

**А.Р. Баймахан<sup>1</sup>, А. Сериккызы<sup>2</sup>, Г.М. Баймаханова<sup>3</sup>,  
А.К. Рысбаева<sup>4\*</sup>, Р. Баймахан<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Атырауский государственный университет им. Х.Досмухамедова, Атырау, Казахстан

<sup>2,5</sup>Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Южно-Казахстанский государственный педагогический университет, Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

#### **Информация об авторах**

Баймахан Айгерим Рысбеккызы – PhD, ассоциированный профессор, Атырауский государственный университет имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-1009-3357>, e-mail: baimakhan.aigerim@gmail.com.

Акбота Сериккызы – магистрант. Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,

<https://orcid.org/0000-0001-7174-0127>, e-mail: akbotaaaaa.1@gmail.com

Баймаханова Гульжан – кандидат химических наук, Южно-Казахстанский государственный педагогический университет, Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-1656-3735>, e-mail: baimahan-gukanai@mail.ru

Рысбаева Айман Калиевна – PhD, ассоциированный профессор, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-8135-4596>, email: aimanrk@mail.ru

Баймахан Рысбек – д.т.н., профессор, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-4042-1689>, e-mail: brysbekbai@gmail.com.

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ ПО НАПРЯЖЕНИЯМ ПРЕД-ОПОЛЗНЕВОГО СОСТОЯНИЯ СКЛОНА ГОРЫ ТРАГИЧЕСКОГО ОПОЛЗНЯ «АК КАИН»**

**Аннотация.** Предложена методика реконструкции и исследования пред-оползневого состояния трагического оползня «Ак-Каин» Северного Тянь-Шаня. Кратко представлены модель и конечно-элементный алгоритм исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) почвенных отложений наклонно-слоистой структуры.

Показаны установленные зоны и места скопления опасных концентраций напряжений вдоль наклонного слоя. Эпюрами показаны найденные другие участки опасных концентраций напряжений, предрасположенные к разрушению.

**Ключевые слова:** склон, земля, слои, химические процессы, анизотропия, модель, оползень.

### **Введение**

Из-за интенсивного проникновения дождевой воды в грунтовые слои северо-западного склона горы Ак-Булак в 2004 году произошел оползень (рис. 1).

Сегодня другие многочисленные предгорные склоны Заилийского Алатау находятся в таком критическом состоянии, у подножия которых находятся многочисленные жилые здания и народно-хозяйственные объекты. Например, к ним относятся гора Кок-Тобе, которая является потенциально опасной зоной, как и предгорные районы Кен Сайского массива, санаторий «Каменское плато»,

дачные участки «Широкая Шель», зона отдыха «Медеу» и «Шым Булак», урочище «Бутаковка», санаторий «Ремизовка», микрорайон «Казахфильм» и санаторий «Алма-Арасан».



Рисунок 1 – Следы трагического оползня «Ак Каин» после 2004 года:  
а – путь оползневой массы; б – визуальное обследование останков оползня;  
с – место срыва оползневой массы [Материал автора]

Судя по останкам, почвы состояли в основном из песчаных суглинков и песчаных глин. Области свода горного склона состояли в основном из элювиальных отложений, которые образовались в результате химических разложений каменистого грунта из-за многовековых дождей и смены температуры. Начальная высота склона составила 80 метров. Точка отсчета подножия склона была на глубине 35 метров, угол наклона  $\theta$  до оползня был 72-0. На основе таких данных мы составили геометрию рассчитанной модели Ак Каина.

### Материалы и методы

Обобщенный критерий для определения разрушения *грунта склона*.

Под действием веса водонасыщенного грунта во внутренних точках грунта на наклонной поверхности эффективные силы могут превысить внутренние силы связи между частицами. В таких случаях начинается процесс разрушения грунта. Как известно, критерий Кулона-Мора, в геометрическом смысле, является уравнением прямой линии следующей формы.  $\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \varphi$

$$\tau_c = C + \sigma^n \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где  $\tau_c$ -тангенциальная составляющая или напряжение сдвига в скользящей платформе; сила сцепления; нормальная составляющая напряжений на скользящей платформе;  $\varphi$  - угол внутреннего трения. Механический смысл уравнений (1) легко открывается конструкциями окружностей Мора. Радиус окружности соответствует напряжению, которое вычисляется с использованием напряжений главных компонент и [4], [5], [6].

