой жилой дом
<b>ул.Намазбекова 57-63</b>	формирование оползня	12.04.2005	под угрозой жилые дома
<b>ул.Намазбека 104</b>	активизация древнего оползня	12.04.2005	под угрозой жилой дом
<b>Автобаза АО «Баатыр»</b>	оползень	12.04.2005	автобаза расположена под опасным склоном
<b>ул.Тулбердиева</b>	оползень V= 6 тыс.м <sup>3</sup>	24.03.2005	под угрозой жилые дома
<b>Ул.Бедресай пр.борт р.Бедресай</b>	21.03.2005 оползень V= 45 тыс.м <sup>3</sup>	24.03.2005	под угрозой жилые дома
<b>Ул.Бедресай лев.борт р.Майлуусуу</b>	оползень V= 2 млн.м <sup>3</sup>	24.03.2005	разрушено 2 дома, под угрозой 13 домов
<b>ул.Бедресай 50 лев.борт р.Бедресай</b>	формирование оползня	12.04.2005	под угрозой жилой дом
<b>ул.Бедресай пр.борт р.Бедресай</b>	формирование оползня	12.04.2005	под угрозой жилой дом
<b>ул.Бедресай 23</b>	оползень	28.09.2005	дом разрушен



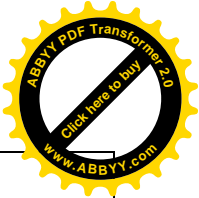
	<b>Ул.Спутника 3</b>	оползень	12.04.2005	угрозы дому нет
	<b>П.Сары-Бээ Ул.Жалалабатская</b>	оползень	24.03.2005	под угрозой жилые дома
	<b>п.Сары-Бээ уч.Когой ул.Л.Толстого 49-55</b>	древний оползень	12.04.2005	угрозы домам нет
	<b>п.Сары-Бээ уч.Когой лев.борт р.Когой</b>	активизация оползня V=20 тыс.м <sup>3</sup>	24.03.2005	под угрозой дом
	<b>п.Сары-Бээ с.Когой пр.борт р.Когой</b>	активизация древнего оползня	24.03.2005	под угрозой дом
	<b>Ул.Восточная 23</b>	активизация древнего оползня	12.04.2005	под угрозой дом
	<b>Ул.Жалалабатская 13</b>	активизация оползня	12.04.2005	под угрозой дом
	<b>ул.Жалалабатская</b>	активизация оползня 6.06.2005	27.06.2005	под угрозой жилые дома
	<b>ул.Жалалабатская</b>	активизация древнего оползня	15.06.2005	под угрозой жилые дома
	<b>уч.Баба-Ата ул.Жалалабатская</b>	активизация оползня	15.06.2005	под угрозой жилые дома
	<b>ул.Энгельса 18,23а</b>	оползень	29.06.2005	под угрозой жилые дома
	<b>п.Сары-Бээ ул.Намазбекова лев.борт р.Ашпасай</b>	оползень	24.03.2005	под угрозой дом
	2006 год			
	<b>Аксыйский район</b>			
	<b>Кара-Сууский а/о с.Жузумжан лев.б. р.Жузумжан</b>	активизация оползня	15.03.2006	под угрозой 3 жилых дома и недостроенная школа
	<b>Сузакский район</b>			
	<b>Кыз-Колский а/о с.Кызыл-Кия</b>	оползень	2.08.2006	под угрозой дома
	<b>г.Майлуу-Суу</b>	оползень Тектоник	7.03.2006	активизация оползня в феврале-марте, под угрозой дорожное полотно
	<b>г.Майлуу-Суу</b>	оползень Койташ	7.03.2006	активизация языка оползня, просадка а/д полотна



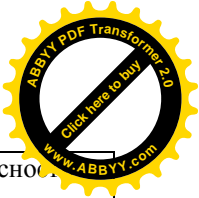


## ОПОЛЗНИ ПО ОШСКОЙ ОБЛАСТИ

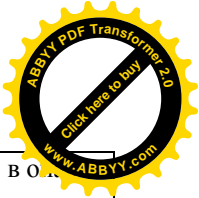
	Местоположение объекта	Вид ОПП Дата происше- ствия	Дата обследо- вания	Зона поражения
	<b>2000 год</b>			
	<b>Алайский район</b>			
15	Конур-Дебенский а/о <i>уч.Шамаке, Шамбили</i>	активизация оползня	9.03.2000	перекрыт канал Савай
16	Гульчинский а/о <i>с.Таш-Короо</i>	оползень	24.04.2000	участок под наблюдением с 04.99; в опасной зоне жилые дома
	<b>Кара-Кульджинский район</b>			
17	Кара-Гузский а/о <i>с.Жетим-Дебе</i> правобережье р.Карагуз	новый оползень 70x5x120	24.04.2000	в опасной зоне жилой дом
	<b>Кара-Суйский район</b>			
18	Катта-Талдыкский а/о <i>с.Эшме</i>	оползневая трещина	27.01.2000	жилой дом деформирован
19	Катта-Талдыкский а/о <i>с.Садырбай</i>	оползневые трещины	24.01.2000	в 50 м выше моста через канал на обоих бортах оползневые трещины В опасной зоне 60м канала и с.Садырбай
20	Шаркский а/о <i>г.Ош уч.Беи- Кана</i> пр.борт р.Акбуура	12.02.2000 оползень 8x15x2	9.03.2000	разрушен дом
21	Кызыл-Суйский а/о левобере- жье р.Куршаб	04.2000 сход оползня V=150 тыс.м3	14.04.200	есть опасность повторного схода и перекрытия ре- ки В опасной зоне-головное соору- жение канала Отуз-Адыр
	<b>Ноокатский район</b>			
22	Кара-Ташский а/о <i>с.Кара-Таш</i> <i>уч.Калинина</i>	оползень-поток 14-15.08.2000	15.08.2000	в опасной зоне жилые дома
23	а/о им.Зулпуева <i>с.Жатан</i>	оползень 300x200x15	29.09.2000	угроза перекрытия реки Хосчан. В опасной зоне ж/дома, грунт. дорога
	<b>Узгенский район</b>			
24	Жалпак-Ташский а/о <i>с.Кара- Тарык уч.Согот</i>	оползневые трещины 200м (V=0,5 лн.м3)	4.04.2000	в опасной зоне жилые дома
25	Ийри-Суйский а/о <i>с.Кара-Колот</i>	сход оползня в феврале 2000 г 50x15x1.5	4.04.2000	перекрыты 2 приусадебных участка
26	Саламаликский а/о <i>с.Кызыл- Байрак</i>	оползень	16.08.2000	в опасной зоне жилые дома
	<b>2001 год</b>			
	<b>Алайский район</b>			
32	Ленинский а/о <i>с.Мурдаш, уч.Жаман-Ой,</i> пр.берег р.Мурдаш	оползень	16.03.2001	на склоне СЗ экспозиции трещина L=160 м; в опасной зоне жилой дом
33	Гульчинский а/о <i>с.Гульча</i>	оплывина	18.04.2001	из-за засыпки 200 м канала выше села, возможно оползание насып- ного грунта на дома
34	Гульчинский а/о <i>с.Кара-Булак</i>	оползень	14.05.2001 Дегушев	оползневой участок в верхней части села, возможно перекрытие сая и ручья; угрозы домам нет
35	Бюлелинский а/о <i>с.Чон-Бюлелю</i>	оползень	14.05.2001	оползневой участок по левому бор- ту р.Чон-Бюлелю; в опасной зоне 2 жилых дома; оползневой участок в верхней части села, угрозы домам нет
36	Конур-Дёбенский а/о <i>с.Кара-Шоро</i>	оползень	14.05.2001	оползень на склоне В экспозиции; угрозы домам нет
	<b>Кара-Кульджинский район</b>			



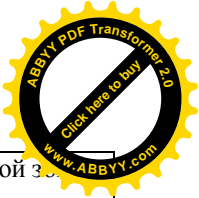
37	Кара-Гузский а/о <i>с.Пор</i> правый берег р.Жалпак-Таш	оползень 200×50×5 м 12.04.01	18.04.2001	опасности домам нет
38	Кара-Гузский а/о <i>с.Кенеи</i>	оползневые трещины L=200, 50 м	18.04.2001	в опасной зоне жилые дома
39	Кара-Гузский а/о <i>с.Тушунук</i>	формируется оползень	17.06.2001	в вост. части села на склоне 3 экспозиции трещины L=100 м, в опасной зоне дома
40	<b>Кара-Гузский а/о</b> <b><i>с.Алтын-Кюрёк</i></b>	формируется оползень	17.06.2001	на суглинистом склоне трещина L=250 м, в опасной зоне дома
	<b>Кара-Суйский район</b>			
41	Шаркский а/о <i>с.Беш-Кана №335</i>	оползень	27.02.2001	признаков смещения грунта нет.
42	Наримановский а/о <i>с.Лянгар</i>	формирование оползня	23.05.2001	на склоне С экспозиции трещина отрыва; в опасной зоне дома
	<b>Угенский район</b>			
43	Жалпак-Ташский а/о <i>с.Уч-Капчал уч.Ак-Кыя</i>	древний оползень	10.08.2001	в теле древнего оползня начались подвижки; в опасной зоне дома
	<b>2002 год</b>			
	<b>Алайский район</b>			
	Будалыкский а/о <i>с.Усен-Кол</i>	активизация др. оползня	23.06.2002	в опасной зоне жилые дома
	Бюлелинский а/о <i>с.Абышка-Оозу</i>	оползень		в опасной зоне жилой дом
	Бюлелинский а/о <i>с.Абышка-Оозу</i>	оползень	9.12.2002	при сходе оползня в р-не моста с.Кызыл-Кыштоо и перекрытии реки угроза затопления села
	Бюлелинский а/о <i>с.Абышка-Оозу уч.Таш-Арык</i>	формирование оползня	6.07.2002	в опасной зоне жилые дома
	Бюлелинский а/о <i>с.Кичи-Бюлелю</i>	оползень	17.05.2002	в опасной зоне жилой дом
	Бюлелинский а/о <i>с.Чон-Бюлелю уч.Кызыл-Кыштоо</i>	оползень	08.05.2002	в опасной зоне СШ им.Арзиева, ЛЭП, а/д и 5 жилых домов
	Бюлелинский а/о <i>с.Чон-Бюлелю уч.Гулек-Уулу</i>	14.05.2002 оползень	17.05.2002	угрозы жилым домам. и перекрытия реки нет
	Гульчинский а/о <i>с.Гульча</i>	27.04.2002 оползень V=14,4 млн.м <sup>3</sup>		разрушено 175 домов, 2 ТП и ЛЭП к райбольнице
	Гульчинский а/о <i>с.Гульча</i>	оползень V= 2 тыс.м <sup>3</sup> , сель	15.05.2002	под угрозой склад боеприпасов в/ч 92843
	Гульчинский а/о <i>с.Гульча уч.Жаны-Савай</i>	оползень	12.10.2002	оползень в стабильном состоянии, образование родников
	Гульчинский а/о <i>с.Таш-Короо лев.борт р.Таш-Короо</i>	древний оползень	1.04.2002	в опасной зоне жилые дома
	Гульчинский а/о <i>с.Жылуу-Суу</i>	оползень V= 200 м <sup>3</sup>	-14.05.2002	в опасной зоне жилой дом
	Гульчинский а/о <i>с.Жылуу-Суу</i>	оползень-оплывина	14.05.2002	опасности дому нет
	Конур-Дёбёнский а/о <i>с.Коблан-Кель СШ на 320 уч.мест, 1976 г. постройки</i>	оползень	2.03.2002	СШ расположена в 1 км от оползня, угрозы нет.
	Конур-Дёбёнский <i>с.Арна-Тектир</i>	активизация др.оползня	27.05.2002	в опасной зоне жилой дом
	Конур-Дёбёнский <i>с.Арна-Тектир уч.Кызыл</i>	активизация др. оползня	14.05.2002	в опасной зоне дома, клуб
	Конур-Дёбёнский <i>с.Арна-Тектир уч.Кызыл</i>	оползень	29.06.2002	2 оползня угрозы домам не представляют
	Ленинский а/о <i>с.Мурдаш уч.Кызыл</i>	формирование оползня	27.05.2002	в опасной зоне жилой дом



