

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ И ИЗМЕНЕННОСТИ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ГЕОСИСТЕМЫ ВИТЕБСКА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

П.А. Галкин¹, А.Б. Торбенко², И.А. Красовская², А.Н. Галкин²

¹Витебский государственный медицинский университет
пр. Фрунзе, 27А, 210009, Витебск, Беларусь

²Витебский государственный университет имени П.М. Машерова
пр. Московский, 33, 210038, Витебск, Беларусь
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

На примере Витебска – крупного урбанизированного центра Беларуси – излагается опыт по оценке устойчивости и измененности природно-технической геосистемы города в условиях техногенного загрязнения. Исследованиями установлено, что большая часть территории Витебска (около 70%) при преобладании средней степени устойчивости к техногенному загрязнению испытывает существенные изменения в состоянии геосистемы города. Полученные результаты могут быть использованы при комплексной оценке геоэкологического состояния территории города, а карта измененности применена в качестве основы при создании картографической модели геоэкологической обстановки.

ВВЕДЕНИЕ

В теоретических и прикладных геоэкологических исследованиях изучению вопросов, связанных с устойчивостью геосистем и ее оценкой, уделяется особое внимание. Это обусловлено тем, что, зная пределы устойчивости геосистем, можно обосновывать и устанавливать максимальные нагрузки на их исходное состояние, допускающие возможность их восстановления, реализовывать цели экологического нормирования, геоэкологического прогнозирования и экспертизы. Само понятие «устойчивость» относится к терминам свободного пользования и в разных науках применяется неоднозначно. Наиболее полно это понятие разработано в механике, математике и кибернетике, затем оно было перенесено в биологию, а в 1970–1980-х гг. – в географические и геологические науки. Заимствовав термин «устойчивость» из области механики и кибернетики, специалисты в области наук о Земле развивают его применительно к географическим и геологическим системам. Анализ этого понятия дается в работах А.Д. Арманда

(1983), Т.Н. Аверкиной и соавторов (1993), А.С. Герасимовой и В.А. Королева (1994), М.А. Глазовской (1983), Г.Е. Гришанкова (1977), М.Д. Гродзинского (1987), Г.А. Голодковской и Ю.Б. Елисеева (1989), К.Н. Дьяконова (1974), Т.В. Звонковой (1983), В.А. Королева (1995), Т.П. Куприяновой (1983), Ю.А. Мамаева и М.Б. Куринова (1998), В.С. Преображенского (1983), В.Т. Трофимова (1994) и др. Многие авторы понятие «устойчивость» подразделяют на способность к сопротивлению воздействиям и восстановлению свойств, нарушенных внешним воздействием. Роль критерия устойчивости имеет большое значение при определении тех или иных изменений в условиях усиления антропогенного воздействия на природные комплексы [7]. А.Д. Арманд (1983) для определения понятия устойчивости предлагает термин «гомеостазис» по аналогии с термином «гомеостаз» для живых организмов, который определяет состояние внутреннего динамического равновесия природной системы, поддерживаемое регулярным возобновлением основных ее структур, вещественно-энергетического состава и постоянной функциональной са-

морегуляцией ее компонентов [1]. Известно, что сложность природных комплексов коррелирует с устойчивостью. В соответствии с этим считается, что сложные геосистемы более устойчивы к внешним воздействиям.

Согласно М.Д. Гродзинскому [10], устойчивость может существовать в трех формах: 1) инертность – способность геосистемы оставаться в заданной области состояния в течение определенного интервала времени при внешнем воздействии; 2) восстанавливаемость – способность геосистемы возвращаться в первоначальное состояние после прекращения воздействия; 3) пластичность – наличие у геосистемы способности переходить из одного состояния в другое. Следует отметить, что для всех геосистем существует порог внешнего воздействия, после которого они теряют свои свойства и функции. Поэтому уровень техногенного воздействия должен быть ниже этого порога [7]. По мнению Ю.А. Мамаева и М.Б. Куринова [19], устойчивость как результат взаимодействия геосистемы и внешних техногенных воздействий нельзя оценивать вообще, а только к конкретному воздействию, так как одна и та же система может быть устойчива к одним воздействиям и неустойчива к другим. Иными словами, любая геосистема обладает свойством избирательной реакции на разные внешние воздействия: физические, механические, геодинамические, геохимические и др. Таким образом, любая конкретная природная среда может характеризоваться множеством устойчивостей (геодинамической, геохимической, экологической, устойчивостью рельефа и др.), из которых, как правило, выделяется, характеризуется и оценивается тот вид устойчивости геосистемы, показатели которой при внешнем воздействии определенного типа и характера изменяются в наибольшей, подавляющей степени.

Оценка устойчивости геосистемы может быть проведена по самым разным показателям в зависимости от ее типа, цели освоения и вида воздействия [16]. Обычно анализируется тот или иной расчетный количественный показатель состояния природной среды, либо приводится качественная характеристика среды в виде экспертной оценки в баллах на данный момент времени. Во всех этих случаях отсутствуют четкие объективные критерии оценки предельной техногенной нагрузки, нет обоснованного прогноза развития процессов, вызываемых воздействием, не определяется возможность возврата системы в исходное состояние и не указывается время достижения ею финального состояния. Поэтому используемые показатели

устойчивости геосистемы могут рассматриваться лишь как показатели качества окружающей природной среды в определенный момент времени.

По А.М. Гарееву и А.В. Шакирову [7], оценка устойчивости геосистемы к техногенным воздействиям возможна при установлении связи: воздействие – изменение – последствия. Такой анализ позволяет установить максимальную и минимальную величины воздействия, за пределами которых располагаются области возможности устойчивого развития геосистемы или возникновения необратимых его изменений. Применительно к оценке влияния города (природно-технической геосистемы), его инфраструктуры на окружающую среду отметим, что устойчивость урбанизированных геосистем (или урболандшафтов) 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, обуславливающие вертикальные связи в геосистеме.

2. Геоморфологические условия, являющиеся по своей сути перераспределителем тепла и влаги и определяющие степень дренированности ландшафта, направление транзитного потока веществ (рассеивание, сосредоточение, аккумуляцию продуктов техногенеза). Основной показатель – угол наклона территории – характеризует вертикальные и горизонтальные связи в геосистеме.

3. Эдафические условия, которые характеризуются увлажненностью, кислотностью, содержанием солей, физическим состоянием почв и влияют на скорость и направление миграции веществ. Основной показатель – содержание гумуса в почвах – обуславливает вертикальные связи в геосистеме.

4. Гидрогеологические условия, устанавливающие главным образом распространение и глубину залегания грунтовых вод – главного геохимического агента перераспределения химических элементов в земной коре. Основной показатель – глубина залегания уровня грунтовых вод – 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 степень его загрязненности, климатические характеристики городских территорий; способствуют защите поверхности 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.