$$\tau_{\max} = 0.5(\sigma_1 - \sigma_3) \quad (2)$$

где

$$\sigma_1 = 0.5(\sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x + \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}) ,$$

$$\sigma_3 = 0.5(\sigma_x + \sigma_y - \sqrt{(\sigma_x + \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}) , \quad (3)$$

или

$$\tau_{\max} = 0.5\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} . \quad (4)$$

Ориентация осей напряжений  $\sigma_1$  и  $\tau_{\max}$  не всегда совпадает с направлениями  $\sigma_z$  и  $\tau_{xz}$ , где ось  $z$  направлена вертикально вверх, и  $x$ -в горизонтальных направлениях. Поэтому направления осей  $\sigma_1$  и  $\tau_{\max}$  и  $\sigma_z$  и  $\tau_{xz}$  относительно к  $\sigma_z$  и  $\tau_{xz}$ ,  $\alpha$  угол между ними, определяются через компоненты напряжений в декартовой системе координат по известному выражению, известному в теории упругости

$$\operatorname{tg}2\alpha = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \quad (5)$$

Отсюда

$$\alpha = 0.5\operatorname{arctg} \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \quad (6)$$

Величина предельной прочности  $\sigma_c$  – при одноосном сжатии рассчитана с использованием [7], [8].

$$\sigma_c = \frac{2C \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (7)$$

Это условие прочности через основные компоненты напряжений записывается следующим образом

$$\sigma_1 = \sigma_c + \beta \sigma_3 \quad (8)$$

Здесь  $\beta$  параметр объемной прочности

$$\beta = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (9)$$

Пластиковая модель Кулона-Мора имеет две прочностные характеристики:  $C$  и  $\varphi$ . Параметры  $\sigma_c$  и  $\beta$  являются производными от первых двух. Поэтому они легко вычисляются с помощью выражений (7) - (9). Итак, из выражения (7)

$$C = \sigma_c \frac{1 - \sin \varphi}{2 \cos \varphi} \quad (10)$$

Подставляя (9) в (8), получим

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_c - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_c + \sigma_3},$$

Отсюда

$$\varphi = \arcsin \frac{\sigma_1 - \sigma_c - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_c + \sigma_3} \quad (11)$$

#### *Краткий алгоритм МКЭ для решения поставленной задачи*

При математическом моделировании водонасыщенного склона в плоской постановке нельзя однозначно сказать о преимуществе конечного элемента любой формы. Обзор работ последних лет, посвященных этому вопросу, показывает, что некоторые исследователи успешно используют треугольные элементы, а некоторые – четырехугольные [5]. Там, где ожидается наибольшая концентрация напряжений, необходимая информация из полученных результатов может быть напечатана для точек интегрирования.

Типичный четырехузловой изопараметрический конечный элемент произвольной формы связан следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x}, \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y}, \\ \gamma_{xy} &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \end{aligned} \quad (12)$$

В кратком матричном виде выражение (10) можно записать в виде:

$$\{\varepsilon\}_{i,j} = [B]_{i,j} \{U\}, \quad (13)$$

Здесь  $[B]_{i,j}$  – матрица базисных функций, элементы которой вычисляются в точках интегрирования  $j$  и  $i$ , а  $\{U\}$  – вектор смещения.

Теперь мы можем записать основное уравнение метода конечных элементов-уравнение равновесия в виде

$$[R]\{U\} = \{\gamma H\}, \quad (14)$$

Здесь  $\gamma$  – объемный вес элемента,  $H$  – глубина от поверхности земли вниз почвенной массы

Теперь запишем обычное выражение для вычисления компонент напряжений для внутренних точек интегрирования

$$\{\sigma_{ij}\} = [D]\{\varepsilon_{ij}\} \quad (15)$$

С помощью приведенного выше алгоритма (1) – (15) полностью определяются компоненты перемещений, деформаций и напряжений. В настоящее время одним из главных вопросов остается выбор критерия определения критического состояния грунта

#### *Расчетная схема решения задачи*

На основе таких данных была составлена геометрия расчетной модели склона Ак-Каин, показанная на рис. 1. Пунктирная линия соответствует исходному состоянию склона Ак-Каина до оползня. Сплошная линия показывает текущий вид склона, заполненного остатками оползневых масс. Линии на рис. 2 соответствуют: 1 – поверхности склона перед оползнем; 2 – текущему состоянию склона; 3 – линии скольжения оползневой массы; 4 – пути и валу оползня; 5 – элювиальным отложениям перед оползнем; 6 – исходным делювиальным массам; 7 – пролювиальным почвам, образованным вековыми продуктами химического выветривания в результате денудационных процессов.

