

Гусев А.П., Федорский М.С., Шаврин И.А. Оценка техноморфогенеза с помощью ГИС SAGA // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды: Материалы IV Международной научно-практической конференции (Гомель, 4-5 июня 2018 г.). – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2018. – С. 432-435.

УДК 911.2+504.54

А.П. Гусев, М.С. Федорский, И.А. Шаврин

### **Оценка техноморфогенеза с помощью ГИС SAGA**

УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», г.Гомель, Республика Беларусь  
[gusev@gsu.by](mailto:gusev@gsu.by)

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты ландшафтно-экологического анализа техноморфогенеза, т.е. техногенной трансформации рельефа. Исследования проводились на 4 тестовых участках на двух временных срезах: 1-я половина XX века и начало XXI века. На основе карт ландшафтного покрова и цифровых моделей рельефа тестовых участков изучено влияние техноморфогенеза на ландшафтно-экологические условия. Выявлено, что при техногенной трансформации рельефа изменяется топографический индекс влажности территории, увеличивается эрозионный потенциал и вертикальная расчлененность.

**Ключевые слова:** геосистема, техногенная трансформация рельефа, морфометрические индексы

Рельеф выступает важным ландшафтно-экологическим фактором, так как: а) детерминирует природную дифференциацию геосистем, формируя их морфолитогенную основу; б) обуславливает развитие ряда экзогенных геологических процессов (эрозия, оврагообразование, оползни и т.д.); в) влияет на распределение вещественно-энергетических потоков в иерархии геосистем, в том числе на миграцию загрязняющих веществ, растений и животных; г) является фактором устойчивости геосистем; д) изменения рельефа во времени – активный фактор динамики геосистем и их компонентов и т.д. Техногенные воздействия, направленные на преобразование морфолитогенной основы геосистем, как правило, характеризуются значительными и часто необратимыми нарушениями компонентов геосистем, но имеют локальный характер. Такие преобразования связаны с разработкой месторождений полезных ископаемых открытым способом, созданием насыпных и намывных массивов грунтов для строительства, складированием твердых отходов и т.д.

Последствия изменений морфолитогенной основы изучаются и оцениваются непосредственно в пределах нарушаемого участка. В тоже время, влияние техноморфогенных преобразований может сказываться за пределами этого участка, так как техноморфогенные комплексы через сложную систему потоков вещества и энергии влияют на структуру ландшафта, на экологические процессы. Это обусловлено тем, что рельеф выступает как интегративный абиотический фактор, от которого зависит перераспределение влаги, тепла и света на земной поверхности, что в свою очередь, отражается на ландшафтном покрове, представляющем собой мозаику экосистем.

Целью исследований в данной работе являлась оценка влияния техногенной трансформации рельефа на ландшафтно-экологические условия. В ходе исследований решались задачи: анализ динамики ландшафтного покрова на двух временных срезах; оценка влияния техноморфогенных комплексов; создание цифровых моделей рельефа тестовых участков; оценка влияния техноморфогенных преобразований на влажность экотопов, эрозионный потенциал, расчленённость рельефа.

Исследования проводились на 4 тестовых участках (площадь каждого 4 км<sup>2</sup>) на двух временных срезах: 1-я половина XX века (до техноморфогенных преобразований; начало XXI века (после техноморфогенных преобразований).

Тестовый участок «ГХЗ» – промплощадка, водоемы-отстойники, полигон отходов фосфогипса Гомельского химического завода (35% всей площади) и прилегающие территории с лесными и сельскохозяйственными землями; расположен на западе города Гомеля; высота отвалов – 20-30 м, площадь, занятая отвалами, составляет около 100 га.

Тестовый участок «Уза» – надпойменная терраса и пойма рек Уза и Сож с полигоном твердых бытовых отходов (ТБО), полями фильтрации, лесными и сельскохозяйственными землями; расположен вблизи деревни Уза, на западе города Гомеля; высота отвалов ТБО составляет – до 10 м, площадь – 35 га.

Тестовый участок «Осовцы» – надпойменная терраса и пойма реки Сож с карьером по добыче строительных песков; расположен в юго-западной части города Гомеля; глубина разработки – до 10 м, площадь нарушенных земель – более 80 га.

Тестовый участок «Волотова» – намывной массив в пойме реки Сож и прилегающие территории; расположен в восточной части города Гомеля; мощность намывных песков – до 6 м; создан в градостроительных целях в 1980-е гг.

