УДК 532.546

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ СКЛОНОВ КЫРГЫЗСТАНА

Орозобекова А.К., Батыркулова А.А.
КГТУ им. И. Раззакова

В данной статье рассматриваются разработка мобильного приложения «Kyrgyz Landslide Analytics” предназначенное для автоматизации расчетов коэффициента устойчивости склонов и оперативной оценки оползневой опасности на территории Кыргызской Республики. Для расчета коэффициента устойчивости склона рассмотрен метод круглоцилиндрической поверхности скольжения. Разработанная система обеспечивает выполнение инженерно-геологических расчетов непосредственно на мобильных устройствах, хранение данных, формирование отчетов и оценку уровня оползневой опасности.

Ключевые слова: оползни, мобильное приложение, физико-геологические свойства, устойчивость, базы данных, расчет, модель, карта.

КЫРГЫЗСТАНДАГЫ ТОО ЖАҢГАКТАРЫНЫН ТУРУКТУУЛУГУН ЭСЕПТӨӨ ҮЧҮН МОБИЛДИК ТИРКЕМЕНИ ИШТЕП ЧЫГУУ

Орозобекова А.К., Батыркулова А.А.
И. Раззаков атындагы КМТУ

Бул макалада Кыргыз Республикасындагы жантайыңкы туруктуулук коэффициентин эсептөөнү автоматташтыруу жана жер көчкү коркунучун тез баалоо үчүн иштелип чыккан "Kyrgyz Landscape Analytics" мобилдик тиркемесин иштеп чыгуу талкууланат. Жантайыңкы туруктуулук коэффициентин эсептөө үчүн тегерек цилиндр формасындагы жылма бет ыкмасы колдонулат. Иштелип чыккан система мобилдик түзмөктөрдө түздөн-түз инженердик жана геологиялык эсептөөлөрдү жүргүзүүгө, маалыматтарды сактоого, отчетторду түзүүгө жана жер көчкү коркунучун баалоого мүмкүндүк берет.

Баштапкы сөздөр: жер көчкүлөр, мобилдик тиркеме, физикалык жана геологиялык касиеттер, туруктуулук, маалымат базалары, эсептөө, модель, карта.

DEVELOPMENT OF A MOBILE APPLICATION FOR CALCULATING THE STABILITY OF MOUNTAIN SLOPES IN KYRGYZSTAN

Orozobekova A.K., Batyrkulova A.A.
KSTU named after I. Razzakov

This article discusses the development of the "Kyrgyz Landslide Analytics" mobile application, designed to automate slope stability coefficient calculations and quickly assess landslide hazard in the Kyrgyz Republic. The circular cylindrical sliding surface method is used to calculate the slope stability coefficient. The developed system enables engineering and geological calculations directly on mobile devices, data storage, report generation, and landslide hazard assessment.

Keywords: landslides, mobile application, physical and geological properties, stability, databases, calculation, model, map.

Одним из важнейших направлений предупреждения чрезвычайных ситуаций является проведение инженерно-геологических исследований и оценка устойчивости склонов. Для решения данной задачи применяются различные методы геотехнического анализа, основанные на использовании математических моделей предельного равновесия грунтовых массивов. Результаты таких расчетов позволяют определить степень устойчивости склона и вероятность возникновения оползневого процесса.

Современное развитие мобильных технологий создает предпосылки для разработки специализированных программных средств, способных выполнять сложные инженерные расчеты непосредственно на мобильных устройствах. Использование смартфонов и планшетов позволяет осуществлять ввод исходных данных, выполнять вычисления, сохранять результаты исследований и формировать отчеты непосредственно на месте проведения работ. Это значительно повышает мобильность специалистов и сокращает время обработки информации.

В данной статье рассматриваются исследование методов оценки устойчивости оползневых склонов и разработка мобильного приложения “Kyrgyz Landscape Analytics” для автоматизированного расчета коэффициента устойчивости склонов на территории Кыргызской Республики.

