

УДК 504.75 (476.5)

П. А. ГАЛКИН¹, А. Д. ЗУБОВ², Е. И. ГУТОР²

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОЭКОСИСТЕМЫ ВИТЕБСКА
В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

¹УО «Витебский государственный медицинский университет»,
г. Витебск, Республика Беларусь,
galkin-pasha@yandex.ru

²УО «Витебский государственный университет им. П. М. Машерова»,
г. Витебск, Республика Беларусь,

На примере Витебска излагается опыт оценки устойчивости геоэкосистемы города к техногенному загрязнению. Полученные данные могут быть положены в основу проведения комплексной оценки геоэкологической обстановки в Витебске, а также использованы в организации мониторинга этой обстановки.

Введение. В настоящее время в геоэкологических исследованиях предложено довольно большое количество методик по оценке устойчивости геосистем как в целом к техногенному воздействию, так и при воздействии отдельных техногенных факторов. Однако единой, универсальной методики не существует. Этот факт говорит о важности и в то же время сложности и проблематичности данной оценки.

По мнению Ю.А. Мамаева и М.Б. Куринова [1] устойчивость как результат взаимодействия геосистемы и внешних техногенных воздействий нельзя оценивать вообще, а только к конкретному воздействию. По А.М. Гарееву и А.В. Шакирову [2], оценка устойчивости геосистемы к техногенным воздействиям возможна при установлении связи: воздействие – изменение – последствия. Такой анализ позволяет установить *max* и *min* величины воздействия, за пределами которых располагаются области возможности устойчивого развития ландшафта или возникновения необратимых его изменений. Применительно к оценке влияния города, его инфраструктуры на окружающую природную среду отметим, что устойчивость урбанизированных ландшафтов (геоэкосистем) к техногенным воздействиям (преимущественно к загрязнению) будет зависеть, в первую очередь, от общих свойств их компонентов и специфических особенностей воздействия объектов инфраструктуры города, характера и интенсивности их функционирования. В составе природных наиболее существенными при оценке устойчивости являются взаимовлияющие и взаимозависимые факторы, отражающие особенности геологического строения, рельефа, гидролого-гидрогеологических условий, почвенного и растительного покрова и др. В свою очередь, устойчивость природных комплексов и их свойства следует рассматривать в двух аспектах с учетом вертикальных и горизонтальных связей. Они обусловлены взаимодействием следующих основных факторов:

1. Геологические условия, определяющие состав (скальные, дисперсные песчаные или глинистые) и свойства (водопроницаемость, размываемость, деформируемость и др.) грунтов и слагаемых ими толщ – показатели, демонстрирующие вертикальные связи в геосистеме.

2. Геоморфологические условия, являющиеся перераспределителем тепла и влаги и определяющие степень дренированности ландшафта, направление транзита веществ (рассеивание, сосредоточение, аккумуляцию). Основным показателем – углом наклона территории, характеризующий вертикальные и горизонтальные связи в геосистеме.

3. Эдафические условия – характеризуются увлажненностью, кислотностью (*pH*), содержанием солей, физическим состоянием почв. Влияют на скорость и направление миграции веществ. Основным показателем – содержанием гумуса в почвах, обуславливающий вертикальные связи в геосистеме.

4. Гидрогеологические условия, устанавливающие распространение и глубину залегания грунтовых вод – главного геохимического агента перераспределения химических элементов в земной коре. Основным показателем – глубиной залегания УГВ, определяет вертикальные и горизонтальные связи в геосистеме.

5. Биотические условия – характеризуются видовым составом и продуктивностью растительных сообществ, которые обеспечивают комфортность условий проживания людей в городе, регулируют газовый состав воздуха и его загрязненность, климатические характеристики, снижают шумовую нагрузку, способствуют защите ландшафта от эрозионных процессов и в целом определяют устойчивость ландшафтов к техногенному воздействию. Показатели – площадь (или степень) озеленения, видовое разнообразие зеленых насаждений, устанавливают горизонтальные связи в геосистеме.