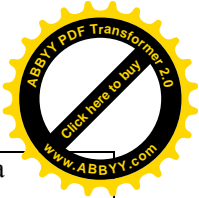
Ленинский а/о с.Мурдаш уч.Жарык-Таи	оползень	10-14.2002	активизация оползней, опасное жилым домам нет
Уч-Дёбёнский а/о с.Ак-Босого	оползень-обвал 5.09.2002	7.09.2002	в опасной зоне жилой дом., мет.опора ЛЭП
<b>Кара-Кульджинский район</b>			
Алайкуусский а/о с.Кёк-Арт уч.Агачогол лев.борт р.Талгийды	активизация оползня	5.05.2002	оползень объемом 100х200х6 м; под угрозой жилые дома
Кара-Гузский а/о с.Абышка- Кыя	оползень	5.05.2002	в опасной зоне 2 опоры ЛЭП
Кара-Гузский а/о с.Джетим- Дёбё лев.борт р.Кара-Гуз	оползень	5.05.2002	в опасной зоне жилые дома
Кара-Гузский а/о с.Джетим- Дёбё а/д Ылай-Талаа-Тушунук	5.05.2002 опол- зень V=200 тыс.м3	19.05.2002	разрушен а/мост через р.Кара-Гуз
Кара-Гузский а/о с.Тектир- Булак	оползень	5.05.2002	активизация оползня объемом 300х500х10 м; в опасной зоне дома
Капчыгайский а/о лев.борт р.Тар	оползень	9.07.2002	угрозы домам пока нет
Кара-Суйский район			
Папанский а/о с.Алчалы	оползень-поток	28.05.2002	6 времянков не пострадали, под оползнем сады и огороды
Папанский а/о уч.Кара-Таи	формирование оползня	28.05.2002	в опасной зоне жилые дома
<b>Ноокатский район</b>			
Исановский а/о с.Кок-Бель уч.Ак-Булак	3.06.2002 оползень	3.07.2002	разрушена кошара, в опасной зоне чабанский домик
<b>Узгенский район</b>			
Джалпак-Ташский а/о с.Кара- Тарык уч.Согот	оползень	23.04.2002	в опасной зоне жилые дома
Кёльдюкский а/о с.Кара- Джыгач уч.Жылгыз-Жангак	оползень	16.04.2002	в опасной зоне жилой дом
Мырза-Акенский а/о с.Кандава лев.склон руч.Кандава	оползень	16.04.2002	расширение трещин, просадка 1.5 м
2003 год			
Алайский район			
Будалыкский а/о с.Кара-Суу	оползень	4.05.2003	в опасной зоне жилые дома
Будалыкский а/о с.Кара-Суу	оползень, бере- говая эрозия	4.05.2003 25.05.2003	при сходе оползня возможен раз- мыв берега на уч. 2 ж.д.
Будалыкский а/о с.Кара-Суу лев.борт р.Кара-Суу	формирование оползня	28.04.2003	в опасной зоне жилой дом
Будалыкский а/о с.Кайнама лев.борт руч.Будалык	оползень 200х40х1-3 м	28.04.2003	под угрозой жилые дома, опора ВЛЭП 110
Будалыкский а/о с.Кайнама пр.борт руч.Будалык	оползень	28.04.2003	в опасной зоне жилой дом
Будалыкский а/о уч.Кок-Таи лев.борт р.Будалык	оползень V=600 тыс. м3 18.05.2003	19.05.2003	перекрыта река, разрушено 400 м а/д, озером затоплено 6 ж.д. затоп- лены столбы ЛЭП



	Будалыкский а/о с.Кум-Шоро	формирование оползня 100x150x3	4.05.2003	образована трещина 200 м; в опасной зоне дома
	Будалыкский а/о уч.Кум-Шоро, а/д Гульча-Будалык 13 км.	оползень V=3600 куб.м 15.04.2003	16.04.2003	перекрыта а/д на L= 70 м, Н=0.7-1,2 м; в аварийном состоянии дер.опора ВЛ-10 кВт
	Будалыкский а/о с.Кызыл-Тектир	оползень	28.04.2003	снесена грунтовая дорога, в опасной зоне дома, 2 опоры ЛЭП
	Будалыкский а/о с.Октябрь	камнепад, оползень	4.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Будалыкский а/о с.Октябрь	оползень V=48 тыс.м <sup>3</sup>	25.08.2003	в опасной зоне жилой дом
	Будалыкский а/о с.Октябрь уч.Алмалуу	оползень	28.04.2003	в опасной зоне жилые дома
	Будалыкский а/о с.Октябрь	оползень	28.04.2003	в опасной зоне жилые дома
	Будалыкский а/о с.Октябрь лев.борт р.Будалык	формирование оползня	30.10.2003	под угрозой жилой дом
	Бюлелинский а/о с.Кичи-Бюлелю СШ им.Нарматова	оползень		под угрозой школа
	Бюлелинский а/о с.Кичи-Бюлелю	оползень	28.04.2003	в опасной зоне жилые дома
	Бюлелинский а/о с.Кичи-Бюлелю пр.борт р.Бюлелю	оползень 100x250x12 м 3.05.2003 г.	4.05.2003	разрушен дом, в опасной зоне 1 дом опора ВЛЭП 110 кВт, школа на 300 уч., 1994 г.
	Бюлелинский а/о с.Кичи-Бюлелю лев.борт р.Бюлелю	оползни	4.05.2003	в опасной зоне дома, опора № 128 ВЛЭП 110 кВт возможно образование новых оползней
	Гульчинский а/о с.Жылуу-Суу уч.Долоно-Жыл пр.борт р.Жылуу-Суу	оползень	28.04.2003	перекрыто 80 м а/дороги, в опасной зоне дома
	Гульчинский а/о с.Жылуу-Суу пр.борт р.Жылуу-Суу	оползень V=40тыс.м <sup>3</sup>	25.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Гульчинский а/о с.Жылуу-Суу лев. борт р.Жылуу-Суу	формирование оползня	25.05.2003	угроза домам отсутствует
	Гульчинский а/о с.Жылуу-Суу лев. борт р.Жылуу-Суу	оползень 150x40 м	25.05.2003	под угрозой дома
	Гульчинский а/о с.Жылуу-Суу	формирование оползня	17.07.2003	в опасной зоне жилой дом
	Гульчинский а/о уч. Туматай-Чаты	оползень 2002 г.	27.03.2003	активизации нет. В случае активизации под угрозой а/д
	Гульчинский а/о уч. Туматай-Чаты сай Куздобо	оползень 80x800 м	25.05.2003	дом на теле оползня
	Гульчинский а/о с.От-Булак уч.Сээрче	оползень	30.10.2003	под угрозой жилой дом
	Гульчинский а/о	оползень «Жаны-Савай», 27.04.2002	27.03.2003	оползень в стабильном состоянии
	Гульчинский а/о автодорога Ош-Гульча уч.Мост ч/з р.Гульча	оползень-обвал образовался осенью 2002	27.03.2003	на высоте 250 м оползень 150x70x4 м В опасной зоне мост, а/дорога, АЗС, река
	Джошолунский а/о с.Тескей	оползни 11-12.04.2003	16.04.2003	в опасной зоне жилые дома
	Джошолунский а/о с. Тескей лев.борт р.Жошолу	оползень 100x10x2	18.04.2003 28.04.2003	в опасной зоне жилой дом
	Джошолунский а/о с.Ортосуу	оползень	25.05.2003	в опасной зоне жилой дом
	Джошолунский а/о с.Кыз-Эмчек уч.Коммунизм лев.борт р.Жошолу	оползень V=2,8 млн куб.м	28.05.2003	перекрыта река с образованием озера, а/д Гульча-Жошолу на L=100 м, снесены 10 ж/б опор ЛЭП, разрушены 5 домов