Для разработки карт ландшафтного покрова использовались топографические карты масштаба 1:100000 (1923-1931 и 1985-1988 гг.), космоснимки Landsat (2005-2007 гг.) и Google Earth (2006-2016). Привязка и оцифровка растров выполнялись в Quantum GIS 2.6.0. Цифровые модели рельефа (ЦМР) тестовых участков были разработаны на основе топографических карт масштаба 1:5000-1:10000 с помощью ГИС SAGA (System for Automated Geo-Scientific Analysis [1]) методом Natural Neighbour (размер ячейки 20 м). Оцифровка высотных отметок и изолиний – в Quantum GIS 2.6.0. Для каждого тестового участка созданы две ЦМР (до и после техноморфогенных преобразований).

Геоинформационная система SAGA, разработанная в Геттингенском университете, включает модули, позволяющие создавать различными методами ЦМР, преобразовывать их, осуществлять их гидрологический и морфометрический анализ. Модуль «Terrain Analysis» SAGA включает несколько тематических блоков:

форма поверхности – угол наклона (Slope) и кривизны (Plan, Profile and Mean Curvatures, Convergence Index), шероховатость поверхности (Terrain Ruggedness Index), классификация элементов рельефа (Topographic Position Index, TPI Based Landform Classification);

освещенность, видимость и количество тепла – солярная экспозиция склонов (Aspect), аналитическая отмывка рельефа (Analytical Hillshading), анализ зон видимости (Visibility), суммарная, прямая и рассеянная солнечная радиация (Potential Incoming Solar Radiation), температура земной поверхности (Land Surface Temperature);

миграция вещества и энергии в твердом и жидком состоянии – комплексные индексы, оценивающие перераспределение твердого и жидкого стока (Topographic Wetness Index, SAGA Wetness Index, Mass Balance Index), потенциал площадной и линейной эрозии (LS Factor, Stream Power Index);

гидрологический анализ – моделирование поверхностного стока (Catchment Area, Flow Width, Upslope Area), оконтуривание сети тальвегов и водосборных бассейнов (Channel Network, Drainage Basins).

«Basic Terrain Analysis» позволяет создавать grids уклонов поверхности (Slope), экспозиции склонов (Aspect), кривизны поверхности (Plan Curvature, Profile Curvature, Convergence Index), отмывки рельефа (Analytical Hillshading), включает: определение угла наклона поверхности, потенциала площадной эрозии (LS Factor), индекс перераспределения твердого и жидкого стока (Wetness Index), модели поверхностного стока (Catchment Area), сети тальвегов (Channel Network).

С помощью модуля «Terrain analysis» ГИС SAGA нами производился расчет морфометрических индексов: TWI (Topographic Wetness Index – топографический индекс влажности); LSF (LS factor – эрозионный потенциал рельефа); TRI (Topographic ruggedness index – топографический индекс расчлененности).

Wetness Index (индекс влажности или топографический индекс влажности) – отображает перераспределение влаги в рельефе под действием силы тяжести, показывает потенциальную влажность водосбора. Относится к так называемым «эффективным гидрологическим характеристикам водосборов».

LS factor – относительный показатель эрозии, учитывающий уклон поверхности и площадь зоны дренирования (водосборного бассейна). Считается индикатором способности водного потока вызывать эрозию. Оценивает эрозионный потенциал рельефа. Эрозионный потенциал рельефа геосистем представляют собой важный ландшафтно-экологический показатель, имеющий существенное значение при планировании землепользования, организации охраны земель и водных объектов, оценке эрозионной сети и т.д.

Topographic (Terrain) ruggedness index (TRI), т.е. топографический индекс расчлененности или шероховатости, показывает среднее значение перепада высот между анализируемой ячейкой и восемью соседними. Это индекс характеризует относительную локальную вертикальную расчлененность рельефа.

Указанные морфометрические индексы позволяют оценивать риск и прогнозировать экзогенные геологические процессы: TWI – подтопление (высокие значения WI – высокая влажность почв и грунтов); LSF – водную эрозию (высокие значения LSF – высокий эрозионный потенциал рельефа); TRI – водную эрозию, оползни, крип (высокие значения TRI – увеличение риска эрозионных и гравитационных процессов).