Материал и методы исследований. На основе анализа имеющихся способов и методов отображения информации по данной проблеме для оценки устойчивости природной среды исследуемой территории к техногенным воздействиям (химическому загрязнению) авторами определен подход, в основе которого лежит использование двухрядных матриц с буквенно-цифровой индексацией для фиксирования учитываемых признаков районирования: отнесение таксона районирования к территориям с разной степенью устойчивости происходит по максимально неблагоприятным компонентам, выбираемым из общего числа признаков районирования. При этом основным содержанием карты остается оценка устойчивости природных комплексов территории (выделенных таксонов) к возможным техногенным воздействиям и отражение на ней основных пространственных закономерностей

распространения территорий с различной степенью природной устойчивости по трем градациям: высокой степени устойчивости, средней, низкой. Основа составления такой карты – карты инженерно-геологических условий, грунтовых толщ, геоморфологическая и другие специализированные карты.

Авторами разработана специальная цифровая картографическая модель, реализованная в пакете программ *SURFER*. Основой модели послужила карта инженерно-геологического районирования и типов геологической среды территории Витебска.

Результаты и их обсуждение. На созданной модели за нижнюю границу принят уровень грунтовых вод, за верхнюю – поверхность почвенного покрова. Кроме того, в состав информационной базы цифровой модели вошли блоки данных, характеризующие геолого-гидрогеологические и ландшафтно-геоморфологические условия, в том числе степень озеленения территории, рассматриваемые как основные факторы устойчивости природной среды города к химическому загрязнению.

Геолого-гидрогеологические условия. В качестве основного параметра устойчивости здесь выступает степень защищенности подземных вод от загрязнений, общая оценка которой основывается на учете так называемых факторов защищенности, под которыми понимаются барьеры различной природы, затрудняющие попадание в подземные воды поллютантов: 1) глубина залегания, 2) мощность и литологический состав покрывающих слабопроницаемых пород. Каждый фактор защищенности оценивается с помощью системы баллов. Интегральная оценка производится по среднему баллу с выделением следующих категорий: 1) защищенные, 2) относительно защищенные, 3) слабо защищенные и незащищенные.

Ландшафтно-геоморфологические условия. В пределах Витебска авторами выделен ряд элементарных ландшафтов, характеризующихся набором и определенным соотношением ведущих миграционных геохимических процессов: выноса, транзита, аккумуляции вещества, а также участием речных, грунтовых вод и верховодки [3]. Так, к водораздельным территориям в пределах, моренных и водноледниковых разновысотных равнин с плоскими, пологоволнистыми и мелкохолмистыми поверхностями приурочены *элювиальные* ландшафты, к склоновым поверхностям – *транселювиальные* ландшафты, сложенные, как и элювиальные, суглинками, супесями и песками. На приводораздельных террасовидных склонах возможно сочетание процессов слабого выноса и аккумуляции, поэтому такие поверхности отнесены авторами к *трансаккумулятивно-элювиальным*. Аналогичное положение наблюдается у надпойменных террас, плохо выраженных в рельефе и перекрытых чехлом делювиальных отложений. Довольно хорошо выделяются элементарные ландшафты водосборных воронок в верховьях балок и оврагов, ложбин стока талых ледниковых вод, формирующие в совокупности *транселювиально-аккумулятивные* ландшафты, которым свойственны сочетания процессов выноса, транзита и аккумуляции при некотором участии грунтовых вод или верховодки. Пологовогнутые седловины с процессами выноса и аккумуляции вещества отнесены к *элювиально-аккумулятивным* ландшафтам. Подножия склонов и конусы выноса оврагов и балок выделяются как *трансаккумулятивные* элементарные ландшафты, различающиеся между собой интенсивностью и направленностью миграционных процессов: в оврагах они сочетаются с преимущественным выносом, а в балках – с накоплением. Ландшафты речных пойм отнесены к *супераквальным*, как и болота, которые по характеру миграционных процессов на территории города целесообразно обозначить как *аккумулятивно-супераквальные* [3].

Выделенные по условиям рельефа элементарные ландшафты можно представить в виде каркаса территории города, определяющего структуру ее геохимических ландшафтов.