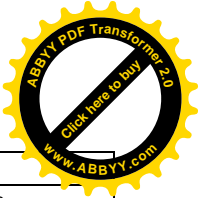


	Джошолунский а/о с.Талды-Булак	оползень	28.04.2003	жилой дом в оползнеопасной з...
	Конур-Дёбёнский а/о с.Кара-Шоро	формирование оползня	4.05.2003	формирование трещины L= 300 м; под угрозой дома
	Конур-Дёбёнский а/о с.Кызыл-Ой В часть	формирование оползня	31.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Корулский а/о с.Корул уч.Орон-Жылга	оползень, сель	16.04.2003 28.04.2003	в опасной зоне жилые дома
	Корулский а/о уч.Талды-Булак пр.борт р.Талды-Булак	оползень	4.05.2003	под угрозой жилой дом
	Ленинский а/о с.Мурдаш правый борт р.Мурдаш	оползень	28.04.2003	в опасной зоне жилые дома
	Ленинский а/о с.Мурдаш правый борт р.Мурдаш	оползень	4.05.2003	образовано 10 новых оползней, в опасной зоне дома
	Ленинский а/о с.Мурдаш уч.Жарык-Таи правый борт р.Мурдаш	оползень	4.05.2003	формирование оползневой трещины L=500 м
	Ленинский а/о с.Мурдаш левый борт р.Мурдаш	оползень	28.04.2003	в опасной зоне жилые дома
	Ленинский а/о уч.Кара-Таи	оползень-оплывина	4.05.2003	из-за утечек из арыка оплывание грунтов над 2 ж.д.
	<b>Кара-Кульджинский район</b>			
	Капчыгайский а/о с.Талды-Суу	оползень	15.05.2003	разрушена кошара. Дом вне опасной зоны
	Капчыгайский а/о с.Терек-Суу уч.Орток	оползень 05.2002 г.	5.05.2003	в опасной зоне жилой дом
	Кара-Гузский а/о с.Алтын-Кюрёк	формирование оползня	28.04.2003	в опасной зоне 8 жилых домов
	Кара-Гузский а/о с.Алтын-Кюрёк	оползень	27-28.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Кара-Гузский а/о с.Алтын-Кюрёк пр.борт сая	формирование оползня	7.11.2003	жители отселены в 2001 г.
	Кара-Гузский а/о уч.Отток	оползень V=100 тыс.м3	14.07.2003	в опасной зоне дом
	Кара-Гузский а/о с.Жетим-Дёбё СШ на 420 уч.мест	формирование оползня-оплывины	15.01.2003	
	Кара-Гузский а/о с.Жетим-Дёбё лев.борт р.Карагуз	оползень 300x80x8 27.04.2003	5.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Кара-Гузский а/о с.Кара-Жыгач	оползень	28.04.2003	опасности пока нет
	Кара-Гузский а/о с.Кара-Жыгач	оползень	18.06.2003	угрозы жилым домам нет
	Кара-Гузский а/о с.Кара-Жыгач	оползень	14.07.2003	в опасной зоне жилые дома
	Кара-Гузский а/о с.Насирдин пр.борт р.Карагуз	оползень 3120x35x3,5 25.04.2003	23-28.04.2003	разрушен 1 дом 100 м а/д Кара-Кульджа-Тушунук
	Кара-гузский а/о уч.Отток	оползень 300x30x10	7.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Кара-Гузский а/о с.Пор лев.борт р.Пор	формирование оползня	5.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Кара-Гузский а/о с.Тушунук уч.Очу	оползень-оплывина 15.05.2003	15.05.2003	оползень в 150 м от жилого дома
	Кара-Гузский а/о с.Тушунук уч.Очу	оползень 1000x300x10 25.05.2003	25.05.2003	в опасной зоне жилые дома

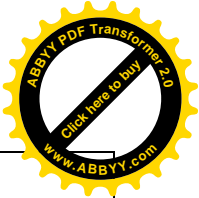


	Кара-Гузский а/о с. Тушунук уч. Очу	оползень	09.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Кара-Гузский а/о с. Тушунук уч. Очу пр. борт р. Очу	оползень 15x10x5	18.06.2003	в опасной зоне жилой дом
	Кара-Гузский а/о с. Тушунук уч. Бел	оползень- оплывина	15.05.2003	в 60 м выше дома Салиева М. оползание грунта
	Кара-Гузский а/о с. Тушунук уч. Баймат пр. борт р. Баймат	формирование оползня	15.05.2003	угроза дому отсутствует
	Кара-Гузский а/о с. Тушунук уч. Баймат лев. борт р. Баймат	оползень	28.04.2003	в опасной зоне жилые дома
	Кара-Гузский а/о с. Калматай лев. борт р. Карагуз СШ им. Калматова	формирование оползня	28.04.2003	расстояние до оползня 150 м
	Кара-Кочкорский а/о с. Ак-Кыя пр. борт р. Шорсу	оползень	28.04.2003	в опасной зоне жилой дом
	Кара-Кульдзинский а/о с. I Мая	формирование оползня	28.04.2003	опасности. пока нет
	Ой-Талский а/о с. Кундук уч. Кызыл-Булак лев. борт р. Кондук	оползень V=45 тыс. куб. м	5.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Ой-Талский а/о с. Ой-Тал уч. Будур	оползень	5.05.2003	в опасной зоне жилой дом
	Сары-Булакский а/о с. Ак-Колот	др. оползень 200x100x7 м	09.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Сары-Булакский а/о с. Кара- Булак лев. борт р. Кара-Булак	оползень	28.04.2003	опасности пока нет
	Сары-Булакский а/о с. Кара- Булак	оползень	28.04.2003	в опасной зоне жилой дом
	Сары-Булакский а/о с. Кара- Булак лев. борт р. Карабулак	оползень	18.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Сары-Булакский а/о с. Сары- Кюнгей лев. борт р. Кызылсуу	акт. древний оползень 200x70x5	5.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Сары-Булакский а/о с. Тогуз- Булак уч. Олжотой	оползень V=4,5 куб. м 7.05.2003	8.05.2003	разрушено 3 дома
	Сары-Булакский а/о с. Тогуз- Булак	оползень	22.09.2003	в опасной зоне жилой дом
	Сары-Булакский а/о с. Тегерек- Саз уч. Чалка	оползень- оплывина 30x12x1,5 7.04.2003	14.04.2002	в опасной зоне жилые дома
	Сары-Булакский а/о с. Топ-Тал	оползень 525 м <sup>3</sup>	9.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Чалминский а/о уч. Арал лев. борт р. Орюкту	оползень	18.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Чалминский а/о уч. Арал прав. борт р. Аккунгой	оползень	18.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Чалминский а/о уч. Март прав. борт р. Аккунгой	оползень	18.06.2003	под угрозой жилой дом
	Чалминский а/о уч. Бешкемтир лев. борт р. Аккунгой	оползень	18.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Чалминский а/о уч. Аккунгой пр. борт р. Аккунгой	оползень	18.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Чалминский а/о уч. Секи пр. борт р. Аккунгой	оползень	18.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Чалминский а/о с. Буйга уч. Алчалуу пр. борт р. Буйга	оползень	5.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Чалминский а/о с. Буйга уч. Алчалуу лев. борт р. Буйга	др. оползень 1500x150x15	-15.05.2003	возможно перекрытие реки с затоплением дороги, в опасной зоне ж.д. на другом берегу
	Чалминский а/о с. Буйга уч. Арал	оползень	28.05.2003	под угрозой жилой дом



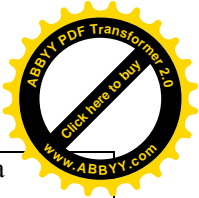


	Чалминский а/о с.Токбай-Талаа	село, оползень	5.05.2003	в опасной зоне дом
	Чалминский а/о с.Токбай-Талаа лев.борт р.Тар	оползень V=100 тыс.куб.м	28.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Чалминский а/о уч.Орток	оползень	5.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Блай-Талинский а/о с.Сай	оползень 30x8x2 м 15.04.2003	23- 28.04.2003	разрушены постройки, опасность 1 дому
	Блай-Талинский а/о с.Блай-Талаа р-н СШ	др.оползень 50x10x1,5	26.04.2003 22.09.2003	в опасной зоне жилые дома
	<b>Кара-Суйский район</b>			
	Катта-Талдыкский а/о с.Кара-Сөгөт уч.Долоно	формирование оползня	2.07.2003	в опасной зоне 9 жилых домов
	Катта-Талдыкский а/о с.Кара-Сөгөт уч.Долоно	формирование оползня	28.10.2003	в опасной зоне жилые дома
	Катта-Талдыкский а/о с.Талдык пр.борт Машрабсай	формирование оползня	13.09.2003	в опасной зоне жилые дома
	Кызыл-Сууский а/о с.Карадоо	формирование оползня 120x60x5	22.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Мадынский а/о с.Лаглан лев.борт сая Актерек	формирование оползня, село	5.07.2003	под угрозой жилой дом
	Папанский а/о с.Алчалуу	оползень	27.01.2003	в опасной зоне жилые дома
	Папанский а/о с.Кожо-Келен	обвал, оползень	9.04.2003	в опасной зоне жилой дом
	Папанский а/о с.Кожо-Келен	формирование оползня	27.10.2003	в опасной зоне жилые дома
	Сарайский а/о с.Миялы	формирование оползня	30.05.2003	Под угрозой дома и мечеть, автодорога Садырбай-Миялы
	Ноокатский район			
	Исановский а/о с.Тескей-Кожоке	оползень 20.22.2002	30.04.2003	канал им.Федорова в авар. состоянии, в опасной зоне 5 домов, пионерлагерь
	Кыргыз-Атинский а/о с.Ак-Булак	оползень	25.08.2003	в опасной зоне жилые дома
	<b>Узгенский район</b>			
	Ак-Джарский а/о с.Семиз-Коль уч.Таибулак	формирование оползня	28.06.2003	опасности домам нет
	Ак-Джарский а/о с.Какыр лев.борт р.Яссы	оползень	28.05.2003	перекрыт канал Жаны, а/д Мырза-Аке-Кара-Шоро, снесено 10 опор ВЛ-10 и 2 опоры ВЛ-35
	Ак-Джарский а/о с.Какыр лев.борт р.Яссы	оползень 21.05.2003 900x550x8 м		в опасной зоне жилые дома
	Алтын-Булакский а/о с.Кандава В часть села	оползень 12.04.2003 150x60x3 м	16.04.2003	оползень в стабильном состоянии, 2 ж.д. отселены в 1996 г.
	Алтын-Булакский а/о с.Кандава лев.борт р.Кандава	активизация оползней 1988, 1998 г.	1.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Алтын-Булакский а/о с.Кандава	формирование оползня	16- 18.07.2003	в опасной зоне жилой дом
	Алтын-Булакский а/о с.Кандава уч.Черемушки пр.борт р.Кандава	формирование оползня	16- 18.07.2003	угроза перекрытия р.Кандава и домам
	Алтын-Булакский а/о с.Алтын-Булак (Комсомол) лев.борт р.Кузгун	формирование оползня	16- 18.07.2003	жилые дома отселены в 1994 г.
	Жалпак-Ташский а/о с.Арал уч.Уч-Каптал	оползень 2001 г.	29.04.2003	в опасной зоне жилые дома

