



ГЕОГРАФИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 1. С. 4–12

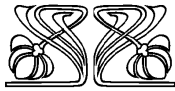
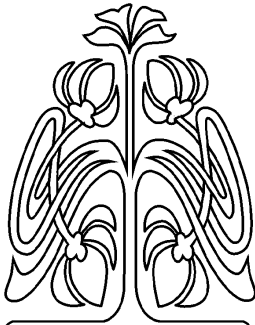
Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2025, vol. 25, iss. 1, pp. 4–12

<https://geo.sgu.ru>

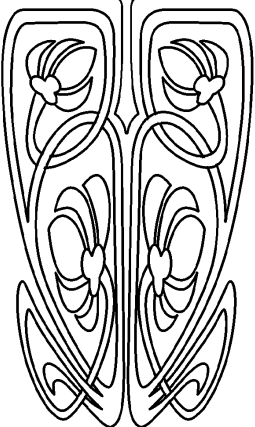
<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-1-4-12>, EDN: CAFRDU

Научная статья

УДК 911.9



**НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ**



Интегрированная модель оценки экологической функции долинных комплексов по очистке поверхностного стока

А. Н. Башкатов

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Башкатов Александр Николаевич, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и ландшафтной экологии, albionrha@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3759-1353>

Аннотация. Рассматриваются методологические аспекты оценки городской территории на основе интеграции бассейновой, векторной, ландшафтно-геохимической и эколого-функциональной моделей. В качестве объекта исследования был выбран Токмаковский овраг, расположенный на южной окраине г. Саратова. Долина оврага представляет собой типичный элемент ландшафтной структуры Приволжской возвышенности и сохранила традиционные формы природопользования. Проведённый структурно-функциональный анализ модельного долинного комплекса показывает возможность использования свойств эрозионной сети для сбора и очистки поверхностного стока. Разработана пространственная схема размещения биологических компенсаторов на основе существующего каскада прудов. Также предложено градопланировочное решение по организации рекреационных зон в верховьях водосборного бассейна, районах многоэтажной застройки и в месте впадения русла Токмаковского ручья в Волгоградское водохранилище.

Ключевые слова: долинные комплексы, экологическая функция, ландшафтное планирование, поверхностный сток, природоподобные технологии

Для цитирования: Башкатов А. Н. Интегрированная модель оценки экологической функции долинных комплексов по очистке поверхностного стока // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 25, вып. 1. С. 4–12. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-1-4-12>, EDN: CAFRDU

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Integrated model for assessing the ecological function of valley complexes for surface runoff treatment

A. N. Bashkatov

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Aleksandr N. Bashkatov, albionrha@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3759-1353>

Abstract. The article discusses the methodological aspects of urban area assessment based on the integration of basin, vector, landscape-geochemical and ecological-functional models. Tokmakovsky ravine, located on the southern outskirts of Saratov, was chosen as the object of research. The valley of the ravine is a typical element of the landscape structure of the Volga upland and has preserved traditional forms of nature management. The structural and functional analysis of the model valley complex shows the possibility of using the properties



of an erosion network for collecting and cleaning surface runoff. A spatial scheme for the placement of biological compensators based on the existing cascade of ponds has been developed. A town planning solution has also been proposed for the organization of recreational areas in the upper reaches of the catchment area, areas of multi-storey buildings and at the confluence of the Tokmakovsky Creek into the Volgograd reservoir.

Keywords: valley complexes, ecological function, landscape planning, surface runoff, nature-like technologies

For citation: Bashkatov A. N. Integrated model for assessing the ecological function of valley complexes for surface runoff treatment. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2025, vol. 25, iss. 1, pp. 4–12 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2025-25-1-4-12>, EDN: CAFRDU

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Проблематика оценки экологических функций

Одной из наиболее актуальных проблем города является производственное и коммунально-бытовое загрязнение поверхностного стока. Источники техногенного загрязнения бывают точечными (свалки, сбросы сточных вод, ливневой канализации), площадными (замусоренные пустыри, жилые массивы с недостаточной очисткой дворовых пространств, промышленно-складские территории) и линейными (транспортные коммуникации). Мониторинг загрязнения природных сред, осуществляемый природоохранными ведомствами, учитывает прежде всего локальные источники (сбросы сточных вод, официальные свалки). Однако, принимая во внимание санитарно-гигиеническое состояние всей территории российских городов, обилие неофициальных микросвалок представляется совершенно необходимым учитывать влияние плоскостного смыва, достигающего 70% от общего объема загрязнения поверхностных вод [1]. Перспективный метод компенсации такого загрязнения – биологическая переработка и нейтрализация. Эта задача решается с помощью технологии биоплато – искусственных участков обводнённых земель с высаженными на них водными растениями. Технология основана на использовании природных внутриводоемных процессов, в частности, способности высшей водной растительности, водной микрофлоры и микроорганизмов извлекать растворённые в воде органические вещества, минеральные соли, ионы тяжёлых металлов и нефтепродукты с образованием нерастворимых комплексных соединений [2, 3]. Биоплато в виде сочетания каскада почвенных фильтров с открытыми и подземными потоками должны проектироваться с учётом мощности и направления техногенного воздействия. При этом можно использовать долинную сеть как естественную рельефную базу для размещения биокомпенсаторов, так как схема очистки поверхностного стока напрямую зависит от взаиморасположения источников загрязнения и основных путей движения поверхностного стока.