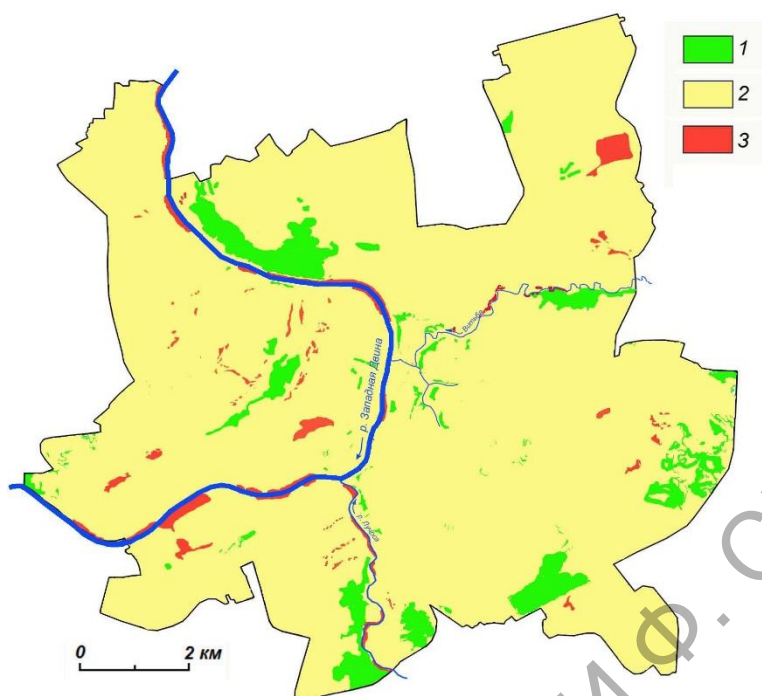
Степень озеленения территории. Для определения степени озеленения функциональных элементов города (парки, улицы, дворы и т.п.) использовался принятый в геоботанике метод глазомерной оценки. При этом площадь зеленых насаждений оценивалась с учетом архитектурно-

планировочной композиции функциональных элементов города и нормативных документов по благоустройству территорий и установлению правил проектирования и устройства озеленения. На основании данной оценки выделены следующие категории территорий: полностью или умеренно озелененная – общее проективное покрытие древесных растений составляет $> 50\%$ относительно площади, предназначенной для их посадки; малоозелененная – покрытие $25 - 50\%$ площади; полностью или почти неозелененная – покрытие $< 25\%$ площади.

Таким образом, изложенный подход к содержанию картографической модели предусматривает оценку верхней наиболее чувствительной к техногенному загрязнению части природной среды (геоэкосистемы) города, а сама реакция территории к воздействию связывается с различными условиями вертикальной и горизонтальной миграций загрязняющих веществ. Процедура оценки устойчивости на основе созданной цифровой картографической модели заключалась в разбиении качественных и количественных характеристик перечисленных факторов на группы. Каждый фактор первой группы оценивался в 3 балла, второй – в 2 балла, третьей – в 1 балл. Участку, обособленному по фактическому сочетанию ведущих факторов, присваивалась категория устойчивости, степень которой оценивалась по сумме баллов. Так, для территории Витебска характерны три типа геоэкосистем: с высокой степенью устойчивости с суммой в $18 - 15$ баллов; средней – в $14 - 8$ баллов; низкой – менее 8 баллов, каждый из которых отражен на карте соответствующим цветом. Полученная в результате схематическая карта устойчивости природно-технической геоэкосистемы Витебска к техногенному загрязнению отразила довольно пеструю картину (рисунок 1).