Указанные условия определяют динамику урбанизированных геосистем, их устойчивость и сопротивляемость к совокупному воздействию техногенных факторов. Следовательно, они формируют показатели устойчивости как отдельных компонентов природной среды, так и геосистемы в целом. Существуют различные методики оценки и картографирования устойчивости геосистем, в том числе урбанизированных. На основе анализа многочисленной опубликованной научной и научно-методической литературы [8; 11; 15; 18; 24; 25; 28] можно выделить три подхода к данной оценке. Первый подход реализуется через выбор и картографирование факторов, позволяющих отнести территорию к устойчивой, условно-устойчивой и неустойчивой. Такими общепринятыми факторами могут являться, к примеру, вышеперечисленные условия: вещественный состав пород, их состояние и свойства; морфометрия рельефа; почвенные и гидрогеологические условия; видовой состав и продуктивность растительных сообществ и др. Основным лимитирующим обстоятельством в применении рассматриваемого варианта является возможность использования ограниченного числа классификационных признаков районирования, так как при их увеличении карта становится перегруженной и плохо читаемой [16].

Второй подход предусматривает составление оценочных, так называемых «семафорных» карт с отнесением выделенных территорий к устойчивым, условно-устойчивым и неустойчивым. Преимущество карт этого типа заключается в простоте восприятия и хорошей читаемости. Однако в та-

ком виде они малоинформативны и не пригодны для принятия каких-либо инженерных решений, поскольку не отражают признаков, накладывающих различные ограничения на оценку устойчивости территории.

В основе третьего подхода, который является синтезом двух предыдущих, лежит использование двухрядных матриц с буквенно-цифровой индексацией для фиксации учитываемых признаков районирования. Здесь принципиально важным представляется не само использование матрицы, а подход к оценке устойчивости территории. Он основывается на отнесении таксона районирования к территориям с разной степенью устойчивости по максимально неблагоприятным компонентам, выбираемым из общего числа признаков районирования. При этом на карте на соответствующий контур, выделенный по степени устойчивости территории, ставится индекс, позволяющий установить по легенде те негативные природные факторы, которые легли в основу сделанной оценки [16]. Такой вариант, сохраняя «семафорный» подход к картографированию территории, позволяет учитывать большое количество компонентов, причем при необходимости на полуколичественной или количественной основе, что во многом снижает негативные моменты двух вариантов. При этом основным содержанием карты остается оценка устойчивости природных комплексов территории к возможным техногенным воздействиям и отражение на ней основных пространственных закономерностей распространения территорий с разной степенью устойчивости по трем градациям: высокой степени устойчивости, средней, низкой. Основа составления такой карты – карты типов строения геологической среды, инженерно-геологических условий, геоморфологическая и другие специализированные карты [16].

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований послужила природно-техническая геосистема Витебска, формирование которой происходило в основном на новейшем этапе геологической истории Земли в условиях сложной палеогеографической обстановки, предопределившей внутреннюю сложность структуры рассматриваемой геосистемы и специфику взаимодействия ее компонентов под влиянием инженерно-хозяйственной деятельности.

В тектоническом плане территория города и его окрестностей располагается в пределах Витебской мульды Оршанской впадины. Глубина зале-

гания кристаллического фундамента (AR – PR₁) здесь составляет 1700 м ниже уровня моря. Осадочную толщу слагают породы верхнего протерозоя, среднего и верхнего девона и четвертичной системы. Последние сплошным чехлом покрывают территорию Витебска. Мощность четвертичных отложений изменяется от первых десятков до 120 м, составляя в среднем 30–40 м. В разрезе они представлены ледниковыми и водно-ледниковыми песчано-глинистыми отложениями днепровского (фрагментарно), сожского и поозерского горизонтов, перекрытых современными аллювиальными, болотными, озерно-болотными, делювиально-пролювиальными и техногенными образованиями.

В геоморфологическом отношении территория города представляет собой сложное сочетание различных комплексов и форм рельефа [17]; расположена она на стыке двух геоморфологических районов Белорусского Поозерья – Суражской озерно-ледниковой с фрагментами моренной равнины (на севере и западе) и Витебской краевой ледниковой возвышенности (на юге и востоке). Первый геоморфологический район представляет собой выровненную, слаборасчлененную равнину. По происхождению и морфологии в его пределах в городе выделяются долинный комплекс Западной Двины и моренная равнина. Абсолютные отметки рельефа района изменяются от 140 до 180 м, глубина расчленения 5–10 м/км², средняя густота расчленения 0,3 км/км². Поверхность рельефа здесь изменяется от пологой в пределах эрозионной террасы Западной Двины, сложенной флювиогляциалом, до пологоволнистой на моренной равнине; осложнена термокарстовыми западинами, овражными формами и заболоченными изометрическими понижениями [17]. Второй район отвечает западной периферийной части Витебской возвышенности, осложненной глубоковрезанными (до 40 м) долинами небольших рек и ручьев, которые унаследуют долины прорыва озерно-ледниковых суббассейнов и маргинальные ложбины стока талых ледниковых вод. В генетическом и морфологическом отношении данная территория представлена краевыми ледниковыми образованиями, флювиогляциальной и озерно-ледниковой равнинами. Краевые образования занимают в пределах города абсолютные отметки 165–217 м. Поверхность их мелкохолмистая, реже грядовая или увалистая, густота расчленения 0,34 км/км². Рельеф осложнен ложбинами стока талых вод, овражно-балочной сетью, термокарстовыми западинами. Флювиогляциальная равнина

окаймляет краевые образования неширокой полосой с абсолютными отметками 145–180 м. Рельеф ее пологоволнистый, расчленен оврагами и балками глубиной 5–18 м, длиной 0,8–1,5 км и шириной по бровкам склонов от 50 до 150 м. Наряду с эрозионными формами здесь широкое распространение получили камы и озы, встречаются также ложбины стока талых ледниковых вод, термокарстовые западины и заболоченные межхолмные понижения. Озерно-ледниковая равнина занимает отметки 146–150 м. Поверхность ее заболочена, самые низкие отметки приурочены к плоской современной озерной равнине [17]. Встречаются покатые участки озерных абразионных террас шириной от первых метров до 30–50 м. В рельефе четко выражены долины прорыва озерно-ледниковых вод глубиной 10–15 м и шириной 100–200 м, одна из которых унаследована р. Витьбой в нижнем течении. К долинам приурочены флювиокамовые комплексы из беспорядочных скоплений невысоких холмов высотой 10–15 м и диаметром 50–150 м. Следует отметить, что современный рельеф территории города в значительной мере изменен многообразными геоморфологическими процессами, возникшими, с одной стороны, по естественным причинам, а с другой – в результате активной хозяйственной деятельности. На участках проявления интенсивного техногенеза первые причины играют подчиненную роль, однако в местах, где воздействие человека на природную среду невелико, они главенствуют. Исходя из сказанного, все процессы на территории города можно подразделить на две группы: а) имеющие как природное, так и техногенное происхождение – эрозия, суффозия, оползни, крип, подтопление, заболачивание; б) непосредственно связанные с объектами городской инфраструктуры – морозное пучение, оседание земной поверхности и др. При этом нужно заметить, что их проявление и развитие на территории города весьма неравномерно и происходит с разной степенью активности [27].

В гидрогеологическом отношении исследуемая территория расположена в пределах Оршанского артезианского бассейна, где в строении зоны активного водообмена в соответствии с геологическим строением, литологическими особенностями водовмещающих пород и условиями их залегания выделяют восемь водоносных горизонтов и комплексов, из которых семь приурочены к толще четвертичных отложений, а восьмой – к эксплуатируемому водозаборами города напорному саргавскому и семилукскому карбонатному комплексу франского яруса верхнего девона. Глубина залега-

ния зеркала грунтовых вод изменяется от менее 1 до 10 м и глубже, преобладают глубины 3–5 м; пьезометрические уровни верхнедевонского комплекса устанавливаются на глубинах от 3 до 11 м в зависимости от геолого-геоморфологических условий [17].

