



АБДИРАШИТОВА Н.А., ФЕДОРЕНКО Е.В.

¹КГУСТА им. Н.Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика
²НИП Информатика, Санкт-Петербург, Российская Федерация

ABDIRASHITOVA N.A., FEDORENKO E.V.

¹KSUCTA n.a. N. Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republic
²NIP Informatics, St. Petersburg, Russian Federation
abdrashitova.nurgul@mail.ru

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ СКЛОНОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ
ПОДРАБОТАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДА КОК-ЖАНГАК
(С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ PLAXIS)**

**ASSESSMENT OF THE STABILITY OF LANDSLIDE-PRONE SLOPES UNDER THE
INFLUENCE OF UNDERMINED AREAS OF THE CITY OF KOK-JANGAK (USING
THE BY COMPUTER PROGRAM PLAXIS)**

Макалада Көк-Жаңгак шаарынын иштелип чыккан аймактарынын таасири астында жер көчкү коркунучу бар туруктуулугун баалоо үчүн PLAXIS программасын колдонуу менен сандык моделдөөнүн натыйжалары берилген. Акыркы изилдөөлөр тоо капталдарынын жана капталдарынын туруктуулугу жер көчкүлөргө, бузулуу процесстерине, гидрогеологиялык режимдерге, геологиялык шарттарга жана жер көчкү коркунучунун шарттарына көз каранды экендиги көрсөтүлгөн.

Өзөк сөздөр: деформация, беткей, туруктуулук, негизги чыңалуу, жер көчкү, толук чыңалуу, компьютердик программа PLAXIS.

В статье представлены результаты численного моделирования с использованием программы PLAXIS для оценки устойчивости оползнеопасных склонов под влиянием подработанных территорий города Кок-Жангак. Исследования последних лет показали, что устойчивость горных склонов и откосов зависит от оползней, деградационных процессов, гидрогеологических режимов, геологических условий, условий оползневой опасности.

Ключевые слова: устойчивость, главные напряжения, оползень, деформация, склон, полные напряжения, компьютерная программа PLAXIS.

The article presents the results of numerical modeling using the PLAXIS program to assess the stability of landslide-prone slopes under the influence of undermined areas of the city of Kok-Jangak. Recent studies have shown that the stability of mountain slopes and slopes depends on landslides, degradation processes, hydrogeological regimes, geological conditions, and landslide hazard conditions.

Key words: deformation, slope, principal stresses, landslaide, total stresses, stability, PLAXIS computer program.

В последние десятилетия наблюдается активизация оползней и рост числа оползневых очагов, причем этот процесс связан не столько с природными, сколько с антропогенными факторами. Согласно международной статистике около 80% современных оползней связано с деятельностью человека [12].

Антропогенное воздействие на склоны проявляется в двух направлениях: активизация и стабилизация оползней. К сожалению активизация опережает их закрепление, что обусловлено двумя главными причинами: а) прогрессирующим



расширением техносферы, ростом отрицательных воздействий человека на склоны и недостаточным объемом работ по стабилизации оползневых склонов.

Деятельность человека нарушает сложившиеся природные равновесия, изменяет состояние рельефа, разупрочняет породы, активизирует склоновые экзогенные геологические процессы, что сопровождается активизацией старых оползней и возникновением новых в местах, где они отсутствовали [7].

В связи с этим целью нашей работы является инженерно-геологическое изучение оползней и оценка оползнеопасных склонов под влиянием подработанных территорий на их устойчивость с использованием компьютерной программы PLAXIS.

В Кыргызской Республике Джалал-Абадской области на территории Сузакского района находится г.Кок-Жангак, который связан с областным центром автомобильной и железнодорожной ветками, протяженность которых, составляет от города Ош - 93 км.

Исследуемый участок оползнеопасных склонов подработанных территорий города Кок-Жангак расположен в западных предгорьях Ферганского хребта восточной части Ферганской долины.

Нарушение равновесия грунтов на склонах под влиянием подработанных территорий связано с каждой из перечисленных стадий, зависящих от продолжительности воздействия внешних и внутренних факторов. По определенной поверхности скольжения, где происходит развитие сдвигов на теле древнего оползня или возникновение нового [12].