Наибольшей катастрофичностью проявления среди других экзогенно-катастрофических процессов отличаются оползни, которые вызывают разрушения на больших территориях, приводят к огромным человеческим жертвам, причиняют большой ущерб экономике и

природной среде. Оползни имеют широкое распространение на всей территории Кыргызстана и, особенно, в южных регионах: Ошской, Джалал-Абадской и Баткенской областях.

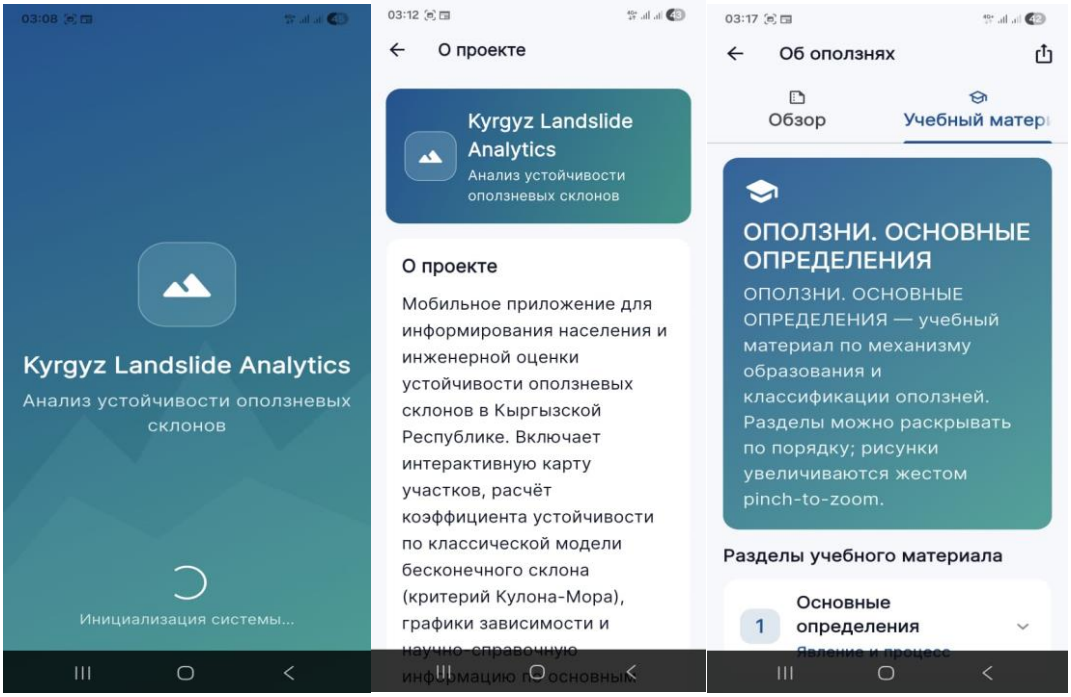


Рис 1. Главный интерфейс приложения

Оползни возникают тогда, когда природными процессами или с хозяйственной деятельности людей нарушается устойчивость горного склона. Силы связности грунтов или горных пород оказываются, в какой – то момент меньше, чем сила тяжести, тогда вся масса горного склона приходит в движение, и может произойти катастрофические смещения [1].

На сегодняшний день существует большое число классификаций оползней: оползни скольжения, выдавливания или сдвига, выплывания, гидродинамического разрушения, течения, разжижения, гидродинамического происхождения, а так же известно большое количество методов расчета устойчивости склонов, которые учитывают в своих расчетных схемах многообразие типов оползней и используют различные допущения, связанные с формой поверхности скольжения, местоположением областей грунта, находящихся в предельном состоянии, с определением коэффициента устойчивости и т.д.