Почвенный покров в городе представлен в основном дерново-подзолистыми супесчано-суглинистыми и песчаными почвами, встречаются дерново-подзолистые заболоченные, дерновые заболоченные, местами дерново-карбонатные почвы. В поймах рек почвы пойменно-болотные и торфяно-болотные. Естественный почвенный покров в городе сильно изменен, а на приусадебных участках окультурен. Степень озеленения территории Витебска довольно низкая. Зеленые насаждения занимают 1446,5 га или 10,7% ее общей площади и распределены крайне неравномерно. Они включают в себя насаждения парков культуры и отдыха, территорий в пределах лечебных, детских учебных и научных учреждений, промышленных предприятий, спортивных комплексов, жилых кварталов, территорий специального назначения – санитарно-защитных и водоохранных зон, кладбищ, вдоль автомобильных и железных дорог, ботанического сада, а также улиц и площадей. Своеобразный колорит придают лесопарки и примыкающие к городу массивы сосновых боров и смешанных лесов из березы, ели, сосны, осины, ольхи.

Анализ геолого-геоморфологических разрезов позволил обособить в пределах каждого геоморфологического района по несколько участков, общее число которых составило 12, что отражает многообразие геолого-геоморфологических условий, встречающихся на территории Витебска. С учетом масштаба картирования геолого-геоморфологические разрезы были генерализованы и объединены в определенные типы строения геологической среды. Всего на территории города в пределах рассматриваемых геоморфологических районов можно выделить 4 типа строения геологической среды [14]. К первому типу нами отнесены участки, где с поверхности залегают моренные отложения поозерского горизонта; второй образуют территории, сложенные с поверхности поозерским флювиогляциалом, подстилаемый поозерской мореной; третий – где с поверхности залегают поозерские озерно-ледниковые отложения; четвертый тип представлен участками, разрез которых открывают современные аллювиальные образования. Данная типизация геологической среды территории города в последующем послужила основой

для оценки устойчивости геосистемы Витебска к техногенному загрязнению.

АНАЛИЗ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОСИСТЕМЫ ВИТЕБСКА

При оценке устойчивости геосистемы города к техногенному загрязнению, а также экологического состояния промышленно развитых регионов особо важную роль играет анализ комплекса техногенных воздействий.

Город Витебск, как и многие современные крупные города, располагающий высоким промышленно-энергетическим потенциалом, разветвленными транспортной сетью и коммунальным хозяйством, оказывает значительное воздействие на формирующую его природную окружающую среду. В результате суммарного наложения различного рода техногенных воздействий на территории города сложился уникальный тип геоэкологической системы, где природная, в том числе геологическая среда подвергается техногенной трансформации, а ее состояние оценивается спецификой проявления этих воздействий.

Исследованиями установлено, что химическое воздействие является доминирующим фактором в комплексе техногенных воздействий, формирующей геоэкологическую обстановку города [6]. По видам воздействий на территории Витебска ярко выражено загрязнение грунтов зоны аэрации, включая почвы, поверхностных и подземных вод. Установлено, что наиболее пораженные загрязнением участки расположены вблизи источников загрязнения или в зоне их влияния. Исключение составляют отдельные залесенные участки и лесные массивы, расположенные главным образом на периферии города и не подверженные вмешательству человека. В качестве основных загрязнителей компонентов геологической среды в городе выступают сульфаты, хлориды, нитраты, фосфаты, азот аммонийный, тяжелые металлы и нефтепродукты. Это обусловлено, прежде всего, спецификой промышленного производства, а также наиболее высоким содержанием выделенных элементов в компонентах геосреды, всесторонним их воздействием на почвы, грунты, поверхностные и подземные воды и некоторыми геохимическими особенностями поведения в геоэкологической обстановке.

ТИПИЗАЦИЯ ГЕОСИСТЕМЫ ВИТЕБСКА ПО СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ К ТЕХНОГЕННОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ

Выполненный обзор публикаций по рассматриваемой проблеме показал, что общепринятой методики составления карт устойчивости геосистем к техногенным воздействиям практически не существует. Учитывая это, авторами на основе анализа имеющихся способов и методов отображения информации по данной проблеме для оценки устойчивости геосистемы исследуемой территории к техногенным воздействиям (химическому загрязнению) была разработана специальная цифровая постоянно действующая картографическая модель, реализованная в пакете программ SURFER. Основой модели послужила карта инженерно-геологического районирования и типов геологической среды территории Витебска. На 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 геологической среды города к химическому загрязнению. Ниже приведем характеристику каждого из перечисленных факторов.

Геолого-гидрогеологические условия. В качестве основного параметра устойчивости здесь выступает степень защищенности подземных вод от загрязнений – свойства геосистемы, позволяющего сохранить на прогнозируемый период состав и качество подземных вод, соответствующих требованиям их практического использования [13]. Общая оценка степени защищенности подземных вод основывается на учете так называемых факторов защищенности, под которыми понимаются барьеры различной природы, затрудняющие попадание в подземные воды поллютантов. Факторы защищенности, согласно В.М. Гольдбергу и С. Газде [9], подразделяют на природные, техногенные и физико-химические. К основным природным факторам относятся: глубина до уровня подземных вод, наличие в разрезе и мощность слабопроницаемых пород, литология, фильтрационные и сорбционные свойства пород, соотношение уровней исследуемого и вышележащего водоносных горизонтов. Среди техногенных факторов, прежде всего, следует выделить условия нахождения загрязняющих веществ на поверхности земли и, соответственно,

характер их проникновения в подземные воды, химический состав загрязняющих веществ и, как следствие, их миграционную способность, сорбируемость, химическую стойкость, время распада, характер взаимодействия с породами и подземными водами. К физико-химическим факторам относятся специфические свойства загрязняющих веществ, их миграционная способность, сорбируемость вещества, взаимодействие загрязняющих веществ с породами, время распада или химическая стойкость загрязняющего вещества [9]. Полная и детальная оценка защищенности подземных вод требует учета всех групп факторов, но вместе с тем, очевидно, что чем благоприятнее природные факторы, тем выше вероятность защищенности подземных вод по отношению к любым видам загрязняющих веществ и условиям их проникновения с поверхности земли. Поэтому при оценке защищенности следует исходить, прежде всего, из природных (естественных) факторов. Существует множество методик, позволяющих оценить природную защищенность подземных вод. Часть этих методик дает качественную оценку и картирование защищенности подземных вод какой-либо территории без учета характеристик и свойств конкретных загрязнителей [9; 12]. В отечественной практике исследований наиболее популярна методика, предложенная В.М. Гольдбергом [20], которая использована институтом ВСЕГИНГЕО при разработке методических рекомендаций по геоэкологическим исследованиям и картографированию [21], зарубежом – методика DRASTIC и ее модификации [29]. Другие методики дают количественную оценку и картирование защитных свойств природной системы применительно к конкретному виду загрязнения подземных вод (нефтепродуктами, азотными соединениями, радиоактивными элементами [2; 3; 23; 26]). Выбор конкретной методики зависит от массива исходных данных, масштаба исследований и характера загрязнения подземных вод [2].

