

Код МРНТИ 36.16.19

Ф.А. Илиуф, *Т.С. Садыкова, А.Т. Камза, С.Ж. Бейсенбаева
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

СРАВНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА НА ПРИМЕРЕ СКЛОНА МЕЖДУНАРОДНОГО КОМПЛЕКСА ЛЫЖНЫХ ТРАМПЛИНОВ «СУНКАР»

Аннотация. Оползни – опасные геодинамические процессы, напрямую связанные с движением масс горных пород под действием силы тяжести. В данной статье рассматривается склон МКЛТ «Сункар», находящийся в перечне оползнеопасных территорий с 2016 года. Объект исследования расположен в близости от жилых районов, что повышает его социальную и инфраструктурную значимость. Целью исследования является анализ восприимчивости участка к оползням с использованием цифровых моделей рельефа (ЦМР). В работе рассматриваются различные источники ЦМР (SRTM, ALOS, ASTER), выполнено их сравнение по точности и разрешению применительно к локальному ландшафту. На основе ГИС-анализа и пространственных показателей рельефа (уклон, экспозиция) проведена первичная оценка склоновой неустойчивости. Применение высокоточной ЦМР позволяет точно выявить оползнеопасные зоны и заложить основу для моделирования восприимчивости.

Ключевые слова: оползнеопасный участок, цифровая модель рельефа, сравнение, трамплин, движение масс, оценка точности.

Халықаралық шаңғы трамплиндер кешені «Сұңқар» бөуі мысалында сандық биіктік модельдерді салыстыру
Аңдатпа. Көшкін – ауырлық күшінің әсерінен тау жыныстары массаларының қозғалысымен тікелей байланысты қауіпті геодинамикалық процестер. Бұл мақалада 2016 жылдан бастап көшкін қаупі бар аумақтар тізімінде тұрған «Сұңқар» МКЛТ-ның енісі қарастырылған. Зерттеу нысаны тұрғын үйлерге жақын орналасқан, бұл оның әлеуметтік және инфрақұрылымдық маңызын арттырады. Зерттеудің мақсаты – сандық биіктік модельдерін (СБМ) пайдалана отырып, учаскенің көшкінге бейімділігін талдау. Қағаз әртүрлі СБМ көздерін (SRTM, ALOS, ASTER) зерттейді және оларды жергілікті ландшафтқа қатысты дәлдік пен ажыратымдылық тұрғысынан салыстырады. Географиялық ақпараттық жүйе талдауы және кеңістіктік рельеф көрсеткіштері (еніс, аспект) негізінде еністің тұрақсыздығына алғашқы бағалау жүргізілді. Жоғары дәлдіктегі СБМ пайдалану көшкін қаупі бар аймақтарды дәл анықтауға мүмкіндік береді және сезімталдықты модельдеуге негіз береді.

Түйінді сөздер: көшкін қауіпті аймақ, сандық биіктік моделі, салыстыру, трамплиннен трамплин, жаппай қозғалыс, дәлдікті бағалау.

Comparison of Digital Elevation Models on the example of the International ski jump complex «Sunkar» slope

Abstract. Landslides are dangerous geodynamic processes directly related to the movement of rock masses under the action of gravity. This article considers the slope of the Sunkar MKLT, which has been on the list of landslide-prone areas since 2016. The study object is located close to residential areas, which increases its social and infrastructural significance. The aim of the study is to analyze the susceptibility of the site to landslides using digital elevation models (DEM). The paper considers various DEM sources (SRTM, ALOS, ASTER), compares them in terms of accuracy and resolution in relation to the local landscape. Based on GIS analysis and spatial relief indicators (slope, aspect), a primary assessment of slope instability was carried out. The use of a highly accurate DEM allows for accurate identification of landslide-prone areas and lays the foundation for susceptibility modeling.

Key words: landslide-hazardous area, Digital Elevation Model, comparison, ski jump, mass movement, accuracy assessment.

Введение

Район местности, где расположен МКЛТ «Сункар», является комплексом трамплинов, предназначенных для прыжков на лыжах, построенный в 2011 году к зимним Азиатским играм. Сам склон уже был использован в 1956 году для восстановления 55-метрового трамплина для первых республиканских соревнований Казахской ССР по лыжному двоеборью и прыжкам с трамплина¹. Лыжный трамплин в Алматы был возведен на участке, ранее использовавшемся для добычи глины, что само по себе делало его геологически нестабильным. Склоны в этой местности сформированы из лессовых пород – рыхлых и подверженных разрушению при воздействии влаги и механических нагрузок. В советское время строительство на таких грунтах считалось крайне рискованным, и специалисты избегали реализации крупных проектов на подобных территориях. Зеленые насаждения, ранее покрывавшие склоны, играли важную роль в предотвращении эрозии. Деревья, кустарники и травяной покров укрепляли почву, снижая вероятность оползней. Однако во время строительства трамплина значительная часть растительности была удалена, что значительно ослабило структуру грунта и сделало его более подверженным разрушению (рис. 1).

