

УДК 504.75 + 624.131

Методические основы комплексной оценки эколого-геологического состояния городских территорий

И.А. Красовская, А.Н. Галкин

Приведен анализ современных проблем оценки эколого-геологического состояния городских территорий. Авторами разработаны состав, структура и содержание комплексной оценки эколого-геологического состояния городской территории. Методика позволяет учитывать тематические, пространственные и динамические эколого-геологические критерии, в том числе комплекс медико-санитарных показателей населения.

Предлагается методика построения карты эколого-геологической обстановки городской территории, которая позволяет качественно и количественно отразить наиболее значимые факторы геологической среды и пути их воздействия на условия проживания городского населения.

Приводятся основные результаты комплексной оценки эколого-геологического состояния территории г. Гомеля. Отмечается, что выделенные в пределах города классы состояния существенно отличаются между собой степенью измененности геологической среды, уровнем трансформации ее экологических функций, а также состоянием городских экосистем, в том числе населения.

Введение

Результатом исследований по комплексной оценке эколого-геологической обстановки любой территории согласно [1, 2] должна служить графическая (графо-математическая) модель эколого-геологической обстановки, дающая обобщенное изображение на топографической основе состояния компонентов литосферы, отражающих ее экологические свойства (функции). Иными словами, – графическое отображение системы «литосфера – биота – человек» с акцентом на свойства литосферы, определяющие состояние биоты и условия проживания человека. Такая картографическая модель относится к категории тематических оценочных геологических карт и, по сути, является картой эколого-геологического районирования, на которой в тех или иных категориях дается оценка современного состояния эколого-геологических условий, как правило, способом ранжирования их на классы состояний [3].

Существуют вполне определенные требования к информационному обеспечению работ по составлению карты комплексной оценки эколого-геологической обстановки. Согласно [1], первый блок информации включает в себя широкий круг показателей и характеристик, позволяющих оценить современное экологическое состояние литосферы (ее экологические свойства) и состояние экосистемы в целом или ее отдельных биотических компонентов. Информация может носить как точечный, так и площадной

характер и отражать результаты полевых исследований и литературных и фондовых материалов. Второй блок информации призван обеспечить две позиции – проведение районирования и ранжирование собранной информации на классы состояния эколого-геологических условий литосферы и установление связи с зонами экологической нарушенности территории.

С первой позицией связан дополнительный сбор материалов о факторах, обеспечивающих проведение целенаправленного эколого-геологического районирования территории с учетом ее функциональной организации. Вторая позиция базируется на нормативно-методических публикациях и не нуждается в дополнительной собственно эколого-геологической и геологической информации.

При выполнении оценки эколого-геологической обстановки объектом картографирования служат эколого-геологические свойства литосферы и их взаимосвязь с биотой и техногенезом.

Методической базой эколого-геологического картографирования могут служить принципы, разработанные В.Т. Трофимовым, Д.Г. Зилингом [1]. Они включают следующие позиции:

- 1) ранжирование состояния эколого-геологических условий литосферы в целом или ее компонентов должно производиться на согласованное число классов;
- 2) критериями выделения классов состояния эколого-геологических условий литосферы и связанных с ними зон экологического состояния экосистем на картах может служить ряд показателей, подразделяющихся на тематические, пространственные и динамические;
- 3) выделение классов состояния эколого-геологических условий литосферы и зон состояния экосистемы может и должно осуществляться на основе небольшого числа наиболее представительных показателей, но обязательно с использованием и взаимным учетом тематических, пространственных и динамических критериев оценки;
- 4) основные требования к геологической основе эколого-геологической карты – отображение на ней показателей, на базе которых возможна площадная оценка экологического состояния картируемого объема литосферы и разработка прогнозных оценок;
- 5) классификация эколого-геологических карт по содержанию и масштабу должна учитывать все их многообразие и обеспечивать возможность учета эколого-геологической обстановки при реальном проектировании экологически ориентированных мероприятий;
- 6) характеристика состояния эколого-геологических условий литосферы или их оценка в тех или иных категориях должны отображаться на эколого-геологических картах всех типов фоновой цветовой закрашкой;
- 7) выбор способов отображения на карте интегральной оценки состояния эколого-геологических условий литосферы может проводиться на основе «суммирования» оценок различных экологических свойств отдельных компонентов литосферы разными способами.

В настоящее время существует опыт составления эколого-геологических карт, отображающих особенности эколого-геологических условий, обусловленных реализа-

цией всей совокупности факторов, их определяющих [3, 4, 5, 6]. При этом основной проблемой остается обоснование путей получения значений интегрального показателя, который представляет собой синтез оценок показателей более низкого уровня, отобранных для описания территориальных систем, а также увеличение надежности обоснования «весов» и «взвешенных» оценок показателей, необходимых для интегрирования на суммарной основе.

