УДК 911.2+504.54

А. П. Гусев, С. В. Андрушко

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АНТРОПОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ ГЕОСИСТЕМ ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ (НА ПРИМЕРЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЙМЫ В ЧЕРТЕ г. ГОМЕЛЯ В XIX–XXI вв.)

Рассмотрены результаты ландшафтно-экологического анализа антропогенной эволюции геосистем пойменного ландшафта в черте г. Гомеля. Выполнен анализ структуры землепользования, застройки и техногенной трансформации морфолитогенной основы на трех временных срезах, отражающих антропогенные преобразования в течение XIX–XXI вв. Установлено, что на 1/3 части территории района ландшафт претерпел необратимые эволюционные изменения, обусловленные преобразованием морфолитогенной основы. Значительная трансформация морфолитогенной основы обусловлена, прежде всего, строительством, а также дноуглубительными и карьерными работами.

История землепользования и связанных с ним изменений структуры, функционирования, динамики и эволюции геосистем является одной из приоритетных направлений ландшафтно-экологического анализа. В настоящей работе объектом ландшафтно-экологического анализа являются природные и природно-антропогенные геосистемы, предметом – их необратимые (эволюционные) изменения, прямо или косвенно обусловленные человеческой деятельностью, и их экологические последствия.

Эволюция геосистемы рассматривается как смена ее инварианта, под которым чаще всего понимается морфолитогенная основа и макроклимат. При относительной стабильности макроклимата на локальном уровне необратимая трансформация природных геосистем, направленная смена одних природно-антропогенных геосистем другими обусловлены изменениями морфолитогенной основы – рельефа и грунтов. Эти изменения связаны как с прямым техногенным воздействием (строительство, разработка месторождений полезных ископаемых и т. д.), так и с геолого-геоморфологическими процессами, спровоцированными деятельностью человека (оползни, эрозия, суффозия, карст и т. д.). Исходя из вышеизложенного диагностическим критерием эволюционных (т. е. необратимых) изменений геосистем может служить степень нарушенности (преобразованности) морфолитогенной основы. Трансформация морфолитогенной основы, в свою очередь, воздействует на ход экологических процессов, на геоэкологическую ситуацию в целом [2, 3].

Как необратимое изменение геосистемы следует также рассматривать любую застройку территории (в том числе застройку без существенного преобразования природного рельефа или грунтов). Застройка представляет собой совокупность рельефоподобных морфообразований или рельефоидов [6].

Показателями техногенной преобразованности геосистем выступают: 1) характеристики трансформации рельефа (площадь техногенных форм рельефа, величина техногенного вертикального расчленения – сумма максимальной высоты техногенных форм и глубины фундаментов); 2) характеристики застройки (площадь, этажность, застроенность); 3) характеристики современных геологических процессов (спектр экзогенных геологических процессов, коэффициент пораженности территории геологическими процессами); 4) характеристики техногенных грунтов (средняя и максимальная мощность, площадь распространения, свойства – токсичность, каменистость, агрессивность); 5) характеристики трансформации гидросети.

Целью наших исследований являлось изучение процессов антропогенной трансформации пойменных геосистем на территории г. Гомеля с использованием ландшафтно-экологического подхода. Район исследований представляет собой пойму реки Сож в пределах современной черты города. Общая площадь района составляет 51,8 км². Большая часть района – пойменный ландшафт (85%), местами локально – участки надпойменных террас (15%). Абсолютные отметки рельефа поймы составляют 115–120 м; надпойменных террас – 120–125 м. Литогенная основа представлена современными аллювиальными и болотными отложениями (пески, суглинки, торф). По классификации ландшафтов Беларуси объект исследований относится к пойменным ландшафтам, плоскогивистым, со злаковыми гидромезофитными и крупнозлаковыми мезогидрофитными лугами, дубравами на дерново-глееватых и глеевых почвах, низинными разнотравно-злаковыми осоковыми болотами и черноольховыми травяно-осоковыми лесами на торфяно-болотных почвах [4].

Изучение геосистем поймы проводилось с помощью сравнения структуры в трех временных

срезах: 1838-го, 1947-го, 2005-го г. Использованы: карта окрестностей местечка Гомель (1838), аэрофотоснимки (1947), космоснимки компании *DigitalGlobe* (2005), а также топографические карты (масштаб 1:100 000 и 1:10 000). Современное состояние уточнялось на основе маршрутных наблюдений.

