



Наиля САБИТОВА,

Д.геогр. наук, профессор Национального университета Узбекистана

E-mail: nellisabitova@mail.ru

Анна СТЕЛЬМАХ,

К.г.-м.н., доцент Национального университета Узбекистана

E-mail: stelmakh@rambler.ru

Рецензент: д.г.-м.н., профессор Национального университета Узбекистана Х.Тойчиев

GEOINFORMATION MAPPING OF LANDSLIDES BY THE METHOD OF RELIEF PLASTICITY ON THE COASTAL SLOPES OF THE CHARVAK RESERVOIR

Annotation

Using a digital elevation model of the Charvak Reservoir, landslide-prone areas in the Chatkal-Kurama district were mapped using a geoinformation mapping technique. The spatial structure of convex (ridges, edges, terraced areas) and concave (valley depressions, ravines, tectonic-erosional depressions) morphological features was visualized using contour curvature maps and gradient discontinuities. Lines of maximum curvature gradient were identified as zonal landmarks, correlating with active tectonic faults and landslide mass boundaries.

Keywords: landslide, remote sensing, relief plasticity method, Charvak reservoir, morphometric analysis.

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЕЙ МЕТОДОМ ПЛАСТИКИ РЕЛЬЕФА НА БЕРЕГОВЫХ СКЛОНАХ ЧАРВАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Аннотация

На основе цифровой модели рельефа Чарвакского водохранилища выполнено геоинформационное картирование оползневых участков Чаткало-Кураминского района методом пластики рельефа. Пространственная структура выпуклых (гребни, бровки, террасные площадки) и вогнутых (долинные впадины, овраги, тектонико-эрозионные понижения) морфологических элементов визуализирована посредством карт кривизны контуров и градиентных разрывов. Линии максимального градиента кривизны выявлены как зональные ориентиры, коррелирующие с активными тектоническими разломами и границами оползневых масс.

Ключевые слова: оползень, дистанционное зондирование, метод пластики рельефа, Чарвакское водохранилище, морфометрический анализ.

CHORVOQ SUV OMBORI QIRG'OQ YONBAG'IRLIKLARIDA RELYEF PLASTIKLIGI USULI ORQALI KO'CHMALARNING GEOAXBOROT XARITASI

Annotatsiya

Chorvoq suv omborining raqamli balandlik modelidan foydalanib, Chotqol-Kurama tumanidagi ko'chkiga moyil hududlar geoinformatsion xaritalash texnikasi yordamida xaritagat tushirildi. Qavariq (tizmalar, qirralar, terasli hududlar) va botiq (vodi pasttekisliklari, jarliklar, tektonik-eroziyal pasttekisliklar) morfologik xususiyatlarining fazoviy tuzilishi kontur egrilik xaritalari va gradient uzilishlari yordamida vizualizatsiya qilindi. Maksimal egrilik gradienti chiziqlari faol tektonik yoriqlar va ko'chki massasi chegaralari bilan o'zaro bog'liq bo'lgan zonal belgilar sifatida aniqlandi.

Kalit so'zlar: ko'chki, masofadan zondlash, relyef plastikligi usuli, Chorvoq suv ombori, morfometrik tahlil.

Введение. Оползни в прибрежных зонах водохранилищ представляют собой многофакторную геодинамическую угрозу, способную вызывать разрушения инженерных сооружений, деградацию экосистем и экономические потери [4, 6]. При ограниченных полевых наблюдениях и высокой ландшафтной гетерогенности оптимальной стратегией является интеграция дистанционного зондирования с высокоразрешающими цифровыми моделями рельефа и геоморфометрическими методами, что обеспечивает оперативное выявление, картографирование и ранжирование зон повышенной оползневой опасности.

