

А.Е. Жақып^{1*}, В.М. Мирлас², Е.С. Ауелхан¹,

М.Р. Заппаров¹, Ш.А. Кулбекова^{1,3}

¹Satbayev University, Казахстан, г. Алматы

²Ариэльский университет, Израиль, г. Ариэль

³Институт сейсмологии, Казахстан, г. Алматы

*e-mail: a.zhakyp@stud.satbayev.university

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА Г. КОК-ТОБЕ С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «GEO5»

Современные опасные геологические процессы относятся к числу наиболее существенных компонентов инженерно-геологических условий, определяющих безопасность жизнедеятельности людей, особенности промышленного и гражданского строительства в горных и предгорных областях, а следовательно, и устойчивого экономического развития этих районов. В ряде случаев интенсивное развитие данных процессов создает серьезное затруднение для строительства и эксплуатации различных инженерных сооружений, угрозу безопасного проживания населения и требует принятия соответствующих профилактических и защитных мероприятий. В ходе проектирования противооползневых мероприятий, при возведении сооружений на неустойчивых склонах работы следует начинать с оценки степени устойчивости наклонной поверхности земли. Такая оценка совершается с помощью вычисления коэффициента устойчивости склона, представляющего собой отношение удерживающих сил к сдвигающим силам грунтового массива на наклонной поверхности. В работе приводятся результаты исследований оползневого процесса в г. Алматы на экспериментальном участке склона горы Кок-Тобе. Производится расчет коэффициента устойчивости склона в программе «GEO5» в естественном состоянии и с учетом возможного сейсмического воздействия. В результате расчета выявлены неблагоприятные факторы и риски с точки зрения устойчивости склона, а также даны соответствующие рекомендации.

Ключевые слова: опасные геологические процессы, городская территория, оползень, расчет устойчивости склона.

A.E. Zhakyp^{1*}, V.M. Mirlas², Ye.S. Auelkhan¹, M.R. Zapparov¹, Sh.A. Kulbekova^{1,3}

¹Satbayev University, Kazakhstan, Almaty

²Ariel University, Israel, Ariel

³Institute of Seismology, Kazakhstan, Almaty

*e-mail: a.zhakyp@stud.satbayev.university

Slope stability coefficient calculation of the Kok-Tobe mount with considering seismic activity using «GEO5» program

Modern dangerous signs are manifested in the nature of the most significant components of engineering and geological conditions, ensured by the safety of people's life, the features of industrial and abrupt construction in mountainous and foothill areas, and, consequently, in conditions of sustainable economic development. In the event of serious development processes, serious difficulties arise for the construction and use of various engineering measures that require ensuring the safety of the population and taking measures to prevent and protect the population. During the design of anti-landslide measures, when erecting structures on unstable slopes or when distributing mechanisms on slopes and sides of ravines, works must begin with assessment stability degree of the inclined earth surface. Such assessment is made by calculating the slope stability coefficient, which is characterized by the ratio of the holding forces to the shear forces of the soil mass on an inclined surface. The paper presents the results of research in Almaty city on the experimental site on the slope of mountain Kok-Tobe. The article presents calculations of slope stability coefficient in "GEO5" program, in the natural state and taking into account seismic impact. As result of the calculation, unfavorable factors and risks in terms of slope stability are identified and recommended measures are also given.

Key words: Hazardous geological processes, urban territory, landslide, slope stability coefficient.

А.Е. Жақып^{1*}, В.М. Мирлас², Е.С. Ауелхан¹, М.Р. Заппаров¹, Ш.А. Кулбекова^{1,3}

¹Satbayev University, Қазақстан, Алматы қ.

²Ариэль университеті, Израиль, Ариэль қ.

³Сейсмология институты, Қазақстан, Алматы қ.

*e-mail: a.zhakyp@stud.satbayev.university

Сейсмикалық әсерді ескере отырып «GEO5» кешенді бағдарлама көмегімен Көк-Төбе тауындағы жылжыма беткейдің тұрақтылық коэффициентін есептеу

Қазіргі заманғы қауіпті геологиялық процесстер – тұрғындардың өмір сүру қауіпсіздігін, таулы және тауалды аудандардағы өнеркәсіптік және азаматтық құрылыстың ерекшеліктерін, осы аудандардың тұрақты экономикалық дамуын анықтайтын инженерлік-геологиялық жағдайлардың маңызды компоненттерінің бірі. Мұндай процесстердің қарқынды дамуы, оның белсенділігі, әртүрлі инженерлік құрылыстарды салу мен пайдалануда айтарлықтай қиындық тудырады, халықтың қауіпсіз өмір сүруіне қауіп төндіреді және тиісті профилактикалық, қорғаныс шараларын жүзеге асыруды талап етеді. Жылжымаға қарсы іс-шараларды жобалау мен тұрақсыз беткейлерде құрылыстарды салу кезінде немесе жыра мен құламалардың ернеулері механизмдерінің бөлінуі тұсында жердің көлбеу бетінің тұрақтылық дәрежесін бағалау жұмысынан бастау қажет. Мұндай бағалау жердің көлбеу бетіндегі топырақ массивінің ығысу күштеріне тежеу күштерінің қатынасымен сипаталатын беткейдің тұрақтылық коэффициентін есептеумен жүзеге асады. Зерттеу жұмысы Алматы қаласындағы эксперименттік учатке ретінде Көк-төбе таулы беткейінде жүргізілді. Табиғи және сейсмикалық әсердің жағдайын есепке ала отырып, «GEO5» бағдарламасы арқылы беткейдің тұрақтылық коэффициенті есептелді. Есептеу нәтижесінде беткейдің тұрақтылығына әсер етуші қолайсыз факторлар мен қауіп-қатерлер анықталып, осыған қатысты іс-шаралар ұсынылды.

Түйін сөздер: қауіпті геологиялық процесстер, қала аумағы, жылжыма, беткей тұрақтылығын есептеу.