Здесь наша цель – выяснить, что вызвало оползень, то есть каковы были напряженные состояния зон, участков склона перед оползнем. То есть решить обратную задачу – восстановить всю картину этого трагического оползня Северного Тянь-Шаня методами механико-математического моделирования (МММ).

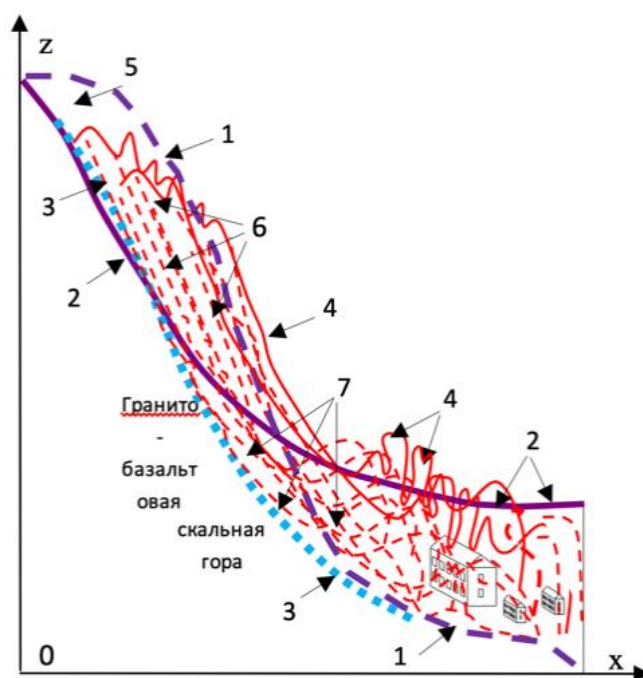


Рисунок 2 – Геометрия склона горы Ак-Каин до и после оползня

Расчетная схема склона «Ак Каин», показанная на рис.2, разбита на 384, 4-узловых изопараметрических конечных элемента с общим количеством 425 узловых точек.

## Результаты и обсуждение

Компоненты напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_{xz}$  рассчитываются с использованием алгоритмов (1) – (3). Затем с помощью выражений (4) вычисляются компоненты напряжений в системе координат  $nOt$ , связанные с нормалью к поверхности откоса, с учетом угла заложения  $\theta$  относительно поверхности земли.

Для точного показа величины и направлений надавливающих сил давлений на склоне горы увлажненную массу суглинистых песчаных грунтовых отложений вычислены компоненты напряжений в локальных системах координат  $nt\theta$ , связанная с нормалью  $n$  к поверхности:  $\sigma_{nt}$ ,  $\sigma_{nt}$ ,  $\tau_{nt}$ . Такой анализ позволяет представить картину механизма отрывного разрушения на наклонной поверхности склона по направлению касательной, то есть по направлению вдоль склона. Начавшейся движение оторванной массы водонасыщенного грунта из области свода катилась вниз по склону, прихватывая уязвимые к движению суглинков находящиеся в пластическом состоянии. Поэтому масса оползня быстро росла. Анализ величин концентрации напряжений по  $\sigma_{nt}$ ,  $\tau_{nt}$  показывает, что в области склона ближе к основанию находилась еще одна большая по размеру слабая по прочности зона, предрасположенная к разрушению. Катящаяся сверху масса оползня вытолкнула всю поверхностную массу этой зоны. Росшая по высоте таким образом огромная масса оползня моментально перешагнула двухэтажного дома санатория. Таким образом, высота оползневого вала достигла 35 метровой высоты весом более миллионной тонны грунта. Заживо были захоронены все 29 жильцы дома, среди которых были малолетние дети с бабушками и дедами. Расположение этих двух источников оползня показаны на графиках по эпюрам напряжений  $\sigma_{nt}$ ,  $\sigma_{nt}$ ,  $\tau_{nt}$  на рисунке 3