Весной 2016 года ситуация достигла критической точки. Согласно официальному предупреждению ГУ «Казселеза-

чита», сильные и продолжительные осадки привели к массовому сходу оползней в Алматы и Алматинской области. Основными причинами неустойчивости почвы были переувлажнение грунта и искусственное подрезание склонов под строительство зданий и дорог. 18 мая 2016 года в 16:30 в Бостандыкском районе, в южной части трамплина, произошел оползень. В районе садоводческого общества «Дружба» масса грунта сошла на местную дорогу, заблокировав проезд. Специалисты Министерства по чрезвычайным ситуациям отметили, что весь комплекс лыжных трамплинов «Сункар» оказался переувлажненным и представлял угрозу близлежащим частным домам. Организацией, ответственным за эксплуатацию объекта, было рекомендовано немедленно принять меры по предотвращению возможной чрезвычайной ситуации. Таким образом, строительство лыжного трамплина на геологическом нестабильном участке привело к увеличению рисков оползневых процессов. Игнорирование природных особенностей местности и недостаточные инженерные меры способствовали дестабилизации склона, что создало угрозу не только для самого спортивного комплекса, но и для окружающих жилых территорий².

Методы/исследования

Данный участок представляет интерес с точки зрения применения различных цифровых моделей рельефа, так

¹КазТрк: АО «Республиканская телерадиокорпорация «Казахстан», б-ка: сайт. Алматы, 2017. URL: <https://www.kaztrk.kz> (дата обращения: 01.03.2025). Режим доступа: открытый.

²Informburo.kz: новостной сайт. Алматы, 2017. URL: <https://informburo.kz> (дата обращения: 01.03.2025). Режим доступа: открытый.



Рис. 1. Склон района Трамплина. Фото Руслана Минулина.

Сурет 1. Трамплин аймағының еңісі. Суретті түсірген Руслан Минулин.

Figure 1. Slope of the Tramplin area. Photo by Ruslan Minulin.

как на его территории фиксировались активные оползневые смещения. Существуют многочисленные особенности и условия местности, называемые «причинными факторами» [1], влияющие на оценку восприимчивости к оползням, к которым относятся гидрология, рельеф местности, геологическое строение и землепользование, определение которых является важным этапом к оценке восприимчивости [2]. Знание и выявление причинных факторов дает возможность прогнозирования будущих оползней в районах, где уже было зафиксировано движение масс земли, так как данные регионы уже входят в зоны с условиями возникновения новых оползней [2, 3]. Также стоит учитывать факторы-триггеры, к которым относят человеческую деятельность и природные факторы, такие как изменение профиля склона, искусственная подрезка, грунтовые воды, обильные осадки и снеготаяние, вулканическая активность, уничтожение растительности и т. д. [4].

На сегодняшний день проведено несколько сравнительных исследований, оценивающих влияние пространственного разрешения ЦМР на прогнозирование оползневой активности. Например, в исследовании Дитриха и коллег [5] анализировались различные модели рельефа, и было выявлено, что при классификации участков со средней подверженностью оползням качество результатов оставалось схожим вне зависимости от пространственного разрешения.

Несмотря на высокий уровень опасности оползней в отдельных регионах, Алматы и Алматинской области, до сих пор не проводилось исследований, сопоставляющих точность различных ЦМР при прогнозировании восприимчивости к оползням. Данный регион был выбран для исследования из-за высокой частоты оползневых событий в его расположенности на опасном склоне. Настоящее исследование направлено на сравнительный анализ четырех цифровых моделей рельефа (таблица 1): ASTER GDEM (30 м), SRTM (30 м), ЦМР, полученная с Google Earth Pro, и ЦМР, построенная по ортофотоплану.

Изменение высотных отметок может оказывать влияние на геоморфологические процессы, характер растительного покрова и интенсивность эрозии в данной местности. Это, в свою очередь, способно повлиять на уровень вос-

приимчивости территории к оползням [6].