Антропогенные воздействия на склоны и формирование оползней связаны со следующими видами деятельности человека: 1) поселковое, курортное строительство и хозяйство; 2) промышленное строительство и производство; 3) строительство и эксплуатация дорог; 4) гидротехническое строительство и водное хозяйство; 5) добыча полезных ископаемых; 6) сельское хозяйство; 7) лесное хозяйство[11, стр.105].

Отмечались антропогенные оползни на ряде угольных месторождений Кыргызстана (Кок-Жангакском, Ангреном, Сулюктинском и др.), где смещались лессовидные суглинки, осыпи коренных пород и коренные породы по плоскостям напластования. На бывшем Кок-Жангакском месторождении сместились несколько масс лессовидных суглинков больших объемов [9, стр.10].

На территории города Кок-Жангак выделяются следующие типы рельефа: равнинно-долинный, низкогорный, среднегорный [11, стр. 76].

Равнинно-долинный тип рельефа (абсолютные отметки 850-1400 м, превышения 10-15 м). Этот тип рельефа развит непосредственно в пределах долин рек. Он характеризуется наличием речных террас, протяженностью в несколько десятков километров и шириной до десятка километров. Рельеф ровный со слабым уклоном вниз по течению рек и в сторону русла рек, изрезанный арыками.

Низкогорный тип рельефа. (Абсолютные отметки 1000-1700 м, превышения 100-200 м). Низкогорный рельеф выработан на отложениях мезозоя. Здесь преобладают мелкобугристые водоразделы и V-образные долины саев с бортами крутизной 27-30°.

Водоразделы представляют собой останцы террас III-VII этажей сглаженные участки с делювиальными накоплениями. Склоны этой территории формировались в условиях плоскостного смыва и несут незначительную делювиальную аккумуляцию у основания. Стойкие к выветриванию пласты пород мезозоя и палеозоя образуют выступающие гривки высотой 1,5-2,5 м. по склонам часто развиты оползни, осыпи, делающие саи селеопасными.

Среднегорный тип рельефа. (Абсолютные отметки 1800-2470 м, превышения до 500 м). Наиболее крупные овраги отмечены южнее ручья Курганташ, в пределах низкогорного рельефа, в районе расположения подработанных территорий (см. рис.1).



Рис. 1. Интенсивное развитие эрозионных и оползневых процессов южнее ручья Курганташ в пределах низкогорного типа рельефа

На участках развития оползней исследуемой территории, под влиянием подработанных территорий, отмечены промоины пещерного типа, в которых вода от дождей проходит то по поверхности, то по трещинам и уходит под землю, образуя полости, и вновь выходит на поверхность (см. рис. 2).