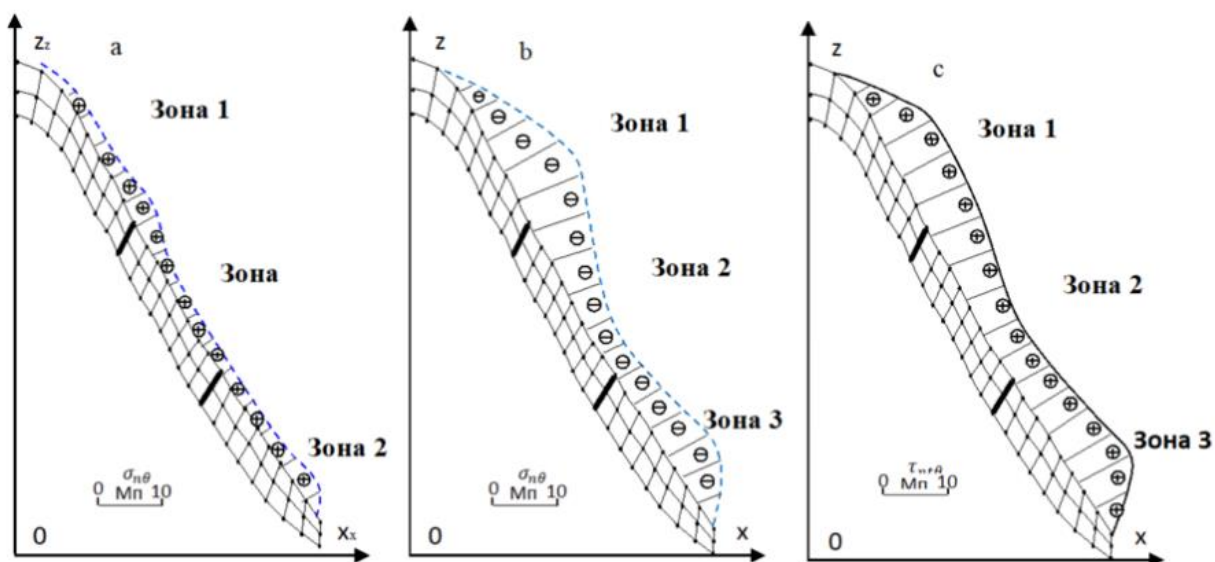


Рисунок 3 – Эпюры нормальных к поверхности склона компонентов напряжений:

a –  $\sigma_{n,\theta}$ , b –  $\sigma_{t\theta}$ , c –  $\tau_{nt,\theta}$

## Заклучение

Таким образом, показана полная картина состояния горного склона «Ак Каин» перед оползнем, зоны концентрации напряжений, механизм отрыва грунта от склона и весь сценарий трагического оползня «Ак Каин». Следует отметить, что по этому методу можно прогнозировать состояние оползневой опасности аналогичных стратегически важных горных склонов Северного Тянь-Шаня.

### Литература:

1. Баймахан А.Р., Баймахан Р.Б., Сейнасинова А.А., Курманбекқызы Н., Баймаханова Г.М. Расчетная модель оползневого слабого грунтового основания наклонной конструкции зданий и сооружений. *Международный журнал гражданского строительства и технологий*. 2018, 2, 2859-2871.
2. Баймахан Р.Б., Баймахан А.Р., Молдакунова Н.К. К определению приведенных физико-механических свойств грунтов оползневого склона Кок-Тобе в Алматы. *Современные проблемы механики*. 2018, №33(3), 431-438.
3. Баймахан Р. Б., Баймахан А.Р., Абдиахметова З. М., Сейнасинова А.А., Баймаханова Г.М. Обобщение прочностных условий Цытовича для грунтов анизотропного строения. *Вестник КарГУ. Серия механика*. 2019, 1(93), 108-114.
4. Рысбаева А.К. Моделирование склонового грунта анизотропного строения. *Сборник конференции «Современные проблемы механики сплошных сред. Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии»*. 2013, 246-248.
5. Abid Ali, Jinsong Huang, Lyamin A.V., Sloan S.W. Li J.H. Simplified quantitative risk assessment of rainfall-induced landslides modelled by infinite slopes. *Engineering Geology*. 2014, 179, 102-116. DOI:10.1016/j.enggeo.2014.06.024
6. Qihua Ran, Yanyan Hong, Wei Li, Jihui Gao. A modelling study of rainfall-induced shallow landslide mechanisms under different rainfall characteristics. *Journal of Hydrology*. 2018., 563, 790-801. DOI:10.1016/j.jhydrol.2018.06.040
7. Курманбек Н. Устойчивость систем горных склонов, подверженных оползням и сейсмической опасности. 2010. Автореферат диссер. на соискание ученой степени: к.ф-м.н. 24с.
8. Цытович Н.А. *Механика грунтов*. М.: Высшая школа, 1979, 272 с.