Одним из ключевых факторов, влияющих на возникновение оползней, является уклон поверхности. Как правило, увеличение крутизны склонов приводит к росту касательных напряжений, что повышает вероятность развития оползневых процессов [7]. Анализ уклона был проведен для каждой из рассмотренных ЦМР с применением инструмента расчета уклона в ArcGIS Pro 3.4.0 (см. таблицу 1). В ходе анализа были выявлены различия в максимальных значениях уклонов для разных источников данных: ASTER – 89,77°, SRTM – 40,60°, Google Earth Pro – 33,49°, Ортофотоплан – 49,7°. Эти расхождения обусловлены особенностями алгоритмов обработки рельефа и точностью данных, что привело к различию в диапазонах классов уклонов.

Экспозиция оказывает значительное влияние на поступление солнечного света, направление осадков и силу ветра, что, в свою очередь, определяет условия роста растительности, скорость эрозионных процессов и мощность почвенного покрова [8]. Для дальнейшего анализа направления склонов были распределены по десяти классам (см. таблицу 1).

При изучении склонов, подверженных оползням, важно учитывать не только геоморфологические характеристики (уклон, экспозицию), но и факторы, связанные с растительностью и влажностью почвы. В данном исследовании рассчитаны NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс) и WRI (водный индекс), которые позволяют выявить взаимосвязь между деградацией растительного покрова, увлажненностью грунтов и возникновением оползней.

NDVI дает представление о плотности растительного покрова. Низкие значения характерны для участков с редкой или отсутствующей растительностью, что делает почву уязвимой к эрозии и снижает ее устойчивость. В местах с более высоким NDVI почвенный покров стабилен, что способствует уменьшению риска оползней.

WRI отражает содержание влаги в почве. Высокие значения указывают на переувлажненность грунтов, что может приводить к ослаблению их структуры и, как следствие, к сходу оползней.

Таблица 1

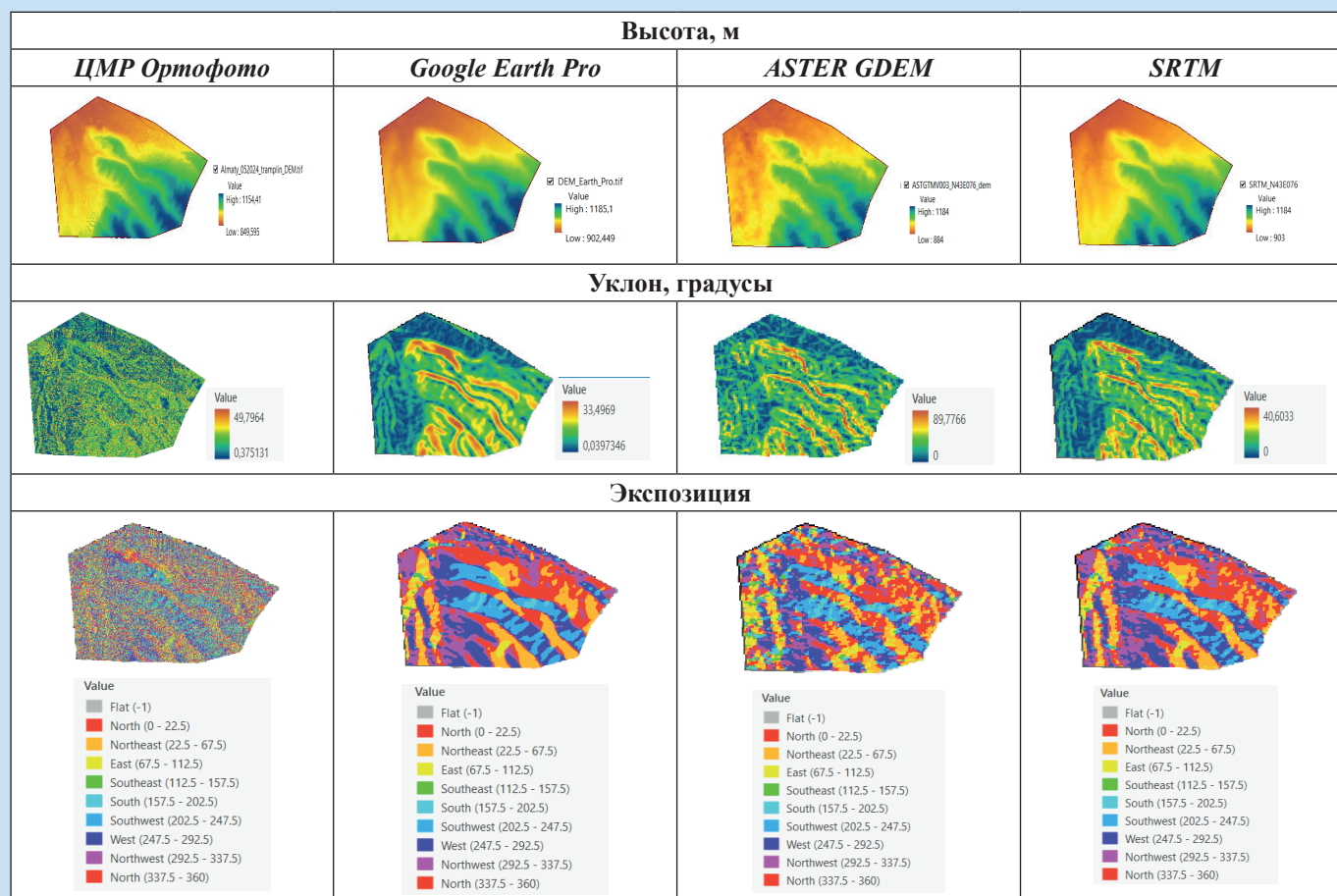
Факторы, способствующие возникновению оползней

