

*Усенов К.Ж., Кожоголов К.Ч., Абдирашитова Н.А.*

**КӨК-ЖАҢГАК ШААРЫНЫН «КАПИТАЛЬНАЯ» КЕНИНИН  
БООРУНДАГЫ ЖЕРДИН КӨЧҮҮ КОРКУНУЧ БЕТКЕЙИНИН  
ТУРУКТУУЛУГУНА ГЕОМЕХАНИКАЛЫК БАА БЕРҮҮ  
(PLAXIS компьютердик программаны колдонуу менен)**

*Усенов К.Ж., Кожоголов К.Ч., Абдирашитова Н.А.*

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ  
ОПОЛЗНЕОПАСНОГО СКЛОНА ВБЛИЗИ ШАХТЫ  
«КАПИТАЛЬНАЯ» ГОРОДА КОК-ЖАНГАК  
(с использованием компьютерной программы PLAXIS)**

*K.Zh. Usenov, K.Ch. Kozhogulov, N.A. Abdirashitova*

**GEOMECHANICAL ASSESSMENT OF THE STABILITY  
OF A LANDSLIDE HAZARDOUS SLOPE NEAR THE «KAPITALNAYA»  
MINE OF THE CITY OF KOK-ZHANGAK  
(using the by computer program PLAXIS)**

УДК: 621

Макалада Көк-Жаңгак шаарынын жер көчүү коркунучунда турган тоо беткейиндеги бузулуу процессинин туруктуулугун аныктоо жана тиешелүү үстүнкү топурак катмарынын кубаттуулугун, тоо беткейдин узундугун эске алуу менен биргеликте аймактын жер көчүү коркунучунун туруктуулугун геомеханикалык методу менен баалоо жана PLAXIS программасы аркылуу сандык моделдештирүү эсептери жана натыйжалары келтирилген. Акыркы мезгилде байкалган тоо беткейлеринин жана беткей катмарларынын туруктуулугу, «Капитальная» шахтасына, жер көчкүлөргө, бузулуу процесстерине, гидрогеологиялык режимдерге, геологиялык шарттарына, ошондой эле жер көчкү коркунучунун шарттарына көз карандысы изилденген. Изилдөөнүн негизги максаты Көк Жаңгак шаарындагы «Капитальная» кенинин аймагында жайгашкан тоо беткейлеринин жер көчкү коркунучу астындагы туруктуулукка геомеханикалык баа берүү ыкмасы PLAXIS компьютердик программа аркылуу саналат. Ал эми, ушул максатта геомеханикалык жана инженердик-геологиялык изилдөөнүн жыйынтыгынын негизинде тоо беткейиндеги негизги бузулууларды (деформацияларды), туруктуулугун жана негизги чыңалууларды (напряженияларды) аныктоо үчүн эсептөө зарыл.

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

В данной статье исследованы и оценены процессы нарушения устойчивости оползнеопасного склона города Кок-Жангак, а также приведены расчеты и результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния в программе PLAXIS. Влияние таких факторов как: гидрогеологический режим, сейсмичность территории, геологические условия, свойства горных пород их генезис, литология определяют формирование оползневого процесса.

Изменение влажности и связанные с ней оползневые подвижки, а также влияние шахты «Капитальная» определяют степень оползневой опасности территории. Целью данной работы является геомеханическая оценка оползневого участка с использованием компьютерной программы PLAXIS, позволяющей выполнять численное моделирование на основе метода конечных элементов. По результатам геомеханического моделирования на основе инженерно-геологических исследований определено местоположение оползня, и вычислен коэффициент устойчивости, а также произведена оценка напряженного состояния оползнеопасного склона под влиянием шахты «Капитальная» города Кок-Жангак.

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

In this article examined and evaluated the process of violation of the stability of the landslide slope Kok-Jangak, as well as the calculations and results of numerical modeling of the tense-deformed state in the PLAXIS program. The influence of such factors as: hydrogeological regime, seismicity of the territory, geological conditions, properties of rocks of their genesis, lithology determine the formation of a landslide process. Changes in humidity and associated landslides, as well as the impact of the "Capitalnaya" mine determine the degree of landslide danger of the territory. The purpose of this work is to geomechanical assessment of the landslide site using the PLAXIS computer program, which allows numerical modeling based on the method of the final elements. Based on the results of geomechanical modelling based on engineering and geological studies, the location of the landslide was determined, and the stability factor was calculated, as well as the stress of the landslide slope under the influence of the "Capitalnaya" mine in Kok-Jangak.