Введение

К настоящему моменту существуют разнообразные методы расчета устойчивости склона, основанные на более чем 200 подходах. Выбор того или иного метода обусловлен, прежде всего, типом оползневой процесса и механизмом возможного смещения оползневых масс. Основываясь на изучении оползневых процессов и методов расчета коэффициента устойчивости склона даны рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона, приведены анализы сравнения методов расчета, таких как: круглоцилиндрической поверхности скольжения; горизонтальных и касательных сил; аналитический; графоаналитический; графостатический давление от призмы обрушения по Кулону, а также показаны ориентировочные величины коэффициента устойчивости склона по результатам полевых исследований (Соловьева, 1986: 45), (Маслова, 1986: 62), (Ясюнас, 1986: 96). Довольно достаточное количество исследователей работало над теорией устойчивости земляных откосов и оснований инженерных сооружений, в том числе и Гольдштейн (1940: 30, 1969: 3). В своих работах Богомол, Бабаханов привели примеры расчета устойчивости и сил оползневой давления реальных объектов (Богомол, 2012: 2), (Баба-

ханов, 2012: 43). Bing Chen провел качественный и количественный анализ устойчивости оползневой зоны путем изучения инженерно-геологических условий и факторов, влияющих на устойчивость (Bing Bing Chen, 2017: 52).

С каждым годом изучение данного явления дополняется и модернизируется, тем самым позволяя более углубленно подойти в решении данной задачи. К примеру, в зарубежных исследованиях последних лет приводятся данные по влиянию гидрогеологических условий участков развития оползневых процессов на выбор методов расчета устойчивости склонов. Jian Hua Gong изучил динамическую взаимосвязь между коэффициентом устойчивости оползня и содержанием воды в почве оползневой полосы, а также разработал систему расчета модели и трехмерную визуализацию процесса развития оползня (Jian Hua Gong, 2001: 3). Min.X проанализировал взаимосвязь колебания уровня воды в склоне и его смещение, а также скорость деформации для неглубоких блоков (Min.X, 2013: 471). Fei Sun исследовал изменяющиеся характеристики устойчивости оползня на полях фильтрации с помощью программных модулей SEEP/W и SLOPE/W в Geo-Studio (Fei Sun, 2015: 1003). Faming Huang изучил вариации эффективности устойчивости оползней гидродинамического давления с различными коэффициентами проницаемости (Faming Huang, 2017: 6).

Также приводятся данные по влиянию сейсмических условий на участках развития оползневых процессов. К примеру, Фоменко и Федоренко описали расчеты устойчивости склонов с учетом сейсмического воздействия и классификации методов расчета устойчивости склонов (Sword) (Фоменко, 2011: 3, 2012: 2), (Федоренко, 2013: 25). Pai Lifang и др. провели оценку псевдостатического сейсмического коэффициента для анализа динамической устойчивости откоса на примере оползня на дороге аэропорта Yushu, для чего были выполнены испытания на вибростенде и численные расчеты (Pai Lifang, 2021: 1). В исследовании Т. Yang была выведена формула для расчета разницы ускорений между скользящим телом и скользящим основанием при распространении сейсмических волн в горных породах и грунте (Т. Yang, 2017: 2708).

Применение различных программных комплексов для расчета устойчивости склона также является актуальным на сегодняшний день. К примеру, Krahn привел моделирование устойчивости склона, используя программу SLOPE/W (Krahn, 2004: 257). В работе Перевощикова выполнены сравнительные результаты расчета устойчивости двух потенциально опасных оползневых участков и оценена устойчивость склонов численными и аналитическими методами с использованием современного программного комплекса GEO5 (Перевощикова, 2016: 145). Гусельцев и др. рассмотрели оценку оползневой опасности склона на площадке строительства инженерного сооружения повышенного уровня ответственности, и выявили основные факторы, определяющие устойчивость исследуемого склона, а также выполнили моделирование с учетом их изменчивости (Гусельцев, 2017: 41). В работе Седусова приведена теория расчета устойчивости откоса и сравнение анализа с использованием программы SLOPE/W (Седусова, 2019: 54). Qian Hou и др. выполнили оценку устойчивости оползня Чжанцзя, используя 3Д программу Rhino, вследствие чего определили нестабильность оползня в условиях ливня (Qian Hou, 2001: 3). Зеркаль, на модельном склоне провел количественную оценку его устойчивости с использованием квазистатического и динамического анализа (Зеркаль, 2018: 35).

Вопрос изучения опасных геологических процессов является актуальной задачей во всем мире. В монографии J. J. Clague, написанной 75 ведущими мировыми исследователями приво-

дятся исследования по геоморфологии, инженерной геологии, геотехнической инженерии и геофизики склонов в Северной Америке, Европе и Азии, а также результаты прогнозов развития в них опасных геологических процессов (J. J. Clague, 2012: 150). В отдельных работах казахстанских, Борисов, Сальменов и др. по результатам исследований выделили потенциальные районы развития опасных геологических процессов на территории алматинской агломерации (Борисов, 2006: 96), (Сальменов Е.З. 2018: 156).

Целью данной работы является исследование оползневого процесса на экспериментальном участке склона горы Кок-Тобе в г. Алматы, расчет коэффициента устойчивости склона в естественном состоянии и с учетом возможного сейсмического воздействия, выявление неблагоприятных факторов и рисков с точки зрения устойчивости склона и выработка соответствующих рекомендаций по предотвращению развития оползня.

И так для оценки устойчивости склона с учетом сейсмических воздействий требуется определение возможной силы землетрясения в исследуемом районе. Сила землетрясения оценивается по 12-бальной шкале (MSK-64) (СП РК 2.03-30-2017). В этом случае, указывается максимальная бальность для каждого района, в котором может ощущаться землетрясение. В зависимости от геологических условий на отдельных участках одного и того же по бальности района фактическая сила землетрясений может отличаться от средней. Карты общего сейсмического зонирования территории Республики Казахстан и список населенных пунктов, расположенных в сейсмических зонах Республики Казахстан были разработаны ТОО «Институтом сейсмологии» при участии РГП «ИГИ и АО «КазНИИСА» (СП РК 2.03-30-2017 Приложение Б). Такие карты составлены по населенным пунктам и объектам перспективного строительства, что позволило выделить зоны ограничения строительства, осуществить корректировку генеральных планов городов, проектировать здания и сооружения с учетом возможного эффекта проявления землетрясения. Карта сейсмического микрорайонирования включена в республиканские строительные нормы, регламентирующие требования к сейсмическому проектированию и застройке г. Алматы, а также прилегающих районов. Территория предгорной зоны Иле Алатау отнесена к 8-9 бальной зоне.