Кестме 1

Көшкіндердің пайда болуына ықпал ететін факторлар

Table 1

Factors contributing to the occurrence of landslides



Анализ выполнен на основе спутниковых данных за 2022, 2023 и 2024 годы (см. таблицу 2), что позволило проследить изменения в динамике. Результаты сопоставлены с местами, где фиксировались оползни, и выявлены следующие тенденции:

- Оползни происходили преимущественно в зонах с низким NDVI, что подтверждает роль растительности в стабилизации склонов.
- В оползнеопасных районах фиксировались повышенные значения WRI, что свидетельствует о значительном увлажнении грунтов перед сходом оползней.
- В динамике наблюдается следующая картина: там, где растительный покров уменьшался (снижение NDVI), одновременно увеличивалась влажность (рост WRI). Это способствовало ослаблению грунтов и формированию условий для оползневых процессов.

Полученные результаты показывают, что комплексный анализ NDVI и WRI в сочетании с уклоном и экспозицией склонов позволяет не только идентифицировать уже пострадавшие участки, но и прогнозировать зоны потенциальных оползней. Такой подход может применяться в мониторинговых системах и предупреждающих програм-

мах, особенно в районах, где наблюдаются интенсивные оползневые процессы, вызванные как природными, так и антропогенными факторами.

Для анализа рельефа местности и выявления закономерностей, связанных с развитием оползневых процессов, были использованы различные цифровые модели рельефа (ЦМР), полученные из различных источников. Для оценки точности моделей были выбраны 20 случайных точек в пределах исследуемой территории, по которым произведен сравнительный анализ высотных значений.

Результаты

Анализ полученных значений показывает значительные расхождения между моделями. Разница между высотами, полученными по ортофотоплану и Google Earth Pro, составляет от 38,21 м до 37,44 м, а между ASTER и SRTM – до 15,36 м.

Различия между моделями могут быть обусловлены следующими факторами:

- Различное пространственное разрешение ЦМР – у SRTM оно составляет ~30 м, у ASTER ~30 м, у Google Earth Pro может варьироваться, также значения высот