В соответствии с указанными выше особенностями строения геологической среды города и характеристикой техногенных воздействий на ее состояние наиболее приемлемой для оценки условий защищенности подземных вод Витебска, по мнению авторов, является методика, разработанная В.М. Гольдбергом [20]. В качестве основных факторов условий защищенности подземных вод выбраны следующие: 1) глубина залегания, 2) мощность и литологический состав перекрывающих слабопроницаемых пород. Каждый фактор защищенности оценивался с помощью системы баллов.

Интегральная оценка производилась по среднему баллу с выделением следующих категорий: 1) защищенные, 2) относительно защищенные, 3) слабо защищенные и незащищенные.

Ландшафтно-геоморфологические условия. В пределах Витебска нами 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 [4]. Так, к водораздельным территориям в пределах моренных и водно-ледниковых разновысотных равнин с плоскими, пологоволнистыми и мелкохолмистыми поверхностями приурочены *элювиальные* ландшафты. Почвообразующими породами здесь являются суглинки, супеси и пески. Мощность пород зоны аэрации – 5–10 м и более. Преобладающие почвы дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные. Для этих ландшафтов характерен периодически промывной водный режим почв, уровень грунтовых вод находится глубже 5 м, преобладает вынос химических элементов с поверхностным стоком. Геохимических барьеров, кроме механических, при миграции элементов по латерали нет. К склоновым поверхностям приурочены *транселювиальные* ландшафты, сложенные, как и элювиальные, суглинками, супесями и песками. Мощность зоны аэрации в их пределах в основном 1–3 м, реже – до 5 м. Почвы дерново-подзолистые, в нижней части склонов нередко глееватые. Водный режим почв периодически промывной, в пределах флювиогляциальных эрозионных террас – застойно-промывной. Уровень грунтовых вод большей частью находится на глубине 1–2 м, реже – более 3 м. На склонах моренных равнин отмечается максимальный вынос элементов с поверхностным и линейным стоком, их транзит по линейным путям миграции. В нижних частях склонов сорбционным, а в ряде случаев и механическим барьером является активно накапливающиеся делювиальные шлейфы намывных почв. Перераспределение химических элементов по вертикальному грунтовому профилю выражено сильнее, чем для элювиальных. На приводораздельных террасовидных склонах (уклон 1,5–3°) возможно сочетание процессов слабого выноса и аккумуляции, поэтому такие поверхности отнесены нами к *трансаккумулятивно-элювиальным* [4]. Аналогичное положение наблюдается у надпойменных террас, плохо выраженных в рельефе и перекрытых чехлом делювиальных отложений. Довольно хорошо выделяются элементарные ландшафты во-

досборных воронок в верховьях балок и оврагов, ложбин стока талых ледниковых вод, формирующие в совокупности *транселювиально-аккумулятивные* ландшафты [4]. Им свойственны сочетания процессов выноса, транзита и аккумуляции при некотором участии грунтовых вод или верховодки. Пологовогнутые седловины с процессами выноса и аккумуляции вещества отнесены нами к *элювиально-аккумулятивным* ландшафтам [4]. Подножия склонов и конусы выноса оврагов и балок выделяются как *трансаккумулятивные* элементарные ландшафты [4], различающиеся между собой интенсивностью и направленностью миграционных процессов: в оврагах они сочетаются с преимущественным выносом, а в балках – с накоплением. Ландшафты речных пойм отнесены нами к *супераквальным* [4]. Почвообразующими породами здесь являются аллювиальные пески и супеси, реже – суглинки, торф. Мощность пород зоны аэрации небольшая, преобладающие почвы пойменно-болотные. Тип водного режима преимущественно застойный. Уровень грунтовых вод находится на глубине от 1,0 до 2,0 м от поверхности и ближе. Для этих ландшафтов характерна аккумуляция и транзит химических элементов с паводковыми водами. К супераквальным ландшафтам отнесены и болота, которые по характеру миграционных процессов на территории города целесообразно обозначить как *аккумулятивно-супераквальные* [4]. Почвообразующими породами здесь являются торф, пески, супеси, реже – суглинки. Мощность зоны аэрации меньше 1 м. Почвы торфянисто- и торфяно-глеевые, торфяно-болотные мощностью до 2,4 м. Тип водного режима застойный, уровень грунтовых вод чаще всего находится на глубине 0,5 м, реже – 1 м и более. В данном типе ландшафта плоскостной сток отсутствует. На осушенных землях за счет ветровой эрозии возможен вынос тяжелых металлов за пределы ландшафта.

Степень озеленения территории. Для определения степени озеленения функциональных элементов города (парки, улицы, дворы и т. п.) использовался принятый в геоботанике метод глазомерной оценки [22]. 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 [5]. На основании данной оценки выделены следующие категории территорий: 1) полностью или умеренно озелененная – общее проектное покрытие древесных растений составляет > 50% относи-

тельно площади, предназначенной для их посадки; 2) малоозелененная – покрытие 25–50% площади; 3) полностью или почти неозелененная – покрытие < 25% площади.

Таким образом, изложенный подход к содержанию картографической модели предусматривает оценку верхней наиболее чувствительной к техногенному загрязнению части геосистемы города, а сама реакция территории на воздействие связывается с различными условиями вертикальной и горизонтальной миграций загрязняющих веществ. Процедура оценки устойчивости на основе создания постоянно действующей 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 (табл.).

Участку, обособленному по фактическому сочетанию ведущих факторов, присваивалась категория устойчивости, степень которой оценивалась по сумме баллов [16]. Так, для территории Витебска характерны три типа геосистем: 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 оценки факторов схематическая карта устойчивости геосистемы Витебска к техногенному загрязнению отразила довольно пеструю картину (рис. 1).

Территории с **высокой степенью устойчивости** к техногенному загрязнению приурочены к участкам 1-го и 2-го типов геологической среды, где с поверхности залегают плотные и средней плотности моренные либо флювиогляциальные супесчано-суглинистые отложения. Эти участки локализируются 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

Таблица – Оценка факторов устойчивости геосистемы Витебска к техногенному загрязнению

Факторы устойчивости		Степень устойчивости		
		высокая 3 балла	средняя 2 балла	низкая 1 балл
Состав и свойства грунтов		Среднеуплотненные и плотные моренные и водноледниковые супеси и суглинки	Среднеуплотненные моренные и водноледниковые супеси и суглинки; лессовидные суглинки, аллювиальные супесчано-суглинистые и песчаные грунты	Слабоуплотненные современные техногенные, аллювиальные, озерно-болотные, часто заторфованные супесчано-суглинистые и песчаные грунты, торф
Степень защищенности грунтовых вод		Защищенные	Относительно защищенные	Слабо защищенные и незащищенные
Типы почв		Дерново-подзолистые супесчано-суглинистые в разной степени оподзоленные, дерново-палевые подзолистые	Дерново-карбонатные, дерново-подзолистые оглеенные супесчано-суглинистые и песчаные в разной степени оподзоленные	Торфяно-глеевые, торфяно-болотные, аллювиальные дерново-глееватые и дерново-глеевые супесчано-суглинистые и песчаные
Условия геохимической миграции химических элементов	Условия поверхностной миграции*	Высоко- и среднеинтенсивный вынос с поверхности плоскостным и линейным стоком	Слабый вынос с поверхностным стоком, локально транзит	Плоскостной сток отсутствует, аккумуляция и транзит паводковыми водами
	Условия геохимической миграции в почвах и грунтах зоны аэрации**	Диффузия слабая	Диффузия средней интенсивности	Диффузия интенсивная
Степень озелененности территории, % покрытия площади		> 50	25–50	< 25

Примечания: * Оцениваются в соответствии с уклонами поверхности. Предполагается, что при среднем уклоне поверхности < 1,5° плоскостной сток проявляется слабо и не достигает критической скорости, при 1,5–3,0° – он достаточно заметен, а при уклоне > 3,0° сток приобретает значительную скорость и интенсивно разрушает почвенный покров (по А.А. Молчанову, 1966).