В то же время городская территория Алматы отличается повышенной сейсмичностью (9-10 баллов) (Мустафаев С.Т. 2008: 186).

Неблагоприятными условиями в сейсмическом отношении являются: мягкопластичные и текучие глинистые грунты; насыщенные водой гравийные, песчаные и лессовидные грунты; выветрелые и сильно нарушенные породы; участки местности с сильно расчлененным рельефом – обрывистые берега, овраги, ущелья; участки с близким расположением линий тектонических разломов. Менее опасны районы в сейсмическом отношении распространения плотных и маловлажных крупнообломочных грунтов, а также неветрелыми скальными породами (СП РК 1.02-102-2014). При расчете противооползневых удерживающих конс-

трукций учет сейсмического воздействия осуществляется добавлением к расчетным усилиям горизонтального (α_h) и вертикального фактора ускорения (α_{gv}) (СП РК 2.03-30-2017 Приложение Е).

Материалы и методы

Метод круглоцилиндрической поверхности скольжения применяется тогда, когда склон сложен однородными грунтами. Методика предполагает, что лишь в результате вращения оползающей массы вокруг центра О может произойти сползание грунта (рис. 1) (Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. – Москва, 1986. – 8,9 с)

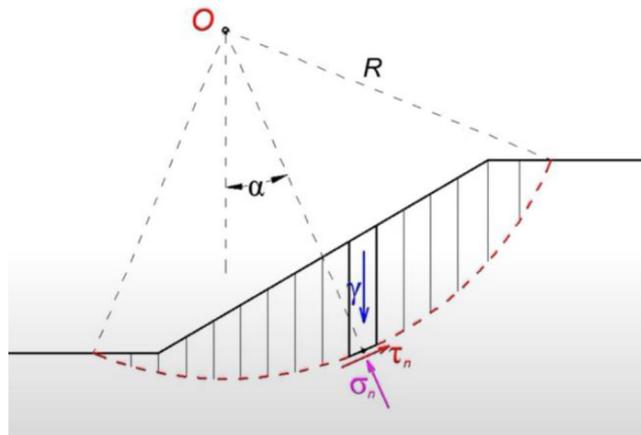


Рисунок 1 – Метод круглоцилиндрической поверхности скольжения: α – угол между радиусом ведущим к центру подошвы блока и вертикальным радиусом; γ – вес блока; σ – нормальная сила; τ – касательная сила

Таким образом, в данной ситуации поверхность скольжения АС будет представлена дугой некоторого круга с радиусом R, очерченного из центра О. Оползающий массив рассматривается как некий твердый блок, со всеми своими точками, которые участвуют в одном общем движении.

Наиболее распространенным и простым является так называемый «метод моментов». Оползающий массив подвергается воздействию двух моментов: момента вращающего массив $M_{вр}$ и момента удерживающего массив $M_{уд}$. Отношение этих моментов определяет коэффициент устойчивости склона K_y . Оползневое тело разбивается на равномерное количество отсеков, устойчивость каждого отсека будет

обеспечена, если сумма моментов опрокидывающих сил относительно точки О будет меньше суммы моментов удерживающих сил (1).

$$K_y = \frac{M_{уд}}{M_{вр}} \quad (1)$$

Коэффициент устойчивости склона для зданий и сооружений нормального уровня ответственности должен быть $K_y \geq 1,5$, иными словами если момент удерживающих сил превышает на 50% момент сдвигающих сил, то склон считается устойчивым (Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. – Москва, 1986. – 8,9 с).

Экспериментальный участок оползневого склона горы Кок-Тобе расположен в низкогорной части на правом берегу реки Киши Алматы на отметках от 1054,0 до 1102,0 м. Геоморфологически участок приурочен к области денудационного-тектонического низкогорья. Форма горных сооружений представлена сглаженными водоразделами и выпуклыми, крутыми склонами, покрытыми густой травянистой растительностью.

Сразу же после строительства канатной дороги и ресторана «Аул» на горе Кок-Тобе начались проблемы с отводом бытовых и ливневых стоков. К середине 80-х годов прошлого столетия здесь сформировался оползень из-за утечки воды из труб. Оползень сошел в долину реки

Солоновка, не причинив никакого вреда, кроме небольшого паводка. В 1998 году из-за утечки воды из магистрального водовода, проложенного по северо-западному склону горы, сошел оползень-поток переувлажненных масс грунта объемом 700-900 м³ («Алматыгидрогеология», 2004). Было нарушено естественное состояние грунта автодорогой и планировкой площадок под строительство. Во второй половине 90-х годов XX века из-за повышения влажности грунтов началось формирование трещины отрыва и медленное сползание грунтов северо-западного склона. В период с 2002-2005 года были проведены склонно-укрепительные работы с использованием буронабивных свай, которые приостановили процесс образования оползня (рис.2).



Рисунок 2 – Оползень на г. Кок-Тобе

На активизацию оползневых процессов наряду с природными условиями огромное влияние оказывают техногенные факторы такие как: перегрузка склона, искусственное переувлажнение грунтов, подрезка склонов, которые уменьшают устойчивость склона.

При дальнейшей активизации оползневых процессов в пределах экспериментального участка оползневого склона возможно обрушение станции канатной дороги, смотровых площадок, а также домов, расположенных у подножья горы Кок-Тобе (рис.3).