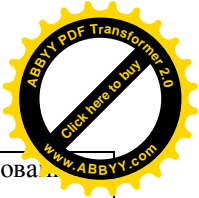


	Жалпак-Ташский а/о с.Арал уч.Уч-Кантал	оползень 2001 г.	6.05.2003	в опасной зоне жилой дом
	Жалпак-Ташский а/о с.Ак-Терек	активизация древнего ополз- ня	24.04.2003	в опасной зоне жилой дом
	Жалпак-Ташский а/о с.Ак-Терек	активизация древнего ополз- ня	6.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Жалпак-Ташский а/о с.Ак-Терек	активизация др.оползня	14.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Жалпак-Ташский а/о с.Ак-Терек	активизация оползней	29.07.2003	в опасной зоне жилые дома
	Жалпак-Ташский а/о с.Кара- Тарык уч.Сөгөт	20.04.2003 г. оползень V=1,5 млн.м <sup>3</sup>	24.04.2003 12.06.2003	разрушено 13 домов, погибло 38 чел; под угрозой 29 домов, мечеть
	Жалпак-Ташский а/о с.Кара- Тарык уч.Сөгөт	оползень	6.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Жалпак-Ташский а/о с.Кара- Тарык уч.Жалгызтам	активизация древнего ополз- ня	30.05.2003 23.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Жалпак-Ташский а/о с.Корбу- Таи уч.Абдыкар	оползень	24.04.2003	в опасной зоне жилые дома
	Жалпак-Ташский а/о с.Корбу- Таи уч.Абдыкар	оползень	6.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Жалпак-Ташский а/о с.Корбу- Таи уч.Абдыкар 3 часть	оползень	30.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Жалпак-Ташский а/о с.Корбу- Таи	оползень	24.04.2003 г.	в опасной зоне жилые дома
	Жалпак-Ташский а/о с.Корбу- Таи	24.04.03 г. опол- зень 70x20x4	24.04.2003 г.	в опасной зоне дом
	Жалпак-Ташский а/о с.Катрынкы	активизация др. оползня	24.04.2003 г.	в опасной зоне жилые дома
	Жалпак-Ташский а/о с.Катрынкы	активизация др. оползня	5.06.2003	1 дом в аварийном состоянии
	Жалпак-Ташский а/о с.Кенжбай	формирование оползня	5.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Жалпак-Ташский а/о с.Кызыл- Кунгой уч.Жээнбек-Булак	активизация 2-х оползней	30.05.2003	6 жилых домов в опасной зоне
	Жалпак-Ташский а/о уч.Кысытаи левый борт р.Каратарык	оползень V=1 млн.м <sup>3</sup>	16.06.2003	перекрыто 600 м а/дороги, возмож- ны повторы
	Жалпак-Ташский а/о а/д Кур- шаб-Жалтактаи	активизация оползня	5.06.2003	в опасной зоне а/д полотно
	Зергерский а/о с.Аюу пр. борт руч.Аюсай	древний опол- зень	1.05.2003	активизации пока нет, в опасной зоне СШ Дыйкан
	Зергерский а/о с.Аюу	оползень 1994 г.	1.05.2003	угрозы пока нет
	Зергерский а/о с.Аюу	активизация др. оползня 60x20x2 м	1.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Зергерский а/о с.Аюу	активизация др. оползня	18.07.2003	в опасной зоне жилые дома
	Зергерский а/о с.Аюу лев. борт р.Аюсай	активизация др.оползня	18.07.2003	под угрозой жилой дом
	Зергерский а/о с.Кайрат пр. борт р.Зергер	активизация оползня 1994	16- 18.05.2003	жители отселены в 1994 г., угрозы остальным пока нет
	Зергерский а/о с.Кутурган пр. борт руч.1 Мая	оползень	1.05.2003	в опасной зоне жилой дом
	Зергерский а/о с.Кутурган лев. борт р.Ак-Ноот	формирование оползня	1.05.2003	в опасной зоне жилой дом

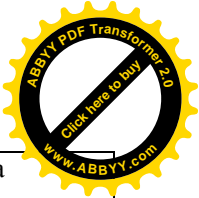




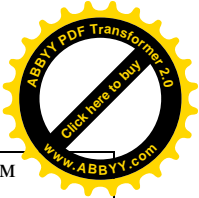
	Зергерский а/о с.Кутурган (1Мая)	формирование оползня	23.09.2003	в опасной зоне жилые дома
	Зергерский а/о с.Ничке-Сай лев.борт р.Ничкесай	древний оползень	1.05.2003	в опасной зоне жилой дом
	Зергерский а/о с.Ничке-Сай лев.борт р.Ничкесай	формирование оползня	1.05.2003	до жилого дома . 45 м
	Зергерский а/о с.Ничке-Сай пр.борт р.Ничкесай	формирование оползня	16.06.2003	в опасной зоне жилые дома
	Зергерский а/о с.Ничке-Сай уч. Чон-Шоро пр.борт р.Ничкесай	активизация древнего оползня	18.07.2003	в опасной зоне жилые дома
	Зергерский а/о с.Ничке-Сай уч. Чон-Шоро сай Шоробулак	оползень	18.07.2003	в опасной зоне жилые дома
	Зергерский а/о с.Ничке-Сай уч. Чон-Шоро лев.борт р.Ничкесай	активизация древнего оползня	-18.07.2003	жители отселены в 1994 г.
	Ийри-Сууский а/о с.Джангакты пр.борт р.Джангакты	формирование оползня	7.05.2003	под угрозой жилой дом
	Ийри-Сууский а/о с.Джангакты пр.борт р.Джангакты	формирование оползня	7.05.2003	под угрозой жилой
	Ийри-Сууский а/о с.Допу пр.борт р.Сары-Булак	активизация др.ползня	18.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Ийри-Сууский а/о с.Допу лев.борт р.Чангет	активизация оползней	21.08.2003	в опасной зоне жилые дома
	Ийри-Сууский а/о с.Остуруу уч.Караташ лев.борт р.Караташ	активизация оползня 1998 г. 60х10 м	18.05.2003	опасность для 3 домов на противоположном склоне отсутствует
	Ийри-Сууский а/о с.Остуруу уч.Караташ пр.борт р.Караташ	активизация оползня 1994г.	18.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Ийри-Сууский а/о с.Остуруу уч. Устункуайыл	активизация оползня 1994 г. V=10 тыс.куб.м	18.05.2003	жилой дом под угрозой
	Ийри-Сууский а/о с.Остуруу уч.Шоро	формирование оползня	16-18.05.03	под угрозой жилой дом
	Ийри-Сууский а/о с.Остуруу уч.Шоро	формирование оползня	18.05.2003	в опасной зоне жилой дом
	Ийри-Сууский а/о с.Остуруу	оползень 100х50х2-3 м	28.06.2003	под угрозой жилой дом
	Ийри-Сууский а/о с.Остуруу нач.школа на 48 уч.	оползень	21.08.2003 1.10.2003	школа на оползнеопасном участке
	Ийри-Сууский а/о с.Остуруу	оползень	18.07.2003	в опасной зоне жилые дома
	Ийри-Сууский а/о с.Чангет уч.Акчангыл	оползень 40х20х3	18.05.2003	под угрозой жилой дом
	Ийри-Сууский а/о с.Чангет уч. Чукубээ	активизация оползня 1998г.	18.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Ийри-Сууский а/о с.Чангет уч. Чукубээ	формирование оползня	18.05.2003	в опасной зоне жилой дом
	Ийри-Сууский а/о с.Чангет уч.Акташ	оползень	18.05.2003	опасности нет
	Ийри-Сууский а/о с.Чангет уч.Акташ	активизация оползня V=45 тыс.м <sup>3</sup>	21.08.2003	в опасной зоне жилые дома
	Ийри-Сууский а/о с.Балыкты лев.борт р.Чангет	оползень	18.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Ийри-Сууский а/о с.Балыкты пр.борт р.Чангет	формирование оползня	18.05.2003	в опасной зоне жилые дома
	Ийри-Сууский а/о с.Чалкойдо пр.борт р.Чангет	формирование оползня	18.05.2003	в опасной зоне жилые дома



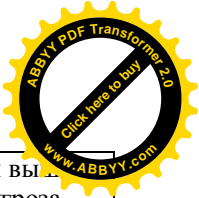
Ийри-Сууский а/о с. Чалкойдо пр. борт р. Чангет	трещина закола L=150м	21.08.2003	на 2-х уч. на склонах образова... трещин
Ийри-Сууский а/о с. Чалкойдо	формирование трещин L=120 м	21.08.2003	над домов Ормонова С. трещины и выход ПВ
Ийри-Сууский а/о с. Джийде пр. борт р. Джийде	формирование оползня	16-18.05.2003	жилому дому СШ им. Ботоярова угрозы нет
Ийри-Сууский а/о уч. Тактагай	оврагообразова- вание, оползень	14.06.2003	в опасной зоне жилой дом
Ийри-Сууский а/о мост ч/з р. Чангет, 40,42 км а/д Джалал-Абад-Чангет	оползень 1994, сель	16-18.05.2003	мост на 42 км, мостовой переход на 40 км разрушены полностью
Кара-Ташский а/о с. Элчибек	активизация оползня 2002г.	18.05.2003	опасности для домов пока нет
Кара-Ташский а/о с. Бинтымак	древний оползень	18.05.2003	в 10 м ниже жилого дома форми- рование оползневых трещин, опас- ности пока нет
Кароолский а/о с. Эркин	активизация древнего ополз- ня 1994 г 1000x500м	7.05.2003	в опасной зоне жилые дома
Кель-Дюкский а/о уч. Сары-Булак пр. борт р. Колдук	оползень-поток V=100 тыс.м <sup>3</sup> 4.05.2003 г.	7.05.2003	
Кель-Дюкский а/о уч. Ничке лев. борт р. Ничке	оползень	6-.05.2003	в опасной зоне жилые дома
Кель-Дюкский а/о уч. Ит-Конок	оползень	7.05.2003	сошел оползень над домом
Кель-Дюкский а/о уч. Ит-Конок лев. борт р. Колдук	оползень 350x15x2 м	18.07.2003	сошедший оползень в 25 от жилых домов
Кель-Дюкский а/о уч. Жанычек лев. борт р. Яссы	оползень V=20 тыс.м <sup>3</sup>	7.05.2003	под угрозой жилой дом
Кель-Дюкский а/о уч. Экинду лев. борт р. Колдук	оползень 16.04.2003	7.05.2003	оползень разгрузился в 100 м от дома Опасности нет
Куршабский а/о с. Кайнар	оползень	5.06.2003	опасности дому нет
Кызыл-Октябрьский а/о с. Кремль	формирование оползня	5.06.2003	в опасной зоне жилые дома
Мырза-Акенский а/о с. Коммунист пер. Мадумарова	активизация оползня 1998г.	1.05.2003	в опасной зоне жилые дома
Г. Узген	обвал-оползень	27.04.2003	в опасной зоне жилые дома
<b>2004 год</b>			
<b>Алайский район</b>			
Будалыкский а/о с. Карасуу	оползень	7.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Будалыкский а/о с. Карасуу уч. Букасай	активизация оползня	29.01.2004 7.04.2004	разрушен водопровод на L= 1,5 км, кошара, жилой дом
Будалыкский а/о с. Карасуу	оползень	4.05.2004	
Будалыкский а/о с. Кайнама лев. борт р. Будалык	оползень	11.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Будалыкский а/о с. Кайнама	оползень	11.11.2004	в опасной зоне жилые дома
Будалыкский а/о с. Октябрь	оползень, кам- непад	14.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Будалыкский а/о с. Октябрь	оползень, кам- непад, сель	11.11.2004	в опасной зоне жилые дома
Будалыкский а/о с. Октябрь уч. Арзыкула	активизация оползня	14.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Будалыкский а/о с. Октябрь уч. Шалба	активизация оползня	14.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Будалыкский а/о с. Октябрь	сель, оползень	30.07.2004	под угрозой жилой дом
Будалыкский а/о с. Октябрь	оползень	29.06.2004	под угрозой жилой дом
Будалыкский а/о с. Октябрь уч. Бука	оползень	20.12.2004	в опасной зоне жилые дома