В работе для расчета устойчивости склона рассмотрен метод круглоцилиндрической поверхности скольжения. Данный метод расчета устойчивости предполагает, что смещение массива происходит путем вращения оползневого монолитного тела вокруг центра. Условием предельного равновесия будет равенство моментов всех действующих на оползневое тело сил относительно точки “О”. При этом оползневое тело

разбивается на ряд отсеков и с учетом всех объемных масс γ всех слоев, слагающих оползневое тело, вычисляется вес каждого отсека P_i, который прикладывают к центру линии скольжения i - го отсека. Далее раскладывая P_i на составляющие, направленные по радиусу N_i и по касательной к линии смещения T_i, составляют уравнение равновесия [3]:

$$\sum T_i \cdot R - \sum N_i \cdot tg\varphi \cdot R - \sum c_i \cdot l_i \cdot R = 0 \qquad (1)$$

здесь R - радиус вращения оползневого тела; φ_i и c_i - угол внутреннего трения и сцепление грунта, выраженные через эффективное напряжение; L - длина дуги скольжения:

$$T_i = P_i \cdot \sin \alpha_i ; \qquad N_i = P_i \cdot \cos \alpha_i \qquad (2)$$

α -угол наклона вектора T_i к горизонту.

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

$$K_{уст} = \frac{\sum M_{уд}}{\sum M_{сд}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (P_i \cdot \cos \alpha_i \cdot tg\varphi_i + c_i \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^{N} P_i \cdot \sin \alpha_i} \qquad (3)$$

Следовательно, коэффициент устойчивости Ку определяется как отношение сдвигающих сил $F_{сд}$ к силам удерживающим Fуд. При этом возможны следующие два случая:

1) Ку>1 и тогда оползнеопасный склон будем считать устойчивым;

2) Ку<1 и тогда рассматриваемый оползнеопасный склон считается неустойчивым.

Метод круглоцилиндрической поверхности скольжения целесообразно применять, когда откос сложен однородными грунтами. Метод предполагает, что сползание грунта может произойти лишь в результате вращения оползающего массива вокруг центра О.

Следовательно, поверхность скольжения в данном случае будет представлена дугой некоторого круга с радиусом r, очерченного из центра О.

В статье опишем методику и алгоритм нахождения коэффициента устойчивости склона на реальных данных для конкретного оползня Кыргызстана методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

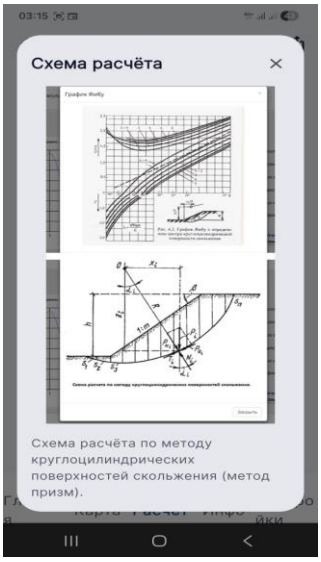


Рис. 2. Расчетная схема склона.

Устойчивость откосов зависит от:

- прочности грунтов, слагающий откос и в его основании (параметров сопротивления грунтов сдвигу φ; c);
- крутизны откоса;
- высоты откоса;
- нагрузок на поверхности откоса;
- фильтрация воды через откос.

Возможными причинами нарушения устойчивости откосов являются:

- излишняя его крутизна;
- подрезка откоса в нижней части;
- утяжеление откоса вследствие увлажнения грунта;
- уменьшение параметров сопротивления сдвигу грунта тела откоса вследствие увлажнения, промерзания и оттаивания и других факторов;
- нагрузка на гребень откоса;
- динамическое воздействие.

Задача расчета заключается в определении коэффициента устойчивости природного склона или откоса насыпи для наиболее опасной поверхности скольжения для изотропных массивов.

Пример расчета показан в статье [8]. Все расчеты в разработанном мобильном приложении, результаты совпадают.

Приложение реализовано на кроссплатформенном фреймворке Flutter с использованием языка Dart. Единая кодовая база компилируется для операционных систем Android и iOS, что устраняет необходимость в раздельной разработке под каждую платформу и сокращает трудозатраты на сопровождение.

Разработанная система позволяет:

- выполнять расчет коэффициента устойчивости склонов;
- сохранять результаты расчетов;
- вести базу исследуемых объектов;
- отображать уровень оползневой опасности;
- формировать отчеты по результатам исследований;
- осуществлять просмотр истории выполненных расчетов.