Для оценки антропогенных изменений изучаемых геосистем использовались ландшафтно-экологические индексы: K_c – коэффициент экологической стабильности [1], M – индекс хемеробности [7].

Коэффициент экологической стабильности рассчитывался по формуле

$$K_c = \sum s_i \cdot k_i \cdot g,$$

где s_i – удельная площадь вида землепользования; k_i – экологическая значимость этого вида землепользования (частный коэффициент стабильности); g – коэффициент геолого-геоморфологической устойчивости рельефа [1].

Стабильность ландшафта оценивают по следующей шкале: K_c менее 0,33 – очень низкая; $K_c = 0,34–50$ – низкая; $K_c = 0,51–0,66$ – средняя; $K_c = 0,67–1$ – высокая. В случае отрицательного значения K_c данная геосистема рассматривается как источник нестабильности более крупных территорий.

Степень хемеробности – это интегральная мера воздействия всех антропогенных факторов на экосистемы. Индекс хемеробности оценивает степень антропогенной трансформации ландшафта и рассчитывался по формуле:

$$M = 100 \cdot \sum (S_h/m) \cdot h,$$

где S_h – удельная площадь ареала со степенью хемеробности h ; m – число степеней хемеробности; h – степень хемеробности [7].

Оценка техногенной трансформации морфолитогенной основы выполнялась с помощью

ряда показателей: площади техногенных форм рельефа, площади застройки, величины техногенного вертикального расчленения рельефа.

Картографический материал представлялся в виде набора карт для трех временных срезов (природно-ландшафтная карта, карта структуры землепользования, карта трансформации морфолитогенной основы), выполненных с использованием программного пакета *ArcView 3.2a*. Расчет площадных показателей осуществлялся на основе модуля *Spatial Analyst 2.0a*.

Антропогенное преобразование геосистем модельного района предположительно началось с момента образования г. Гомеля (Гомия), расположенного в непосредственной близости к модельному району (около 2 км). В XI в. нашей эры Гомий являлся наиболее крупным поселением городского типа в Нижнем Посожье, цитадель и окружающие посады которого занимали 10–15 га. К XIII в. численность населения составила 5,5–6,5 тысяч жителей [5]. Анализ наиболее раннего картографического материала (Генеральный план Белицкого уезда 1783 г.) показал, что территория района в конце XVIII в. представляла собой ландшафт, характеризующийся преобладанием луговых экосистем, в пределах которого располагался ряд населенных пунктов – местечко Гомель, окружавшие его села (Волотова, Прудок, Любны, Давыдовка-Мильча) и монастыри.

В 1838 г. на территории района были широко распространены луговые экосистемы, эксплуатируемые как пастбища и сенокосы (табл. 1). Антропогенная нагрузка обуславливались расположенными здесь населенными пунктами – местечко Гомель (жителей 13,7 тыс. в 1858 г.), деревни Якубовка, Плесы, Старая Волотова, Осовцы, Любны, Прудок. Застроенные и обрабатываемые земли преимущественно размещались на надпойменных террасах.

Таблица 1. Изменение структуры землепользования (удельная площадь, %)

	1838 г.	1947 г.	2005 г.
Водные объекты	10,0	11,1	18,8
Болота	8,2	5,9	1,5
Луга, кустарники	68,6	56,4	43,9
Леса	1,2	2,3	6,8
Пашня	10,8	18,2	10,6
Застройка	1,2	6,1	18,4

К середине XX в. (население города в это время составляло уже 168,3 тыс. жителей) произошло увеличение площади застройки (в 5,1 раза) и обрабатываемых земель (в 1,7 раза). Несколько увеличилась удельная площадь лесов и водных объектов (в 1,9 и 1,1 раза соответственно). Уменьшились удельные площади лугов (в 1,2 раза) и болот (в 1,4 раза).

К 2005 г. по сравнению с 1838 г. произошли значительные изменения в структуре землепользования: увеличилась удельная площадь водных объектов (в 1,9 раза); уменьшилась доля болотных экосистем (в 5,5 раза); уменьшилась доля луговых экосистем (в 2 раза); увеличилась площадь застройки (в 15,3 раза). Благодаря искусст-

венному озеленению возросла площадь древесных насаждений (в 5,7 раза).