** Оцениваются в зависимости от гранулометрического состава и плотности сложения почв и подстилающих грунтов (по Н.Н. Петуховой и др., 1998; А.Н. Галкину, 2004, 2016).

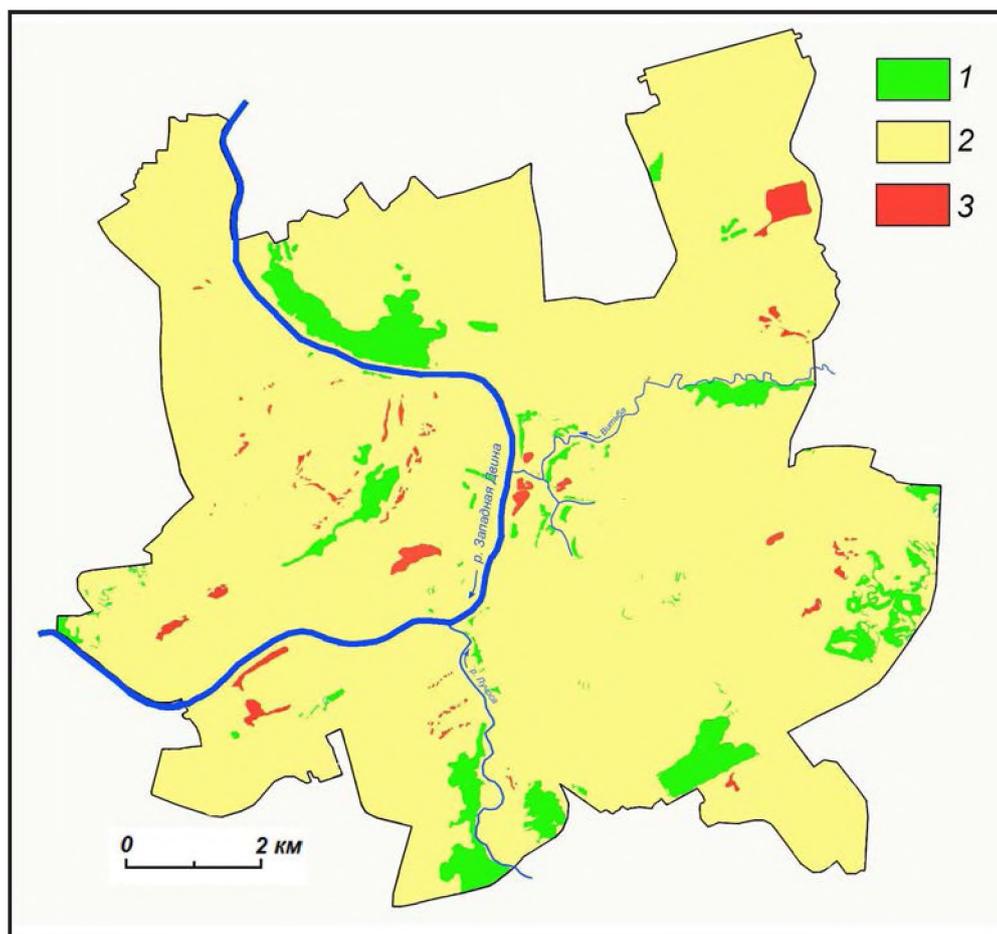


Рисунок 1 – Схематическая карта устойчивости геосистемы Витебска к техногенному загрязнению (составлена П.А. Галкиным). Степень устойчивости: 1 – высокая; 2 – средняя; 3 – низкая

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 типов застройки.

Большая часть городских земель относится к **категории среднеустойчивых** к техногенному загрязнению. В их число вошли: значительная часть территорий правобережной пологоволнистой моренной равнины и левобережной пологоволнистой конечно-моренной возвышенной равнины (1-й тип геосреды), сложенных с поверхности среднеплотными, среднечными, местами слабыми, моренными супесями и суглинками, перекрытые на отдельных участках маломощными слабоуплотненными верхнеплейстоцен-голоценовыми лессовидными и современными делювиально-пролювиальными, болотными и техногенными

образованиями; расположенный в северо-восточной части города участок слабоволнистой, местами плоской озерно-ледниковой низины (3-й тип геосреды), 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. 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 промышленным, коммунально-складским и усадебно-дачным 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 также территории зандровых равнин право- и левобережья Западной Двины (2-й тип геосреды), сложенные с поверхности среднеплотными и среднепрочными 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-аккумулятивным, так и трансаккумулятивно-элювиальным и трансаккумулятивным ландшафтам. На участках также существует опасность развития процессов подтопления, заболачивания и диффузионного загрязнения подземных вод.

Участки с *низкой степенью устойчивости* к техногенному загрязнению на территории Витебска приурочены к пойме с фрагментами надпойменных террас р. Западной Двины 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-глеватых и дерново-глеевых супесчано-суглинистых и песчаных почв, сформированных на флювиогляциальных, древнеаллювиальных, современных аллювиальных и озерно-болотных отложениях. Условия геохимической миграции за-

грязняющих 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 также 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 здесь представлен большей частью дерново-подзолистыми заболоченными и торфяно-болотными почвами. Поверхность таких участков плоская, иногда слабовогнутая, 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 данные 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 слаборазвитых 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 промышленным и коммунально-складским типами застройки.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕННОСТИ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ГЕОСИСТЕМЫ ВИТЕБСКА

Оценка изменений в состоянии геосистемы города или степени ее нарушенности позволила выявить три категории земель (рис. 2). Неизмененных или ненарушенных земель на исследуемой территории нет. **Слабоизмененные** (слабонарушенные) участки характеризуются наследованием состава, структуры и специфики проявления экологических функций геологической среды, близким ее естественному состоянию. Зона техногенных воздействий по сравнению с другими районами города здесь маломощна и прерывиста. Площадь распространения этих участков незначительна, они выделены лишь на отдельных территориях. Данные участки расположены во всех функционально-территориальных зонах Витебска и приурочены главным образом к лесопаркам, паркам,

лесным и заболоченным массивам и другим экосистемам, частично к жилым усадебным и дачным типам застройки. Для них характерна высокая и средняя степень устойчивости геосистемы города, способствующая весьма слабому проявлению поверхностного и подземного загрязнения компонентов геологической среды.

На слабонарушенных территориях получили распространение преимущественно естественные геологические процессы: плоскостной смыв, овражная и речная эрозия, крип, оползни, суффозия, подтопление и заболачивание. Из существующих экологических функций геологической среды трансформации здесь отчасти может подвергаться геохимическая функция, выраженная формированием геохимических зон со слабым уровнем загрязнения почв и грунтов зоны аэрации. На отдельных участках речных долин в паводковый период существует определенная опасность возникновения биологического загрязнения.