Так, например, при оценке эколого-геологической обстановки территории пригородов Санкт-Петербурга Ю.А. Сысоев [6] использовал различные показатели геологической среды, имеющие ряд характеристик, оцениваемых с использованием модифицированного алгоритма экспертного метода последовательных предпочтений. При составлении карты эколого-геологической обстановки автором пространственно-территориальные единицы выделялись путем наложения друг на друга разнокачественных контуров – границ области «работы» того или иного значения показателя. Значения эколого-геологической обстановки как интегрального показателя в пределах каждого из выделенных типов определялись путем суммирования экспертных нормированных оценок конкретных значений выбранных частных и интегральных показателей более низкого уровня.

Метод индивидуальных экспертных оценок позволяет значительно повысить надежность обоснования «весов» показателей состояния геологической среды и техногенного воздействия, используемых здесь в качестве критериев эколого-геологической оценки. Несмотря на это, предлагаемая методика не позволяет учитывать показателей биотической составляющей эколого-геологической системы, не принимая в расчет то обстоятельство, что интегральный показатель подобной оценки должен нести в себе информацию, характеризующую состояние биотического компонента.

Достаточно часто исследования по оценке эколого-геологической обстановки выполняются с применением хорошо известной «балльной» оценки. Тем не менее, некоторые из них не всегда соответствуют определению «эколого-геологических», рассматривая только одну из сторон функциональных связей в эколого-геологической системе.

Созданные на этой основе карты отображают экологическое состояние геологической среды, обусловленное воздействием двух групп факторов – природных и техногенных, а интегральная оценка естественного экологического состояния геологической среды представляет собой полуколичественную (балльную) оценку, полученную как среднее арифметическое баллов, характеризующих группы выбранных показателей.

Осуществление интегральной оценки возможно не только на базе «балльного» подхода, всегда являющегося субъективным, но и на основе установления классов состояния по наиболее экологически неблагоприятному компоненту литосферы либо ее экологической функции [6]. Для этого на основе матричной легенды эколого-геологической карты определяется максимально «неблагоприятное» экологическое свойство литосферы (через ее экологические функции), которое и определяет класс состояния территории. При этом легенда содержит характеристику каждого анализируемого контура, реализуя на практике принцип оценки территории по экологически «худшему» показателю. Предлагаемая оценка отличается большей адресностью и корректностью по сравнению с балльной.

На практике подобная методика была применена И.И. Косиновой [5] в процессе крупномасштабных эколого-геологических исследований Старооскольского экогеорайона масштаба 1:25000. Несомненное преимущество рассматриваемых исследований заключается в том, что оценка эколого-геологического состояния территории основывается на медико-токсикологических параметрах. В то же время, по нашему мнению, в процессе проведения данной работы допущена существенная неточность. Уровень заболеваемости населения или уровень деградации растительности рассматривается здесь в качестве внешнего фактора, тогда как для включения его показателей в качестве характеристики состояния эколого-геологической системы, на наш взгляд, необходимо использование статистически обоснованных критериев, отражающих внутреннее единство причинно-следственных связей всех ее компонентов. Учитывая, что для каждой отдельной эколого-геологической обстановки определяющим является действие не отдельных компонентов эколого-геологической среды, а их комплекса, для обоснованной комплексной оценки необходимо включение в картографическую модель возможно большего набора медико-токсикологических параметров, которые служат интегральным показателем состояния геологической среды.

Таким образом, примеры построения эколого-геологических карт и оценки территории дают во многих случаях значительные результаты. В то же время степень влияния в конечном итоге какого-либо параметра (используемого при районировании) на жизнь человека определить исключительно сложно. Основные трудности получения интегральных оценок возникают, вероятно, не столько из-за необходимости учета многих показателей, сколько из-за того, что учитываемые показатели обладают разным весом, играют различную роль во взаимодействии с природным комплексом и техническими системами. Наложение факторов, суммирование баллов, даже с каким-либо коэффициентом значимости фактора может или неоправданно усилить влияние отдельного параметра, или же что-то значительно размывает. Ведь само определение значимости того или другого фактора не поддается простому решению.

Некоторые исследователи в качестве интегральной оценки выбирают какой-либо индикатор общего состояния территории. Критерием такой оценки могут служить различные показатели здоровья человека (продолжительность жизни, заболеваемость, число долгожителей и т.п.). В правильности такого подхода сложно сомневаться. Однако основной недостаток этого вида индикации заключается в значительном запаздывании получаемой информации относительно состояния среды. Особенно усугубляется ситуация в случае действия самых разных факторов (загрязнителей) в малых дозах. Эффекты такого воздействия могут появиться со столь значительным запаздыванием, что связать их с определенным воздействием иногда просто невозможно. Кроме того, не всегда можно найти прямую зависимость между неблагоприятным состоянием среды и конкретной заболеваемостью. И хотя, на наш взгляд, именно эти показатели могут приблизить к решению проблемы, обращаться с ними следует с большой осторожностью.