Изменения структуры землепользования в пойменном ландшафте отличаются от таковых на территории надпойменных террас (табл. 2). Для надпойменных террас характерна значительная трансформация структуры землепользования характерна. Если в 1838 г. и 1947 г. они

представляли собой сельскохозяйственные экосистемы (пахотные и сенокосные угодья), то к 2005 г. большая часть их площади была застроена. По сравнению с 1838 г. площадь застройки увеличилась в 8,7 раза, площадь пахотных земель и лугов сократилась – в 3,1 и 7,6 раза соответственно. Уменьшилась также удельная площадь лесных экосистем (в 2,2 раза).

Таблица 2. Сравнительная характеристика изменений структуры землепользования в пойменном и аллювиальном террасированном ландшафтах

Вид землепользования	Пойменный ландшафт			Надпойменные террасы		
	1838 г.	1947 г.	2005 г.	1838 г.	1947 г.	2005 г.
Водные объекты	11,2	13,1	21,5	0	0	4,4
Болота	9,2	6,9	1,8	0	0	0
Луга, кустарники	75,4	64,1	49,6	13,7	15,7	13,5
Леса	0	2,5	7,1	11,1	1,5	5,1
Пашня	3,6	9,8	8,5	68,9	66,5	22,1
Застройка	0,6	3,6	11,1	6,3	16,3	55,0

Для пойменного ландшафта характерны менее существенные изменения. За период 1838–2005 гг. увеличилась удельная площадь водных объектов (в 1,9 раза, за счет углубления и спрямления русла реки Сож, создания искусственных заливов и т. д.), уменьшилась удельная площадь болот (в 5,1 раза), увеличилась площадь лесов. Создание намывных массивов позволило осуществлять застройку пойменного ландшафта, в результате чего площадь застроенных земель возросла в 18,5 раза (табл. 2).

Преобразование морфолитогенной основы ландшафтов началось во второй половине XX в. Так, в 1947 г. техногенные формы рельефа вместе с застройкой занимали лишь 6,5 % территории; причем массивы техногенных грунтов – 1,2 %; застроенные земли – 5,3 % (табл. 3).

В 2005 г. техногенные формы рельефа занимали более 20 % площади, а застройка без существенного изменения морфолитогенной основы – более 13 % площади (т. е. в сумме более 35 % территории претерпело необратимые изменения). Причем в пределах надпойменных террас техногенные формы рельефа занимают 44,3 % площади; в пойменном ландшафте – 20,1 %.

В общей структуре техногенных форм рельефа (без учета изменений водных объектов) преобладают массивы техногенных грунтов (60,8 % от общей площади техногенных форм), имеющие мощность 1–7 м. На застроенные земли приходится 34,4 %; на карьеры – 4,8 %.

Таблица 3. Изменения показателей антропогенной трансформации

Показатель	1838 г.	1947 г.	2005 г.
Площадь техногенных грунтов, %	0	1,2	14,6
Площадь отрицательных техногенных форм рельефа, %	0	0	10,2
Площадь положительных техногенных форм рельефа, %	0	1,2	12,1
Общая площадь техногенных форм рельефа, %	0	1,2	22,3
Застройка без существенного изменения морфолитогенной основы, %	1,2	5,3	13,3
Площадь, выведенная из пойменного режима, %	0	0,6	11,5
Коэффициент экологической стабильности	0,549	0,425	0,262
Индекс хемеробности	43,6	47,9	53,7

Значительная трансформация морфолитогенной основы обусловлена, прежде всего, строительством, а также дноуглубительными и карьерными работами. Для целей городского строительства в 1980–1990-х гг. были созданы намывные массивы, захоронившие исходные пойменные геосистемы в северо-восточной и юго-западной частях модельного района. Техно-

генными грунтами засыпаны овражные системы, созданные малыми реками и временными водотоками (Мильчанская канава в районе микрорайона «Давыдовка», овраг в районе ул. Братьев Лизюковых, овраг в районе ул. Жукова). Сооружена система водоемов рекреационного назначения (Волотовской пруд, Гребной канал, залив Дедно). Значительным изменениям за счет

спрямления и углубления подверглось русло реки Сож. За счет его расширения площадь Сожа за период 1947–2005 г. на территории района увеличилась в 1,4 раза. Кардинальным образом изменена конфигурация и размеры ряда старичных озер (Дедно, Любенское и др.). В ряде мест поймы велась разработка месторождений строительных песков, торфа.