В настоящей статье рассмотрена концептуальная схема оценки экологической функции речной долины по очистке поверхностного стока на территории крупного промышленного города. При этом решены следующие научно-методические задачи:

- 1) проведено районирование территории водосборного бассейна по условиям миграции химических элементов и типам землепользования;
- 2) построена векторная схема распространения техногенного загрязнения в жидкой фазе; выявлены техногенные факторы, влияющие на перенос и накопление загрязняющих веществ; картированы площадные источники загрязнения поверхностных и грунтовых вод, зоны аккумуляции и направления переноса загрязнения;
- 3) определены модульные и векторные значения загрязнения поверхностных вод от площадных источников;
- 4) выявлены естественные и искусственные геохимические барьеры, а также зоны переноса и накопления техногенных загрязнений;
- 5) предложена пространственная схема размещения биокомпенсаторов.

Для анализа потенциальной способности эрозионной сети к выполнению компенсаторной экологической функции был выбран модельный долинный комплекс – Токмаковский овраг, расположенный в южной части г. Саратова.

Интегрированная модель: принципы конфигурации, цели и возможности

Разработанная в ходе настоящего исследования модель является геокомплексной моделью структурно-функционального характера. Она отображает как структуру природной и инженерно-технической подсистем, так и обменные процессы между ними.

Целями создания модели определены: ландшафтно-геохимическое и эколого-функциональное районирование территории водосборного бассейна, анализ векторных и модульных значений влияния площадных источников техногенного загрязнения на поверхностный сток, инвентаризация естественных и выработка рекомендаций по размещению искусственных биокомпенсаторов. Операционным пространством является водосборный бассейн, дренируемый исследуемым долинным комплексом. Это обосновывается тем, что в пределах водосборного бассейна находятся как парадинамический комплекс, так и каскадная ландшафтно-геохимическая система,



определяющие основные процессуально динамические характеристики ландшафта [4].

Структура интегрированной модели

Конфигурация интегрированной модели определяется задачами структурно-функционального анализа, т. е. выявление свойств парадинамической системы «водосборный бассейн – долинный комплекс», способных влиять на сбор и компенсацию техногенного загрязнения поверхностных вод. Интегрированная модель состоит из бассейновой, векторной, ландшафтно-геохимической и эколого-функциональной моделей.

Бассейновая модель. В качестве пространственной основы заложена бассейновая модель. Этот выбор продиктован следующими соображениями.

1. Свойством бассейновой модели учитывать горизонтальные связи в геосистемах. Именно по горизонтальным связям в основном передается техногенное загрязнение в водной среде. Поэтому компенсация техногенного воздействия, потенциально реализуемая эрозионной сетью, должна учитываться в пределах «поля распространения» техногенных загрязнителей в жидкой фазе, т. е. водосборного бассейна.

2. Делимитация территории по бассейновому принципу облегчает процесс создания и организации баз географических и экологических данных.

3. Бассейновая модель легко сопрягается и дополняется ландшафтно-геохимической и парадинамической концептуальными моделями.

4. Долинные комплексы являются главным «транспортным коридором» бассейновой ячеи урбогеосистемы и анализ их способности к переносу загрязняющих веществ возможен лишь на основе балансовых расчетов массоэнергопоток в водосборном бассейне.

Векторная модель. Для уяснения условий распространения поверхностного загрязнения в пределах бассейна, дренируемого исследуемым долинным комплексом, необходима модель, отображающая «вектор техногенного воздействия». Такой моделью может стать карта кривизны земной поверхности, показывающей сочетание плоских, вогнутых и выпуклых поверхностей и тем самым условий для накопления, удаления или транзита жидкого и твердого стока. Данная карта может быть названа картой геохимически открытых (выпуклых поверхностей), полузакрытых (плоские, горизонтальные, ровные поверхности) и закрытых (вогнутые поверхности) местоположений. Бассейновая и векторная пространственные модели дополняются ландшафтно-геохимической и эколого-функциональной моделями с целью анализа взаимного расположения мелиорирующих и детериорирующих урболошафтных участков

в каскадной ландшафтно-геохимической системе [5].