Территории с высокой степенью устойчивости к техногенному загрязнению приурочены к участкам типов геологической среды, где с поверхности залегают плотные и средней плотности моренные либо флювиогляциальные супесчано-суглинистые отложения. Эти участки локализуются в пределах пологоволнистой, местами холмисто-увалистой, конечно-моренной возвышенной равнины, пологоволнистых зандровых равнин право- и левобережья Западной Двины, и останцов отседания в правобережной части города, характеризуются распространением дерново-подзолистых, сильно- и среднеподзоленных, в некоторых случаях дерново-палевых подзолистых, супесчано-суглинистых почв. Глубина залегания грунтовых вод составляет 5 м и более. Условия геохимической миграции загрязняющих элементов в целом соответствуют элювиальным и трансэлювиальным ландшафтам, опасность загрязнения подземных вод на этих территориях маловероятна, диффузия загрязняющих веществ выражена слабо. В отношении функционально-планировочной структуры города подобные участки расположены в пределах территорий преимущественно ландшафтно-рекреационных зон: лесопарки, парки, лесные массивы и другие природные комплексы нехозяйственного назначения, с редкими элементами усадебного и дачного типа застройки.

Большая часть городских земель относится к категории среднеустойчивых. В их число вошли значительная часть территорий правобережной пологоволнистой моренной равнины и левобережной пологоволнистой конечно-моренной возвышенной равнины, сложенные с поверхности среднеплотными, среднепрочными, местами слабыми, моренными супесями и суглинками, перекрытые на отдельных участках маломощными слабоуплотненными верхнеплейстоцен-голоценовыми лессовидными и современными делювиально-пролювиальными, болотными и техногенными образованиями, и расположенный в северо-восточной части города участок слабоволнистой, местами плоской озерно-ледниковой низины, где с поверхности залегают средне- и слабоуплотненные поозерские озерно-ледниковые супеси, суглинки и ленточноподобные глины, перекрытые маломощными современными озерно-болотными образованиями. Почвенный покров здесь представлен преимущественно дерново-подзолистыми в разной степени оподзоленными, иногда дерново-подзолистыми заболоченными и дерново-карбонатными почвами.



Степень устойчивости: 1 – высокая; 2 – средняя; 3 – низкая

Рисунок 1 – Схематическая карта устойчивости геосистемы Витебска к техногенному загрязнению (составлена П.А. Галкиным).

Для этих территорий характерно частое развитие верховодки, встречающейся на глубинах от 0,5 до 2,0 м, и широкое распространение спорадических вод в верхних горизонтах моренных и озерно-ледниковых толщ, приуроченных к песчаным прослоям и линзам. Поверхностный сток слабый, проходит по слабо выраженным в рельефе линейным путям миграции. Условия геохимической миграции загрязняющих элементов здесь соответствуют элювиально-аккумулятивным и трансэлювиально-аккумулятивным ландшафтам. На подобных участках существует опасность развития процессов подтопления, заболачивания и диффузионного загрязнения подземных вод. В функционально-планировочной структуре города эти территории большей частью заняты промышленной, коммунально-складской и усадебно-дачной типами застройки с фрагментами озелененных территорий, а также новыми кварталами микрорайонов с многоквартирной жилой и общественной застройкой, возведенных за последние 15 – 20 лет (микрорайоны Билево, Фрунзе).

К среднеустойчивым отнесены территории задровых равнин правого и левого берега Западной Двины, сложенные с поверхности среднеплотными и среднечными поозерскими флювиогляциальными супесчано-песчаными отложениями, перекрытые слабоуплотненными современными делювиально-пролювиальными, болотными и техногенными образованиями. Здесь в почвенном покрове преобладают дерново-подзолистые слабо- и среднеподзоленные, местами заболоченные почвы. Рельеф плоский и пологоволнистый, осложненный овражными формами (особенно в левобережной части города) и заболоченными изометрическими понижениями. Уровни грунтовых вод устанавливаются на глубинах от 1 до 4 м. Поверхностный сток слабый, проходит по слабо выраженным в рельефе линейным путям миграции, возможно сочетание процессов слабого выноса и аккумуляции. Условия геохимической миграции химических элементов соответствуют условиям как трансэлювиально-аккумулятивных, так и трансаккумулятивно-элювиальных и трансаккумулятивных ландшафтов. На участках существует опасность развития процессов подтопления, заболачивания и диффузионного загрязнения подземных вод.