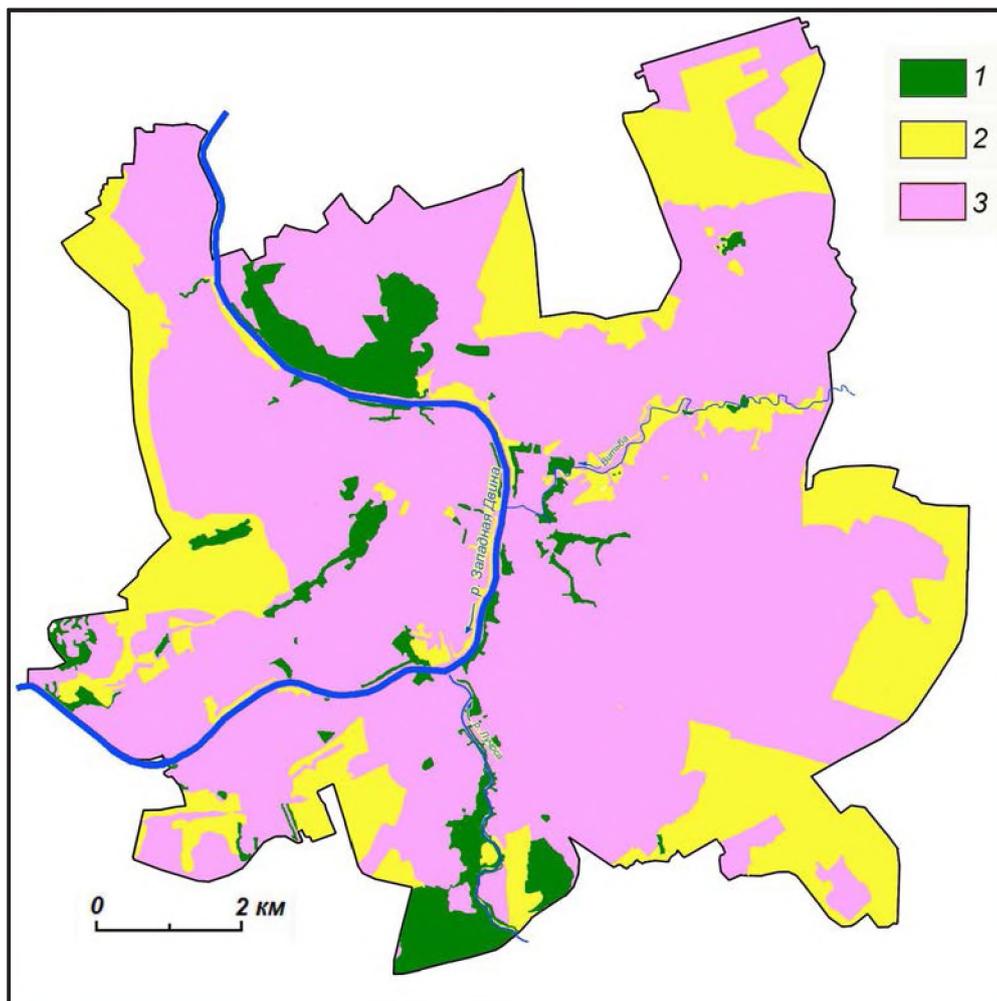


Рисунок 2 – Схематическая карта измененности природно-технической геосистемы Витебска под влиянием техногенных воздействий (составлена П.А. Галкиным)
Территории: 1 – слабоизмененные; 2 – среднеизмененные; 3 – сильноизмененные

Среднеизмененные (средненарушенные) территории в городе характеризуются чуть большим по сравнению со слабоизмененными участками площадным распространением. Характер преобразования геологической среды здесь в значительной степени зависит от вида хозяйственного освоения территорий. При этом если слабонарушенные участки, как правило, не меняют своей устойчивости к техногенным воздействиям, то средней степени нарушения иногда сопровождаются ее снижением.

Средненарушенные геосистемы присутствуют во всех типах строения геологической среды и функционально-территориальных зонах Витебска. В пределах данных территорий расположены участки преимущественно с жилым усадебным и дачным типами застройки, в отдельных случаях (главным образом на конечно-моренной возвышенности) гаражные постройки. Рельеф здесь подвержен незначительной планировке. Несмотря на это устойчивость средненарушенных земель к техногенному загрязнению может изменяться от низкой до высокой степени при преобладании среднего ее уровня. На отдельных участках возможно возникновение химического загрязнения почв, поверхностных и подземных вод, что является выражением трансформации геохимической функции геологической среды.

Кроме того, из-за наличия приусадебных хозяйств в пределах указанных типов застройки существует также опасность возникновения биологического загрязнения абиотических компонентов геосистемы. Среди современных экзогенных процессов, выражающих геодинамическую экологическую функцию геосреды, здесь также получили развитие (локально, на небольших площадях) преимущественно естественные геологические процессы: плоскостной смыв, эрозия овражная и речная, крип, оползни, суффозия и подтопление.

Особого внимания заслуживают **сильноизмененные** (или сильнонарушенные) территории, занимающие порядка 70% площади города. Зона техногенных воздействий здесь достигает значительной мощности и характеризуется относительным постоянством. Как и предыдущие категории земель эти территории присутствуют во всех типах строения геологической среды и функционально-территориальных зонах Витебска. В их пределах расположены участки всех типов застройки. Это практически вся многоквартирная жилая и общественная застройка в различных своих сочетаниях, все промышленные и коммунально-складские объекты, транспортные маги-

страли, большая часть жилой усадебной и дачной застроек. Рельеф на этих территориях преимущественно спланирован. Устойчивость геосистемы здесь низкая и средняя, что нередко приводит к существенной трансформации ее экологических функций. Здесь зафиксированы значительные по площади участки химического и биологического загрязнения, достигающие среднего и умеренно опасного уровней. Загрязненными часто оказываются почвы, поверхностные и подземные воды. Сильной нарушенности земель здесь также способствует активное проявление экзогенных геологических и особенно инженерно-геологических процессов, среди которых выделяются овражная эрозия, суффозия, подтопление, заболачивание и торфонакопление.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о том, что слабоизмененными или слабонарушенными в пределах города остаются лишь небольшие участки, наследовавшие состав, структуру и особенности проявления экологических функций геологической среды, близкой ее естественному состоянию. Основная же часть геосистемы города испытывает существенные изменения. Инженерно-хозяйственная деятельность приводит к значительной трансформации и снижению качества экологических функций геосистемы, способствуя тем самым возникновению химического и биологического загрязнений компонентов геологической среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На примере Витебска, представляющего собой сложное сочетание природных и природно-техногенных ландшафтов, располагающего высоким промышленно-энергетическим потенциалом, разветвленной транспортной сетью и коммунальным хозяйством и оказывающего значительное воздействие на формирующую его природную среду, выявлены факторы устойчивости геосистемы города к техногенному химическому загрязнению. Обоснованы принципы и методика районирования его территорий по степени устойчивости.