Ландшафтно-геохимическая модель отображает структуру каскадной ландшафтно-геохимической системы в пределах водосборного бассейна. С ее помощью выявляется расположение элювиальных, трансэлювиальных, элювиально-аккумулятивных и супераккумулятивных местоположений. Совмещение ландшафтно-геохимической карты с картой поверхностного стока даёт синтетическую карту, отображающую размещение зон сноса и накопления вещества, а также направления массоэнергопереноса.

В ландшафтно-геохимическом отношении элементарная ландшафтно-геохимическая система (ЭЛГС) – это территория, в пределах которой качественный и количественный состав, а также скорость миграционных потоков элементов между компонентами ландшафта обладает сходством в той степени, в какой это обеспечивает единообразие структуры и функционирования данной ландшафтно-геохимической системы на всем занимаемом ею пространстве. В пределах ЭЛГС обратные геохимические связи между компонентами ландшафта (блоками системы) более интенсивны, чем внешние геохимические связи данной ЭЛГС в целом с другими ландшафтно-геохимическими системами [6]. Водосборный бассейн районирован по типам ЭЛГС соответственно по условиям миграции химических элементов.

Ландшафтно-геохимическая модель состоит из карты геохимического районирования территории бассейна и схемы каскадной ландшафтно-геохимической системы концентрации. Критерий для выделения – форма и углы наклона поверхности. Автономные элювиальные ландшафты располагаются на плоских и слабывпуклых водоразделах с углами наклона поверхности от 0 до 3 градусов, трансэлювиальные – на выпуклых частях склонов, трансаккумулятивные – на вогнутых частях склонов. Основанием к выделению различных типов геохимических ландшафтов послужили карты глубины залегания грунтовых вод, распределения зон денудации и аккумуляции, направления векторов поверхностного стока, карта рельефа.

Эколого-функциональная модель показывает размещение основных функциональных зон (жилая застройка, промышленные площадки, садово-дачные участки, естественная растительность), техногенных сетей (автомобильные и железные дороги). Она позволяет получить картину пространственного размещения источников техногенного загрязнения и искусственных факторов, влияющих на их распространения. При совмещении ландшафтно-геохимической и эколого-функциональной моделей может быть рассчитана градостроительная нагрузка на каждый тип ЭЛГС в процентном отношении площади



различных видов функционального использования территории к площади типа ЭЛГС. Эколого-функциональная модель показывает площадные и линейные объекты, сгруппированные по функциональному признаку и оказываемому экологическому эффекту [5].

Методические процедуры и этапы структурно-функционального анализа

Выполнение задач структурно-функционального анализа осуществляется поэтапно.

1. Создаётся интегрированная модель путём совмещения бассейновой, векторной, ландшафтно-геохимической и эколого-функциональной моделей.

2. Производится подсчёт распределения площадей различных функциональных зон по типам геохимических ландшафтов. Он необходим для предварительной оценки распределения градостроительной нагрузки по территории бассейна. Отношение суммарной площади участков различного землепользования к площади геохимических ландшафтов и площади всего бассейна показывает «нагрузку» всего бассейна в целом и «мобильность», «подвижность» этой нагрузки.

3. Выделяются оценочные полигоны и механические барьеры, по которым строятся урболандшафтные профили. Критериями к выделению оценочных полигонов являются: наличие геохимических барьеров искусственного и естественного происхождения, расположенных по тальвегу долины; наличие значительных по площади, пространственно обособленных функциональных зон. В качестве геохимических барьеров обычно выступают инженерно-строительные сооружения, препятствующие поверхностному стоку на большом протяжении, изолирующие отдельные части водосборного бассейна. Как правило, это крупные дорожные сооружения, имеющие насыпь под дорожным полотном и соответствующее дренажное оборудование. Дренаж имеет слив в естественную эрозионную сеть, и поверхностный сток с территории одного изолированного участка соединяется с поверхностным стоком другого только через тальвег основного эрозионного элемента. Кроме того, крупные транспортные коридоры, как правило, выполняют пограничную функцию в градопланировочной структуре города и отделяют функциональные выделы различной размерности и функционального назначения. В этом случае можно говорить о функциональной цельности геохимически автономных участков. Оценка экологического состояния водосборного бассейна можно проводить в пределах составляющих его оценочных полигонов, функционально и геохимически обособленных.

4. В пределах оценочного полигона выделяются урболандшафтные участки. По положению урболандшафтного участка в геохимической

катене определяется геохимическая соподчиненность различных функциональных зон. Каждому урболандшафтному участку присваивается индекс, отображающий характер и мобильность оказываемого им экологического эффекта. Вычисляется площадь урболандшафтных участков, относящихся к различным функциональным зонам и находящихся в различных геохимических местоположениях. Этот показатель характеризует объем техногенного загрязнения городской территории и его подвижность.

5. Оценка техногенной нагрузки на оценочные полигоны производится путём суммирования векторных и модульных значений урболандшафтных участков по урболандшафтным профилям. В качестве модульного значения урболандшафтного участка принимается его площадь.