Участки с низкой степенью устойчивости к техногенному загрязнению приурочены к пойме с фрагментами надпойменных террас р. Западная Двина и ее притоков – Витьбы и Лучосы, крупным ложбинам стока и межхолмным низинам на участке распространения останцов отседания в правобережной части города, где грунтовые воды залегают вблизи дневной поверхности. Для этих территорий характерно развитие дерново-подзолистых и дерновых заболоченных, торфяно-болотных, аллювиальных дерново-глееватых и дерново-глеевых супесчано-суглинистых и песчаных почв, сформированных на флювиогляциальных, древнеаллювиальных, современных аллювиальных и озерно-болотных отложениях. Условия геохимической миграции загрязняющих элементов в целом соответствуют супераквальным и аккумулятивно-супераквальным ландшафтам, из-за интенсивного диффузионного преноса веществ вероятность загрязнения подземных вод на этих территориях высока. В отношении функционально-планировочной структуры города подобные участки расположены в пределах территорий преимущественно ландшафтно-рекреационных зон (природных комплексов нехозяйственного назначения).

К категории низкой степени устойчивости к техногенному загрязнению относятся участки озерных понижений, развитых на поозерской озерно-ледниковой низине. Здесь почвообразующими породами являются современные озерно-болотные образования из сильногумусированных с растительными остатками мелкозернистых песков и супесей с линзами торфа, местами мелкозалежных торфяников. Почвенный покров представлен большей частью дерново-подзолистыми заболоченными и торфяно-болотными почвами.

Поверхность таких участков плоская, иногда слабоогнутая, часто заболоченная, по отношению к окружающей территории слегка опущена, встречаются покатые участки озерных абразионных террас, грунтовые воды залегают на глубине до 2 м. Пространственное положение рассматриваемых территорий способствует преобладанию привноса загрязняющих веществ над выносом, что характерно для аккумулятивно-супераквальных ландшафтов. В совокупности все это приводит к формированию локальных гидрогеохимических аномалий. В отношении функционально-планировочной структуры города эти участки расположены главным образом в пределах ландшафтно-рекреационных зон (природных комплексов нехозяйственного назначения).

И, наконец, к категории низкой степени устойчивости к техногенному загрязнению нами отнесены небольшие площади распространения современных слабоуплотненных техногенных образований, приуроченных к разным генетическим типам рельефа. Для этих участков характерно наличие слабо развитых почв на песчано-глинистых породах. Условия геохимической миграции химических элементов здесь могут соответствовать условиям как супераквальных ландшафтов, так и аккумулятивно-супераквальных, в зависимости от состава подстилающих техногенные образования пород. В функционально-планировочной структуре города эти участки преимущественно заняты промышленной и коммунально-складской типами застройки.

Заключение. Полученные в результате исследований данные по устойчивости геоэкологической системы Витебска к техногенному загрязнению могут быть положены в основу проведения комплексной оценки геоэкологической обстановки в Витебске, а также использованы в организации мониторинга этой обстановки.

Список литературы

1 Мамаев, Ю.А. Вопросы методологии в оценке устойчивости территории / Ю.А. Мамаев, М.Б. Куринов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 1998. – № 5. – С. 109–126.

2 Гареев, А.М. Природная среда и нефтегазовый комплекс Башкортостана (Географо-экологические аспекты взаимодействия) / А.М.Гареев, А.В.Шакиров. – Уфа : Китап, 2000. – 219 с.

3 Богданова, М.Д. Элементарные ландшафты как объекты ландшафтно-геохимического картографирования / М.Д. Богданова, И.П. Гаврилова, М.И. Герасимова // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2012. – № 1. – С. 23–28.

P. A. GALKIN, A. D. ZUBOV, E. I. GUTOR

ASSESSMENT OF THE STABILITY OF THE VITEBSK GEOECOSYSTEM IN THE CONDITIONS OF MAN-GENERAL POLLUTION

On the example of Vitebsk, the experience of assessing the sustainability of the city's geoecosystem to technogenic pollution is presented. The data obtained can be used as the basis for a comprehensive assessment of the geoeological situation in Vitebsk, as well as used in the organization of monitoring this situation.