Будалыкский а/о с.Тамгатерек р.Будалык	оползень	7.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Будалыкский а/о с.Тамгатерек	оползень	29.06.2004	под угрозой жилой дом
Будалыкский а/о с.Чат	активизация оползня	18.03.2004	в опасной зоне жилые дома
Будалыкский а/о с.Кумиоро	активизация оползня	7.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Будалыкский а/о с.Кумиоро уч.Кокташ	формирование оползня	7.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Будалыкский а/о с.Кумиоро	оползень	11.11.2004	под угрозой жилой дом
Бюлелинский а/о с.Абышкаоозу пр.борт р.Чонбюлелю	оползень, камнепад	8.05.2004	опасности от оползня нет
Бюлелинский а/о уч.Акбель	формирование оползня	15.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Бюлелинский а/о с.Чекилуу лев.борт р.Бюлелю	активизация оползня	7.04.2004	в опасной зоне жилые дома, 7 опор ЛЭП-35 аварийные, 3 опоры ЛЭП 100 на теле оползня
Бюлелинский а/о с.Чекилуу лев.борт р.Бюлелю	активизация оползня	11.05.2004	под угрозой 4 опоры ЛЭП-110, дом
Бюлелинский а/о левый борт р.Кичи-Бюлелю	оползень	19.02.2004	оползнем перекрыта река, затоплена территория школы им.Нарматова
Гульчинский а/о с.Жылуусу лев.борт р.Жылуусу	формирование оползня	27.01.2004	под угрозой 15 ж.д.
Гульчинский а/о с.Жылуусу уч.Долоножылга лев.борт р.Жылуусу	активизация др.оползня V=1 тыс.м <sup>3</sup>	18.03.2004	в опасной зоне 1 жилой дом
Гульчинский а/о с.Жылуусу уч.Туматай пр.борт руч.Туматай	формирование оползня	15.04.2004	угрозы домам пока нет
Гульчинский а/о с.Жылуусу лев.борт р.Жылуусу	формирование оползня	15.04.2004	под угрозой жилой дом
Гульчинский а/о с.Жылуусу лев.борт р.Жылуусу	формирование оползня	26.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Гульчинский а/о с.Жылуусу 76 км а/д Ош-Гульча лев.борт р.Жылуусу	формирование оползня	26.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Гульчинский а/о с.Карабулак уч.Секи пр.борт р.Карабулак	5.04.2004 сход оползня V=150 тыс.м <sup>3</sup>	7.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Гульчинский а/о с.Карабулак уч.Секи	оползень	12.07.2004	в опасной зоне жилые дома
Гульчинский а/о с.Карабулак	формирование оползня	4.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Гульчинский а/о с.Карабулак	формирование оползня	15.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Гульчинский а/о уч.Сарыташ лев.борт р.Жылуусу	формирование оползня	18.03.2004	в опасной зоне жилые дома
Гульчинский а/о с.Ташикорго	оползень-пльвун	29-30.07.2004	под угрозой жилой дом
Гульчинский а/о с.Чакмак	формирование оползня	12.05.2004	под угрозой 22 д.ж. скважина водозабора, фундамент ФАП
Жошолунский а/о с.Аютапан В часть лев.борт р.Жошолу	оползень	11.05.2004	угрозы жилым домам нет
Жошолунский а/о с.Аютапан	формирование оползня	11.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Жошолунский а/о с.Аютапан	формирование оползня	29.06.2004	под угрозой жилой дом
Жошолунский а/о с.Ортосуу	оползень	11.05.2004	под угрозой жилой дом, разрушен чабанский домик

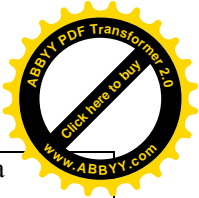


	Жошолунский а/о с.Миязды	формирование оползня	11.05.2004	под угрозой мельница и дом
	Жошолунский а/о с.Ленинжол лев.борт р.Жошолу	формирование оползня	11.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	Жошолунский а/о уч.Ленинжол лев.борт р.Жошолу	формирование оползня	29.06.2004	в опасной зоне жилые дома
	Жошолунский а/о уч.Коммунизм лев.борт р.Жошолу	формирование оползня	11.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	Жошолунский а/о с.Каратокту	оползень-оплывина V=1,2 млн.м <sup>3</sup>	11.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	Жошолунский а/о с.Уччат	формирование оползня	29.06.2004	в опасной зоне жилые дома
	Конурдебенский а/о с.Караширо лев.борт р.Гульча	активизация др.оползня	6.04.2004	под угрозой 23 опоры ВЛ-10, оросительный канал, тубдиспансер
	Конурдебенский а/о с.Караширо лев.борт р.Гульча	4-9.04.2004 сход др.оползня V=20 млн.м <sup>3</sup>	9.04.2004	оползень стабилизировался; угрозы туббольнице и ЛЭП нет
	Конурдѐбенский а/о с.Кобланкол уч.Котуртескей	активизация оползня V=157 тыс.м <sup>3</sup>	21.02.2004	угрозы домам нет
	Конурдѐбенский а/о с.Кобланкол СШ на 300 уч, 36, 64 г.	оползень	16.07.2004 20.12.2004	школа под угрозой оползня
	Конурдебенский а/о с.Кызылой	поток-оползень	4.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	Конурдебенский а/о с.Кызылой лев.борт р.Гульчинка	формирование оползня	15.04.2004	в опасной зоне жилые дома
	Корульский а/о с.Кенжылга уч.Мукур	формирование оползня V=5-8 тыс.м <sup>3</sup>	11.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	Корульский а/о с.Кенжылга уч.Талдыбулак	формирование оползня	29.06.2004	в опасной зоне жилые дома
	Корульский а/о с.Кенжылга уч.Туюк	формирование оползня V=10 тыс.м <sup>3</sup>	11.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	Корульский а/о с.Кенжылга уч.Акталааа пр.борт р.Корул (сай Караташ)	формирование оползня V= до 350 м <sup>3</sup>	11.05.2004	Угрозы домам нет
	Корульский а/о с.Тогуз-Булак уч.Тепши	оползень	6.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	Корульский а/о с.Тогуз-Булак уч.Тепши	оползень V= 1,2 млн.м <sup>2</sup>	29.06.2004	в опасной зоне жилые дома
	Ленинский а/о с.Мурдаш	активизация оползня	30.04.2004	в опасной зоне жилые дома
	Ленинский а/о с.Мурдаш уч.Кызылбулак	активизация оползня	7.04.2004	в опасной зоне жилые дома
	Ленинский а/о с.Мурдаш уч.Кызылбулак	активизация оползня	7.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	Ленинский а/о с.Мурдаш уч.Тегирменбою	активизация оползня V=20 тыс.м <sup>3</sup>	7.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	Ленинский а/о с.Мурдаш уч.Кенжылга	оползни	11.05.2004	5 формирующихся оползней жилым домам не угрожают
	Учебенский а/о с.Чонкаракол	формирование оползня	11.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	<b>Каракулжинский район</b>			
	Алайкууский а/о с.Канкоргон	оползень V=20 тыс.м <sup>3</sup>	30.04.2004	под угрозой жилой дом

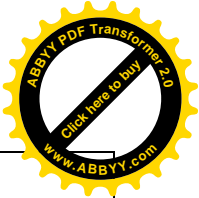


Карагузский а/о с. <i>Жетимдебе</i> уч. <i>Каражылга</i> лев. борт р. <i>Жетимдебе</i>	сход оползня V=10 тыс.м <sup>3</sup>	10.04.2004	оползень (суглинки) сошел вы... а/д Жетимдебе-Тушунук; угроза домам отсутствует
Карагузский а/о с. <i>Жетимдебе</i> уч. <i>Каражылга</i> правый борт р. <i>Жетимдебе</i>	формирование оползня	10.04.2004	под грозой жилой дом
Карагузский а/о с. <i>Жетимдебе</i> уч. <i>Жаныарык</i> пр. борт р. <i>Жетимдебе</i>	формирование оползня	10.04.2004 11.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Карагузский а/о с. <i>Жетимдебе</i> уч. <i>Жаныарык</i> пр. борт р. <i>Жетимдебе</i>	17.03.2004 оползень	30.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Карагузский а/о с. <i>Жетимдебе</i> уч. <i>Бадан</i> пр. борт р. <i>Жетимдебе</i>	оползень	10.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Карагузский а/о уч. <i>Каражыгач</i>	формирование оползня	11.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Карагузский а/о с. <i>Алтынкурок</i> пр. борт сая <i>Алтынкурок</i>	древний оползень 1994 г.	10.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Карагузский а/о уч. <i>Чырдай</i> лев. борт руч. <i>Чырдай</i>	сход оползня V= 12 тыс.м <sup>3</sup>	10.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Карагузский а/о с. <i>Каражыгач</i> лев. борт руч. <i>Каражыгач</i>	сход оползня V= 200 тыс.м <sup>3</sup>	26.03.2004	в опасной зоне жилые дома
Карагузский а/о с. <i>Каражыгач</i>	формирование оползня	26.03.2004	в опасной зоне жилые дома
Карагузский а/о с. <i>Каражыгач</i>	формирование оползня	12.10.2004	в опасной зоне жилые дома
Карагузский а/о с. <i>Пор</i> уч. <i>Тескей</i> пр. борт р. <i>Пор</i>	формирование оползня	26.02.2004	в опасной зоне жилые дома
Карагузский а/о с. <i>Пор</i> уч. <i>Тескей</i> пр. борт р. <i>Пор</i>	активизация др. оползней	11.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Карагузский а/о с. <i>Пор</i> уч. <i>Тескей</i> пр. борт р. <i>Пор</i>	активизация др. оползней	3.06.2004	в опасной зоне жилые дома
Карагузский а/о с. <i>Пор</i> уч. <i>Кунгой</i> лев. Борт р. <i>Пор</i>	Оползень	04.08.2004	в опасной зоне жилые дома
Карагузский а/о уч. <i>Тектир</i> лев. борт р. <i>Карагуз</i>	9.04.2004 оползень V= 1,5 млн.м <sup>3</sup>	20.04.2004	Искус. озером затоплена а/д Жетимдебе-Тушунук на 3 уч. Лобщ=200 м
Каракулжинский а/о с. <i>Биймырза</i>	формирование оползня	11.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Каракулжинский а/о с. <i>1 Мая, (3 часть)</i> уч. <i>Кулаганташ</i>	сход оползня V= 20-25 тыс.м <sup>3</sup>	17.03.2004	опасности домам пока нет
Каракулжинский а/о с. <i>1 Мая, (3 часть)</i> уч. <i>Алчалууколот</i>	подвижка др. оползня V= 30 м <sup>3</sup>	17.03.2004	перекрыт поливной ручей, опасности домам нет
Каракулжинский а/о с. <i>1 Мая,</i>	оползень	3.06.2004	опасности для жилых домов в данный момент нет
Каракулжинский а/о с. <i>1 Мая</i> уч. <i>Карабаткак</i> пр. борт р. <i>Каракулжа</i>	сход оползня	11.05.2004	погибли 2 человека
Каракулжинский а/о с. <i>1 Мая</i> уч. <i>Кокжар</i>	формирование оползня	30.04.2004	угрозы домам нет
Каракочкорский а/о с. <i>Аккыя</i> уч. <i>Ташигоро</i> лев. борт р. <i>Аккыя</i>	оползень	19.11.2004	в опасной зоне жилые дома
Сарыбулакский а/о с. <i>Сарыбулак</i> уч. <i>школа</i> лев. борт р. <i>Кызылсуу</i>	активизация др. оползня 18.03.2004	22.03.2004	под угрозой 2 дома школа и больница
Сарыбулакский а/о уч. <i>Больница</i> пр. борт р. <i>Кызылсуу</i>	активизация древнего, формирование оползня	21-22.03.2004	в опасной зоне жилые дома