6. Разрабатывается схема размещения биокомпенсаторов.

Оценка экологической функции Токмаковского долинного комплекса по компенсации загрязнения поверхностного стока

Токмаковский овраг расположен на южной окраине Заводского района г. Саратова и является потенциальным элементом ландшафтно-экологического каркаса города. Для оценки экологических функций долинного комплекса были проведены следующие действия.

1. Создание географической информационной системы, включающей в себя электронные карты бассейновой, векторной, ландшафтно-геохимической и эколого-функциональной моделей. Схема конфигурации ГИС описана выше.

2. Подсчёт распределения углов наклона территории Токмаковского бассейна. Наибольшие величины поверхностного стока приходятся на восточный склон Лысогорского плато. Почти половину площади бассейна (46%) занимают поверхности с наклоном до 3 градусов, что позволяет предположить, что поверхностный сток с них будет минимальным или вообще отсутствовать при недостаточном увлажнении. Поверхности с наклоном больше 3 градусов занимают 48% площади бассейна, почти половину, и именно с них происходит основной смыв загрязнителей. Днище долины имеет в основном слабый наклон (около 3 градусов), но в нем происходит аккумуляция наносов с почти половины территории бассейна.

3. Характеристика геохимической структуры Токмаковского бассейна. Общая площадь бассейна Токмаковского оврага составляет 8.6 кв. км. Площадь автономных элювиальных ландшафтов составила 2.3 кв. км (27%), трансэлювиальных – 3.4 (40%), трансаккумулятивных – 2 (23%) и супераккумулятивных – 0.9 (10%) кв. км.

4. Подсчёт распределения типов землепользования по типам элементарных геохимических



ландшафтов. В целом на территории бассейна наблюдается следующая картина. Промышленная зона расположена преимущественно на водораздельных поверхностях как наиболее выгодных по инженерно-геологическим условиям. Жилая застройка занимает оставшиеся площади водоразделов Приволжской котловины и их склоны. Садово-дачные массивы приурочены к склонам, а естественная растительность занимает поверхность и крутые склоны в верховьях бассейна.

5. Выделение оценочных полигонов. Для Токмаковского модельного бассейна были выделены следующие оценочные полигоны.

Первый оценочный полигон. Верхняя часть бассейна, включает в себя поверхность Лысогорского плато, входящую в бассейн Токмаковского оврага, залесенное ущелье на восточном склоне плато и всю территорию бассейна выше автодороги Саратов-Волгоград. Это наименее измененная часть бассейна, большую ее часть занимают лесные массивы и садово-дачные участки. Площадь полигона 2.2 км².

Второй оценочный полигон. Комсомольский поселок – его границы определяются двумя геохимическими барьерами: сверху – автодорогой Саратов – Волгоград, снизу – железной дорогой. В основном территория занята малоэтажной усадебной застройкой, не оборудованной организованным сбором и вывозом бытового мусора и канализацией. Отсутствует также система ливневой канализации. На элювиальных поверхностях южного водораздела располагается микрорайон комплексной средне- и многоэтажной застройки. На аналогичных поверхностях северного водораздела находятся складские комплексы и не функционирующий песчаный карьер, на дне которого разместились гаражные кооперативы. Площадь полигона 1.85 км².

Третий оценочный полигон начинается от железной дороги и заканчивается по линии правого отворшка Токмаковского оврага, продолжаясь вдоль пр-та Энтузиастов. Они пересекаются в притальвежной части оврага, образуя сетевой узел смешанного генезиса. По ним проходит граница смены функциональных зон с жилой на садово-дачную и с жилой на промышленную (бывший аэродром авиационного завода). Площадь полигона 2.0 км².

Четвертый оценочный полигон – нижняя часть бассейна, характеризуется яркой асимметрией функционального использования. Его северная часть занята в основном бывшим аэродромом авиационного завода, по периметру которого расположены садовые участки, небольшие склады и отстойники-накопители городской канализации. Довольно крутой (около 10 градусов) склон северной экспозиции южного водораздела занят садово-дачными участками и крупным парком. По склону также проходит автодорога «пр-т Энтузиастов», но здесь она пролегает перпендикулярно к вектору стока, преодолевается

ливневыми и паводковыми водами по системе перепускных дренажей и геохимически не изолирует одну часть склона от другой. В верхней части южного водораздела расположен нефтеперерабатывающий завод и прилегающий к нему жилой массив среднеэтажной застройки. Площадь полигона 2.6 км².

Кроме того, в бассейне выделяются три крупных механических геохимических барьера: автодорога Саратов – Волгоград, железная дорога и лучи сетевого узла «пр-т Энтузиастов – правый отворшек Токмаковского оврага».