Интерфейс приложения спроектирован исходя из требований простоты и удобства работы пользователя. После запуска пользователь попадает на главный экран системы.

Главное меню включает следующие разделы:

1. Новый расчет.
2. История расчетов.
3. Справочник.
4. Карта объектов.
5. Настройки.
6. Информация о программе.

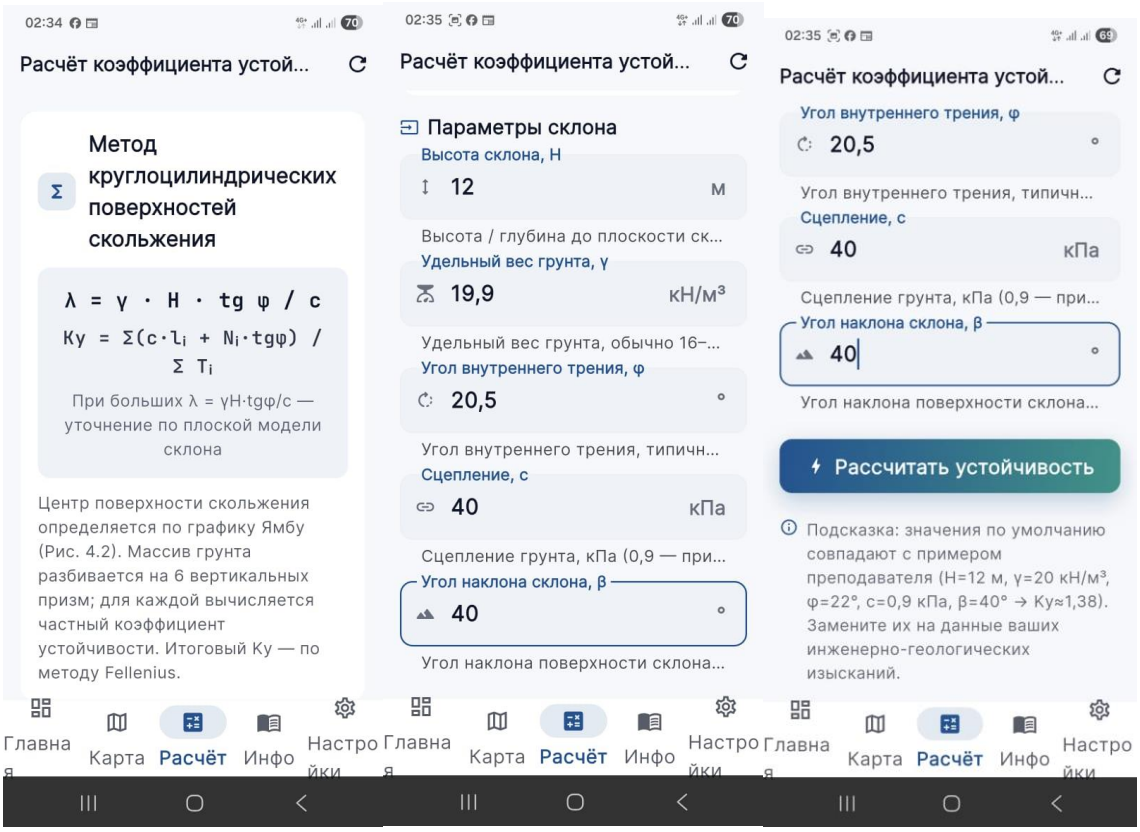


Рис 3. Страница мобильного приложения Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения

Все данные вводим в систему, как показано на рисунке 3, где задана формула Метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения, ввод

параметров и при нажатии на рассчитать устойчивость, выходит результат Q=2,9, что склон устойчив. Как показано на рис 4, выходят результаты расчета, исходные параметры и график и схема расчета, где показаны коэффициент устойчивости по блокам.