Принимая во внимание современные проблемы оценки эколого-геологического состояния городских территорий, нами были сформулированы следующие задачи.

1. Разработать состав, структуру и содержание комплексной оценки эколого-геологического состояния городской территории, позволяющей учитывать тематиче-

ские, пространственные и динамические эколого-геологические критерии, в том числе комплекс медико-санитарных показателей населения.

2. Разработать методику построения карты эколого-геологической обстановки городской территории, позволяющую качественно и количественно отразить наиболее значимые факторы геологической среды и пути их воздействия на условия проживания городского населения.

Методика комплексной оценки эколого-геологического состояния городских территорий

Для проведения комплексных эколого-геологических исследований городских территорий наиболее удачно может быть реализован системный подход с использованием функционального анализа, позволяющего определить пути и способы достижения стабильного развития эколого-геологической системы.

Объектом исследований в процессе комплексной оценки служат эколого-геологические функции верхних горизонтов литосферы городской территории. Предметом – взаимосвязь техногенно измененной литосферы с биотой в пределах эколого-геологической системы, сформированной городской агломерацией. В методическую основу положены вышеперечисленные принципы [1].

В состав комплексной оценки урбанизированной территории входят три этапа, каждый из которых характеризуется объектом и целью исследований, соответствующими разделами выполняемых работ и их задачами, видами работ, источниками получения информации и конечным результатом.

На **первом этапе** работ создается информационная база, для чего производится сбор и инвентаризация всего существующего фактического материала. Работы выполняются по двум направлениям: подготовка топографической основы и сбор и систематизация фондовой, опубликованной, административной и статистической информации.

Для выполнения топографической основы в соответствии с основной целью определяются масштабы исследований, которые могут включать всю городскую территорию в целом, отдельные административные или промышленные районы, наиболее проблемные участки. Топографическая основа выбранного масштаба оцифровывается, дополняется административными границами, представляется в электронном и картографическом вариантах, а затем тиражируется в необходимом для дальнейшей работы количестве. Электронный вариант топографической основы служит основой математической модели геологической среды с возможностью вывода результатов в картографических моделях с последующей возможностью постоянного пополнения и уточнения информации, позволяющей получать оперативные и достоверные данные о состоянии геологической среды.

Параллельно выполняется сбор и инвентаризация материалов по геологическим, гидрогеологическим, инженерно-геологическим, почвенным и другим природным условиям, формирующим экологические функции геологической среды исследуемой территории. Все картографические материалы выполняются в едином рабочем масштабе. Информационная база дополняется статистическими данными городских управлений здравоохранения, экологии, санитарно-эпидемиологических стан-

ций и др., которые представляются в удобном для дальнейшей работы электронном варианте.

Второй этап комплексной оценки посвящен изучению современного состояния эколого-геологической системы территории. В процессе его реализации решаются следующие задачи:

- дается характеристика геологической среды и рассматривается специфика проявления ее экологических функций;
- определяются уровни трансформации экологических функций геологической среды под влиянием техногенных воздействий;
- оценивается современное состояние геологической среды;
- дается комплексная характеристика экосистем урбанизированной территории.

1. Пространственные закономерности свойств геологической среды выявляются при проведении естественно-исторического смешанного (регионального и типологического) инженерно-геологического районирования. При этом выборе критериев районирования предшествует анализ инженерно-геологических условий исследуемой территории. Среди наиболее общих признаков, определяющих инженерно-геологические условия местности, наиболее существенными являются морфометрические особенности рельефа наличие или отсутствие в разрезе слабопроницаемых отложений, строение, мощность, состав и генезис отложений верхних горизонтов земной коры. При инженерно-геологическом районировании в обязательном порядке учитывается геоморфологическая характеристика, гидрогеологические условия и проявление инженерно-геологических процессов. Основным результатом этой части работ являются установление типов геологической среды и специфики проявления ее экологических функций.

2. Анализ изменений, происходящих в геологической среде, и оценка уровня трансформации ее экологических функций под воздействием города проводятся на основе функционального зонирования территории и типизации техногенных воздействий на геологическую среду как техногенной составляющей эколого-геологической системы. Воздействия на геологическую среду определяются характером, интенсивностью и длительностью, о которых можно судить по градостроительной информации, располагающей данными о характере застройки, ее функциональном назначении и пространственной структуре. Использование информации точечного и площадного характера, характеризующей источники, характер и последствия каждого класса и типа воздействий на компоненты эколого-геологической системы, позволяет разработать классификацию, объединяющую все возможные виды и разновидности техногенных воздействий в пределах города.