Техногенные преобразования вызвали активизацию экзогенных геологических процессов: золовых (в пределах песчаных намывных массивов, с крайне разреженным растительным покровом) и водно-эрозионных (развитие промоин по бортам дорожных насыпей, земляных дамб, рекультивированным склонам карьеров). В ряде искусственных и естественных водоемов наблюдается интенсивная эвтрофикация (озеро-отстойник Дедно, озеро Малое – на северо-восточном участке; залив в районе населенных пунктов Севруки и Поляна).

Наибольшая степень трансформации характерна для северо-восточной части района (правобережье Сожа). Здесь в последней четверти XX в., когда началось коренное техногенное преобразование геосистемы притеррасной поймы, вызванное намывом песков, а также была создана системы искусственных прудов (общая площадь около 30 га), в том числе Волотовского пруда, и каналов. Намывные пески, имеющие мощность 1–6 м, распространились более чем на 45 % изучаемого участка. Поверхность поднялась до отметок 122–126 м. Территория перестала испытывать периодическое затопление паводковыми водами р. Сож, вышла из пойменного режима.

В 80-е гг. XX в. центр намывного массива начал застраиваться (в этом период построены микрорайоны № 11, 12, 13); в северной части участка на месте системы каналов было создано «У-образное» озеро; техногенными отложениями было засыпано более 75 % площади пойменного ландшафта.

В первое десятилетие XXI в. удельная площадь застройки достигла свыше 35 % (микрорайоны № 17, 18, 19, 20, 21). Этажность зданий здесь составляет – 5–18 этажа; величина техногенного вертикального расчленения рельефа – 20–65 м. На незастроенной части территории в ходе сукцессионных процессов сформировались рудерально-луговые и рудерально-болотные фитоценозы (около 40 % площади). Локально отмечаются также участки развееваемых песков (около 10 % площади), которые, несмотря на прошедшие 20 лет, имеют крайне разреженный растительный покров (общее проективное покрытие растительности – менее 30 %).

В районе озера Любенское во второй половине XX века была застроена надпойменная терраса (жилая многоэтажная застройка). Этаж-

ность зданий здесь составляет – 5–16 этажей, а величина техногенного вертикального расчленения 20–55 м. Радикальным образом перепланирована пойма: озеро Любенское расширено и протокой соединено с искусственным заливом реки Сож (созданная гидросистема в 2,2 раза больше исходного озера). Для строительства объездной трассы и моста через реку создана насыпь (высота – 3–4 м; ширина – до 100 м), пересекающая поперек всю пойму. В районе урочищ Шведская Горка и Ракова Лоза в результате добычи песка созданы искусственные заливы (на северном и южном берегах реки Сож), занимающие более 170 га площади.

Значительные изменения произошли в пределах надпойменной террасы на юго-западе изучаемого района. В конце XX – начале XXI в. здесь производилась разработка месторождения строительных песков. Глубина карьера достигала 10 и более метров. Общая площадь техногенных форм рельефа составляет более 78 га. Кроме того, увеличилась площадь застройки надпойменной террасы (в 3,3 раза по сравнению с 1947 г.). Болотный массив, расположенный южнее проспекта Октября, подвергся частичному осушению за счет создания сети мелиоративных каналов. В его центре создан намывной массив «Южный» (более 20 га). Западная часть пойменного болота нарушена добычей торфа и сапропеля.

Таким образом, к 2005 г. на 1/3 части территории района (не считая искусственных водных объектов, созданных на месте луговых и лесных экосистем поймы и занимающих более 10 % общей площади) ландшафт претерпел необратимые эволюционные изменения, обусловленные преобразованием морфолитогенной основы. Указанные изменения отражаются в ландшафтно-экологических индексах (табл. 3). Наиболее существенно изменился коэффициент экологической стабильности (в 2,1 раза). Индекс хемеробности увеличился в 1,2 раза (в интервале 1838–1947 гг. он увеличился на 4,3 единицы; в интервале 1947–2005 гг. – на 5,8 единицы). Видно, что наибольшие изменения указанных индексов произошли в период 1947–2005 гг.