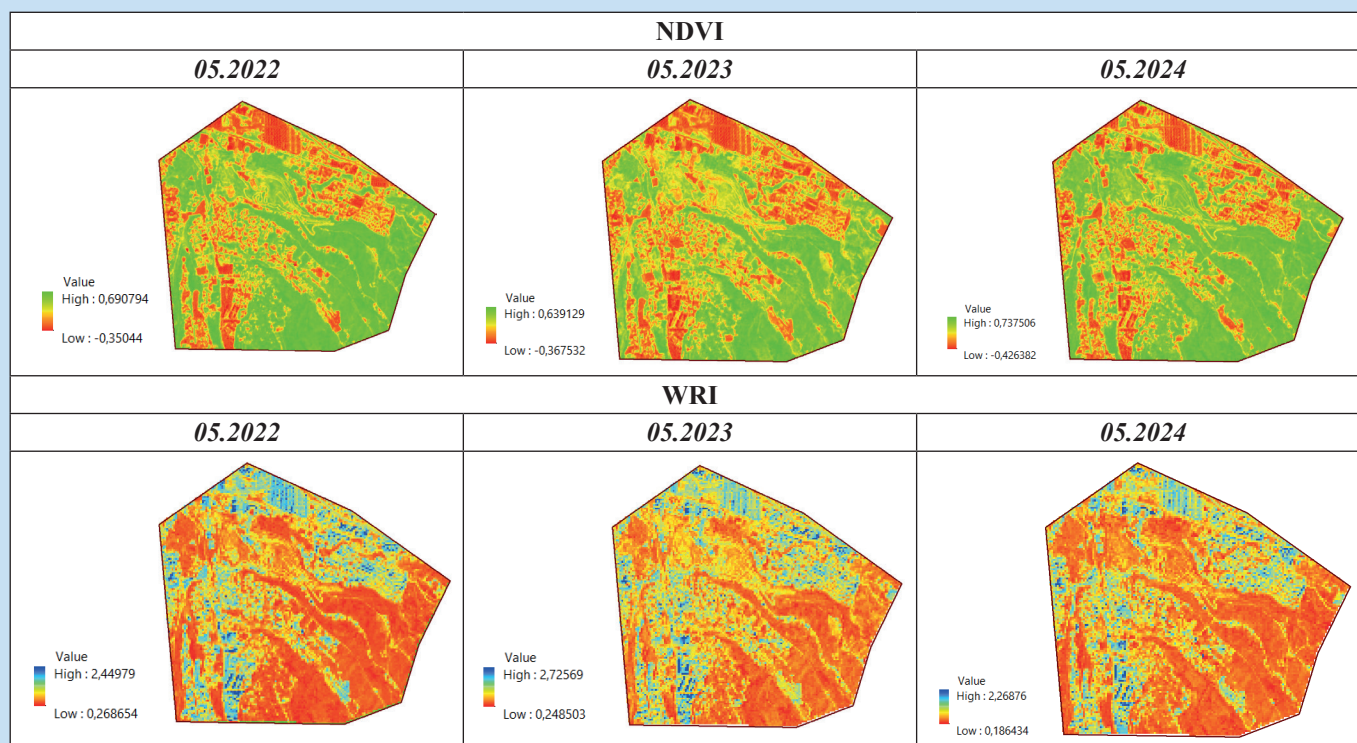
Таблица 2

Характеристики склонов на основе индексов NDVI и WRI

Кесме 2

NDVI және WRI индекстеріне негізделген көлбеу сипаттамалары

Table 2

Slope characteristics based on NDVI and WRI indices

у точек Google Earth Pro (2023) и SRTM (2013) полностью совпадают.

• Разное время получения данных – изменения рельефа за прошедшие десятилетия могли повлиять на высоты, особенно в районах с активными геодинамическими процессами. ЦМР, построенная по ортофотоплану (2024 г.), обладает высокой детализацией, так как создана на основе аэрофотосъемки, что позволяет точно отразить мелкомасштабные формы рельефа и актуальное состояние поверхности на момент съемки. ЦМР Google Earth Pro (2023 г.) предоставляет данные с разрешением, зависящим от качества и источников спутниковых снимков, что делает ее полезной для общего анализа рельефа, однако менее точной по сравнению со специализированными источниками. ЦМР ASTER (2019 г.), построенная на данных спутниковой стереосъемки, имеет среднее пространственное разрешение (около 30 м), что делает ее подходящей для регионального анализа, но недостаточно детализированной для локальных задач. ЦМР SRTM (2000 г., обновления 2013 г.), основанная на радиолокационной интерферометрии, охватывает всю земную поверхность и имеет пространственное разрешение порядка 30 м, что делает ее полезной для макроанализов, но ограниченной в случаях, требующих высокой точности³.

Обсуждение результатов

Кроме того, значительное влияние оказывает наличие растительности. В моделях ASTER и SRTM высотные данные могут включать не только поверхность земли, но и верхушки деревьев или кустарников, что увеличивает значения высот. В отличие от них, ортофотоплан, основанный на более точной аэрофотосъемке и корректировке рельефа, с большей вероятностью отражает реальную высоту поверхности. Это особенно заметно в районах с плотной растительностью, где разница между моделями может достигать десятков метров. Анализ графика (см. рис. 2) показывает различия в высотных значениях, полученных с помощью ЦМР.

Ортофотоплан демонстрирует наиболее стабильные и высокие значения высот, что объясняется высокой точностью аэрофотосъемки и минимальными искажениями при построении модели. ЦМР ASTER и SRTM, обладая меньшим пространственным разрешением, демонстрируют более сглаженные профили высот. Это особенно заметно на сложных участках рельефа, где перепады высот выражены сильнее. Однако стоит отметить, что на отдельных точках (см. рис. 3) – например, на 16-й и 20-й – данные ASTER показывают более высокие значения по сравнению с SRTM. Это может быть связано не с резкими изменениями рельефа, а с особенностями спут-

³LP DAAC: Распределенный активный архивный центр НАСА по наземным процессам: сайт. США, 2019. URL: <https://lpdaac.usgs.gov/13827> (дата обращения: 01.03.2025). Режим доступа: открытый.