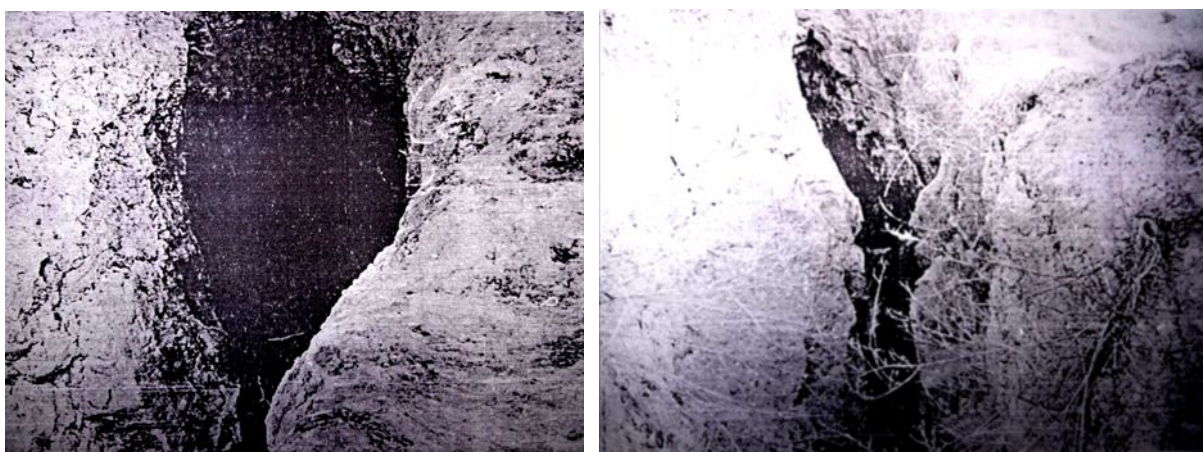


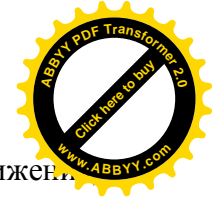
Рис. 2. Промоины «пещерного» типа. Утечка дождевых вод в промоину сверху.

Над полостями образуются, как бы висячие мостики, потенциально готовые к обрушению [12].

Сместившиеся оползневые массы, при неблагоприятных условиях, могут привести в неустойчивое состояние находящиеся ниже стабильные грунты, что может повлечь дальнейшее смещение на еще более низкий гипсометрический уровень на оползневых склонах под влиянием подработанных территорий.

Первоначальное положение на склоне, оползень никогда не занимает и из этого следует подчеркнуть, что оползневой процесс необратим. Для данной стадии развития процесса характерные свойства оползневых накоплений, их состав, в том числе и геомеханическое состояние устойчивости не восстанавливаются, но приобретают новые отличительные особенности на каждой стадии развития оползневого процесса [4].

Под действием различных факторов возникают оползни, которые подразделяются на регулируемые и нерегулируемые т.е. техногенные и естественные. К факторам относят постоянно действующие: геологическое строение, состав горных пород, геоморфологию,



и изменяющиеся: гидрогеологический режим, климат, тектонические движения, сейсмичность, геомеханические особенности и свойства пород [5].

Региональную и локальную устойчивость обуславливает геологическое строение склонов, включающее возраст, генезис, литологию, условия залегания, а также свойства пород. В регионе, где преобладают осадочные породы такие как глины, лесс, лессовидные грунты, суглинки, следует ожидать активизации оползней и их формирование [2].

Физико-механические свойства грунтов изучались в полевых и лабораторных условиях на образцах ненарушенной и нарушенной структуры.

Для получения полной характеристики свойств грунтов привлечены материалы по стандартным методикам, регламентированным ГОСТами, были определены основные показатели физико-механических свойств испытанных грунтов, которые сведены в таблицу 1. В этой же таблице приведены значения параметров сопротивления грунтов сдвигу: сцепление и угол внутреннего трения.

Методики определения этих показателей широко известны, апробированы и регламентированы ГОСТами.

Таблица 1 - Основные характеристики физико-механических свойств грунтов

№ п/п №	Место отбора	Интервал отбора, м	Плотность частиц	Плотность грунта, г/см ³	Плотность в сухом состоянии, г/см ³	Природная влажность, %	Степень	Пористость, %	Коэффициент пористости, д.е	Влажность на	Влажность на	Число пластичности, %	Показатель	Влажность соотв. полному	Плотность	Угол внутреннего	Удельное
			ρ_s	ρ	ρ_d	W	S_r	n	e	W_l	W_p	I_p	I_l	W_{sat}	ρ_{sat}	ϕ	C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2	Верх склона	1	2,71	1,4	1,3	10,0	0,23	54	1,176	29	20	9	<0	27	2,00	18	0,18
	точка	2	2,71	2,01	1,7	21,0	0,90	38	0,63	29	20	9	0,1	23	2,07	17	0,17

Для оценки устойчивости и моделирования напряженного состояния оползнеопасного склона под влиянием подработанных территорий города Кок-Жангак был изучен и применен метод конечных элементов в компьютерной программе PLAXIS.

Современная компьютерная программа PLAXIS 2D в обновленной версии 2010 года отличается от устаревшей версии программы PLAXIS 2D 8.2 тем что:

1. Новый совместный фильтрационно-деформационный расчет;
2. Улучшенная глобальная база данных по материалам;
3. Изменение в подпрограмме Calculations;
4. Изменен выбор промежуточных шагов для сохранения;
5. Просмотр точек Hardening – Capd в программе Output.