Значительно увеличилась величина вертикального расчленения рельефа. Расчленение является показателем энергии рельефа, т. е. превышения высот имеют большое значение для развития многих экзогенных геологических процессов, прежде всего гравитационных и флювиальных. Если природное вертикальное расчленение рельефа в пределах изучаемой территории не превышает 10 м, то величина техногенного вертикального расчленения на ряде участков составляет до 55–65 м.

Выполненный анализ многолетних изменений структуры землепользования позволил уста-

новить, что в существенной степени трансформировано русло р. Сож, а современная система пойменных водоемов имеет искусственное происхождение.

Вышеизложенные результаты показывают, что выявленные изменения геосистем, как правило, имеющие необратимый характер, можно рассматривать как их антропогенную эволюцию.

Литература

1. Агроэкология / Под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. М., 2000.
2. **Андрушко С. В., Гусев А. П.** Ландшафтно-экологический анализ антропогенной эволюции геосистем локального уровня // Геоэкологические и географические проблемы современности. Вып. 11. Владимир, 2009. С. 15–17.
3. **Гусев А. П., Андрушко С. В.** Ландшафтно-экологический анализ антропогенной динамики геосистем модельного района Волотова (Гомель) // Природные ресурсы. 2010. № 1. С. 65–72.
4. Ландшафты Белоруссии / Г. И. Марцинкевич [и др.]; под ред. Г. И. Марцинкевич и Н. К. Клицуновой. Минск, 1989.
5. Памяць: Гіст.-дакум. хроніка Гомеля. У 2 кн. Кн. 1. Мінск, 1998.
6. **Розанов Л. Л.** Теоретические основы техногеоморфологии. Гомель, 1990.
7. **Steinhard U.** Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation / U. Steinhard, F. Herzog, A. Lausch, E. Muller, S. Lehmann // Environmental Induces – System Analysis Approach. Oxford: EOLSS Publ., 1999. P. 237–254.

Гомельский государственный университет

А. П. Гусев, С. В. Андрушко

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АНТРОПОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ ГЕОСИСТЕМ ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ (НА ПРИМЕРЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЙМЫ В ЧЕРТЕ г. ГОМЕЛЯ В XIX–XXI вв.)

Антропогенная эволюция геосистем локального уровня рассматривается при помощи показателей структуры землепользования, трансформации рельефа и гидросети. Ландшафтно-экологический анализ геосистем поймы проводился на трех временных срезах: 1838 г., 1947 г., 2005 г. Для каждого временного среза рассчитывались ландшафтно-экологические индексы (коэффициент экологической стабильности и индекс хемеробности), площадь техногенных форм рельефа, площадь техногенных грунтов, площадь застройки).

Установлены значительные изменения структуры землепользования и показателей антропогенной трансформации, вызванные увеличением территории города и строительством, особенно во второй половине 20 века. Интенсивное антропогенное воздействие вызвало активизацию экзогенных геологических процессов: эоловых и водно-эрозионных. К 2005 г. на 1/3 части территории района отмечены необратимые эволюционные изменения, обусловленные преобразованием морфолитогенной основы. Анализ многолетних изменений структуры землепользования позволил установить существенную степень трансформации русла реки Сож.

A. P. Gusev, S. V. Andrushko

LANDSCAPE-ECOLOGICAL ANALYSIS OF ANTHROPOGENIC EVOLUTION OF GEOSYSTEMS OF LOCAL LEVEL (BY THE EXAMPLE OF FLOODPLAIN CHANGES IN THE BOUNDARIES OF GOMEL CITY IN XIX–XXI CENTURIES)

Anthropogenic evolution of geosystems of local level is examined with the help of structure of land use and transformation of a relief and a river network. Landscape-ecological analysis of floodplain geosystems was based on three temporal terms: 1838, 1947, 2005. For each temporal terms landscape-ecological indexes (coefficient of ecological stability and hemeroby-index), the area technogenic forms of a relief, the area technogenic grounds, the area of building paid off.

Considerable changes of the structure of land use and indices of anthropogenic transformation were determined. They were caused by the expansion of the city territory and building, especially in the second half of the XX century. Intensive anthropogenic influence caused activation of exogenous geological processes: deflation and erosion. By the year 2005 irreversible (evolutionary) changes, caused by transformation of relief and ground, were marked on the 1/3 part of the territory. The analysis of long-term changes of the land use structure has allowed to determine considerable degree of transformation of river-bed Sozh.