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

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

Исследуемый участок оползнеопасного склона района шахты «Капитальная» города Кок-Жангак расположен в западных предгорьях Ферганского хребта восточной части Ферганской долины.

Нарушение равновесия грунтов на склоне вблизи шахты «Капитальная» связано с каждой из перечисленных стадий, зависящих от продолжительности воздействия внешних и внутренних факторов. По определенной поверхности скольжения происходит развитие сдвигов на теле древнего оползня или возникновение нового.

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 склоне вблизи 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.

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 грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность в сухом состоянии, г/см <sup>3</sup>	Природная влажность, %	Степень влажности, д.е	Пористость, %	Коэффициент пористости, д.е	Влажность на границе текучести, %	Влажность на границе раскатывания, %	Число пластичности, %	Показатель текучести, д.е	Влажность соотв. полному водонасыщению, %	Плотность водонасыщенного грунта, г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, МПа
			$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	W	$S_r$										
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 геомеханической оценки устойчивости и моделирования напряженного состояния оползнеопасного склона вблизи шахты «Капитальная» 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:

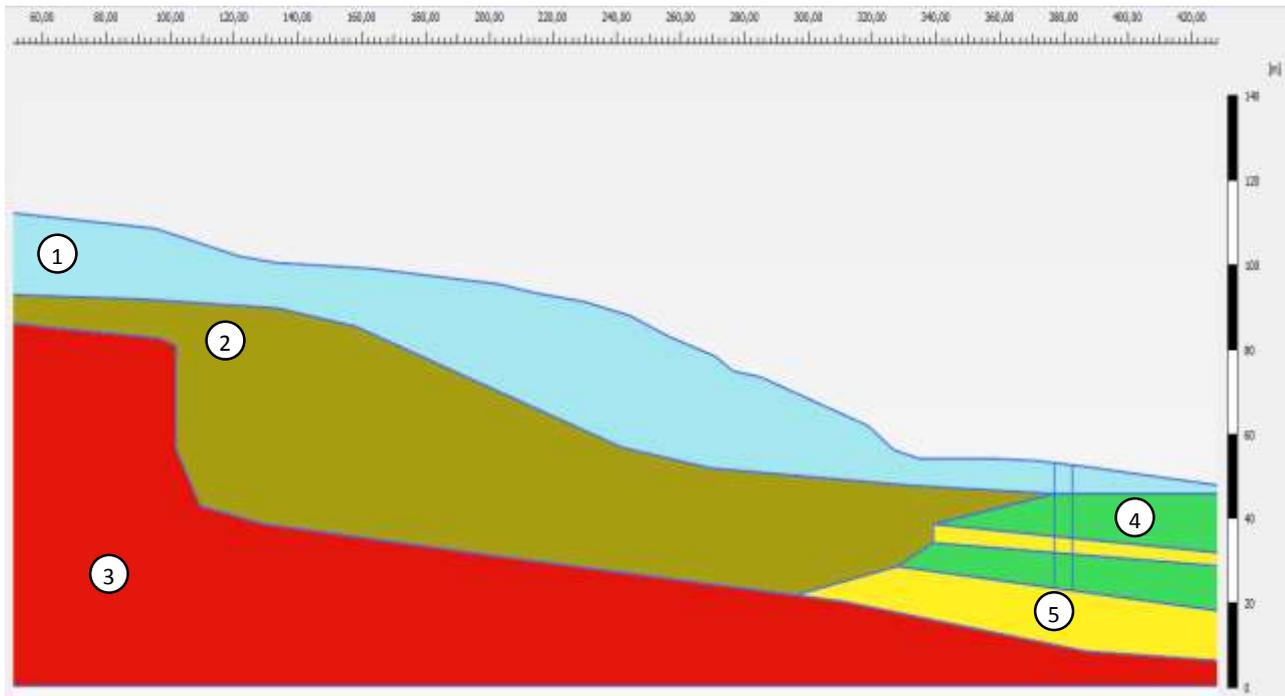
1. Новый совместный фильтрационно-деформационный расчет;
2. Улучшенная глобальная база данных по материалам;
3. Изменение в подпрограмме Calculations;
4. Изменен выбор промежуточных шагов для сохранения;

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 вблизи шахты «Капитальная» [1].