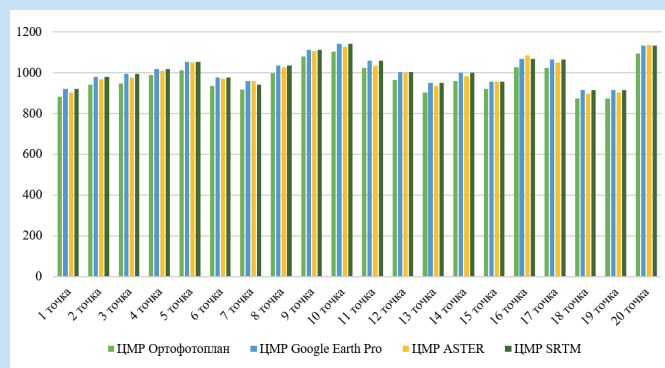


Рис. 2. Вариации высотных значений по данным разных ЦМР.

Сурет 2. Әртүрлі СБМ-не сәйкес биіктік мәндерінің өзгеруі.

Figure 2. Variations in elevation values according to different DEMs.

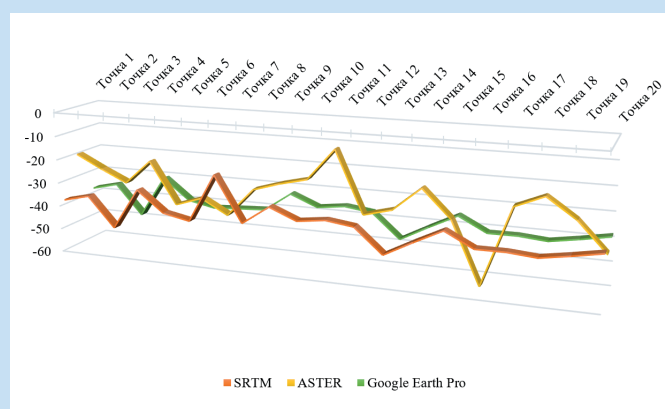


Рис. 3. Разница высот по сравнению с точками по ортофотоплану.

Сурет 3. Ортофотокартадағы нүктелермен салыстырғанда биіктіктердің айырмашылығы.

Figure 3. Difference in heights compared to points on the orthophotomap.

никовой съемки ASTER, где возможно возникновение локальных артефактов из-за угла съемки или облачного покрова в момент сканирования.

В свою очередь, совпадение данных на 5-й и 12-й точках может объясняться тем, что в этих зонах рельеф более равномерный и пологий. На таких участках менее детализированные модели, как ASTER и SRTM, могут давать значения, близкие к высокоточным данным ортофотоплана и Google Earth Pro, поскольку сглаживание незначительно влияет на итоговый результат.

SRTM показывает стабильное отклонение около -35...-48 м. Это говорит о более сглаженном рельефе и недостаточной детализации модели. ASTER демонстрирует меньшие отклонения (в среднем -20...-35 м), но есть выбросы, например, на 16-й и 20-й точках. Это может быть связано с погрешностями модели в сложных участках. Google Earth Pro почти всегда совпадает с SRTM, что говорит о том, что Google использует аналогичные данные, но с дополнительной обработкой. На точках с резкими изме-

нениями рельефа (2, 14) модели дают разные результаты. Это связано с тем, что SRTM и ASTER имеют более низкое разрешение, и они «сглаживают» рельеф. Ортофотоплан остается эталоном за счет высокой детализации аэрофотосъемки.

Проведенный анализ показывает, что ЦМР, созданная на основе ортофотоплана, является наиболее точной и актуальной моделью рельефа. Использование данных ASTER и SRTM допустимо для общего анализа рельефа, но требует корректировки и учета возможных ошибок.

Закключение

Проведенный анализ склоновой территории Международного комплекса лыжных трамплинов «Сункар» позволил выявить совокупность природных факторов, существенно влияющих на формирование и развитие оползневых процессов. Использование различных цифровых моделей рельефа (SRTM, ASTER, ALOS и др.) показало наличие значительных расхождений в высотных отметках, особенно в сложном горном рельефе. Это подчеркивает необходимость их калибровки, а также актуальность использования более детализированных источников, таких как лазерное сканирование (LiDAR), особенно в рамках высокоточной оценки локальных деформаций.