Анализ TWI позволяет выявить пространственно-временные изменения влажности местоположений, которые выражены в структуре растительного покрова ландшафта. Нами выявлено, что техногенная трансформация рельефа вызвала изменение влажности в пределах тестовых участков. Так, на территории участка «ГХЗ» удельная площадь с высокими значениями TWI («влажные» местоположения – заболоченные земли) уменьшилась на 5,3% (21,2 га) и соответственно увеличилась удельная площадь ареалов с низкими значениями TWI («слабоувлажненные» местообитания, характеризующиеся низкой влажностью почв, большой глубиной залегания грунтовых вод). На территории участка «Волотова» удельная площадь ареалов с высокими значениями TWI сократилась на 12,7% (50,8 га), что обусловлено созданием положительных форм рельефа на месте заболоченной притеррасной поймы. Соответственно, увеличились площади ареалов с низкими и средними значениями TWI. На участке «Осовцы», наоборот, произошло увеличение площади местоположений с повышенной влажностью (на 7,1% или 28,4 га), вызванное карьерной разработкой месторождения строительных песков (часть рекультивированного карьера была преобразована в водоем рекреационного назначения). На участке «Уза» удельная площадь ареалов с высоким TWI изменилась слабо, но увеличилась удельная площадь ареалов с

низким TWI: 28 га «среднеувлажненных» местоположений перешли в категорию «слабоувлажненных».

На основе анализа изменений LSF была выполнена оценка влияния техногенной трансформации рельефа на эрозионный потенциал изучаемой территории. Наблюдается повышение площади с высоким эрозионным потенциалом: «ГХЗ» - на 10,1% (40,4 га); «Уза» – 10,3% (41,2 га); «Осовцы» – 2,3% (9,2 га). На участке «Волотова», наоборот, создание намывного массива привело к небольшому снижению площади ареалов с высоким эрозионным потенциалом.

Анализ TRI показал изменения гетерогенности морфогенной основы ландшафта. На всех тестовых участках техноморфогенные преобразования вызвали рост локальной вертикальной расчлененности рельефа: увеличились удельные площади с высокими значениями TRI. На участках «ГХЗ», «Уза», «Осовцы» площади ареалов с высокими значениями TRI увеличились примерно на 10% (40 га), а на участке «Волотова» – на 13,7% (55 га). Повышение гетерогенности неблагоприятно для эффективного использования природных ресурсов, при этом самовосстановление природных систем после ослабления воздействия слабо предсказуемо; при высокой гетерогенности неизбежны существенные затраты на поддержку устойчивого функционирования природно-технических систем.

Указанные изменения имеют как положительные, так и отрицательные экологические последствия. Однозначно негативным следует считать увеличение площади ареалов с высоким эрозионным потенциалом. С этих позиций морфотехногенные преобразования на участке «ГХЗ» являются наиболее экологически опасными. В этом случае отсутствие растительного покрова (вследствие токсичности отвалов фосфогипса) значительно увеличивает риск эрозионных процессов. Увеличение вертикальной расчлененности рельефа на участке «ГХЗ» также имеет негативные последствия, так затрудняет как естественное, так и искусственное восстановление растительности.

Таким образом, техноморфогенные нарушения геосистем и связанная с ними трансформация землепользования отражаются в изменениях структуры ландшафтного покрова, которые количественно могут быть оценены с помощью морфометрических показателей. Оценка ландшафтно-экологических изменений, обусловленных техногенной трансформацией рельефа, выполненная на основе морфометрического анализа ЦМР тестовых участков показала следующее. В зависимости от характера техногенных форм рельефа и исходных условий влажность территории может и увеличиваться (при создании отрицательных форм рельефа), и уменьшаться (при создании положительных форм рельефа), что отражается в распределении значений топографического индекса влажности. Создание отвалов твердых отходов и карьеров вызывает рост эрозионного потенциала территории в целом. На всех изучаемых объектах имеет место увеличение вертикальной расчлененности рельефа, фиксируемое в значениях топографического индекса расчлененности. Реальное проявление негативных последствий этих изменений зависит от состояния растительного покрова.

## **Technogenic Transformations of a Relief and its Landscape-ecological Consequences**

**A.P. Gusev**

**Annotation.** In article results of the landscape-ecological analysis of technogenic transformation of a relief are considered. Researches were spent on 4 test sites on two time intervals: 1-st half of XX century and XXI century beginning. On the basis of maps of a landscape

cover and Digital Elevation Model of test sites impact technogenic relief on landscape-ecological conditions is studied. It is revealed that at technogenic transformation of a relief the Topographic Wetness Index of territory changes, the erosion potential and ruggedness increases.

**Key words:** geosystem, technogenic transformation of a relief, morphometric index

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