Компьютерная программа PLAXIS является конечно-элементным программным комплексом предназначенным, в том числе, для расчетов устойчивости и напряженно-

деформированного состояния оползнеопасного склона под влиянием подработанных территорий [1].

Основные задачи, решенные с помощью программы PLAXIS:

1. Расчеты предельного состояния (оценка устойчивости);
2. Определение напряжений и оценка влияния подработки территории на напряженно-деформированное состояние склона.

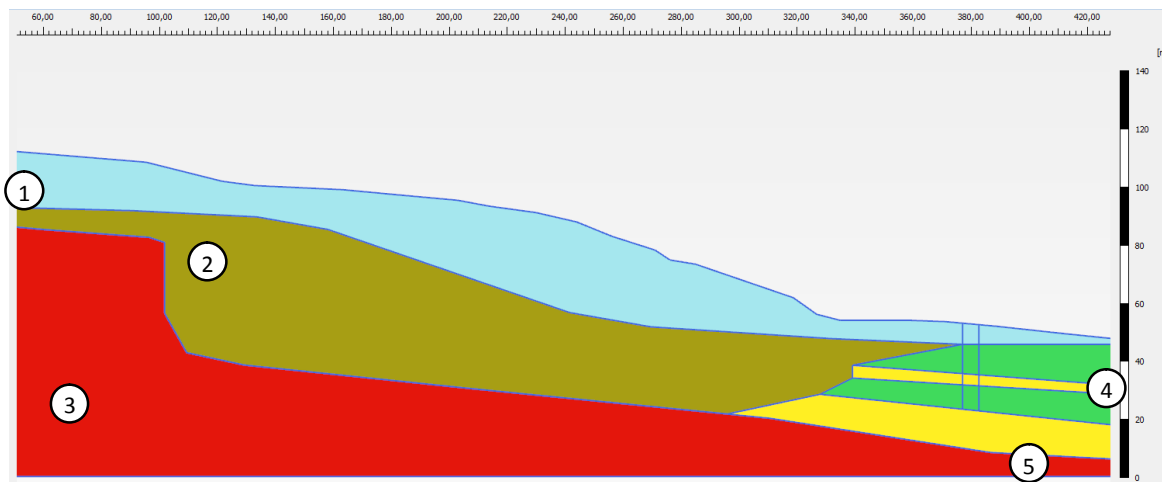


Рис. 3. Расчетная схема: 1 – пролювиальные суглинки; 2 – пролювиальные суглинки с щебнем; 3 – юрские алевролиты и песчаники; 4 – аллювиальные глины; 5 - аллювиальные пески.

При расчете деформаций оползнеопасного склона на основе распределения напряжений, программа PLAXIS различает эффективные и полные напряжения, а также избыточное поровое давление согласно теории К. Терцаги [2].

Напряженное состояние в виде осей эллипсов главных эффективных напряжений показано на рисунке 4. Неоднородная толща с слоями различной жесткости предопределяет неравномерное и сложное распределение напряжений.

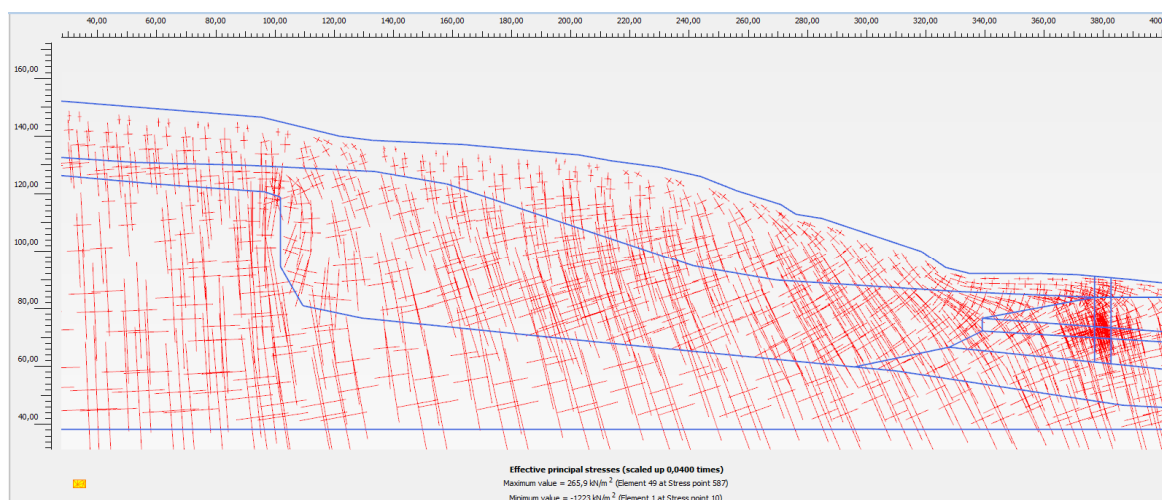
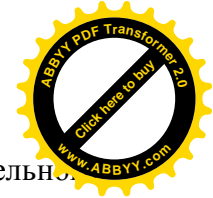