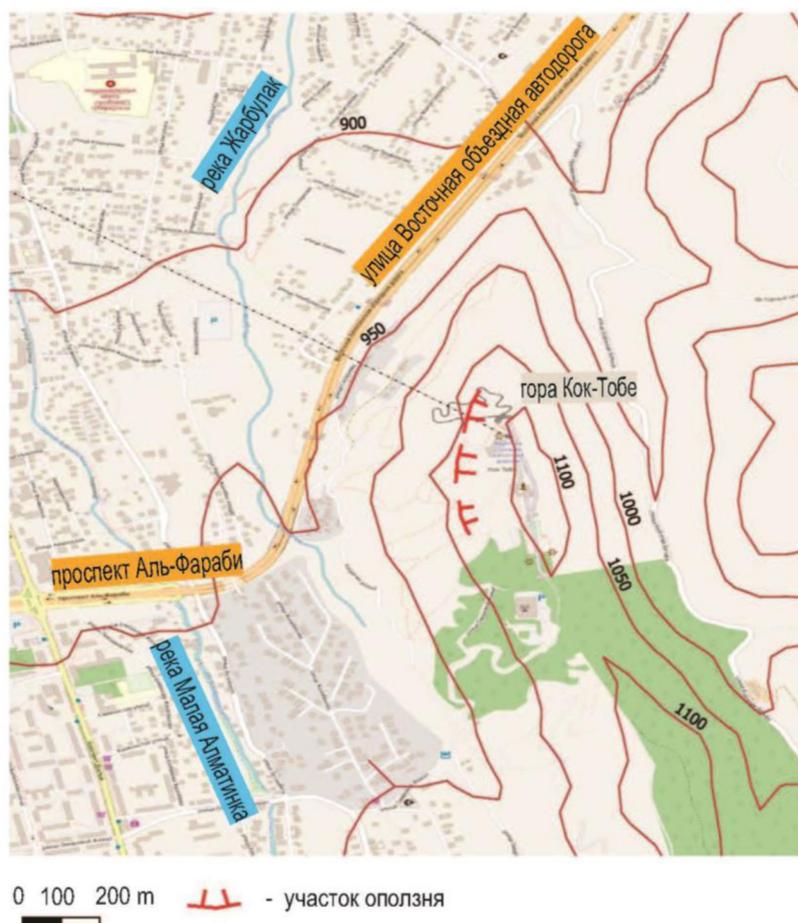


Рисунок 3 – План экспериментального участка на склоне г. Кок-Тобе

Породы, слагающие оползневой склон литологически представлены лессовидными суглинками. Грунтовые воды отсутствуют. Физико-

механические свойства грунтов на участке оползня были определены ТОО «Алматыгидрогеология» (Борисов В.Н., 2006: 277) и приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства грунтов

Показатели	Размерность	Единицы измерения
Естественная влажность	16,6 – 22,9	%
Плотность скелета	1,19–1,33	г/см ³
Пористость	50,9 – 55,4	%
Число пластичности	8,9 – 11,9	-
Просадочность	0,01 – 0,034	МПа
Сцепление естественное	0,018 – 0,22	МПа
Сцепление под водой	0,004 – 0,018	МПа
Угол внутреннего трения естественный	25 – 29	градус
Угол внутреннего трения под водой	24– 28	градус

Оценка коэффициента устойчивости склона в естественном состоянии и с учетом сейсмических воздействий.

Поскольку оползневой склон г. Кок-Тобе сложен однородным грунтом, применение метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения является целесообразным. Однако полученный коэффициент устойчивости характеризует только одну, случайно выбранную поверхность скольжения. Для определения наиболее опасной поверхности (наименьшего коэффициента устойчивости) следует рассмотреть несколько возможных центров вращения и различные значения радиусов R . Столь трудоемкие расчеты смогут осуществить различные программные комплексы, такие как «GEO5», «GeoStudio», «Landslide Modeller», «Rocscience» и др. (www.finesoftware.eu, www.geoslope.com, www.rocscience.com). Учитывая доступность и возможности программы «GEO5», в которой при расчете устойчивости склона можно учитывать не только сейсмические воздействия, но и прилагать нагрузку конструкций (полосовые, трапециевидальные, линейные) на оползневой склон одновременно, данная программа была использована нами для расчетов.

Решение задачи расчета устойчивости склона производилось с помощью программного комплекса GEO5 поэтапно с использованием следующих допущений и последовательности:

Сначала осуществлялся ввод геометрических данных слоя для расчета. Геометрическая модель – схематическое представление строения реального объекта, разделенное на отдельные слои и структурные элементы, основанное на инженерно-геологическом разрезе, построенном по наиболее вероятному направлению развития оползневого процесса.

В расчетах был использован метод круглоцилиндрической поверхности скольжения, или метод Моргенштейн – Прайса (Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. – Москва, 1986. – 122 с.) Тип расчета был выбран по сетям поверхностей скольжения. Круглоцилиндрическая поверхность скольжения была задана с верхней кромки застроенной территории вершины горы Кок-Тобе.

Ввод данных инженерно-геологического элемента включал в себя: удельный вес (γ), угол внутреннего трения (φ_{cf}), удельное сцепление грунта (C_{cf}), удельный вес водонасыщенного грунта (γ_{sat}). На данном участке уровень грунтовых вод отсутствует.

Для учета существующей застройки на горе Кок-Тобе (ресторан, колесо обозрения) при расчете также была задана дополнительная пригрузка (нагрузка зданий на грунт) $q=200,0$ кН/м².

Для расчета устойчивости оползневого склона с учетом сейсмического воздействия были использованы сейсмические ускорения грунтов III типа (СП РК 2.03-30-2017 Таблица 6.1, -18 с.), грунтовых условий по сейсмическим свойствам для г. Алматы, с уточненной сейсмичностью в 10 баллов. Были заданы расчетные горизонтальное и вертикальное ускорения сейсмических волн по типу грунтовых условий (в долях g), $a_g=0,633g$, $a_{gv}=0,570g$. (приложение Е СП РК 2.03-30-2017).

Расчет устойчивости склона выполнялся как на северо-западном, так и в северо-восточном склоне. Направление склона определялось в зависимости от крутизны уклона, где наиболее вероятно скольжение оползневых масс.