2. Разработана специальная цифровая картографическая модель, содержание которой предусматривает оценку наиболее чувствительной к техногенному загрязнению части природной среды города – его геологической среды, а сама реакция территории к воздействию связывается с различными условиями вертикальной и горизонтальной миграций загрязняющих веществ.

3. Процедура оценки устойчивости на основе созданной модели заключалась в разбиении качественных и количественных характеристик перечисленных факторов на три группы. Каждый фактор различных групп оценивался разным количеством баллов. Участку, обособленному по фактическому сочетанию ведущих факторов, присваивалась категория устойчивости (высокая, средняя, низкая), степень которой оценивалась по сумме баллов. Полученная в результате схематическая карта устойчивости геосистемы Витебска к техногенному загрязнению отразила следующую картину – геологическая среда большей части территории города (более 70%) относится к категории среднеустойчивой, участки с высокой и низкой степенью устойчивости распространены локально.

4. Оценка изменений в состоянии геосистемы города или степени ее нарушенности позволила выявить три категории земель: слабо-, средне-

и сильноизмененные. Согласно созданной схематической карте, неизменных или ненарушенных земель на территории Витебска нет. Слабоизмененные участки, унаследовавшие состав, структуру и особенности проявления экологических функций геологической среды, близким ее естественному состоянию, в городе занимают небольшие площади. Основная же часть геосистемы города испытывает существенные изменения, причем порядка 70% ее площади относятся к категории сильноизмененных территорий.

5. Результаты оценки устойчивости и измененности природно-технической геосистемы города в условиях техногенного загрязнения могут быть использованы при комплексном изучении геоэкологического состояния исследуемой территории, а карта измененности применена в качестве основы при создании картографической модели геоэкологической обстановки города Витебска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арманд, А. Д. Устойчивость (гомеостатичность) географических систем к различным типам внешних воздействий / А. Д. Арманд // Устойчивости геосистем / отв. ред. А. Д. Арманд, И. Ю. Долгушин. – Москва : Наука, 1983. – С. 4–31.
2. Белоусова, А. П. Качество подземных вод: современные подходы к оценке / А. П. Белоусова ; под ред. И. С. Зекцера. – Москва : Наука, 2001. – 339 с.
3. Белоусова, А. П. Ресурсы подземных вод и их защищенность от загрязнения в бассейне реки Днепр и отдельных его областей: Российская территория / А. П. Белоусова ; под ред. И. С. Зекцера. – Москва : УРСС, 2005. – 164 с.
4. 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.
5. Благоустройство территорий. Озеленение. Правила проектирования и устройства : ТКП 45-3.02-69-2007 (02250). – Минск : Мин-во архит. и строит. Респ. Беларусь, 2008. – 20 с.
6. Галкин, П. А. Источники и особенности химического воздействия на геоэкологическую систему Первомайского района Витебска / П. А. Галкин // География XXI века: наука и практика : матер. Респ. науч.-практ. конф., Витебск, 27 ноября 2015 г. / Вит. гос. ун-т ; редкол.: И. М. Прищеп (гл. ред.) [и др.]. – Витебск, 2015. – С. 10–12.
7. Гареев, А. М. Природная среда и нефтегазовый комплекс Башкортостана (Географо-экологические аспекты взаимодействия) / А. М. Гареев, А. В. Шакиров. – Уфа : Китап, 2000. – 219 с.
8. Голодковская, Г. А. Геологическая среда промышленных регионов / Г. А. Голодковская, Ю. Б. Елисеев. – Москва : Недра, 1989. – 220 с.
9. Гольдберг, В. М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод / В. М. Гольдберг, С. Газда. – Москва : Недра, 1984. – 263 с.
10. Гродзинский, М. Д. Устойчивость геосистем. Теоретический подход к анализу и методы количественной оценки / М. Д. Гродзинский // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1987. – № 6. – С. 5–15.
11. Емельянова, Т. Я. О принципах и методике районирования территории по устойчивости геологической среды к техногенному воздействию (на примере Томского Приобья) / Т. Я. Емельянова, Л. А. Строкова // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 1999. – № 2. – С. 164–171.
12. Жогло, В. Г. Система численных геофильтрационных моделей верхнего этажа гидролитосферы юго-востока Республики Беларусь / В. Г. Жогло. – Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001. – 176 с.

13. **Зекцер, И. С.** Подземные воды как компонент окружающей среды / И. С. Зекцер. – Москва : Научный мир, 2001. – 328 с.
14. **Инженерно-геологическое** районирование и типы геологической среды территории Витебска / П. А. Галкин [и др.] // Литасфера. – 2020. – № 2 (53). – С. 129–140.
15. **Королев, В. А.** Мониторинг геологической среды / В. А. Королев ; под ред. В. Т. Трофимова. – Москва : Изд-во МГУ, 1995. – 272 с.
16. **Красовская, И. А.** Оценка состояния эколого-геологических условий урбанизированных территорий / И. А. Красовская, А. Н. Галкин. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2007. – 165 с.
17. **Красовская, И. А.** Результаты комплексных инженерно-геологических исследований территории Витебска и его окрестностей / И. А. Красовская, А. Н. Галкин, П. А. Галкин // Ученые записки УО «ВГУ им. П. М. Машерова». – 2009. – Т. 8. – С. 299–314.
18. **Кюнтцель, В. В.** Оценка экологической устойчивости геологической среды к природным и техногенным воздействиям / В. В. Кюнтцель. – Москва : Геоинформмарк, 1995. – 29 с.
19. **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.
20. **Методические** рекомендации по гидрогеологическим исследованиям и прогнозам для контроля за охраной подземных вод / сост. В. М. Гольдберг. – Москва : ВСЕГИНГЕО, 1980. – 46 с.
21. **Методические** рекомендации по составлению эколого-геологических карт масштаба 1:200 000–1:100 000 / сост.: Л. А. Островский, В. Н. Островский. – Москва : ВСЕГИНГЕО, 1998. – 62 с.
22. **Методы** изучения лесных сообществ / Е. Н. Андреева [и др.]. – Санкт-Петербург : НИИХимии СПбГУ, 2002. – 240 с.
23. **Об оценке** и прогнозировании состояния подземных вод в связи с хозяйственной деятельностью / С. Я. Сергин [и др.] // Пробл. экол. мониторинга и моделир. экосистем. – 1985. – Т. 8. – С. 240–246.
24. **Ревзон, А. Л.** Картографирование состояний геотехнических систем / А. Л. Ревзон. – Москва : Недра, 1992. – 223 с.
25. **Содержание** и методика составления карт устойчивости массивов дисперсных грунтов к техногенным воздействиям / В. Т. Трофимов [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 1994. – № 6. – С. 91–106.
26. **Техногенное** загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия / В. М. Гольберг [и др.]. – Москва : Наука, 2001. – 123 с.
27. **Торбенко, А. Б.** Особенности проявления современных экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов на территории Витебска / А. Б. Торбенко, А. Н. Галкин, И. А. Красовская // Инженерная геология. – 2018. – Т. XIII, № 6. – С. 66–75.
28. **Устойчивость** геологической среды: теория, проблемы картографирования / Т. И. Аверкина [и др.] // Инженерная геология: теория, практика, проблемы. – Москва : Изд-во МГУ, 1993. – С. 12–26.
29. **Witkowski, A. J.** Groundwater Vulnerability Assessment and Mapping / A. J. Witkowski, J. Vrba, A. Kowalczyk // IAH Selected Papers. – London : Taylor & Francis, 2007. – Vol. 11. – 260 p.