Рис 4. Скрины мобильного приложения расчета устойчивости горного склона по заданным параметрам

По итогам можно скачать исходные данные и результаты метода по Ямбу.



Расчёт устойчивости оползневого склона			
Дата экспорта	19.06.2026 02:32		
Метод	ıостей скольжения		
Формула λ	λ = γ·H·tgφ / c		
Формула Ку	Σ(c·lᵢ + Nᵢ·tgφ) / Σ Tᵢ		
λ (расчётное)	2,23		
x_0/H (график Ямбу)	0,32		
y_0/H (график Ямбу)	1,51		
R — радиус дуги, м	18,55		
Число блоков	6		

ИСХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Параметр	Значение	Ед. изм.	Обозначение
Высота склона	12,000	м	H
Удельный вес грунта	19,900	кН/м³	γ
Угол внутреннего трения	20,500	°	φ
Сцепление	40,000	кПа	c
Угол наклона склона	40,000	°	β

РЕЗУЛЬТАТ РАСЧЁТА

Коэффициент устойчивости Ку	2,594
Статус устойчивости	Склон устойчив
Нормальное напряжение σ, кПа	140,13
Касательное напряжение τ, кПа	117,59
Описание	Коэффициент устойчивости превышает нормативное

ГРАФИК: Ку по блокам (призмам)

Блок	Kyᵢ
1	-14,087
2	-58,332
3	6,732
4	2,764
5	1,666
6	1,172

ГРАФИК: Ку = f(c)

с, кПа	Ку
0,01	0,058
0,11	0,543
0,21	0,841
0,31	1,017
0,41	1,145
0,51	1,246
0,61	1,318
0,71	1,318
0,81	1,317
0,91	1,317
1,01	1,317
1,11	1,317
1,21	1,318
1,31	1,319
1,41	1,320
1,51	1,321
1,61	1,323
1,71	1,324
1,81	1,326
1,91	1,328
2,01	1,330
2,11	1,332
2,21	1,334
2,31	1,336
2,41	1,338
2,51	1,340
2,61	1,342
2,71	1,344
2,81	1,342
2,91	1,341
3,01	1,341
3,11	1,340
3,21	1,339
17,01	1,875
17,11	1,878
17,21	1,881
17,31	1,885
17,41	1,888
17,51	1,891
17,61	1,894
17,71	1,897
17,81	1,901
17,91	1,904
18,01	1,907
18,11	1,910
18,21	1,914
18,31	1,917
18,41	1,920
18,51	1,923
18,61	1,926
18,71	1,930
18,81	1,933
18,91	1,936
19,01	1,939
19,11	1,943
19,21	1,946
19,31	1,949
19,41	1,952
19,51	1,956
19,61	1,959
19,71	1,962
19,81	1,965
19,91	1,969

Категоризация по СНиП 2.02.02-85: Ку ≥ 1.30 — устойчив, 1.0(

Рис. 5. Скрины мобильного приложения расчета устойчивости горного склона и результаты Расчета на Excel

Из расчета из мобильного приложения следует, что откос находится в устойчивом состоянии и характеризуется минимальным коэффициентом запаса Кзап=2,1.

разработано мобильное приложение «Kyrgyz Landslide Analytics», предназначенное для автоматизации расчёта коэффициента устойчивости склонов и оперативной оценки оползневой опасности на территории Кыргызской Республики.

Приложение ориентировано на проведение расчёта устойчивости непосредственно в полевых условиях.

Рассматривались три основных подхода: нативная разработка отдельно под iOS и Android, кроссплатформенная разработка с использованием React Native (JavaScript), а также кроссплатформенная разработка с применением фреймворка Flutter (язык Dart).

Нативный подход предполагает создание двух независимых приложений на языках Swift/Objective-C для iOS и Kotlin/Java для Android. Такой подход обеспечивает максимальную производительность, однако требует вдвое больших временных и кадровых ресурсов, что нецелесообразно для учебного проекта с ограниченными сроками.