Рис. 4. Напряженное состояние склона (оси эллипсов главных напряжений)

Наряду с аналитическими методами расчетов устойчивости, в последнее время чаще выполняются расчеты, использующие численное моделирование, т.е. определяющие напряженно-деформированное состояние (НДС) на основе которого рассчитывается устойчивость методом снижения прочности. Этот подход реализован в программе PLAXIS [1].



Преимуществом метода снижения прочности по сравнению с методами предельного равновесия является то, что поверхность скольжения не задается, а получается в результате расчета. Форма поверхности скольжения зависит от рассчитанного напряженно-деформированного состояния и может быть любой: круглоцилиндрической, полигональной или комбинированной. На рисунке показаны результаты расчетов устойчивости природного склона, значения физико-механических характеристик грунтов были определены в ходе исследований оползневого участка. По результатам испытаний получены зависимости прочностных характеристик от влажности. В расчетах использованы параметры внутреннего трения и сцепления, соответствующие наиболее водонасыщенному состоянию в период выпадения дождей. Величина коэффициента устойчивости для такого сочетания составляет $K_u=1,09$.

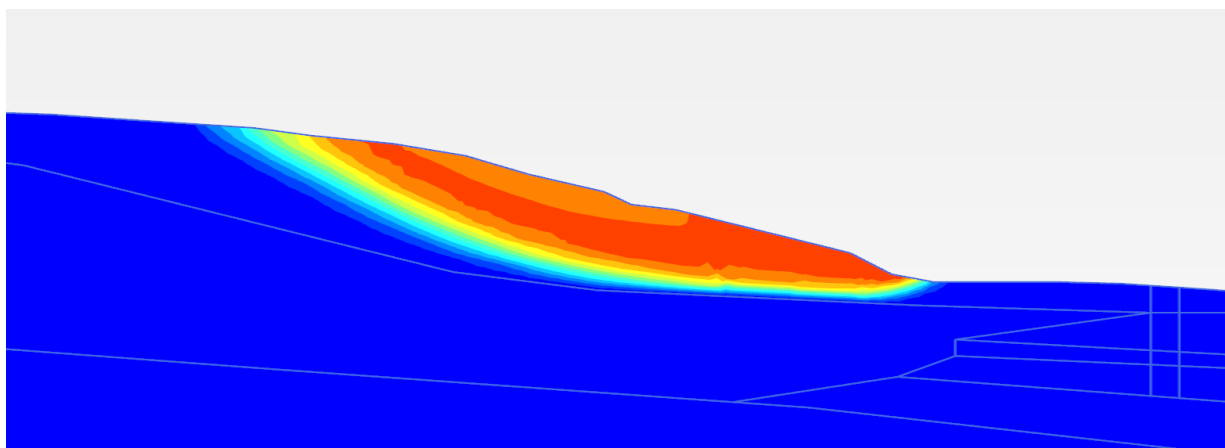


Рис. 5. Изополя суммарных перемещений, иллюстрирующие поверхность скольжения и потенциально смещающийся массив

На геомеханическую устойчивость и напряженно-деформированное состояние склонов влияет растительность, воздействие подземных вод, сезонные колебания осадков, что приводит к снижению прочности массива пород и к сезонному изменению прочностных характеристик пород оползнеопасных склонов под влиянием подработанных территорий.