6. Выделение урболандшафтных участков. На территории Токмаковского бассейна было выделено 346 урболандшафтных участков, относящихся к основным функциональным зонам (жилой, промышленной, сельскохозяйственной и «природной зелёной»). Создана электронная карта урболандшафтной делимитации бассейна, где каждый урбо-ландшафтный участок (УЛУ) проиндексирован по своей функциональной принадлежности и местоположению в геохимической катене.

7. Построение урболандшафтных профилей. Для построения схемы вертикальной структуры Токмаковского бассейна на трехмерной цифровой модели рельефа была заложена нерегулярная сеть профилей. Один в продольном направлении (по тальвегу оврага), 7 поперечных по ключевым участкам и 3 по геохимическим барьерам. Урболандшафтные профили, проходящие по оценочным полигонам, отображают наиболее характерные для них функциональные выделы (крупные жилые массивы, промышленные зоны, особо опасные источники загрязнения поверхностных вод, садово-дачные кооперативы, обширные участки естественной растительности), определяющее экологическое состояние как всего полигона, так и долинного комплекса. Геохимические барьеры трассируются на всём протяжении.

Анализ ландшафтно-экологической ситуации на территории оценочных полигонов

Первый оценочный полигон наименее освоен с инженерно-строительной точки зрения и наиболее экологически благополучен. Всего на территории этого полигона было выделено 47 УЛУ. Вдоль автодороги Саратов – Волгоград, служащей нижней границей этого оценочного полигона, расположены автотранспортные предприятия, ремонтные мастерские и склады. Основные загрязнения поверхностных вод исходят от этих предприятий и представляют собой нефтепродукты. Они скапливаются в дренажном коллекторе автодороги и оттуда попадают в верховья Токмаковского оврага. Необходима локальная система очистки ливневой канализации, объединяющая все эти предприятия и ориентированная прежде всего на очистку нефтепродуктов.



На территории *второго оценочного полигона* расположен Комсомольский посёлок. Здесь было выделено 28 УЛУ, в основном жилая застройка усадебного типа. Экологический эффект, оказываемый усадебной застройкой, неоднозначен. С одной стороны, наличие внутривдворового озеленения благоприятно влияет на микроклимат территории, с другой стороны, отсутствие централизованного вывоза бытового мусора и канализации обуславливает загрязнение территории неофициальными свалками и сточными водами. Большая часть усадебной застройки расположена в геохимически малоподвижных зонах – автономной элювиальной и трансаккумулятивной. Долина оврага занята кустарниковыми зарослями и огородами. На этом участке она ранее выполняла функции общественного парка в сельском варианте. Загрязнение её незначительное. Гаражи в песчаном карьере представляют наибольшую опасность. Карьер выработан в сеноманском водоносном горизонте и горючесмазочные материалы могут распространяться по нему на значительные расстояния. Таким образом, правая часть этого участка в целом экопозитивна, а левая – наоборот. В долине оврага расположены пруды, на основе которых могут быть организованы биокомпенсаторы. Загрязнения из песчаного карьера не могут быть «перехвачены» в долине оврага, так как уходят сразу в грунтовые воды.

На юго-западном водоразделе расположен многоэтажный микрорайон. Плотность населения, насыщенность территории коммунальной инфраструктурой в условиях многоэтажной застройки гораздо выше, чем при усадебной застройке, и поверхностный сток загрязнен гораздо выше. К этому следует добавить дефицит озеленения в данном районе. Многоэтажный микрорайон находится на плоском водоразделе, в условиях автоморфности геохимических процессов. Загрязнения от многоэтажного микрорайона частично переносятся с поверхностным стоком в долину оврага, а частично в результате инфильтрации попадают в сеноманский водоносный горизонт, область разгрузки которого приходится на участок оврага выше железной дороги. На этом участке необходима организация биоплато.

На территории *третьего оценочного полигона* в основном располагаются массивы среднеэтажной застройки, а также часть крупного машиностроительного предприятия – подшипникового завода. Было выделено 77 урболандшафтных участков. Перепад высот между юго-западным водоразделом и тальвегом Токмаковского оврага достигает 40 м на расстоянии менее километра, и геохимическая палитра представлена здесь в полном объёме – от автономных элювиальных ландшафтов до супераквальных. На территории участка присутствуют различные

морфотипы жилой застройки, крупный подшипниковый завод, большие массивы садово-дачных участков. По правому водоразделу и склону бассейна расположен крупный микрорайон среднеэтажной застройки, один из четырех на данном участке. В нижней части склона находится крупный массив садово-дачных участков. Он примыкает вплотную к оврагу, занимая и его долину. На противоположной стороне от оврага, на месте засыпанного левого отвержка, построено несколько девятиэтажных домов.