### References:

1. Baymaxan A.R., Baymaxan R.B., Seynasinova A.A., Qurmanbekqızı N., Baymaxanova G.M. Raschetnaya model opolzneвого slabogo gruntovogo osnovaniya naklonnoy konstruksii zdaniy i sooruzheniy [Calculation model of a landslide weak soil base of an inclined structure of buildings and structures]. *Mezhdunarodnyiy zhurnal grazhdanskogo stroitelstva i tehnologiy = International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018, 2859-2871 (in Russ.)
2. Baymaxan R.B., Baymaxan A.R., Moldakwnova N.Q. K opredeleniyu privedennyih fiziko-mehanicheskikh svoystv gruntov opolzneвого sklona Kok-Tobe v Almatyi [To determine the reduced physical and mechanical properties of the soils of the Kok-Tobe landslide slope in Almaty]. *Sovremennyye problemy mehaniki = Modern problems of mechanics*. 2018, 33 (3), 431-438. (in Russ.)
3. Baymaxan R.B., Baymaxan A.R., Abdiaxmetova Z.M., Seynasinova A.A., Baymaxanova G.M. Obobschenie prochnostnyih usloviy Tsyitovicha dlya gruntov anizotropnogo stroeniya [Generalization of Tsyitovich strength conditions for soils of anisotropic structure]. *Vestnik KarGU. Seriya mehanika = Herald of KarGU. Mechanics series*. 2019, 1 (93), 108-114. (in Russ.)

4. *Risbaeva A.Q. Modelirovanie sklonovogo grunta anizotropnogo stroeniya [Modeling of slope soil of anisotropic structure]. Sbornik konferentsi "Sovremennyye problemy mehaniki sploshnykh sred. Gidrogazodinamika, geomehanika i geotehnologii" = Collection of the Conference "Modern problems of continuum mechanics. Hydro-gas dynamics, geomechanics and geotechnologies". 2013, 246-248. (in Russ.)*
5. *Abid Ali, Jinsong Huang, Lyamin A.V., Sloan S.W. Li J.H. 2014. Simplified quantitative risk assessment of rainfall-induced landslides modelled by infinite slopes. Engineering Geology. 179, 102-116. DOI:10.1016/j.enggeo.2014.06.024*
6. *Qihua Ran, Yanyan Hong, Wei Li, Jihui Gao. A modelling study of rainfall-induced shallow landslide mechanisms under different rainfall characteristics. Journal of Hydrology. 2018, 563, 790-801. DOI:10.1016/j.jhydrol.2018.06.040*
7. *Qurmanbek N. Ustoychivost sistem gornyykh sklonov, podverzhennykh opolznyam i seysmicheskoy opasnosti [Stability of mountain slope systems prone to landslides and seismic hazards]. Avtoreferat dissertatsii kandidata fiziko-matematicheskikh nauk = Abstract of the dissertation of the candidate of physical and mathematical Sciences, 24. (in Russ.)*
8. *Tsytoich NA (1979). Mehanika gruntov [Soil mechanics]. Higher School, Moscow, Russia. (in Russ.)*

**А.Р. Баймахан<sup>1</sup>, А. Серикқызы<sup>2</sup>, Г.М. Баймаханова<sup>3</sup>,  
А.К. Рысбаева<sup>4\*</sup>, Р. Баймахан<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Х.Досмухамедов атындағы Атырау мемлекеттік университеті, Атырау, Қазақстан

<sup>2,5</sup>Қазақ Ұлттық Қыздар Педагогикалық Университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup> Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>4</sup>Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

#### **Авторлар туралы ақпарат**

Баймахан Айгерим Рысбекқызы – PhD, қауымдастырылған профессоры, Х.Досмухамедов атындағы Атырау мемлекеттік университеті. Атырау, Қазақстан <https://orcid.org/0000-0002-1009-3357>, e-mail: [baimakhan.aigerim@gmail.com](mailto:baimakhan.aigerim@gmail.com).