Результаты и обсуждения

Результат оценки коэффициентов устойчивости в естественном состоянии оползня асеквентного типа по методу Моргенштейн-Прайса приведены ниже на рисунках 4 и 5, а на рисунках 6 и 7 – с учетом сейсмического воздействия.

Выполненные расчеты показали, что в естественном состоянии северо-восточный склон является устойчивым $K_y=1,60$ (рис. 5), тогда как северо-западный склон является устойчивым удовлетворительно, при $K_y=1,44$ (рис. 4). Принимая во внимание, что в период строительства была создана дополнительная нагрузка на грунтовый массив, а также дополнительное замачивание грунтов при эксплуатации проектируемых сооружений, существует потенциальная опасность смещения грунтовых масс на северо-западном склоне.

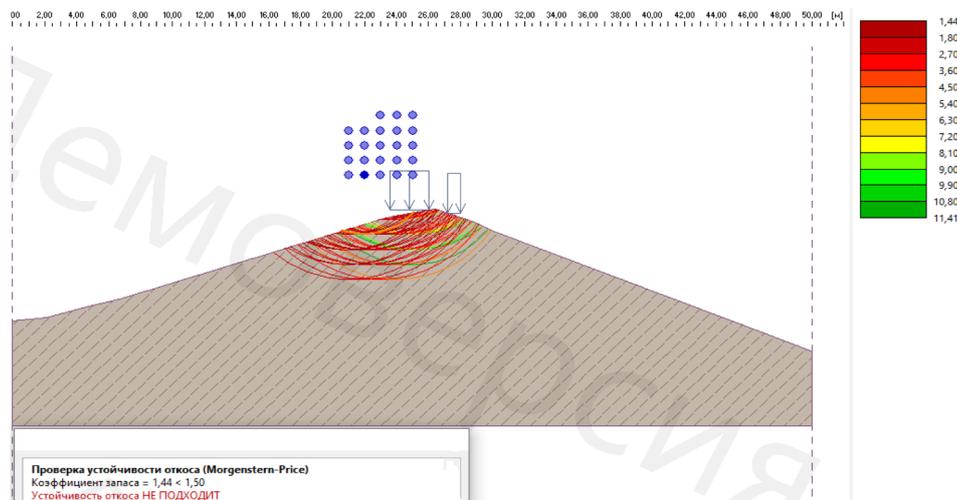


Рисунок 4 – Расчет устойчивости северо-западного склона г. Кок-Тобе в естественном состоянии

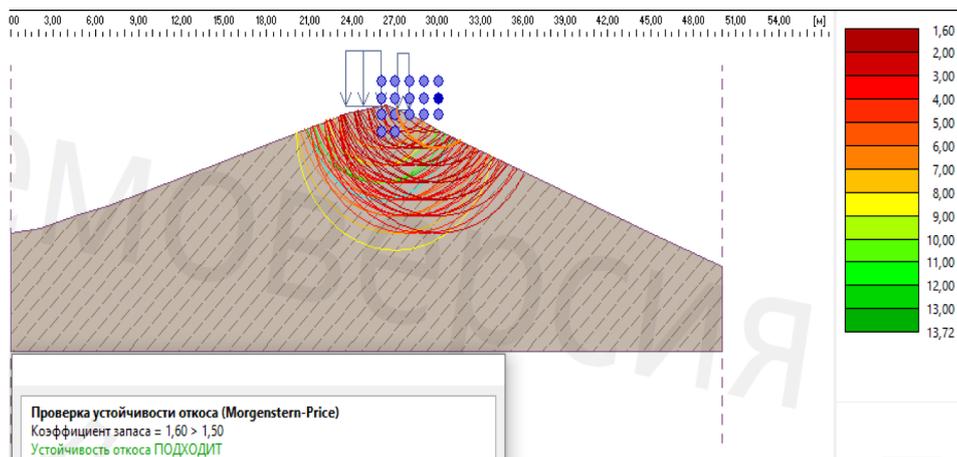


Рисунок 5 – Расчет устойчивости северо-восточного склона г. Кок-Тобе в естественном состоянии

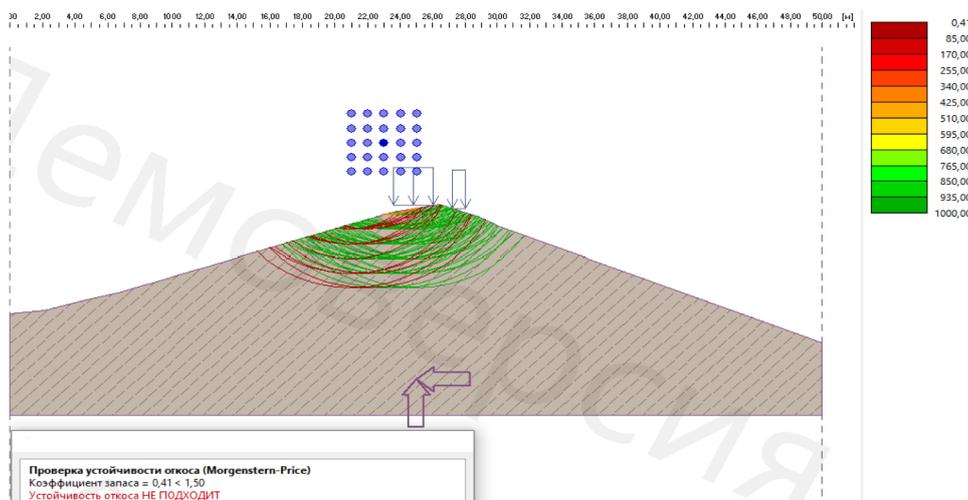


Рисунок 6 – Расчет устойчивости северо-западного склона г. Кок-Тобе с учетом сейсмических воздействий