Деформации земной поверхности в районе шахты являются следствием оползневого процесса, спровоцированного строительством шахты. Известно, что в некоторых случаях деформации могут существенно отставать во времени, особенно когда ближе к земной поверхности залегают более прочные породы. Такие породы играют роль так называемого «моста». По достижению предельных деформаций породами этого «моста», происходит внезапное их обрушение, в результате чего на земной поверхности образуются трещины, уступы и провалы. На рисунке 5 показаны горизонтальные деформации массива связанные с влиянием подработки. Максимальные значения достигают 6-7 см. Рост сдвиговых деформаций влечет за собой снижение прочностных характеристик и потенциальное обрушение оползня [5].

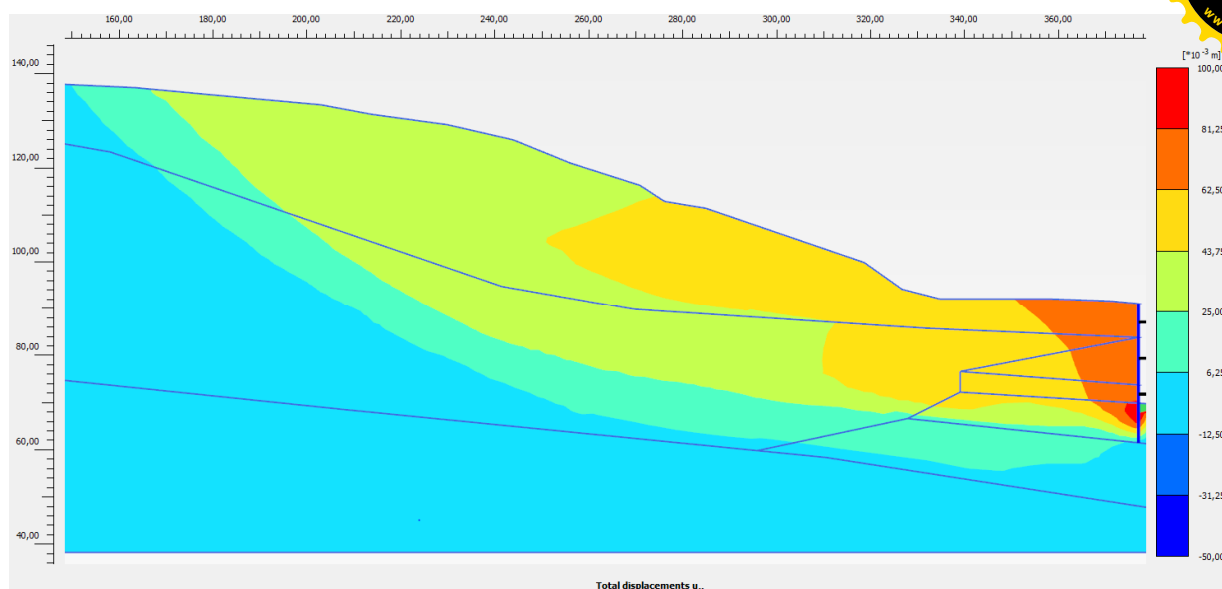
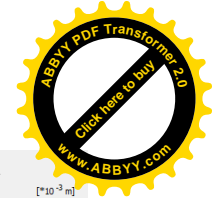


Рис. 6. Изополя горизонтальных перемещений

Выводы.

1. Установлено, что на территории г. Кок-Жангак в большинстве случаев встречаются грунты обладающие просадочными свойствами, что в свою очередь усложняет ход работ.

2. Оползни на склонах, подработанных территорий, оказывающие отрицательные влияния представляют угрозу возможному строительству, а также установлено, что повсеместно в существующих зданиях общественной и частной застройки наблюдаются трещины, небольших размеров [12].

3. Установлено, что на склоне расположенное вблизи шахты «Капитальная» г. Кок-Жангак в большинстве случаев встречаются грунты, обладающие просадочными свойствами, что в свою очередь влияет на накопление влажности и прочностные свойства.