Цель исследования – разработать и апробировать комплекс, объединяющий мультиспектральные и радарные спутниковые данные с геоморфометрическим анализом методом пластики рельефа для идентификации оползней на береговых склонах Чарвакского водохранилища. Выбор объекта обусловлен его статусом крупнейшего долинного резервуара бассейна р. Чирчик и значительными сезонными колебаниями уровня воды (до 25 м), стимулирующими оползнеобразование.

Литературный обзор. Исследования оползней в Чирчикском бассейне, включая Чаткало-Кураминский район и акваторию Чарвакского водохранилища, ведутся более 50 лет. Е.П. Емельянов (1959, 1972) впервые систематизировал предпосылки смещений, выделив три оползнево-эпикластических горизонта (верхнечаткальский, кураминский, чирчикский) по литологии (алевролиты, аргиллосланцы, тонкопесчаные турбидиты) и геомеханическим свойствам (водопроницаемость 0,2–0,8 м/сут, $\phi = 18\text{--}24^\circ$). Он показал, что наибольшая концентрация оползней (до 7,5 событий/км²) приурочена к разломным зонам с постплиоценовыми вертикальными движениями $>0,3$ мм/год [2, 3].

В конце 1990-х – начале 2000-х Р.А. Ниязов (1999) и Р.А. Ниязов с Б.С. Нуртаевым (2004) ввели количественные критерии инженерно-геологической устойчивости склонов Чирчикского бассейна (включая берега Чарвакского и

Ходжикентского водохранилища) [4, 6]. По данным 436 разрезов и 812 лабораторных испытаний они определили предельное относительное деформирование ниже-меловых глин 2,1-3,4 % при сейсмичности 7–8 баллов (MSK-64) и предложили сейсмо-оползневую модель, учитывающую: рост порового давления при сейсмическом сжатии, снижение сцепления на контакте «алевролит-глинистый горизонт» и изменение гидростатического градиента при колебаниях уровня водохранилища. По этой модели зоны чрезвычайной ($K_f > 1,25$), высокой ($K_f = 1,10-1,25$) и средней ($K_f = 0,95-1,10$) оползневой опасности занимают соответственно 18,4; 31,7 и 27,9 % береговой линии общей длиной 186 км [6].

С 2010-х гг. акцент работ смещён к применению спутниковых технологий [1, 10]. Обработка данных Sentinel-1A/B (2015-2022) методом D-InSAR выявила 43 активных оползневых тела в нижнем течении р. Чирчик (от впадения р. Пскем до Ташкента), 11 из которых ранее не учитывались. Средние годовые линейные скорости смещения составляют 6–18 мм/год на склонах 12–18°, при этом максимальные значения до 42 мм/год зафиксированы на левобережье Чарвака (северный склон хр. Курамин) в 2018 г.

Методы исследования. В качестве исходного картографического материала использовались топографические карты, цифровые модели рельефа и высокоразрешающая оптическая съёмка. На первоначальном этапе выполнена обработка геоинформационных данных: геопривязка, устранение топографических и геометрических искажений, а также нормализация тематических слоёв. На базе топографической карты составлена карта пластики рельефа. Все полученные тематические слои и результирующие картографические материалы систематизированы и интегрированы в единый геопространственный продукт – цифровую карту рельефа (единая векторно-растровая база данных). Для расчёта морфометрических параметров использована цифровая модель рельефа SRTM (разрешение 30 м), на базе которой сформированы градиентные карты (карты крутизны, экспозиции, кривизны) и производные индикаторы (TPI, SRI и пр.). Обработка и расчёт морфометрических показателей выполнялись специализированными алгоритмами цифровой обработки пространственных данных, реализованными в ГИС-платформах ArcGIS и QGIS [1,8].