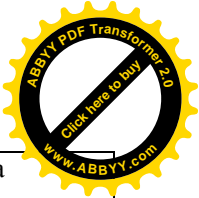




	Сарыбулакский а/о <i>уч.Кыложун</i>	активизация древнего, формирование оползня	22.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>уч.Акколот</i>	активизация др. оползня	26.02.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>уч.Акколот</i>	сход оползня V= 30 тыс.м <sup>3</sup>	22.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>уч.Сарыкёнгёй</i>	20.03.2004 сход др. оползня V=2,5 млн.м <sup>3</sup>	22.03.2004	разрушено 13 опор ВЛ-10, 10 телефонных столбов, а/д Каракулжа-Гульча
	Сарыбулакский а/о <i>уч.Сарыкёнгёй</i>	20.03.2004 активизация др. оползня V=2,5 млн.м <sup>3</sup>	22.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>с.Сарыкёнгёй уч.Ташкороо</i>	формирование оползней	3.06.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>уч.Шоро пр.борт р.Кызылсуу</i>	активизация др. оползня	22.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>уч.Тогузбулак пр.борт р.Кызылсуу, выше а/д Сарыбулак-Корул</i>	активизация оползня сошедшего в 2003 г.	22.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>уч.Тогузбулак</i>	Оползень	18.09.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>уч.Сагынуулу пр.борт р.Кызылсуу</i>	активизация др.оползня	22.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>уч.Сарыбулак уч.Топтал лев.борт р.Кызылсуу</i>	сход оползня 30.03.2004 V=2,5 млн.м <sup>3</sup>	26.02.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>уч.Торойчу</i>	оползень	4.08.2004	под угрозой жилой дом
	Сарыбулакский а/о <i>уч.Тегерексаз (Чалка) лев.борт руч.Чалка</i>	сход оползня V=60 тыс.м <sup>3</sup>	31.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>уч.Тегерексаз (Чалка) лев.борт руч.Чалка</i>	формирование оползня	31.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>с.Конокбайталаа пр.борт руч.Ажике</i>	формирование оползня	31.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>с.Конокбайталаа Ю окраина</i>	активизация оползня	11.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>с.Конокбайталаа</i>	оползень	3.06.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>с.Ахпор пр.борт руч.Ажике</i>	формирование оползня	31.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарыбулакский а/о <i>а/д Блайталаа-Сарыбулак (новая) лев.борт р.Кызылсуу</i>	сход оползней	11.05.2004	а/д перекрыта на L= 4 км
	Чалминский а/о <i>с.Буйга</i>	оползень	26.02.04	в опасной зоне жилые дома
	Чалминский а/о <i>с.Буйга уч.Бешкемтир</i>	оползень	21.01.2004	в опасной зоне жилые дома
	Чалминский а/о <i>с.Буйга уч.Бешкемтир</i>	оползень	4.08.2004	под угрозой жилой дом
	Чалминский а/о <i>с.Буйга уч.Бешкемтир</i>	оползень	12.10.2004	под угрозой жилой дом
	Чалминский а/о <i>с.Буйга уч.Тууракамыш</i>	оползень	21.01.2004	под угрозой жилой дом
	Чалминский а/о <i>с.Буйга уч.Тууракамыш</i>	оползень	4.08.2004	под угрозой жилой дом

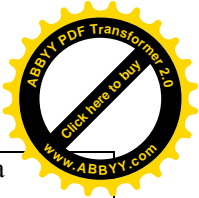


Чалминский а/о с.Буйга уч.Акконгой лев.борт р.Акконгой	оползень	21.01.2004	под угрозой жилой дом
Чалминский а/о с.Буйга уч.Акконгой	оползень	4.08.2004	под угрозой жилой дом
Чалминский а/о с.Буйга уч.Шыбакдон	сход др.оползня $V=1,4$ млн.м <sup>3</sup>	17.03.2004	разрушено 150 м а/д Чалма-Буйга, самовольная временная постройка
Чалминский а/о с.Буйга уч.Куумойнок	сход др.оползня $V=400$ тыс.м <sup>3</sup>	17.03.2004	разрушено 150 м а/д Чалма-Буйга, перекрыта р.Буйга с обр-ем озера $V=300$ м <sup>2</sup>
Чалминский а/о с.Токбайталаа уч.Тошбулак Ю часть	активизация оползня	30.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Чалминский а/о а/д Чалма- Буйга	оползни	17.03.2004	дорога не функционирует из-за пе- рекрытия 5 оползнями
Блайталинский а/о с.Блайталаа (р-н школы) лев.борт р.Тар	активизация древнего ополз- ня	13.03.2004	в опасной зоне жилые дома
Блайталинский а/о с.Блайталаа (Ю часть)	оползень $V=16$ тыс. м <sup>3</sup>	30.04.2004	опасности для жилых домов нет: чабанские домики разобраны
Блайталинский а/о с.Блайталаа	оползень	3.06.2004	земельные наделы под оползнем
Блайталинский а/о уч.Аккочку, а/д Каракулжа-Алайку, 15 км	активизация древнего ополз- ня		
Блайталинский а/о с.Сарыташ лев.борт р.Тар	сход др.оползня $V=800$ тыс.м <sup>3</sup>	31.03.2004	в опасной зоне жилые дома
Блайталинский а/о с.Сарыташ лев.борт р.Тар	сход др.оползня $V=1$ млн.м <sup>3</sup>	18.09.2004	в опасной зоне жилые дома
<b>Кара-Суйский район</b>			
Жаныарыкский а/о с. Учкун	формирование оползня	20.05.2004	трещины на склоне сая Чоорташ, под угрозой дом
Жаныарыкский а/о с. Учкун	формирование оползня	20.05.2004	под угрозой фермерские хоз-ва
Жаныарыкский а/о с. Учкун	формирование оползня	14.07.2004	под угрозой жилой дом
Катталдыкский а/о с.Карасогот уч.Долоно	активизация оползней	18.03.2004	в опасной зоне жилые дома
Катталдыкский а/о с.Карасогот уч.Долоно	17.04.2004 оползень $V=62$ тыс.м <sup>3</sup>	18.04.2004	погибли 5 детей, 10 жилых домов в зоне поражения
Катталдыкский а/о с.Карасогот уч.Суденка	оползень $V=42$ тыс.м <sup>3</sup>	18.04.2004	разрушены 2 опоры ЛЭП ВЛ10, перекрыта а/дорога на $L=100$ м
Катталдыкский а/о с.Карасогот уч.Орток	оползень $100 \times 50 \times 5$ м	29.04.2004	под угрозой жилые дома
Катталдыкский а/о с.Талдык	оползень	11.11.2004	под угрозой жилой дом
Кашгаркыштакский а/о с.Алгабас (а/д Ош-Гульча, 47 км) лев.борт р.Машрабсай	формирование оползня	3-.04.2004 1.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Кашгаркыштакский а/о с.Алгабас (а/д Ош-Гульча, 47 км) лев.борт р.Машрабсай	формирование оползня	27.08.2004	в опасной зоне жилые дома
Кашгаркыштакский а/о с.Бекжар уч.Кызыл	активизация оползня	9.12.2004	в опасной зоне жилые дома
Кашгаркыштакский а/о уч.Кызыл	формирование оползня	5.04.2004	угрозы домам нет
Кызылсууский а/о с.Карадоо	активизация оползня	17.03.2004	в опасной зоне жилые дома
Кызылсууский а/о с.Талдыбулак	формирование оползня	17.03.2004	в опасной зоне жилые дома
Кызылтууский а/о уч.Кёкдөбө	формирование оползня	20.03.2004	в опасной зоне жилые дома

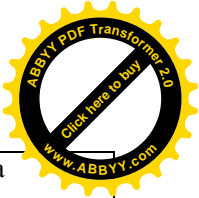


	Мадынский а/о с.Лаглан уч.Актерек	формирование оползня	15.04.2004	в опасной зоне жилые дома
	Наримановский а/о с.Лянгар	формирование оползня	19.03.2004	угрозы домам нет
	Наримановский а/о с.Лянгар лев.борт Машрапса	оползень	02.11.2004	образование трещин
	Автодорога Ош-Хорог, 36 км	формирование оползня	19.03.2004	угрозы домам нет
	Папанский а/о с.Алчалуу уч.Караташ лев.борт р.Акбуура	формирование оползня, сель	29.04.2004	в опасной зоне жилые дома
	Папанский а/о с.Кожокелен Ю-3 часть	активизация оползня	7.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Папанский а/о с.Кызылтуу, уч.Кокдобо	оползень	11.06.2004	в опасной зоне жилые дома
	Сарайский а/о с.Миялы уч.Кызылкол	25.04.2004 оползень V=450 тыс.м <sup>3</sup>	26.04.2004	разрушен жилой дом
	Сарайский а/о с.Миялы (центр. часть)	формирование оползня	26.04.2004	под угрозой дом мечеть, а/д Садыр-бай-Миялы
	Сарайский а/о с.Миялы	формирование оползня	10.08.2004	в опасной зоне жилые дома, неполная СШ
	Сарайский а/о с.Миялы пр.борт а/д Миялы-Кызылкол	формирование оползня	26.04.2004	под угрозой дом
	<b>Ноокатский район</b>			
	Зулпуевский а/о с.Жатан лев.склон р.Хошчан	оползень 1999 г. (300x200x 5-30 м)	11.03.2004	угроза перекрытия реки, домам угрозы пока нет
	Караташский а/о с.Чечме	14.07.2004 оползень V= 1 тыс.м <sup>3</sup>	6.08.2004	в опасной зоне жилые дома
	Кокбельский а/о уч.Акбулак	оползень V= 15-20 млн.м <sup>3</sup>	3.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	Кыргызатинский а/о с.Акбулак	др. оползень (1994 г.) V= 60.тыс.м <sup>3</sup>	13.04.2004	в опасной зоне жилые дома
	Ынтымакский а/о с.Беибуркан лев.борт сая Асай	оползень V=2,4 тыс.м <sup>3</sup>	5.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	<b>Узгенский район</b>			
	Алтынбулакский а/о с.Кандава уч.Черемушки лев.борт р.Кандава	оползень V=150 тыс.м <sup>3</sup> , активизация	30.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Алтынбулакский а/о с.Кандава уч.Черемушки пр.борт р.Кандава	формирование оползня	16.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	Алтынбулакский а/о уч.Сасыкбулак В окраина	формирование оползня	16.05.2004	в опасной зоне жилые дома
	Алтынбулакский а/о с.Таибашат (Молочный) лев.борт р.Кандава	формирование оползня	16.05.2004	под угрозой жилой дом
	Алтынбулакский а/о с.Таибашат (Молочный) лев.борт р.Кандава	формирование оползня	6.08.2004	в опасной зоне жилые дома
	Алтынбулакский а/о с.Алтынбулак лев.борт р.Кандава	формирование оползня	6.08.2004	под угрозой ФАП и клуб
	Алтынбулакский а/о с.Алтынбулак	формирование оползня	30.06.2004	под угрозой жилой дом
	Алтынбулакский а/о с.Алтынбулак пр.борт р.Кандава	оползень	13.10.2004	в опасной зоне жилые дома