Платформа React Native позволяет использовать один кодовый базис на языке JavaScript с компиляцией в нативные компоненты. Однако данная платформа имеет известные проблемы с производительностью при сложной анимации и интенсивных математических вычислениях,

необходимых для расчёта коэффициента устойчивости склона.

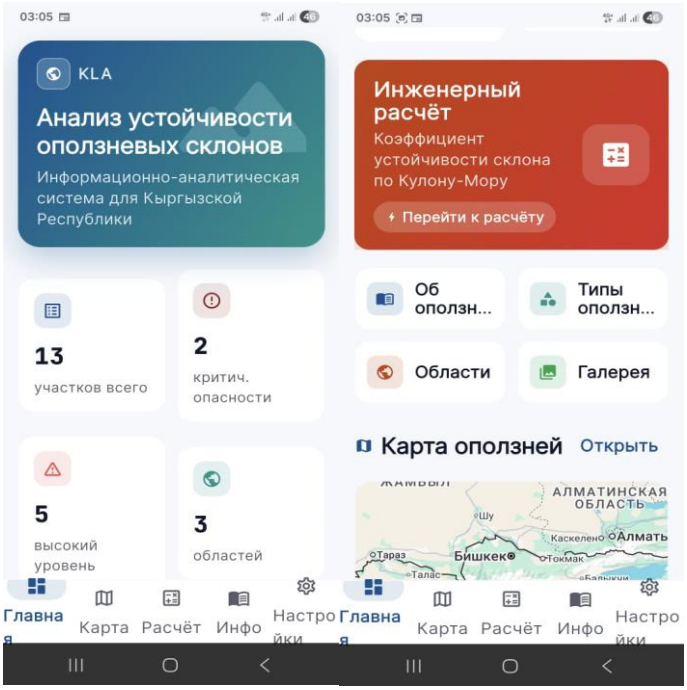


Рис 6. Анализ устойчивости оползневых склонов

После вычисления коэффициента выполняется автоматическая классификация состояния склона.

Интерактивная карта оползневых участков построена на пакете google_maps_flutter 2.10.0, обеспечивающем доступ к Google Maps SDK для Android и iOS. На карту нанесён набор landslideDataset — статические данные о зафиксированных оползневых событиях в трёх областях: Ошской, Джалал-Абадской и Баткенской.

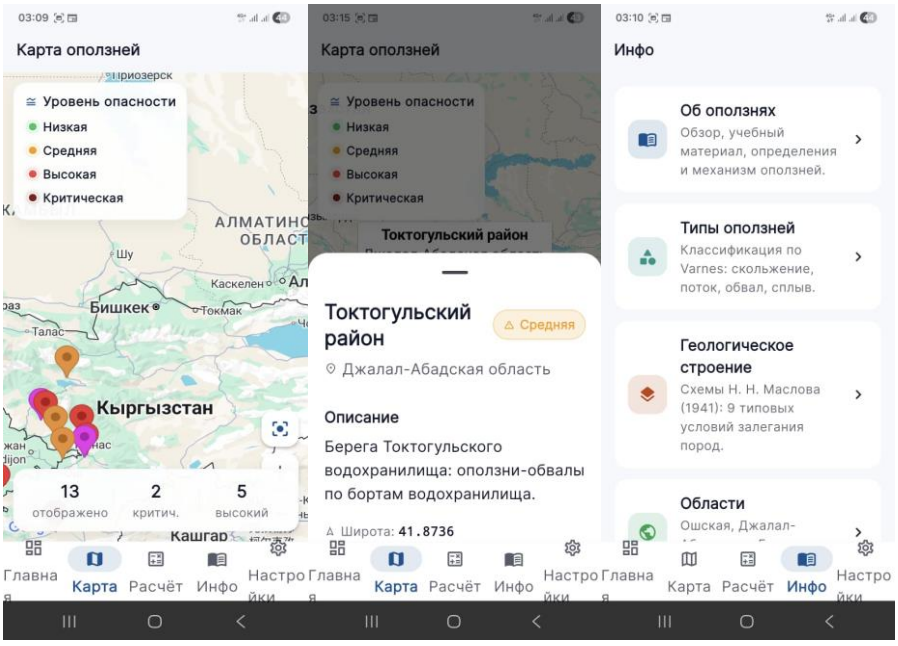


Рис. 7. Карта оползнеопасных участков

Дополнительные экраны (результат расчёта, детали региона, новость, типы оползней, геологическое строение) регистрируются на корневом уровне и открываются поверх shell через стандартный push-переход.