Анализ и результаты. Чарвакская котловина, охватывающая части долин рек Пскем, Чаткал и Чирчик, представляет собой депрессию тектонического и эрозионного происхождения. Геоморфологически она почти со всех сторон ограничена пологими склонами средневысотных хребтов: с севера – отрогами Каракинского и Кураминского хребтов, с юга – Чаткальским и Угамским, с востока – Пскемским и Бостандыкским массивами. Западная граница котловины определяется горным сужением выше места впадения Угама в реку Чирчик. В результате затопления естественной межгорной впадины образовалось Чарвакское водохранилище площадью зеркала 37,2 км² при полном объёме 2,0 км³ и протяжённостью береговой линии 96 км [6]. Гидрографическая сеть водосборного бассейна представлена тремя основными притоками: Пскем, Коксу и Чаткал, суммарно формирующими до 85 % годичного притока. Ниже по течению Чирчика располагаются каскадные водохранилища: Ходжикентское и Газалкентское, образующие ступенчатую систему регулирования стока.

В пределах описываемого района прослеживается трёхъярусная высотная геоморфологическая зональность: а) предгорная холмисто-равнинная зона (абсолютные отметки 700–1000 м), сформированная аллювиально-пролювиальными отложениями Чирчика и его притоков. Данная зона занимает 62 % площади Чарвакского района и представляет собой основную орошаемую аграрную платформу с преобладанием серо-зёмных и лёссовитых почв; б) надпойменная террасовая зона (1000–1500 м), трансформационный пояс между предгорной и горной ландшафтными оболочками. Выражена системой двух уступов – нижнего (1000–1200 м) и верхнего (1200–1500 м), сложенных верхнечетвертичными гравелитами и лессоподобными суглинками мощностью 8–15 м; в) горно-отроговая зона (>1500 м), представленная денудационно-эрозионными грядами Кураминского и Чаткальского хребтов, сложенными ниже-меловыми алевролитами, аргиллосланцами и карбонатными конгломератами [3, 5].

Геологическое строение исследуемой территории характеризуется тектонической фрагментированностью, обусловленной расположением на стыке Чаткало-Кураминской островодужной системы и Ташкентского прогиба. Преобладание сбросовых и сбросово-сдвиговых нарушений, зафиксированных в работах А.Ф. Ярмухамедова (1979), а также развитие синклинальных структур северо-восточного простирания определяют повышенную сейсмогеологическую активность и высокую трещиноватость массивов, что, в совокупности с ландшафтно-климатическими факторами, контролирует локализацию экзогенных геологических процессов, включая оползни [9].

На основе карты пластики рельефа Чарвакского водохранилища выполнена визуализация пространственной структуры морфологических элементов – выпуклых и вогнутых форм, что позволило выделить потенциальные границы литодинамических потоков. На карте выпуклые и вогнутые формы рельефа представлены чётко дифференцированными сегментами: выпуклые элементы, как правило, соотносятся с гребнями, бровками склонов и участками, где наблюдается снижение крутизны и положительная горизонтальная (плановая) кривизна контуров (рис. 1).

В визуальном исполнении эти участки обычно проявляются отличающимися цветом или контрастным тоном по отношению к вогнутым формам. Вогнутые формы включают долинные впадины, овраги, промоины и тектоническо-эрозионные понижения и характеризуются повышенной крутизной по нисходящему направлению и отрицательной горизонтальной кривизной контуров. Линии разграничения выпуклых и вогнутых форм выявляются в виде выраженных линейных элементов на карте и соответствуют зонам максимального градиента кривизны. Такие линейные маркеры могут коррелировать с активными тектоническими разломами, эрозионными уступами или границами оползневых масс и, следовательно, служат важными индикаторами потенциальной нестабильности склонов.

Закключение. Выделенные оползневые участки чётко контрастируют с фоном и обозначены тёмными тонами, что позволяет однозначно отделять их от относительно устойчивых, неподвижных территорий. Одновременно структура изображения отражает сложное пространственное распределение коренных пород, определяемое исходными осадочными условиями и структурно-тектоническими элементами разреза. Полученные пространственно-морфологические закономерности обеспечивают целенаправленный выбор участков для детальных полевых обследований и последующего количественного моделирования оползневых процессов.