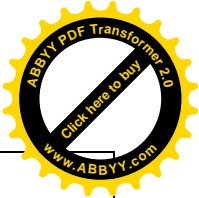




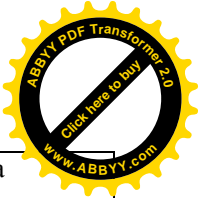
Жалпакташский а/о <i>уч.Абдыкаар</i>	активизация оползня-потока $V=6 \text{ тыс.м}^3$ ,	23.03.2004	в опасной зоне жилые дома
Жалпакташский а/о <i>уч.Арал</i>	оползень	28.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Жалпакташский а/о <i>уч.Чынарбулак</i>	древний оползень	23.03.2004	20 домов на теле оползня, ниже домов активизируется оползень с перекрытием а/д Куршаб-Тузбел
Жалпакташский а/о <i>с.Кызылкунгой</i> пр.борт ручья	формирование оползня	28.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Жалпакташский а/о <i>с.Кысыкалма</i> пр.борт р.Шорсу	формирование оползня	28.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Жалпакташский а/о <i>с.Тузбел</i> <i>уч.Мечать</i>	формирование оползня	23.03.2004	в опасной зоне жилые дома
Жалпакташский а/о <i>с.Тузбел</i> <i>уч.Катрынкы</i>	формирование оползня	23.03.2004	в опасной зоне жилые дома
Жалпакташский а/о <i>с.Тузбел</i> <i>уч.Катрынкы</i>	оползень	26.08.2004	в опасной зоне жилые дома мельница
Жалпакташский а/о <i>уч.Нижний Арал</i>	активизация др. оползня $V=100$ $\text{тыс.м}^3$	23.03.2004	в опасной зоне жилые дома
Жалпакташский а/о <i>с.Актерек</i>	формирование оползня	23.03.2004	выше дороги образование трещины 60м x 5 см Опасности домам пока нет
Жалпакташский а/о <i>с.Актерек</i>	активизация др. оползня	29.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Жалпакташский а/о <i>уч.Катыранкы</i>	формирование оползня	29.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Жалпакташский а/о <i>строющаяся</i> <i>а/д Куршаб-Тузбел с.Косыкташ</i>	активизация оползня	19.02.2004	На 13 км полотно а/дорога просело, заполнено оползневыми массами.
Зергерский а/о <i>с.Тосой</i>	оползень	6.08.2004	на опасном участке здание (б.контора с/упр)
Зергерский а/о <i>с.Кайрат</i> лев.борт р.Зергер	сход оползня	27.02.2004	в опасной зоне жилые дома
Зергерский а/о <i>с.Кайрат</i> лев.борт р.Зергер	оползень	6.08.2004	на опасном участке здание чайханы
Зергерский а/о <i>с.Кайрат</i>	оползень	6.08.2004	при отселении в 1994 г.
Зергерский а/о <i>с.Кутурган</i> <i>уч.Медет</i> пр.борт р.Кутурган	формирование оползня	29.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Зергерский а/о <i>уч.Кочку</i> лев.борт р.Зергер ниже устья р.Шамрат	оползень	16.05.2004	в опасной зоне жилые дома
Зергерский а/о <i>с.Ничке</i> <i>уч.Караколот</i> пр.борт р.Ничке	формирование оползня	29.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Зергерский а/о <i>с.Ничке</i> <i>уч.Жузумдуколот</i> лев.борт р.Ничке	формирование оползня	29.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Зергерский а/о <i>с.Ничке</i> <i>уч.Жузумдуколот</i> лев.борт р.Ничке	формирование оползня	30.06.2004	под угрозой жилой дом
Зергерский а/о <i>с.Ничке</i> <i>уч.Котогор</i>	оползень	29.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Зергерский а/о <i>с.Ничке</i> <i>уч.Котогор</i> лев.борт р.Ничке	формирование оползня	30.06.2004	в опасной зоне жилые дома
Зергерский а/о <i>с.Ничке</i> пр.борт р.Ничке выше а/д Ничке-Кайрат	формирование оползня	29.04.2004	в опасной зоне жилые дома
Зергерский а/о <i>с.Ничке</i> <i>уч.Найман</i> лев.борт р.Ничке	формирование оползня	29.04.2004	под угрозой жилой дом
Зергерский а/о <i>с.Ничкеуч.Кормоцех</i> лев.борт р.Ничке	формирование оползня	30.06.2004	в опасной зоне жилые дома



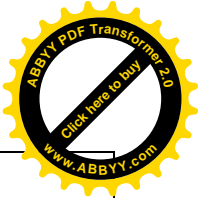
	Зергерский а/о с.Ничкесай	формирование оползня	27.02.2004	в опасной зоне жилые дома
	Зергерский а/о с.Ничкесай пр.борт р.Ничке	формирование оползня	27.02.2004	на склоне 3 экспозиции трещины; до 5 домов 320 м
	Зергерский а/о с.Токтогул лев.борт р.Зергер	оползень	27.02.2004	канал «Токтогул» заполнен грунтом на L=600 м
	Ийрисууский а/о с.Жангакты	оползень	12.08.2004	под угрозой жилой дом
	Ийрисууский а/о уч.Чапкынды	оползень	26.07.2004	жилой дом разрушен
	Караташский а/о с.Коргон лев.борт сая Коргон	формирование оползня V=50 тыс.м <sup>3</sup>	12.04.2004	в опасной зоне жилой дом
	Караташский а/о с.Эльчибек правый борт сая Эльчибек	формирование оползня V=30 тыс.м <sup>3</sup>	12.04.2004	в опасной зоне жилые дома
	Кароолский а/о уч.Досмат	31.05.2004 оползень V=72 тыс.м <sup>3</sup>	1.06.2004	под угрозой дом
	Колдукский а/о уч.Итконок лев.борт р.Колдук	оползень	16.05.2004 1.06.2004	в опасной зоне жилые дома
	Колдукский а/о уч.Тоодыйкан Ю окраина	оползень-поток	16.05.2004	разрушены хозпостройки дома
	Колдукский а/о с.Колдук уч.Каражыгач лев.борт	формирование оползня	6.08.2004	под угрозой жилой дом
	Кызылоктябрьский а/о с.Каражыгач	оползень	21.11.2004	под угрозой жилой дом
	Куршабский а/о с.Кайнар	формирование оползня	20.09.2004	под угрозой 2 жилые дома
	Кызылтооский а/о уч.Карчабек	оползень 900x550x10	13.04.2004	иск.озером затоплен дом
	Мырзаакенский а/о с.Мырзааке ул.Мадумарова уч.Жанычек	формирование оползня	30.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Чангетский а/о с.Остуруу	оползень 100x50x3	16.05.04	под угрозой жилой дом
	Чангетский а/о с.Остуруу	активизация др. оползня	15.07.2004	жилой дом аварийном состоянии
	Чангетский а/о с.Чалкойдо	активизация др. оползня	15.07.2004	жилой дом разрушен
	Чангетский а/о с.Чангет	активизация оползней	15.07.2004	в опасной зоне жилые дома.
	Чангетский а/о с.Допу	оползень	6.10.2004	под угрозой жилой дом
	<b>2005 год</b>			
	<b>Алайский район</b>			
	Будалыкский а/о с.Кумшоро	формирование оползня	29.03.2005	в опасной зоне жилые дома
	Будалыкский а/о с.Кумшоро	оползень	13.05.2005	под угрозой жилой дом
	Будалыкский а/о с.Кумшоро	формирование оползня	7.07.2005	под угрозой дома
	Будалыкский а/о с.Кумшоро уч.Кокташ	сдвигка оползня V= 200 тыс.м <sup>3</sup>	20.09.2005	в опасной зоне жилые дома
	Будалыкский а/о с.Кайнама	оползень	12.04.2005	в опасной зоне жилые дома
	Будалыкский а/о с.Кайнама	оползень	13.05.2005	1 жилой дом аварийный
	Будалыкский а/о с.Карасуу	формирование оползня	23.05.2005	под угрозой 9 жилых домов
	Будалыкский а/о с.Карасуу	оползень	12.04.2005	под угрозой жилой дом
	Будалыкский а/о с.Карасуу	оползень	13.05.2005	под угрозой жилой дом
	Будалыкский а/о с.Карасуу уч.Долоно	формирование оползня	23.05.2005	в опасной зоне жилые дома