Статья поступила в редакцию 25.05.2021

Рецензент А.В. Матвеев

АЦЭНКА ЁСТОЙЛІВАСЦІ І ЗМЯНЕННЯЎ ПРЫРОДНА-ТЭХНІЧНАЙ ГЕАСІСТЭМЫ ВІЦЕБСКА ВА ЁМОВАХ ТЭХНАГЕННАГА ЗАБРУДЖВАННЯ

П.А. Галкін¹, А.Б. Торбенка², І.А. Красоўская², А.М. Галкін²

¹Віцебскі дзяржаўны медыцынскі ўніверсітэт
пр. Фрунзе, 27А, 210009, Віцебск, Беларусь

²Віцебскі дзяржаўны ўніверсітэт імя П.М. Машэрава
пр. Маскоўскі, 33, 210038, Віцебск, Беларусь
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

Сёння ў геаэкалагічных даследаваннях прапанавана даволі вялікая колькасць методык па ацэнцы ёстойлівасці геасістэм як у цэлым да тэхнагеннага ўздзеяння, так і пры ўздзеянні асобных тэхнагенных фактараў. Аднак адзінай, універсальнай методыкі не існуе. Улічваючы гэту акалічнасць, аўтарамі была распрацавана спецыяльная лічбавая картаграфічная мадэль для тэрыторыі Віцебска – буйнога урбанізаванага цэнтра Беларусі з высокім прамыслова-энергетычным патэнцыялам, разгалінаванымі транспартнай сеткай і камунальнай гаспадаркай, якія аказваюць значнае ўздзеянне на фармаванне яго геалагічнага асяроддзя. Асновай мадэлі паслужыла карта інжынерна-геалагічнага раянавання і тыпаў геалагічнага асяроддзя. На мадэлі за ніжнюю мяжу прыняты ўзровень грунтавых вод, за верхнюю – паверхня глебавага покрыва. Акрамя таго, у склад інфармацыйнай базы лічбавай мадэлі ўвайшлі блокі даных, якія характарызуюць геалага-гідрагеалагічныя і ландшафтна-геамамарфалагічныя ўмовы, у тым ліку ступень азелянення тэрыторыі, і разглядаюцца як асноўныя фактары ёстойлівасці геасістэмы горада да хімічнага забруджвання. Працэдура ацэнкі ёстойлівасці на аснове створанай мадэлі заключалася ў разбіцці якасных і колькасных характарыстык названых фактараў на групы. Кожны фактар першай групы ацэньваўся ў тры балы, другой – у два балы, трэцяй – у адзін бал. Участку, адасобленаму па фактычным спалучэнні вядучых фактараў, прысвойвалася катэгорыя ёстойлівасці, ступень якой ацэньвалася па суме балаў. Характэрныя для тэрыторыі Віцебска ўчасткі з рознай ступенню (ад высокай да нізкай) устойлівасці геалагічнага асяроддзя да тэхнагеннага забруджвання адлюстраваны на адпаведнай схематычнай карце. Аналіз дадзенай карты сведчыць аб тым, што геалагічнае асяроддзе вялікай часткі тэрыторыі горада (больш за 70%) адносіцца да катэгорыі сярэднеўстойлівай, участкі геасістэмы Віцебска з высокай і нізкай ступенямі ёстойлівасці распаўсюджаны лакальна. Ацэнка змен у стане геасістэмы горада або ступені парушэння дазволіла выявіць тры катэгорыі зямель: слаба-, сярэдне- і моцназмененыя, якія таксама атрымалі адлюстраванне на адпаведнай схематычнай карце. Згодна з картай, нязмененых або непарушаных зямель на тэрыторыі Віцебска няма. Слабазмененыя (слабапарушаныя) участкі ў горадзе займаюць невялікія плошчы, якія атрымліваюць у спадчыну склад, структуру і асаблівасці праявы экалагічных функцый прыроднага асяроддзя, блізкай яго натуральнаму стану. Асноўная ж частка геаэкасістэмы горада адчувае істотныя змены, прычым больш як 70% яе плошчы ставяцца да катэгорыі моцна змененых або моцна парушаных тэрыторый. Атрыманыя вынікі даследаванняў па ацэнцы ёстойлівасці і змены прыродна-тэхнічнай геасістэмы горада ва ўмовах тэхнагеннага забруджвання могуць быць выкарыстаны пры комплексным вывучэнні геаэкалагічнага стану тэрыторыі Віцебска, а карта змяненняў ужыта ў якасці асновы пры стварэнні картаграфічнай мадэлі геаэкалагічнай абстаноўкі горада.

ASSESSMENT OF THE STABILITY AND VARIABILITY OF THE NATURAL-TECHNICAL GEOSYSTEM OF VITEBSK IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC POLLUTION

P. Galkin¹, A. Torbenko², I. Krasovskaya², A. Galkin²¹Vitebsk State Medical University
27A, Frunze Avenue, 210009, Vitebsk, Belarus²Vitebsk State University named after P.M. Masherov
33, Moscovski Avenue, 210038, Vitebsk, Belarus
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

At present, in geoecological studies, a large number of methods have been proposed for assessing the stability of geosystems both in general to technogenic impacts and under the influence of individual technogenic factors. However, there is no single, universal methodology. Considering this circumstance, the authors have developed a special digital cartographic model for the territory of Vitebsk, a large urbanized center of Belarus, which has a high industrial and energy potential, an extensive transport network and utilities, and has a significant impact on the geological environment that forms it. The model is based on a map of engineering-geological zoning and types of geological environment. In the model, the lower boundary is taken to be the groundwater level, and the upper boundary is the surface of the soil cover. In addition, the information base of the digital model includes data blocks characterizing the geological-hydrogeological and landscape-geomorphological conditions, including the degree of landscaping of the territory, considered as the main factors of the stability of the city's geosystem to chemical pollution. The procedure for assessing sustainability based on the created model consisted in dividing the qualitative and quantitative characteristics of these factors into groups. Each factor of the first group was estimated at three points, the second – at two points, the third – at one point. The site, isolated by the actual combination of leading factors, was assigned a stability category, the degree of which was assessed by the sum of points. Areas typical for the territory of Vitebsk with varying degrees (from high to low) of geological environment resistance to technogenic pollution are shown on the corresponding schematic map. The analysis of this map indicates that the geological environment of most of the city's territory (more than 70%) belongs to the category of medium stable, areas of the Vitebsk geosystem with a high and low degree of stability are distributed locally. Evaluation of changes in the state of the city's geosystem or the degree of its disturbance made it possible to identify three categories of lands: weakly, moderately and strongly changed, which also received a display on the corresponding schematic map. According to the map, there are no unchanged or undisturbed lands on the territory of Vitebsk. Slightly altered (weakly disturbed) areas in the city occupy small areas that inherited the composition, structure and features of the manifestation of the ecological functions of the natural environment, which is close to its natural state. The main part of the city's geosystem is undergoing significant changes, and about 70% of its area belongs to the category of heavily altered or severely disturbed territories. The results obtained can be used for a comprehensive assessment of the geoecological state of the study area, and the change map is used as a basis for creating a cartographic model of the geoecological situation of the city.