Основные задачи, решенные с помощью программы PLAXIS:

1. Расчеты предельного состояния (оценка устойчивости);
2. Определение напряженно-деформированного состояния склона (рис. 1).



**Рис. 1.** 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 2. Неоднородная толща с слоями различной жесткости предопределяет неравномерное и сложное распределение напряжений.

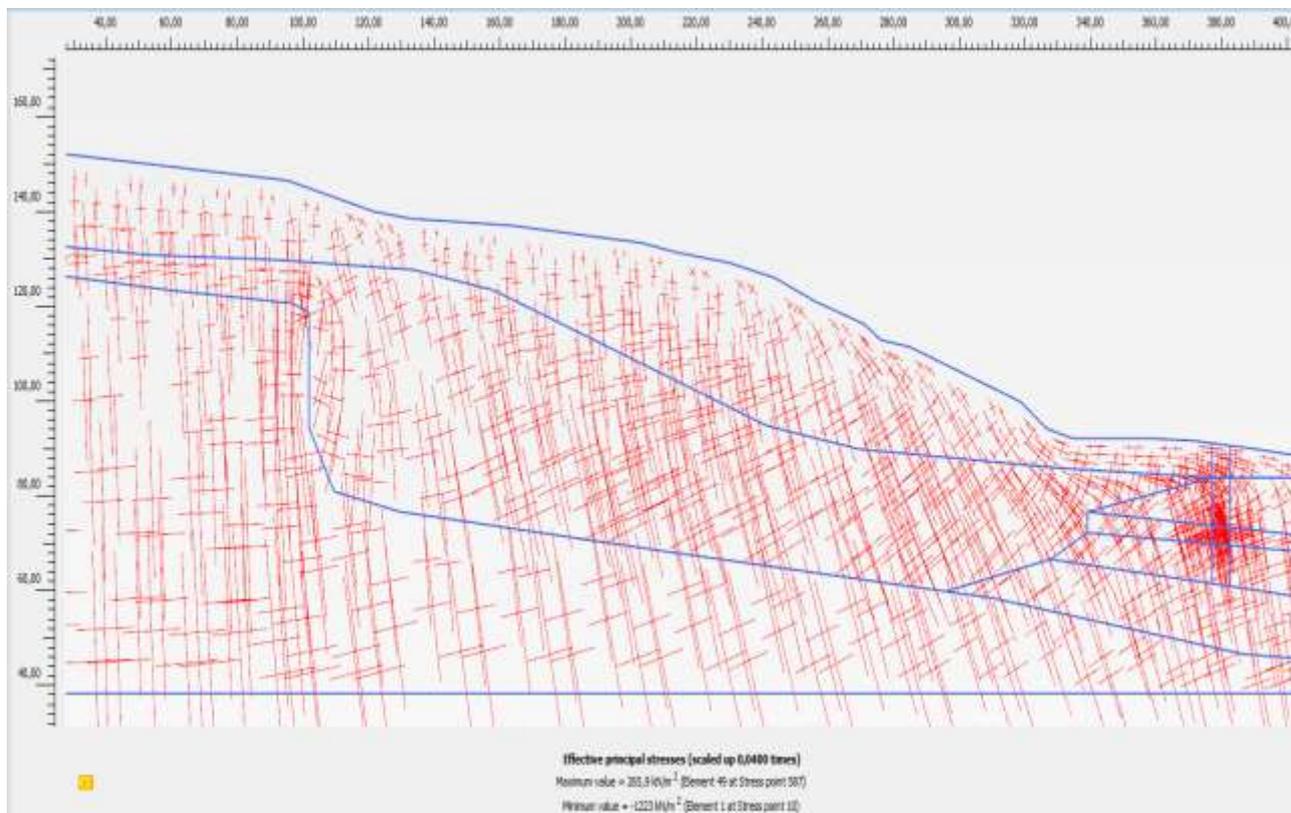
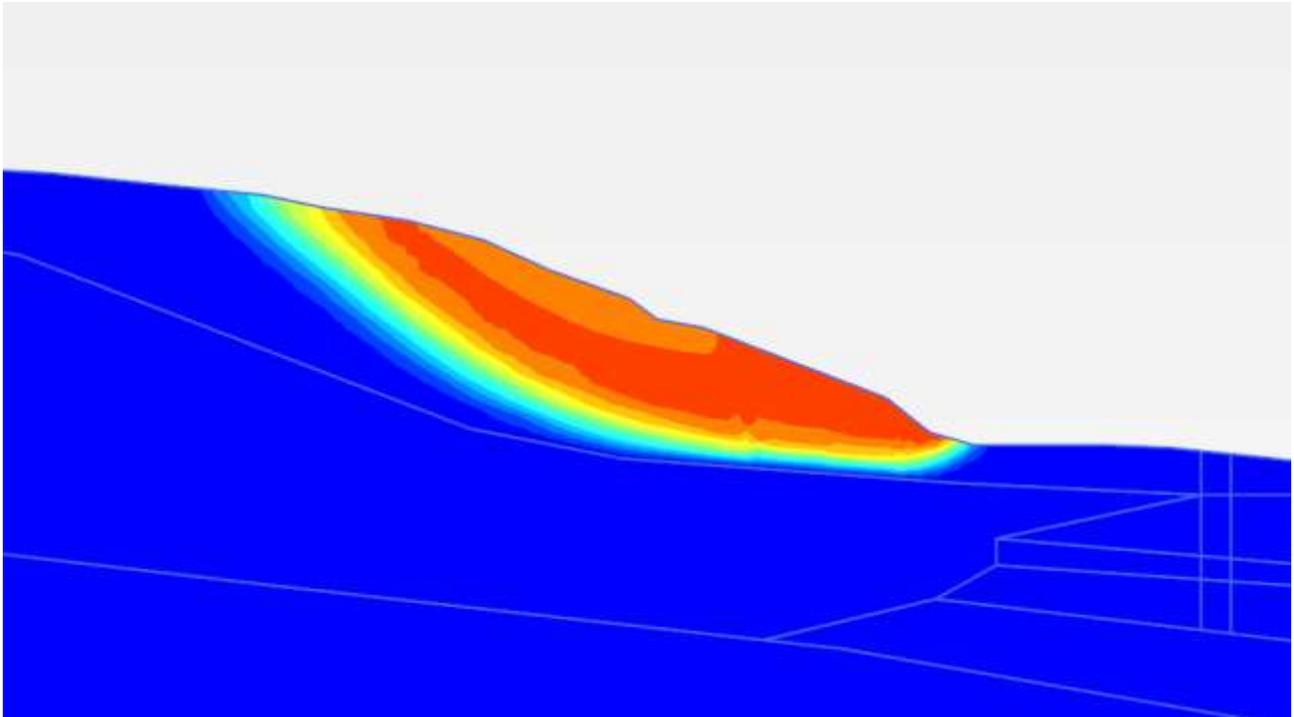