Ақбота Серикқызы – магистрант, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан; <https://orcid.org/0000-0001-7174-0127>, email: [akbotaaaaa.l@gmail.com](mailto:akbotaaaaa.l@gmail.com),

Баймаханова Гульжан - кандидат химических наук. Оңтүстік-Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-1656-3735>, e-mail: [baimahan-gukanai@mail.ru](mailto:baimahan-gukanai@mail.ru)

Рысбаева Айман Қалиқызы – PhD, қауымдастырылған профессоры. Халықаралық Білім беру корпорациясы. Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-8135-4596>, email: [aimanrk@mail.ru](mailto:aimanrk@mail.ru);

Баймахан Рысбек – т.ғ.д., профессор, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті. Алматы, Қазақстан <https://orcid.org/0000-0003-4042-1689>, e-mail: [brysbekbai@gmail.com](mailto:brysbekbai@gmail.com).

## **«АҚ ҚАЙЫҢ» ҚАЙҒЫЛЫ СЫРҒЫМАСЫНЫҢ СЫРҒЫМА АЛДЫНДАҒЫ КЕРНЕУЛІ-ДЕФОРМАЦИЯЛАНҒАН КҮЙІН ҚАЙТА ҚҰРУ**

**Андатпа.** Солтүстік Тянь-Шаньның «Ақ қайың» қайғылы сырғымасының сырғыма алдындағы жай-күйін қайта құру және зерттеу әдістемесі ұсынылған. Көлбеу қабатты құрылымның топырақ шөгінділерінің кернеулі-деформацияланған күйін (ҚКС) зерттеудің моделі мен шектік-элементтік алгоритмі қысқаша ұсынылған.



*Қайғылы жағдайға әкелген көлбеу қабат бойындағы кернеудің қауіпті концентрациясының жинақталу орындары көрсетіледі. Эпьюралық диаграммалар кернеудің бұзылуға бейім кернеудің қауіпті концентрациясының басқа бөлімдерін көрсетеді.*

**Түйін сөздер:** беткей, жер, қабаттар, химиялық процестер, анизотропия, модель, көшкін.

**A.R. Baymakhan<sup>1\*</sup>, A. Serikkyzy<sup>2</sup>, G.M., Baymakhanova<sup>3</sup>,  
A.K. Rysbaeva<sup>4</sup>, R. Baimakhan<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Atyrau State University named after H. Dosmukhamedova, Atyrau, Kazakhstan

<sup>2,5</sup>Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>South Kazakhstan State Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>4</sup>International Education Corporation, Almaty, Kazakhstan

#### **Information about the authors**

Baimakhan Aigerim Rysbekkyzy – PhD, Associate Professor, Atyrau State University named after H. Dosmukhamedov, Atyrau, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-1009-3357>, e-mail: baimakhan.aigerim@gmail.com .

Akbota Serikkyzy – Master's student. Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-7174-0127>, e-mail: akbotaaaaa.l@gmail.com

Baymakhanova Gulzhan – candidate of chemical sciences. South Kazakhstan State Pedagogical University, Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-1656-3735>, e-mail: baimahan-gukanai@mail.ru

Rysbaeva Aiman Kalievna – PhD, Associate Professor, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-8135-4596>, email: aimanrk@mail.ru

Baymakhan Rysbek – Doctor of Technical Sciences, Professor. Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-4042-1689>, e-mail: brysbekbai@gmail.com

## **RECONSTRUCTION ON THE VOLTAGE OF THE PRE-SLIDING STATE OF THE TRAGICHOUS MOUNTAIN SLOPE LANDSCAPE «AK KAIN»**

**Annotation.** *The method of reconstruction and investigation of the pre-landslide condition of the tragic landslide «Ak-Kain» of the Northern Tien Shan is proposed. A model and a finite element algorithm for studying the stress–strain state (VAT) of soil sediments of an obliquely layered structure are briefly presented.*

*The established zones and places of accumulation of dangerous stress concentrations along the inclined layer that led to the tragedy are shown. The plots show the found other areas of hazardous stress concentrations prone to destruction.*

**Keywords:** *slope, earth, layers, chemical processes, anisotropy, model, landslide.*