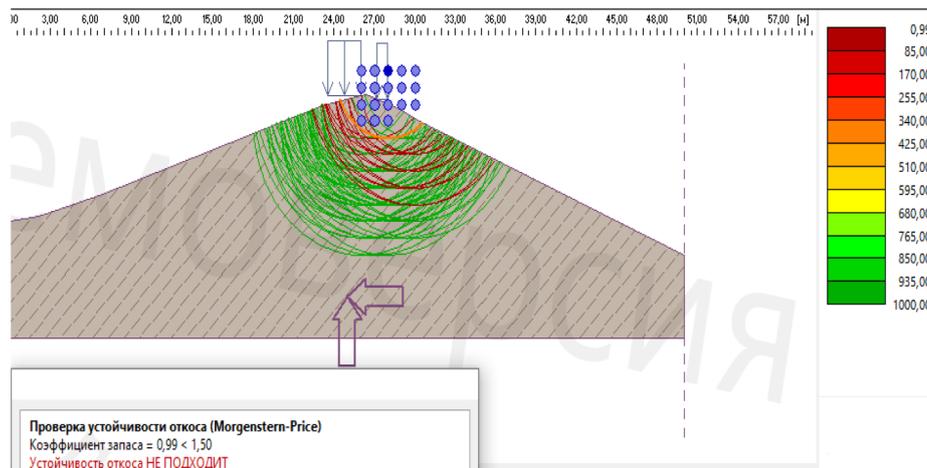


Рисунок 7 – Расчет устойчивости северо-восточного склона г. Кок-Тобе с учетом сейсмических воздействий

Расчет устойчивости северо-западного и северо-восточного склона с учетом сейсмических воздействий показал, что в целом склоны не устойчивы, со значениями $K_y=0,99$ (рис.7) и $K_y=0,41$ (рис.6). Площадка под строительство находится на грунтах с III типом грунтовых условий по сейсмическим свойствам, с уточненной сейсмичностью 10 баллов и достаточно 7-ми бального землетрясения, чтобы равновесие на склоне нарушилось.

Выводы

По результатам анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы: расчет коэффициента устойчивости в естественном состоянии на северо-восточном склоне показал $K=1,60$, а на северо-западном склоне составляет $K=1,44$, тогда как коэффициент устойчивости склона для зданий и сооружений нормального уровня ответственности должен быть $K_y \geq 1,5$ (Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. – Москва, 1986. – 8,9 с). Также принимая во внимание, что склон сложен лесовидными суглинками, при переувлажнении грунты начинают проявлять просадочные свойства, начальное просадочное давление которых составляет от 0,01 – 0,034 МПа (Борисов В.Н., 2006: 277). Результат указывает в целом, что северо-западный склон не устойчив;

Расчет коэффициента устойчивости склонов с учетом сейсмического воздействия показал, что склоны не устойчивы со значениями $K_y=0,99$ и $K_y=0,41$. Это обусловлено расположением склона в районе с высокой сейсмичностью. Со-

гласно карте сейсмического микрорайонирования территории города Алматы в баллах микро-сейсмической шкалы MSK-64(К) СП РК 2.03-31-2020 площадка исследования расположена в зоне III-БВ-3, которое указывает на сейсмичность района равным десяти баллам.

Также склон частично покрыт древесно-кустарниковой и травянистой растительностью. Древесно-кустарниковая и травянистая растительность играют значительную роль в сохранении укрепляющих факторов склона. На исследуемом склоне возможно проявление оползневых процессов ввиду нарушения естественного дернового покрова, искусственной подрезки склона, создании дополнительной нагрузки на грунтовый массив и возможного землетрясения. При замачивании грунтов (интенсивное снеготаяние, атмосферные осадки, дополнительное замачивание грунтов при эксплуатации проектируемых сооружений) также возникает опасность проявления оползневых явлений.

В этой связи рекомендуется: не допускать искусственной подрезки склонов; предотвращать избыточное увлажнение суглинков грунтового массива созданием ливнеоточной водоотводной системы и ликвидацией источников возможного обводнения склона (поливные арыки, бессточные депрессии рельефа); произвести переустройство склонов путем их выполаживания и террасирования; закрепить склоны подпорными стенками с контрфорсами, в основании подпорных стенок заложить дренажные трубы с обеспечением сбора воды в коллектор для быстрого отвода воды со склона; осуществить посадку быстрорастущих деревьев и кустарников с целью дополнительного укрепления склона.