Анализ уклона и экспозиции рельефа позволил установить, что наибольшую склонность к оползням демонстрируют крутые склоны южной и юго-западной ориентации, где инсоляция способствует ускоренному испарению влаги и снижению устойчивости пород. Кроме того, такие склоны чаще испытывают сезонные колебания влажности, что увеличивает механическую нестабильность склоновых материалов. Южные склоны с низким NDVI и повышенным WRI более подвержены деструктивным процессам, особенно в сочетании с интенсивными осадками.

Цифровые модели рельефа, примененные в работе, демонстрируют заметные расхождения по высоте, что требует их калибровки и, при возможности, использования более точных источников (например, LiDAR). В качестве меры повышения устойчивости склонов рекомендуется внедрение методов биоинженерной стабилизации, в том числе озеленение уязвимых участков. Комплексный ГИС-анализ, объединяющий цифровые модели рельефа, показатели растительности, влажности и морфометрии склонов, доказал свою эффективность в задачах диагностики склоновой нестабильности. Предложенный подход может быть масштабирован и адаптирован для других горных районов Алматы с целью формирования устойчивой системы мониторинга и предотвращения оползневых рисков.

Благодарность

Данное исследование профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Казахстана (Грант ИРН AP23489830 «Разработка интегрированных технологий ДЗЗ и машинного обучения для мониторинга и оценки оползней»).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Карты инвентаризации оползней: новые инструменты для решения старой проблемы / Гуззетти Ф. [и др.] // *Науки о Земле*. 2012. Т. 112. С. 42–66 (на английском языке)
2. Оптимизация зонирования восприимчивости к оползням: влияние пространственного разрешения ЦМР и разграничения единиц уклона на модели логистической регрессии / Шлогель Р. [и др.] // *Геоморфология*. 2018. Т. 301. С. 10–20 (на английском языке)
3. Аялев Л., Ямагиши Х. Применение логистической регрессии на основе ГИС для картирования подверженности оползням в горах Какуда-Яхико, Центральная Япония // *Геоморфология*. 2005. Т. 65. С. 15–31 (на английском языке)
4. Новая ансамблевая двумерная статистическая доказательная функция убеждения с аналитическим иерархическим процессом на основе знаний и многомерной статистической логистической регрессией для картирования восприимчивости к оползням / Althuwaynee O.F. [и др.] // *Catena*. 2014. Т. 114. С. 21–36 (на английском языке)
5. Dietrich V.E., Bellugi D., De Azua R.R. Проверка модели мелкого оползня SHALSTAB для управления лесами // *Appl.* 2001. Т. 2. С. 195–227 (на английском языке)
6. Сравнительное исследование дерева логистической модели, случайного леса и моделей дерева классификации и регрессии для пространственного прогнозирования восприимчивости к оползням / Chen W. [и др.] // *Catena*. 2017. Т. 151. С. 147–160 (на английском языке)
7. Канвал С., Атиф С., Шафик М. Картографирование оползневой восприимчивости северных районов Пакистана на основе ГИС, пример бассейнов Шигар и Шайок // *Geomat. Nat. Hazards Risk*. 2017. Т. 8. С. 348–366 (на английском языке)
8. Чжан С., Ли Р., Ван Ф., Ино А. Характеристики оползней, вызванных землетрясением Хоккайдо-Восточный Ибури в 2018 году, Северная Япония / Чжан С. [и др.] // *Оползни*. 2019. Т. 16. С. 1691–1708 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Көшкіндерді есепке алу карталары: ескі мәселені шешудің жаңа құралдары / Гуззетти Ф. [және т. б.] // *Жер туралы ғылымдар*. 2012. Т. 112. Б. 42–66 (ағылшын тілінде)
2. Көшкінге сезімталдықты аймақтарға бөлуді оңтайландыру: DEM кеңістіктік ажыратымдылығының және логистикалық регрессия модельдеріне көлбеу бірлігін анықтаудың әсері / Шлогель Р. [және т. б.] // *Геоморфология*. 2018. Т. 301. Б. 10–20 (ағылшын тілінде)
3. Аялев Л., Ямагиши Х. Орталық Жапониядағы Какуда-Яхико тауларында көшкінге бейімділік картасын жасау үшін ГАЗ негізіндегі логистикалық регрессияны қолдану // *Геоморфология*. 2005. Т. 65. Б. 15–31 (ағылшын тілінде)
4. Көшкінге бейімділік картасын жасау үшін білімге негізделген аналитикалық иерархиялық үдерісі және көп мәнді статистикалық логистикалық регрессиясы бар жаңа қос ауыспалы статистикалық дәлелдер сенімі функциясы / Althuwaynee O.F. [және т. б.] // *Catena*. 2014. Т. 114. Б. 21–36 (ағылшын тілінде)
5. Dietrich V.E., Bellugi D., De Azua R.R. Орман шаруашылығын жүргізу үшін SHALSTAB таяз көшкін үлгісін валидациялау // *Appl.* 2001. Т. 2. Б. 195–227 (ағылшын тілінде)
6. Кеңістіктік көшкінге бейімділігін болжау үшін логистикалық ағашты, кездейсоқ орманды және классификациялық және регрессиялық ағаш үлгілерін салыстырмалы зерттеу / Chen W. [және т. б.] // *Catena*. 2017. Т. 151. Б. 147–160 (ағылшын тілінде)
7. Канвал С., Атиф С., Шафик М. Солтүстік Пәкістанның ГАЗ негізіндегі көшкінге бейімділік картасы, Шигар және Шайок бассейндерінің жағдайын зерттеу // *Geomat. Nat. Hazards Risk*. 2017. Т. 8. Б. 348–366 (ағылшын тілінде)
8. 2018 жылғы Хоккайдо-Шығыс Ибури жер сілкінісі салдарынан болған көшкіндердің сипаттамасы, Солтүстік Жапония / Чжан С. [және т. б.] // *Көшкін*. 2019. Т. 16. Б. 1691–1708 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. *Landslide Inventory Maps: New Tools for Solving an Old Problem* / Guzzetti F. [et al.] // *Earth Sciences*. 2012. V. 112. 42–66 pp. (in English)
2. *Optimizing Landslide Susceptibility Zoning: Effects of DEM Spatial Resolution and Slope Unit Delineation on Logistic Regression Models* / Schlögel R. [et al.] // *Geomorphology*. 2018. V. 301. 10–20 pp. (in English)