4. Метод конечных элементов компьютерной программой PLAXIS является одним из удобных методов решения задач геомеханики, где дифференциальные уравнения решаются численно. Суть состоит в минимизации некоторого функционала.

5. Оценка устойчивости компьютерной программой PLAXIS оползнеопасного склона г.Кок-Жангак под влиянием подработанных территорий показала, что коэффициент устойчивости $K_{уст}$ близок к 1, из этого следует что склон находится в потенциально неустойчивом состоянии, что проявляется в его ежегодном смещении [5].

Список литературы

1. Федоренко Е.В. Геотехника и геосинтетика в вопросах и ответах [Текст]: справочное пособие / Е.В.Федоренко. - Санкт-Петербург: 2016.

2. Федоренко Е.В. Практикум по PLAXIS . Часть 2 . Напряжения. Прочность [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://docplayer.com/92472560-Praktikum-po-plaxis-chast-2-napryazheniya-prochnost.html>

3. Федоренко Е.В. Метод расчета устойчивости путем снижения прочностных характеристик [Текст] / Е.В.Федоренко. - Санкт-Петербург: 2016.

4. Кожогулов К.Ч. / Геомеханическая оценка оползневой опасности в бассейнах крупных рек Юга Кыргызстана [Текст] / К.Ч.Кожогулова, О.В.Никольская. – Бишкек: 2011.

5. Усенов К.Ж. Геомеханическая оценка устойчивости оползнеопасного склона вблизи шахты “Капитальная” города Кок-Жангак (с использованием компьютерной



программы PLAXIS) [Текст] / К.Ж. Усенов, К.Ч. Кожогулов, Н.А. Абдирашитова // Известия ВУЗов Кыргызстана. – Бишкек: 2019. - № 9. - С.27-32.

6. Кожогулов К.Ч. Опыт оценки устойчивости склонов по уровню подземных вод [Текст] / К.Ч.Кожогулов, Х.В.Ибатулин // Инф.листок №176 (5031), сер.38.63.53. - КиргизНИИТИ,1992.

7. Абдирашитова Н.А. Проблемы изучения оползней на склонах, подработанных подземными горными выработками [Текст] / Н.А.Абдирашитова // Вестник ЖАГУ. – 2016. - №1. – С. 91-95.

8. Асилова З.А. Особенности геологического строения оползнеопасных участков, расположенных на территории г. Кок-Жангак [Текст] / З.А.Асилова, Н.А.Абдирашитова // Известия КГТУ. – Бишкек: 2019. - . - №2(50). Часть II.

9. Асилова З.А., Абдирашитова Н.А., Усенов К.Ж. Изучение оползнеопасных склонов на территории г. Кок-Жангак Жалал-Абадской области [Текст] Вестник КГУСТА. – Бишкек: 2015. - №3(49).

10. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека [Текст] / Ф.В. Котлов. - М.: Недра, 1978. - С. 78-183.

11. Мосолков В.А. Сводный геологический отчет по северной площади Кок-Жангакского каменно-угольного месторождения по пересчету запасов на новые кондиции действующих шахт №40, «Капитальная» и подсчету запасов по разведенным участкам Кок-Жангак-Глубокий [Текст] /В.А. Мосолков, В.Н. Кочетков. – Фрунзе: 1979.

12. Абдирашитова Н.А.Результаты натурных исследований формирования оползней на склонах, вблизи подработанных территорий (на примере города Кок-Жангак) [Текст] / Н.А.Абдирашитова // Мир современной науки, Серия естественной науки. – Москва: 2019. - №3. - С.21.

13. Федоренко В.С. Тектонические и сейсмические явления и их значение в формировании катастрофических обвалов и оползней (в районе Чаткальского и Алайского горно-складчатых сооружений) [Текст] / В.С.Федоренко // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. - М.: 1968. – Вып. 2 .

14. Чалкова Ю.С., Черепанов Б.М. Оползневые процессы, их прогнозирование и борьба с ними [Текст] / Ю.С.Чалкова, Б.М. Черепанов // Ползуновский вестник. – 2007. - №1-2. – с. 80-89.