Литература

- Богомолов А.Н., Кузнецова С.В., Синяков В.Н., Шубин М.А., Дыба В.П., Скибин Г.М., Олянский Ю.И., Богомолова О.А., Ушаков А.Н. Расчет устойчивости откосов и проектирование противооползневых сооружений // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительная информатика. – 2012. – № 8 (24). – С. 1-21.
- Борисов В.Н., Сальменов Е.З. Проведение инженерно-геологических работ вдоль горной части Заилийского Алатау в районе Талгара, Алматы, Каскелена, подверженных опасным геологическим процессам. – Алматы, 2006. – 277 с.
- Гольдштейн М.Н. О применении вариационного исчисления к исследованию устойчивости оснований и откосов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М., 1969. – № 1. – С. 2-6.
- Гольдштейн М.Н. О теории устойчивости земляных откосов // Гидротехническое строительство. – М., 1940. – № 1. – С. 28-33.
- Гусельцев А.С., Фоменко И.К., Пендин В.В., Горобцов Д.Н., Леденев В.Н., Никулина М.Е. Опыт оценки устойчивости склона при неопределенности факторов оползнеобразования // Инженерные изыскания. Том XI. – 2017. – Июль. – С. 38-49. DOI 10.25296/1997-8650-2017-6-7-38-49.
- Зеркаль О.В., Фоменко И.К., Кан К. Оценка устойчивости склонов в условиях сейсмического воздействия // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – №4. – С. 33-36. DOI:10.33622/0869-7019
- Инженерное руководство GEO5. – 2018. – №8.
- Мустафаев С.Т., Смоляр В.А., Буров Б.В. Опасные геологические процессы на территории Юго-Восточного Казахстана. – Алматы, 2008. – С. 186, 81, 74.
- Перевощикова Н.А., Идиятуллин М.М. Сравнительный анализ устойчивости потенциально оползнеопасных склонов по результатам расчетов аналитическими методами и методом конечных элементов // Международный научно-исследовательский журнал. № 6 (48). – 2016. – Июнь. – С. 144-149.
- Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. – М., 1986. – 122 с.
- Сальменов Е.З., Борисов В.Н. Ведение мониторинга опасных геологических процессов на Каскелен-Талгарском полигоне за 2017–2018 гг. – Алматы, 2018. – 276 с.
- Седусова Ю.А., Клевко В.И. Определение устойчивости откоса грунтового массива с помощью программного комплекса «GeoStudio» // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. Том 2. – 2019. – С. 53-58.
- СП РК 1.02-102-2014. Инженерно-геологические изыскания для строительства. – Астана, 2014.
- Федоренко Е.В. Метод расчета устойчивости путем снижения прочностных характеристик // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – №6 (49). – С. 24-26.
- Фоменко И.К. Общая классификационная схема методов расчета устойчивости склонов // SWorld. – 2012. – №2-12. – С. 2.
- Фоменко И.К., Константин-Геннадьевич С.Д., Сироткина О.Н. Расчет устойчивости склонов с учетом сейсмического воздействия // Конференция. Сергеевские чтения. – 2011. – Январь. – С. 3.
- Bingbing Chen, Zhenhua Fu, Tao Chen. Stability analysis and evaluation of a landslide area in Sichuan // Environmental and earth sciences research journal. – No. 2. – 2017. – June. – Volume 4. – P. 49-54. DOI: 10.18280/eesrj.040205
- Bovenga F., Pasquariello G., Pellicani R., Refice A., Spilotro G. Landslide monitoring for risk mitigation by using corner reflector and satellite SAR interferometry: the large landslide of Carlantino // Catena. – 2017. – April. – Volume 151. – P. 49-62. DOI:10.1016/j.catena.2016.12.006
- СП РК 2.03-30-2017. Строительство в сейсмических районах (зонах) Республики Казахстан. – Астана, 2017. – 104 с.
- Clague J. J., Douglas S. Landslides: Types, Mechanisms and Modeling. – Cambridge, 2012. – 150 p.
- Engineering methodology of stability modeling with SLOPE/W. – Calgary, 2004. – 394 p.
- Faming Huang, Xiaoyan Luo, Weiping Liu. Stability Analysis of Hydrodynamic Pressure Landslides with Different Permeability Coefficients Affected by Reservoir Water Level Fluctuations and Rainstorms // MDPI. Water 9(7). – 2017. June. – Pp. 1-16. DOI:10.3390/w9070450
- Fei Sun, Chongyang Qiu, Xue liang Li. The changing characteristic analysis of the landslide stability under the water dropping condition // International Forum on Energy, Environment Science and Materials – 2015. – September. – Pp. 1000-1005.
- Jianhua Gong, Hui Lin, Li Xianhua. 3-D Dynamic Simulation and Visualization of Landslide Models-A Case Study of the Shum Wan Road Landslide in Hong Kong // Mapping the 21st century: the 20th International Cartographic Conference. – 2001. – August. – (Volume 4). – Pp. 1-10.
- Min X., Ren G.M., Lei X. Deformation and mechanism of landslide influenced by the effects of reservoir water and rainfall, three gorges, China // Natural Hazards. 68. – 2013. – March. – Pp. 467–482. DOI 10.1007/s11069-013-0634-x.
- Pai Lifang, Wu Honggang, Yang Tao, Zhong Feifei. Study on seismic coefficient calculation method of slope seismic stability analysis // Shock and Vibration. – 2021, – August. – 10 P. DOI:10.1155/2021/9986509
- Qian Hou, Lixin Liu, JinxinChong, Xueping Li1. Analysis of the stability of Zhangjiapo landslide // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – July. – Pp. 1-8. – DOI:10.1088/1755-1315/865/1/012026
- Yang T., Huang L., Feng J., Wu H. G., Qi Z. K.. Dynamic stability analysis of landslide based on seismic propagation process // Rock and Soil Mechanics. – 2017. – Volume 38. – № 9. – Pp. 2708-2712.
- Zhakyp A.E., Mirlas V.M., Auelkhan Ye. S. Assessment of hazardous engineering-geological and hydrogeological processes on the Almaty city territory // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2021. – September. – Volume 332. – Pp. 45–56. DOI:10.18799/24131830/2021/10/3088