Четвертый оценочный полигон. Здесь было выделено 183 урболандшафтных участка. По правому водоразделу расположен большой массив среднеэтажной застройки. Правый склон занят садово-дачными участками. Долина оврага заполнена лесо-кустарниковой растительностью с включением огородов. На левом склоне находятся отстойники городской канализации, гаражно-строительные кооперативы, складские предприятия. Левый водораздел и верхняя часть склона заняты пустырем на месте испытательного аэродрома бывшего авиационного завода. В прибрежной части находятся пос. Князевка и Лесопильный, а также садовые участки.

Суммируя данные, полученные в результате структурно-функционального анализа оценочных полигонов, можно прийти к следующим выводам.

1. На территории Токмаковского водосборного бассейна существуют четыре отдельные области водосбора, связанные однонаправленным переносом техногенных загрязнителей. Характер и подвижность площадного загрязнения зависят от распределения различных функциональных зон по типам геохимических ландшафтов.

2. Оценка градоэкологической ситуации на территории оценочных полигонов позволяет провести их ранжирование. Наиболее благополучно положение в верхней части бассейна (первый оценочный полигон). Здесь необходима очистка стока с небольшой площади транспортно-складских предприятий, расположенных вдоль автомагистрали. Следующим по степени экологического благополучия является территория четвертого оценочного полигона – нижней части бассейна, несмотря на то, что большая часть территории отнесена к промышленной зоне. Однако в данном случае необходимы иссушение и санация иловых площадок – отстойников городской канализации, так как периодические утечки из них серьёзно влияют на экосистему долины. Средняя часть бассейна находится в наиболее сложном положении (второй и третий оценочные полигоны). Территорию бассейна здесь пересекают транспортные магистрали, между которыми расположены жилые районы, крупные промплощадки, несколько АЗС, гаражно-строительные кооперативы и т. п. Второй оценочный полигон занят в основном жилой застройкой, причем по большей части усадебного



типа, поэтому здесь, прежде всего, необходима компенсация азотных и фосфорных соединений. Третий оценочный полигон в основном занят многоэтажной жилой застройкой и промплощадками. Экологическая ситуация здесь наиболее сложная.

Естественная очистка поверхностного стока

На завершающем инвентаризационную стадию этапе геоэкологического анализа необходимо оценить компенсационный потенциал самого долинного комплекса как конечного звена каскадной ландшафтно-геохимической системы. Компенсационный потенциал складывается из способности внутренних элементов долинного комплекса к фильтрации, поглощению и депонированию техногенного загрязнения поверхностного стока. Такими элементами могут быть искусственные фильтры, участки растительности, водоёмы, депонирующие среды (илы и почвы). На сегодняшний момент в отношении Токмаковского оврага возможно лишь выявить водоёмы и растительные ассоциации, расположенные на путях движения техногенного загрязнения и потенциально способные к выполнению компенсаторной функции. Для анализа их распределения на всём протяжении водосборного бассейна были построены два продольных профиля, отображающих структуру бассейна и долинного комплекса.

Более половины протяжения тальвежной линии бассейна приходится на подтопленную территорию, соответствующую супераквальному типу ландшафтно-геохимических систем. Это значит, что накопление загрязняющих веществ происходит здесь при участии не только поверхностного, но и грунтового стока. Супераквальный режим формирования почв дна долины присутствует почти на всём протяжении оврага, на территории наиболее интенсивно экологически нагруженных оценочных полигонов.

Практически вся долина занята естественной и культурной растительностью, искусственными водоёмами. Анализ функционального использования различных участков долины в их суперпозиции с функциональным использованием оценочных полигонов показывает следующие результаты.

Характер функционального использования долины на 1-м участке в целом соответствует окружающей усадебной застройке. Долина занята лесостепными зарослями с включениями огородов, есть три небольших чистых пруда. На этот отрезок оврага приходится поверхностный сток с Комсомольского посёлка, грунтовый сток из песчаного карьера, занятого гаражами, и часть стока с автодороги Саратов – Волгоград. Общее экологическое состояние долины оврага в пределах 1-го участка довольно благополучное, растительность не угнетена,

долина не замусорена. Предварительное заключение: 1-й участок долины Токмаковского оврага может быть включен в состав ландшафтно-экологического каркаса с целью выполнения компенсаторной, транспортной, биопродуктивной, рекреационной и эстетической функций.

На 2-м участке долина оврага представляет собой разительный контраст с окружающей территорией – она образует как бы зелёный коридор среди многоэтажных домов и цехов заводов. Массивы садово-дачных участков приурочены к склонам восточной экспозиции и вплотную примыкают к долине оврага. Они отделяют многоэтажные жилые районы от долины и принимают на себя большую часть загрязнения поверхностного стока. Здесь сформировалось два участка с критической экологической ситуацией и оба связаны с прудами. Первый пруд возник стихийно, в результате засорения перепускного коллектора под ул. Азина. Как следствие этого, в зоне подтопления оказались несколько 9-этажных домов, построенных на месте засыпанного отвёржка оврага. Второй пруд существовал давно и служил для полива прилегающих садов и огородов. Однако в результате неорганизованного накопления мусора в долине оврага его санитарно-гигиеническое состояние стало критическим. В целом экосистема долинного комплекса на 2-м участке почти полностью разрушена. Однако отдельные ландшафтно-экологические функции Токмаковский овраг может выполнять и здесь. Необходимы санация прудов, строительство грамотного дренажа, озеленительные мероприятия. Последние особенно актуальны для района с выраженным дефицитом рекреационных пространств и обилием жилой застройки.