Рис. 2. Напряженное состояние склона (оси эллипсов главных напряжений).

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 1 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 (табл. 1), соответствующие наиболее водонасыщенному состоянию в период выпадения дождей. Величина коэффициента устойчивости для такого сочетания составляет  $K_u=1,09$ .



**Рис. 3.** Изополю 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, расположенных вблизи шахты «Капитальная».

Деформации земной поверхности в районе шахты являются следствием оползневого процесса, спровоцированного строительством шахты (рис. 3). 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 4 показаны горизонтальные перемещения скольжения склона. Максимальные значения достигают 6-7 см. Рост сдвиговых деформаций влечет за собой снижение прочностных характеристик и потенциальное обрушение оползня.

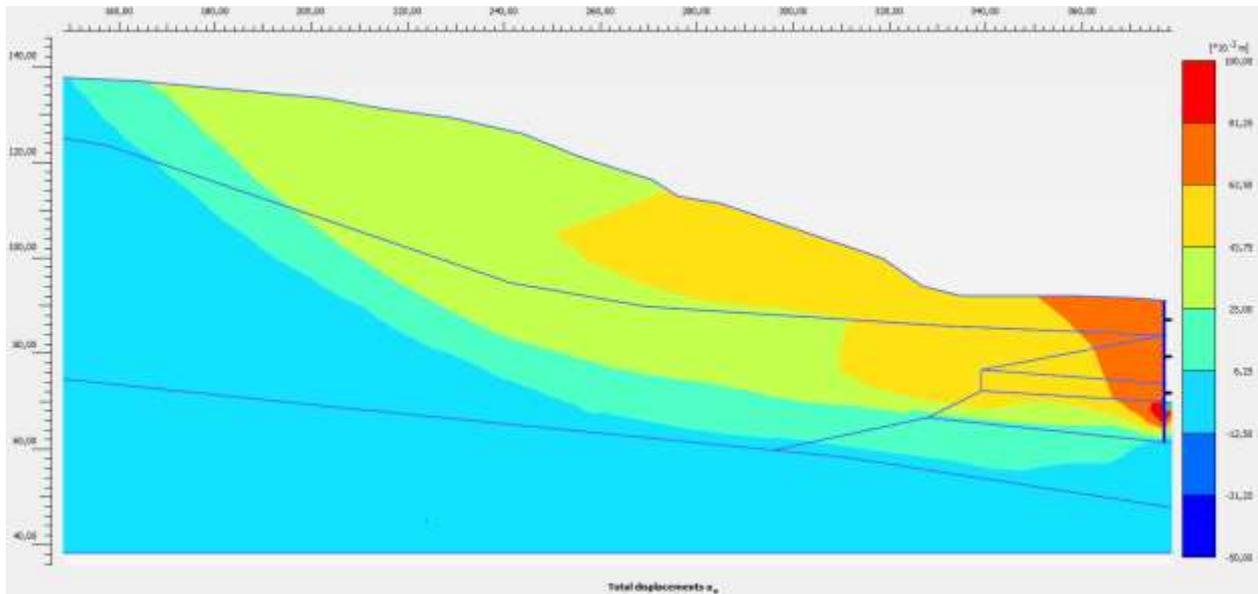


Рис. 4. Изополя горизонтальных перемещений.

**Выводы:**

1. 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.

2. 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.

3. Оценка устойчивости компьютерной программой PLAXIS оползнеопасного склона г. Кок-Жангак вблизи шахты 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.

**Благодарность.** Авторы выражают искреннюю благодарность Евгению Владимировичу Федоренко, заведующему «НИП Информатика», который дал нам бесценные научные консультации и внес существенный вклад в нашу работу в период подготовки этой статьи. Благодаря ему стало возможным разобраться с особенностями теории рассматриваемой проблемы и практического использования программы PLAXIS.

**Литература:**

1. Федоренко Е.В. Геотехника и геосинтетика в вопросах и ответах. / Справочное пособие. - СПб., 2016. - С.43-65.
2. Федоренко Е.В. Напряжения. Прочность. / Практикум по PLAXIS. - Часть 2.
3. Федоренко Е.В. Метод расчета устойчивости путем снижения прочностных характеристик. - СПб., 2016.
4. Кожогулов К.Ч., Никольская О.В. Геомеханическая оценка оползневой опасности в бассейнах крупных рек Юга Кыргызстана. - Бишкек, 2011. - С. 41-49.
5. Кожогулов К.Ч., Куваков С.Ж. Моделирование напряженного состояния подкарьерных запасов при комбинированной разработке рудных месторождений. - Бишкек, 2015. - Т.2. - С. 14-18.
6. Кожогулов К.Ч., Ибатулин Х.В. Опыт оценки устойчивости склонов по уровню подземных вод. // Инф. листок №176 (5031). - Сер. 38.63.53. - КиргизНИИНТИ, 1992.
7. Куваков С.Ж. Моделирование горно-технических задач с использованием программы PLAXIS. - Бишкек, 2014. - С. 216.
8. Чалкова Ю.С., Черепанов Б.М. Оползневые процессы, их прогнозирование и борьба с ними. / Ползуновский вестник, №1-2, 2007. - С. 80-89.
9. Никольская О.В. Оценка устойчивости покровных отложений на горных склонах. // Механика горных склонов, откосов и подземных сооружений. Освоение подземного пространства. / Материалы IX Всес. конф. по мех. горным породам. - Фрунзе: Илим, 1990. - С.185-193.
10. Ниязов Р.А. Формирование крупных оползней Средней Азии. - Ташкент: Фан, 1982. - 156 с.