3. Ayalev L., Yamagishi H. *Application of GIS-based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan* // *Geomorphology*. 2005. V. 65. 15–31 pp. (in English)
4. *A Novel Ensemble Bivariate Statistical Evidence Belief Function with Knowledge-Based Analytic Hierarchy Process and Multivariate Statistical Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping* / Althuwaynee O.F. [et al.] // *Catena*. 2014. V. 114. 21–36 pp. (in English)
5. Dietrich V.E., Bellugi D., De Azua R.R. *Water Sci. Validation of the SHALSTAB shallow landslide model for forest management* // *Appl.* 2001. V. 2. 195–227 pp. (in English)
6. *Comparative study of logistic tree, random forest, and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility* / Chen W. [et al.] // *Catena*. 2017. V. 151. 147–160 pp. (in English)
7. Kanwal S., Atif S., Shafiq M. *GIS-based landslide susceptibility mapping of northern Pakistan, a case study of Shigar and Shayok basins* // *Geomat. Nat. Hazards Risk*. 2017. V. 8. 348–366 pp. (in English)
8. *Landslide characteristics triggered by the 2018 Hokkaido-East Iburi earthquake, Northern Japan* / Zhang S. [et al.] // *Landslides*. 2019. V. 16. 1691–1708 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Илиуф Ф.А., докторант Ph.D, кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), 990602450644-D@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-5198-6370>

Садыкова Т.С., докторант 3-го года обучения кафедры «Информационные системы» Международного университета информационных технологий (г. Алматы, Казахстан), t.sadykova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-6462-3894>

Камза А.Т., доктор Ph.D, старший научный сотрудник Satbayev University (г. Алматы, Казахстан) anzhelikakamza@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0823-199X>

Бейсенбаева С.Ж., докторант 2-го курса кафедры «Гидрогеология, инженерная и нефтегазовая геология» института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), Beisenbayeva.S@stud.satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-9773-928X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Илиуф Ф.А., Ph.D докторанты, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институтының «Маркшейдерия және геодезия» кафедрасы, Сәтбаев Университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Садыкова Т.С., Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ақпараттық жүйелер кафедрасының 3-курс Ph.D докторанты (Алматы қ. Қазақстан)

Камза А.Т., Ph.D, Сәтбаев университетінің аға ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Бейсенбаева С.Ж., Қ. Тұрысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі институтының «Гидрогеология, инженерлік және мұнай-газ геологиясы» кафедрасының 2-курс докторанты Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Iliuf F.A., Ph.D doctoral student, «Mine surveying and geodesy» of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Sadykova T.S., 3rd year Ph.D student of the Department of Information Systems of the International University of Information Technologies (Almaty, Kazakhstan)

Kamza A.T., Ph.D, Senior Researcher at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Beisenbayeva S.Zh., 2nd year doctoral student of the Department of «Hydrogeology, Engineering and Oil and Gas Geology» of K. Turysov Institute of Geology and Oil and Gas Engineering, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)