Устьевого, 3-й участок долины Токмаковского оврага в наименьшей степени подвергся градостроительному освоению. Здесь сохранились массивы естественного озеленения с небольшими по площади включениями огородов. Однако присутствие на четвертом оценочном полигоне бассейна оврага отстойников городской канализации исключает использование долины оврага для рекреационных целей. В случае их ликвидации и санации территории возможно использовать экосистему долины для выполнения практически всех ландшафтно-экологических функций.

Рекомендации по размещению биокомпенсаторов в долине Токмаковского оврага

Основным практическим результатом структурно-функционального анализа бассейна Токмаковского оврага стала выработка рекомендаций по строительству в долине каскада биокомпенсаторов в виде биопрудов, бьефов и почвенных фильтров. При этом необходимо использовать в качестве биокомпенсаторов существующие пруды и участки естественной растительности.



В результате проведённой оценки распределения площадных и линейных источников загрязнения можно составить в первом приближении схему размещения биокомпенсаторов (рисунок). Схема, приведенная на рисунке, отображает пространственные характеристики и не включает в себя качественные характеристик. Биокомпенсаторы расположены на узлах пересечения направлений техногенного воздействия.

1-й биокомпенсатор предполагается организовать на основе каскада прудов в верхней части долины. Он должен очищать загрязнения, смываемые с территории окружающего жилого массива, а также часть загрязнения с верхней части бассейна. Суммарная площадь водоёмов составляет около 1 га. Пруды окружены лесостарниковыми зарослями, камышами, огородами. В целом этот участок долины оврага ещё лет 20–30 назад довольно активно использовался местным населением в качестве рекреационной и сельскохозяйственной зон.

2-й биокомпенсатор может быть организован в районе пересечения Токмаковского оврага с ул. Азина. На нём должны очищаться прежде всего загрязнения с прилегающего района многоэтажной застройки и автотранспортного предприятия, расположенного по линии оврага вдоль железной дороги. Кроме того, в 250 м западнее пересечения оврага ул. Азина в ручей слева через подземный коллектор осуществляется сброс сточных вод подшипникового завода. Поэтому

видовой состав биокомпенсатора должен быть ориентирован в первую очередь на очистку нефтепродуктов.

3-й биокомпенсатор необходимо разместить у границы оценочных полигонов № 3 и № 4 – пр-те Энтузиастов. Здесь концентрируются загрязнители поверхностного стока с территории двух районов среднеэтажной застройки, расположенных по склонам бассейна. Помимо этого бытовые стоки одного из районов с расходом более 150 л/с сбрасываются по коллектору. Видовой состав биокомпенсатора должен быть ориентирован на нейтрализацию нитратных и фосфатных соединений.

4-й биокомпенсатор предлагается разместить в устьевой части долины Токмаковского оврага. Он должен перехватывать загрязняющие вещества, прошедшие через вышестоящие биокомпенсаторы, и нейтрализовать утечки из отстойников городской канализации.

Суммарная площадь предполагаемых биокомпенсаторов в виде биопрудов составляет около 6,5 га. Площадь долины, потенциально свободной для строительства различного рода биокомпенсаторов, – около 30 га. Поэтому представляется целесообразным организация целой системы биокомпенсации загрязнения поверхностных вод, сочетающей почвенные фильтры, биопруды, древесную и кустарниковую растительность, прибрежные травянистые растения.