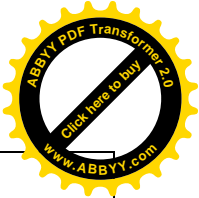
	Будалыкский а/о с. <i>Октябрь</i> уч. <i>Алмалуу</i>	сель, оползень	7.07.2005	под угрозой жилой дом
	Будалыкский а/о уч. <i>Коккыя</i> пр. борт р. Будалык	оползень 11.06.05	12.06.2005	перекрыта а/д Будалык-Октябрь, под угрозой русло реки
	Бюлелинский а/о с. <i>Кичибюлелю</i>	оползень	13.05.2005	в опасной зоне жилые дома
	Бюлелинский а/о с. <i>Кызылкыштоо</i>	формирование оползня	13.05.2005	угрозы домам нет
	Гульчинский а/о уч. <i>Туматай</i>	формирование оползня		в опасной зоне жилые дома
	Жошолунский а/о с. <i>Кызэмчек</i>	формирование оползня	13.05.2005	под угрозой жилой дом
	Кабыланколский а/о уч. <i>Кунгой</i>	формирование оползня	29.03.2005	в опасной зоне жилые дома
	Корулский а/о с. <i>Ооронжылга</i>	оползень-поток	29.03.2005	в опасной зоне жилые дома
	Корулский а/о с. <i>Мукур</i>	оползень-поток	29.03.2005	в опасной зоне жилые дома
	Корулский а/о уч. <i>Туюк</i>	оползень	29.03.2005	выше сошедшего оползня трещины, под угрозой дом
	Ленинский а/о с. <i>Мурдаш</i> уч. <i>Акталааа</i>	формирование оползня	29.04.2005	угрозы домам пока нет
	Ленинский а/о с. <i>Мурдаш</i> уч. <i>Кызылбулак</i>	формирование оползня	29.03.2005	в опасной зоне жилые дома
	Ленинский а/о с. <i>Мурдаш</i> уч. <i>Кенжылга</i>	формирование оползня	13.05.2005	в опасной зоне жилые дома
	Ленинский а/о с. <i>Мурдаш</i>	оползень	11.08.2005	дом на языке оползня
	<b>Араванский район</b>			
	Аллы-Анаровский а/о с. <i>Кара-Булак</i> лев. борт р. Карабулак	формирование оползня	30.03.2005	под угрозой 3 жилых дома и 4- летняя нач. школа
	<b>Кара-Кулжинский район</b>			
	Карагузский а/о с. <i>Алтынкурок</i> пр. борт сая	оползень	2.02.2005	под угрозой 45 семей, СШ Кенеш
	Карагузский а/о с. <i>Жетимдобо</i> уч. <i>Каражылга</i> лев. борт р. Карагуз	активизация оползня 2004 г.	23.03.2004	в опасной зоне жилые дома
	Карагузский а/о уч. <i>Каражыгач</i>	оползень	5.01.2005	под угрозой жилой дом
	Карагузский а/о уч. <i>Очу уулу</i> пр. борт р. Баймат	оползень	2.02.2005	под угрозой жилой дом
	Карагузский а/о с. <i>Тушунук</i> уч. <i>Оочу</i>	оползень	27.04.2005	угрозы домам нет
	Карагузский а/о с. <i>Пор</i>	оползень	14.07.2005	под угрозой жилой дом
	Карагузский а/о с. <i>Тектир</i>	др. оползень	4.08.2005	3 дома на теле оползня
	Каракочкорский а/о с. <i>Аккыя</i>	формирование оползня	13.04.2005	опасности для дома пока нет
	Чалминский а/о с. <i>Буйга</i> уч. <i>Алчалуу</i> лев. борт р. Буйга	оползень	14.07.2005	автодорога Чалма-Буйга проходит по оползнеопасному участку (2 оползня), а/мост аварийный
	<b>Карасуйский район</b>			
	Катта-Талдыкский а/о с. <i>Кара-Согот</i>	формирование оползня	10.01.2005	угроза перекрытия ручья с образо- ванием водоема, домам угрозы нет
	Катта-Талдыкский а/о с. <i>Кара-Согот</i>	формирование оползня	30.03.2005	под угрозой жилой дом
	Катта-Талдыкский а/о с. <i>Кара-Согот</i>	формирование оползня	30.03.2005	в опасной зоне жилые дома
	Катта-Талдыкский а/о с. <i>Кара-Согот</i> уч. <i>Суденка</i>	оползень	3.05.2005	активизация оползня 2004 г. опас- ности домам нет
	Кызыл-Сууский а/о с. <i>Алиордо</i> лев. борт р. Кызылсуу	формирование оползня	22.04.2005	трещины L=150 м; угрозы домам нет
	Кызыл-Сууский а/о с. <i>Боонжар</i>	активизация др. оползня	22.04.2005	в опасной зоне жилые дома
	Мадынский а/о с. <i>Лаглан</i> уч. <i>Актерек</i>	оползень	12.04.2005	под угрозой дом



	Наримановский а/о с.Лянгар	формирование оползня	31.03.2005	в опасной зоне жилые дома
	Наримановский а/о с.Лянгар лев.борт р.Талдык	оползень	11.03.2005	в опасной зоне жилые дома
	Наримановский а/о с.Жетимлягар пр.борт сая	оползень	17.03.2005	в опасной зоне жилые дома
	Папанский а/о с.Кожокелен	формирование оползня	25.05.2005	в опасной зоне жилые дома
	Папанский а/о с.Кызыл-Туу	оползень	30.03.2005	опасности для домов Зулпуева, Анантаева, Арапова, Арзиевой, Сарбашевых, Боронбаевой нет
	Сарайский а/о с.Миялы	формирование оползня	3.02.2005	образование трещин длиной до 300 м, под угрозой дома. и 9-летняя СШ № 54, ФАП
	<b>Ноокатский район</b>			
	Исановский а/о Канал Федоровауч. Орток	образование оползня V= 2 тыс м <sup>3</sup>	23.06.2005	оползень образован из-за подрезки склона
	<b>Узгенский район</b>			
	Алтын-Булакский а/о с.Кандава	оползень 2004	26.03.2005	сохраняется угроза для дома
	Алтын-Булакский а/о с.Кандава	оползень	26.01.2005	под угрозой жилой дом
	Жалпакташский а/о с.Катыранкы	формирование оползня	25.03.2005	сход оползня маловероятен
	Жалпакташский а/о с.Жалгызтам	активизация др. оползня	25.03.2005	в опасной зоне жилые дома
	Зергерский а/о с.Аюу пр.борт р.Аюу	активизация др. оползня	14.04.2005	угрозы СШ им.Дыйкан нет
	Зергерский а/о с.Жаныайыл пр.борт р.Зергер	формирование оползня	14.04.2005	под угрозой жилые дома
	Зергерский а/о с.Кайрат пр.борт р.Зергер	активизация оползня 03г.	14.04.2005	угрозы СШ им.Жаныбекова нет
	Зергерский а/о с.Кутурган уч.Медет лев.борт р.Кутурган	оползень 26, 27.03.2005	28.03.2005	снесена кошара. Оборвана ЛЭП
	Зергерский а/о с.Ничке	оползень	14.05.2005	под угрозой жилой дом
	Зергерский а/о с.Ничке уч.Котогор	активизация оползня 2004г.	14.04.2005	в опасной зоне жилые дома
	Зергерский а/о с.Тосой лев.борт р.Зергер	4.06.2005 оползень V= 1,2 млн м <sup>3</sup>	4.06.2005	разрушен дом., образовалось завальное озеро, перекрыта а/д Узген-Зергер-
	Ийрисууский а/о уч.Чапкынды	оползень-поток	18.05.2005	под угрозой жилой дом
	Колдукский а/о с.Колдук уч.Каражыгач пр.борт р.Колдук	активизация оползня 2004 г.	25.03.2005	под угрозой жилой дом
	Колдукский а/о с.Колдук уч.Каражыгач лев.борт р.Колдук	формирование оползня	25.03.2005	под угрозой жилой дом
	Колдукский а/о с.Колдук уч.Каражыгач пр.борт р.Колдук	оползень	4.08.2005	оползень на левом борту реки
	Колдукский а/о уч. Чаты лев.борт р.Колдук	формирование оползня	14.04.2005 14.05.2005	в опасной зоне жилые дома
	Краснооктябрьский а/о с.Кремль уч.Каражыгач	оползень	14.05.2005	в опасной зоне жилые дома
	Куршабский а/о с.Кайнар уч.Талип-Коргон	Формирование оползня	22.09.2005	под угрозой жилой дом
	Мырзаакенский а/о с.Мырза-Аке уч.Жанычек ул.Мадумарова	оползень	14.04.2005	в 2003 отселено 5 семей
	Мырзаакенский а/о с.Мырза-Аке уч.Кирпичный	оползень	14.07.2005	на опасном участке производится добыча глины
	Мырзаакенский а/о с.Мырза-Аке уч.Жанычек ущ.Шайтан	оползень	20.06.2005	в 2003 году отселено 5 семей, остальные в безопасности
	Чангетский а/о с.Дону	активизация оползней	23.05.2005	в опасной зоне жилые дома



	Чангетский а/о уч.Акташ пр.борт р.Чангет	формирование оползня	7.04.2005	под угрозой дома
	Чангетский а/о уч.Акташ Сай бозтектир, Кузгун	активизация оползня	7.04.2005	под угрозой дом
	Чангетский а/о уч.Караташ	формирование оползня	23.05.2005	в опасной зоне жилые дома
	Чангетский а/о с.Чокубай	формирование оползня	22.07.2005	под угрозой жилые дома
	Чангетский а/о уч.Шоро	активизация оползня	23.05.2005	под угрозой жилой дом
	г.Узген уч.Нижний Узген пр.борт р.Карадарья	оползень-обвал	5.01.2005	в опасной зоне жилые дома
	<b>2006 год</b>			
	<b>Араванский район</b>			
	Алля-Анаровский а/о а/д Ош-Араван, 16 км	оползень 19.02.2006 V=30 тыс.м <sup>3</sup>	20.02.2006	разрушены 4 опоры линии связи, 2 под оползнем, перекрыта а/дорога
	<b>Кара-Кулжинский район</b>			
	Кара-Гузский а/о с.Жетим-Дёбё уч. Чукурколот пр.борт р.Карагуз	оползень	22.03.2006	под угрозой жилой дом
	Кара-Гузский а/о с.Жетим-Дёбё	оползень	22.03.2006	жилой дом в зоне транзита оползня на пр.борту сая Тоокарын
	Кара-Кочкорский а/о с.Аккыя лев.борт р.Аккыя	формирование оползня	26.07.2006	угрозы домам нет
	Кенешский а/о с.Пор уч.Кунгой лев.борт р.Пор	формирование оползня	26.04.2006	в опасной зоне жилые дома
	<b>Кара-Суйский район</b>			
	Катта-Талдыкский а/о с.Талдык	формирование оползня	11.04.2006	под угрозой жилой дом
	<b>Узгенский район</b>			
	Алтын-Булакский а/о с.Кандава уч. Черемушки лев.борт р.Кандава	формирование оползня	23.03.2006	под угрозой 17 жилых домов и СШ им.Монолова
	Алтын-Булакский а/о с.Кандава	оползень	16.10.2006	под основанием оползня находится поливной арык, заполненный грязевой жижей
	Жалпак-Ташский а/о уч.Жалгызтам	активизация оползня	25.04.2006	в опасной зоне жилые дома
	Зергерский а/о с.Аюу	формирование оползня	21.09.2006	в опасной зоне жилые дома
	Зергерский а/о с.Кайрат уч.Контора пр.борт р.Зергер	формирование оползня	21.09.2006	опасности пока нет
	Зергерский а/о уч.Медет лев.борт р.Кутурган	формирование оползня	21.09.2006	под угрозой дом
	Зергерский а/о с.Ничкесай уч.Караколот левый борт р.Ничке	формирование оползня	1.06.2006	угрозы домам пока нет
	Ийрисууский а/о с.Орказкан	оползень	23.03.2006	под угрозой жилой дом
	Караташский а/о с.Эльчибек	активизация оползня	7.07.2006	в опасной зоне жилые дома
	Караташский а/о с.Эльчибек	формирование оползня	1.06.2006	под угрозой жилой дом
	Тёрт-Кульский а/о с.с.Бостон уч.карьер Майнок Жол	формирование оползня	1.06.2006	трещины на склоне выше дороги на пастбище
	Чангетский а/о уч.Акташ	формирование оползня	28.04.2006	под угрозой жилой дом
	Чангетский а/о уч.Акташ	древний оползень	28.04.2006	жилой дом на теле др.оползня, аварийный
	Чангетский а/о с.Дону	формирование оползня	28.04.2006	под угрозой жилые дома



	Чангетский а/о уч.Шоро	формирование оползня	28.04.2006	под угрозой жилые дома
--	------------------------	-------------------------	------------	------------------------