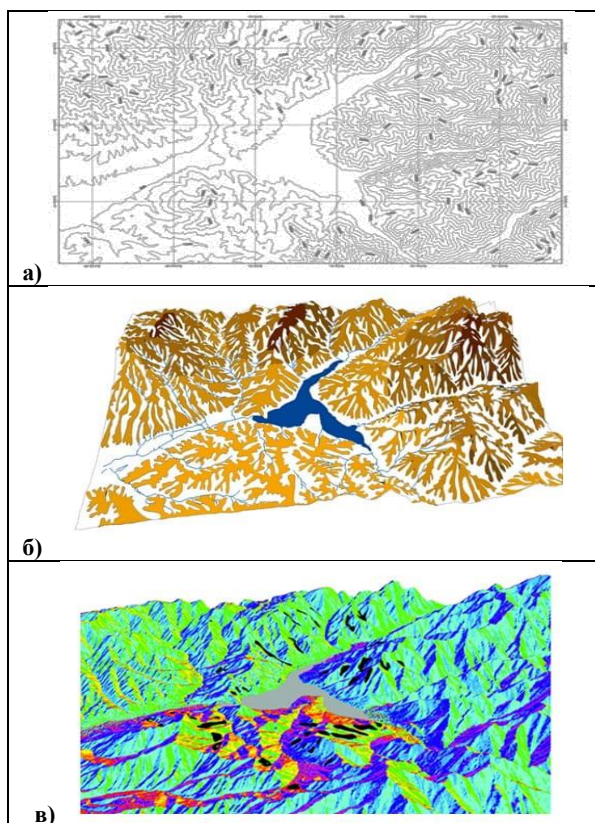


Рис. 1. Оползневые участки на береговых склонах Чарвакского водохранилища: (а) карта горизонталей, сгенерированная в GlobalMapper по данным SRTM; (б) цифровая карта пластики рельефа; (в) карта экспозиции (участки, затронутые оползновыми процессами, выделены чёрным).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев И.Х., Искандаров М.А., Касимов А.А. и др. Спутниковый мониторинг оползневых процессов в нижнем течении Чирчика // Вестник ТашГТУ. № 3. 2016. С. 18-25.
2. Емельянов Е.П. Оползни Узбекистана и борьба с ними. Ташкент: ФАН, 1959. 212 с.
3. Емельянов Е.П. Геологические условия формирования оползней в Чаткальско-Кураминской горной стране // Геология и геофизика. № 8. 1972. С. 45-53.
4. Ниязов Р.А. Инженерно-геологические основы устойчивости склонов в условиях сейсмической активности (на примере Чирчикского каскада): дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Ташкент, 1999. 312 с.
5. Ниязов Р.А., Нуртаев Б.С. Сейсмогенные оползни Чирчикского каскада водохранилищ // Геотектоника и геодинамика. № 2. 2004. С. 74-82.
6. Ниязов Р.А. Оползневая опасность в бассейне р. Чирчик: методы оценки и карты риска. Ташкент: Госгеолком РУз, 2007. 146 с.
7. Сабитова Н.И., Стельмах А.Г., Таджибаева Н.Р. Картографирование оползней и оползневых процессов Узбекистана методом пластики рельефа (на примере Чирчикского бассейна) // «ИнтерКарто. ИнтерГИС». Труды международной конференции. М.: Изд-во Московского университета, № 1. Т. 26. 2020. С. 572-583.
8. Степанов И.Н. Теория пластики рельефа и новые тематические карты. М.: Наука, 2006. 230 с.
9. Ярмухамедов А.Р. Морфоструктура Среднего Тянь-Шаня и ее связь с сейсмичностью. Ташкент: Фан, 1988. 164 с.
10. Ischuk A.R., Usmanova M.M., Kulikova G.V. et al. InSAR-based inventory and activity of landslides along the Chirchik River valley, Uzbekistan // Landslides. Vol. 18. 2021. P. 2315-2328. <https://doi.org/10.1007/s10346-021-01658-3>