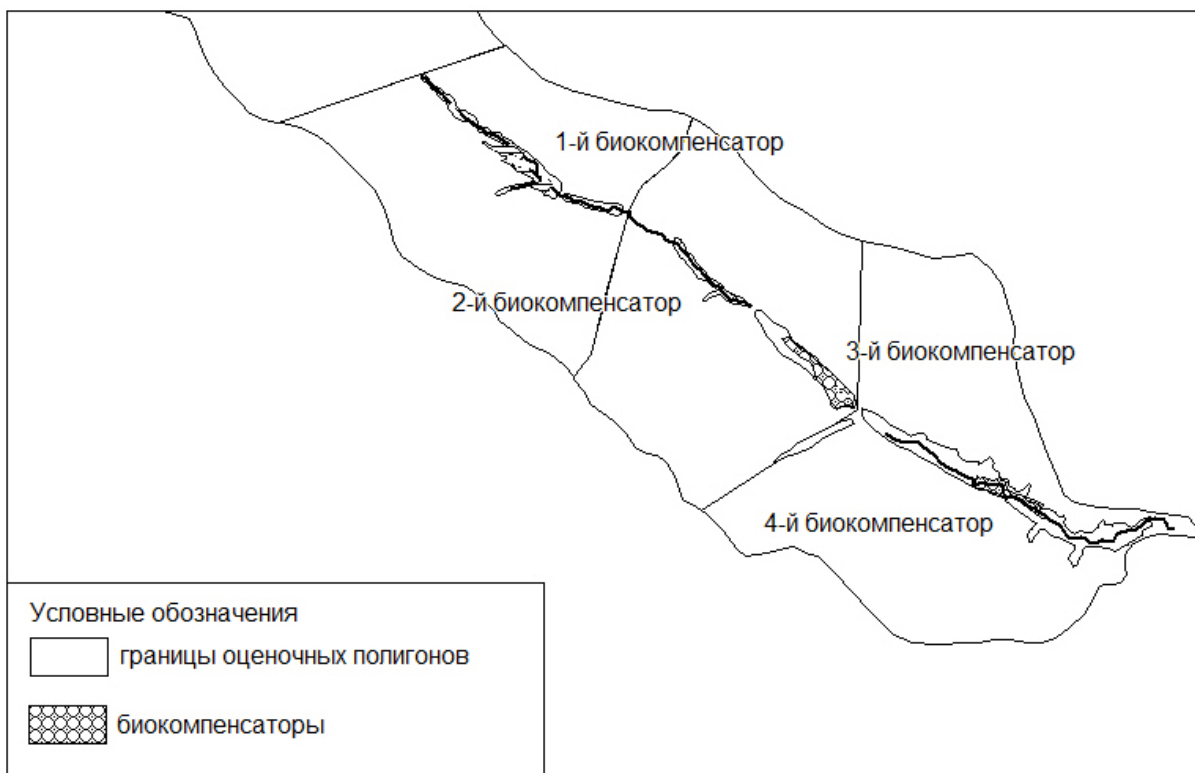


Схема размещения биокомпенсаторов в долине Токмаковского оврага



Выводы

Совмещение бассейновой, векторной, ландшафтно-геохимической и эколого-функциональных моделей позволяет осуществить оценку экологической функции компенсации техногенного загрязнения долинных комплексов.

Структурно-функциональный анализ модельного долинного комплекса показывает, что Токмаковский овраг обладает морфологическими, гидрологическими и биоценологическими свойствами, позволяющих в перспективе организовать очистку поверхностных вод с помощью биокомпенсаторов.

Библиографический список

1. Кононов В. А., Еремин В. Н., Артемьев С. А., Колодочка Б. А., Небесная В. Е., Гридасова А. В., Евграфова В. А., Чуваева Т. А., Семин А. Г., Мецзяков Ф. В., Мосияж С. А., Симбукова О. Л., Сомов А. Ю., Молоствовский Э. А., Киселева Н. П., Макаров В. З., Пролеткин И. В., Головкова Т. М., Устинова Г. В., Спеловская Е. Э. [и др.] Урбанизи-

- рованная территория как среда обитания человека (на правах Доклада о состоянии окружающей среды Саратова в 1997 году). Саратов : ИЦ «Добродя» ; ГП «Саратовтелефильм», 1998. 168 с. EDN: UKDJCF
2. Экологическая биотехнология / под ред. К. Ф. Форстера, Д. А. Вейда. Л. : Химия, 1990. 384 с. EDN: KCZPTJ
3. Вдовин Ю. И., Мальсанов Б. В., Рашевская И. В. Экологическое оздоровление водоёмов урбанизированных ландшафтов // Проблемы строительства, инженерного обеспечения и экологии городов / под ред. Ю. И. Вдовина. Пенза : Приволжский Дом Знаний, 2001. С. 63–66. EDN: RXCVOR
4. Лазарева И. В., Маевская В. Г. Охрана территориальных ресурсов градостроительства. Киев : Будівельник, 1986. 126 с. EDN: YBMNOH
5. Макаров В. З. Ландшафтно-экологический анализ крупного промышленного города. Саратов : Изд-во Саратовского университета, 2001. 178 с. EDN: WJQTRB
6. Глазовская М. А. Ландшафтно-геохимические системы и их устойчивость к техногенезу // Биогеохимические циклы в биосфере. М. : Наука, 1976. 386 с.

Поступила в редакцию 15.10.2024; одобрена после рецензирования 09.11.2024; принята к публикации 19.12.2024; опубликована 28.02.2025

The article was submitted 15.10.2024; approved after reviewing 09.11.2024; accepted for publication 19.12.2024; published 28.02.2025