References

- Bingbing Chen, Zhenhua Fu, Tao Chen. Stability analysis and evaluation of a landslide area in Sichuan. *Environmental and earth sciences research journal*. №2. 2017, June. Volume 4. P. 49-54. DOI: 10.18280/eesrj.040205
- Bogomolov A. N., Kuznetsova S. V., Sinyakov V. N., Shubin M. A., Dyba V. P., Skibin G. M., Olyansky Y. I., Bogolova O. A., Ushakov A. N. Raschet ustoichivosti otkosov i proektirovanie gprotivoopolznevyyh sooruzhenii [Calculation of slope stability and landslide protection structures design]. *Internet-vestnik VolgGASU. Seriya: Stroitel'naya informatika*. 2012. № 8 (24). pp. 1-21.
- Borisov V.N., Salmenov E.Z. Provedenie inzhenerno-geologicheskikh rabot vdol' gornoy chasti Zailiiskogo Alatau v raione Talgara, Almaty, Kaskelena, podverzhennykh opasnym geologicheskim processam [Carrying out engineering and geological works along the mountainous part of the Trans-Ili Alatau in the Talgar, Almaty, Kaskelen area, subject to dangerous geological processes]. Almaty, 2006. 277 p.
- Bovenga F., Pasquariello G., Pellicani R., Refice A., Spilotro G. Landslide monitoring for risk mitigation by using corner reflector and satellite SAR interferometry: the large landslide of Carlantino. *Catena*. 2017. April. Volume 151. P. 49-62. DOI:10.1016/j.catena.2016.12.006
- Clague J. J., Douglas S., Landslides: Types, Mechanisms and Modeling. Cambridge, 2012. 150 p.
- Engineering methodology of stability modeling with SLOPE/W. Calgary, 2004. 394 p.
- Faming Huang, Xiaoyan Luo, Weiping Liu. Stability Analysis of Hydrodynamic Pressure Landslides with Different Permeability Coefficients Affected by Reservoir Water Level Fluctuations and Rainstorms. *MDPI. Water* 9(7). 2017. June. pp. 1-16. DOI:10.3390/w9070450
- Fedorenko E.V. Metod rascheta ustoichivosti putem snizheniya prochnostnykh harakteristik [Method of calculating stability by reducing strength characteristics]. *Transport Rossiiskoi Federacii*. 2013. №6 (49). pp. 24-26.
- Fei Sun, Chongyang Qiu, Xue liang Li. The changing characteristic analysis of the landslide stability under the water dropping condition. *International Forum on Energy, Environment Science and Materials*. 2015. September. pp. 1000-1005.
- Fomenko I.K. Obshaya klaccifikacionnaya shema metodov rascheta ustoichivosti sklonov [General classification scheme of slope stability calculation methods]. *SWorld*. 2012. №2-12. 2 p.
- Fomenko I.K., Konstantin-Gennadiyevich S.D., Sirotkina O.N. Raschet ustoichivosti sklonov s uchedom seismicheskogo vozdeystviya [Calculation of slope stability taking into account seismic impact]. *Konferenciya. Sergeevskie chteniya*. 2011. January. 3 p.
- Goldstein M.N. O primeneniі variacionnogo ischisleniya k issledovaniyu ustoichivosti osnovanii I otkosov [On the application of the calculus of variations to the study of the stability of bases and slopes]. *Osnovaniya, fundamente I mehanika gruntov*. M., 1969. № 1. pp. 2-6.
- Goldstein M.N. O teorii ustoichivosti zemlyanykh otkosov [On the theory of stability of earth slopes]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo*. M., 1940. № 1. P. 28-33.
- Guseltsev A.S., Fomenko I.K., Pendin V.V., Gorobtsov D.N., Ledenev V.N., Nikulina M.E. Opyt ocenki ustoichivosti sklona pri neopredelennosti faktorov opolzneobrazovaniya [Assessing slope stability at uncertainty of landslide formation factors]. *Inzhenernye izyskaniya*. Tom XI. 2017, July. pp. 38-49. DOI 10.25296/1997-8650-2017-6-7-38-49.
- Inzhenernoe rukovodstvo GEO5 [Engineering Manual GEO5]. 2018. №8.
- Jianhua Gong, Hui Lin, Li Xianhua. 3-D Dynamic Simulation and Visualization of Landslide Models-A Case Study of the Shum Wan Road Landslide in Hong Kong. Mapping the 21st century: the 20th International Cartographic Conference. 2001. August. Volume 4. pp. 1-10.
- Min X., Ren G.M., Lei X. Deformation and mechanism of landslide influenced by the effects of reservoir water and rainfall, three gorges, China. *Natural Hazards*. 68. 2013. March. pp. 467-482. DOI 10.1007/s11069-013-0634-x
- Mustafayev S.T., Smolyar V. A., Burov B. V. Opasnye geologicheskie processy na territorii Ygo-Vostochnogo Kazakhstana [Hazardous geological processes in the territory of South-Eastern Kazakhstan]. Almaty, 2008. pp. 186, 81, 74.
- Pai Lifang, Wu Honggang, Yang Tao, Zhong Feifei. Study on seismic coefficient calculation method of slope seismic stability analysis. *Shock and Vibration*. 2021, August. 10 p. DOI:10.1155/2021/9986509
- Perevoshchikova N.A., Idiyatullin M.M. Sravnitel'nyi analiz ustoichivosti potencial'no opolzneopasnykh sklonov po rezul'tatam raschetov analiticheskimi metodami I metodom konechnykh elementov [Comparative analysis of slopes' stability with high potential risk of landslide by the result of calculation using analytical methods and final element method]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. № 6 (48). 2016, June. pp. 144-149.
- Qian Hou, Lixin Liu, JinxinChong, Xueping Li1. Analysis of the stability of Zhangjiapo landslide. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. July. pp. 1-8. – doi:10.1088/1755-1315/865/1/012026
- Rekomendacii po vyboru metodov rascheta koefficienta ustoichivosti sklona I opolzneovogo davleniya [Recommendations on the choice of methods for calculating the slope stability coefficient and landslide pressure]. M., 1986. 122 p.
- Salmenov E.Z., Borisov V.N. Vedenie monitoringa opasnykh geologicheskikh processov na Kaskelen-Talgarskom poligone za 2017-2018 gg. [Monitoring of hazardous geological processes at the Kaskelen-Talgar landfill for 2017-2018] Алматы, 2018. 276 с.
- Sedusova Yu.A., Kleveko V.I. Opredelenie ustoichivosti otkosa gruntovogo massiva s pomosh'yu programmnoogo kompleksa «GeoStudio» [Determination of the stability of the slope of the soil mass using the «Geostudio» software package]. *Sovremennye tehnologii v stroitel'stve. Teoriya I praktika*. Tom 2. 2019. pp. 53-58.
- SP RK 2.03-30-2017. Stroitel'stvo v seismicheskikh raionah (zonah) Respubliki Kazakhstan [Construction in seismic areas (zones) of the Republic of Kazakhstan]. Astana, 2017. 104 p.

Yang T., Huang L., Feng J., Wu H. G., Qi Z. K.. Dynamic stability analysis of landslide based on seismic propagation process. *Rock and Soil Mechanics*. 2017. Volume 38. № 9. P. 2708-2712.

Zerkal O.V., Fomenko I. K., Kan K. Ocenka ustoichivosti sklonov v usloviyah seismicheskogo vozdeistviya [Assessment of slope stability under seismic impact]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2018. №4. pp. 33-36. DOI:10.33622/0869-7019

Zhakyp A.E., Mirlas V.M., Auelkhan Ye. S. Assessment of hazardous engineering-geological and hydrogeological processes on the Almaty city territory. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2021, September. Volume 332. pp. 45–56. DOI:10.18799/24131830/2021/10/3088