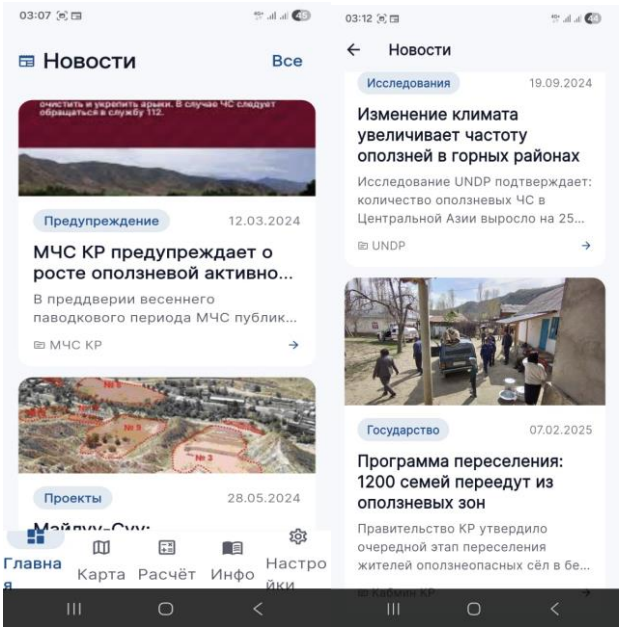


Рис. 8. Новости

В результате работы реализовано мобильное приложение «Kyrgyz Landslide Analytics» для автоматизированного расчёта коэффициента устойчивости склонов. Приложение выполняет инженерно-геологический расчёт непосредственно на мобильном устройстве, хранит данные об объектах, формирует отчёты и определяет уровень оползневой опасности.

Применение фреймворка Flutter и СУБД SQLite обеспечило кроссплатформенность решения и автономное хранение данных, что существенно в условиях отсутствия связи. Результаты тестирования подтвердили корректность вычислений и пригодность приложения для мониторинга опасных геологических процессов на территории республики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихвинский Н.О. Оценка и прогноз устойчивости оползневых склонов, -М., 1988., 183 с.
2. Тер-Степанян Г.И. Новые методы изучения оползней, - Ереван: изд. АН Арм. ССР, 1978, с.54.
3. Федоров И.В. Методы расчета устойчивости склонов и откосов - М.: Стройиздат, 1962. –с.76.

4. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии, - М.: Высшая школа, 1968, 511 с.
5. Мэтью Мак-Дональд, Адам Фримен, Марио Шпушта Pro ASP.NET 4 in C# 2010 4 Четвертое издание, Вильямс, 2011 г., 1424 с.
6. Нидерст Дж. Web–мастеринг для профессионалов. Настольный Пресс, 2000. – 640с.
7. Орозобекова А.К. «Оползневые процессы на территории юга Кыргызстана и их классификации», Материалы Республиканской научно-практической конференции «Проблемы строительной отрасли и пути их решения», - Бишкек, 2001 г.
8. Орозобекова А.К., Шадиев М.М., Кубанычбекова А.К. Экзогенно-катастрофические процессы Кыргызстана и применение ASP.NET технологий Вестник Кыргызстана №2, -Бишкек, 2017, -С. 273-279. https://elibrary.ru/item.asp?id=35168437
9. Бийбосунов И., Орозобекова А.К., Курманова Э. Устойчивость оползневых склонов и расчет гидродинамических течений // Сборник «Современные проблемы механики сплошных сред/ Гидрогазодинамика и экзогенно-геологические процессы природы» вып.6, - Бишкек, 2007. с. 13-25