Полный анализ техногенных воздействий, данные о проявлениях последствий техногенных воздействий, а также нормативные акты и документы, отражающие допустимые количественные и качественные показатели состояния компонентов эколого-геологической системы на этом этапе работ позволяют определить критерии оценки эколого-геологической обстановки, обусловленной проявлением экологических функций геологической среды, и выявить уровни трансформации экологических функций геологической среды. Основной результат выполнения подобных работ – это создание в рабочем масштабе частных карт эколого-геологических условий (обстановок) – эколого-геофизических, эколого-геохимических и др. – с выделением экологических зон.

3. Результатом оценки современного состояния геологической среды служит степень ее измененности, которая находится в прямой зависимости от устойчивости к техногенным воздействиям. Выполнение работ начинается с установления факторов устойчивости геологической среды, для чего в качестве основы рабочего масштаба используется схема типизации грунтовых толщ, разработанная в результате инженерно-геологического районирования. Степень устойчивости геологической среды определяется с использованием полуколичественной балльной методики при обязательном учете фактического сочетания ведущих признаков: глубин залегания и степени защищенности грунтовых вод, средних уклонов поверхности, типов почв и их водного режима, условий геохимической миграции химических элементов и радионуклидов.

Карта измененности геологической среды под влиянием техногенных воздействий выполняется на основе карты устойчивости рабочего масштаба. Измененность геологической среды оценивается по уровневой системе с использованием результатов функционального зонирования, данных частных карт эколого-геологических обстановок, и типов геологической среды по степени ее устойчивости.

4. Выполнение характеристики экосистем исследуемой территории в значительной мере зависит от наличия и характера первичной информации. Очень важно использовать весь комплекс имеющихся данных: как вновь полученных в процессе оценки эколого-геологического состояния, так и опубликованных и фондовых материалов не только количественного, но и качественного характера. Наиболее ценными являются результаты полевых экспериментов и статистические данные. Должны быть учтены сведения об истории формирования и развития городских экосистем; данные, характеризующие зеленые насаждения различного типа, структуры, генезиса, формы пользования и назначения; ареалы обитания, видовом разнообразии, а также демографических и биохимических показателях животных. Кроме того, используются данные легко доступной официальной статистики, отражающие динамику основных демографических процессов, уровней заболеваемости городского, населения, населения района, области в целом по основным нозологическим формам, динамику и структуру общей заболеваемости и отдельных ее видов, пространственное распространение основных форм заболеваемости.

В результате анализа всей информации вырабатываются тематические, пространственные и динамические критерии по трансформации фито- и зооценозов и ответной реакции растительных и животных экосистем на техногенные воздействия; устанавливается взаимосвязь в системе «население – геологическая среда»; выявляются факты повреждающего действия основных загрязнителей и определяется комплекс факторов геологической среды, состояние которого выражается в повреждающем здоровье населения действии. Для получения обоснованных выводов на этом этапе работ применяются методы математической статистики.

Завершающий, третий этап комплексной оценки эколого-геологического состояния урбанизированной территории посвящен непосредственно созданию картографической модели эколого-геологической обстановки. Для этого в электронном варианте создается многомерный массив данных, включающий все прямые критерии оценки современного состояния геологической среды и городских экосистем, а также про-

пространственное положение экологических зон, выделенных по частным картам эколого-геологических условий (обстановок).

Затем путем дискриминантного анализа определяют границы разделения многомерной совокупности, качественно и количественно учитывая наиболее значимые факторы и пути их воздействия на условия существования фито- и зооценозов, проживания городского населения [7]. Нанесение полученных результатов на карту измененности геологической среды, используемую в качестве геологической основы, с учетом административных границ в пределах города – заключительные стадии создания математико-картографической модели, преимуществом которой является возможность внесения изменений и дополнений в исходную информацию, а также непосредственной корректировки модели с визуализацией на дисплее.

Окончательные результаты комплексной оценки эколого-геологического состояния оформляются в виде легенды к карте эколого-геологической обстановки. Легенда содержит подробную характеристику классов эколого-геологического состояния территории, которая позволяет качественно и количественно отразить наиболее значимые из воздействующих факторы, а также пути их воздействия на условия функционирования фито- и зооценозов и проживания городского населения.

Таким образом, под комплексной оценкой эколого-геологического состояния мы понимаем процесс составления на топографической основе постоянно действующей картографической модели, позволяющей оценить современное состояние экологических функций литосферы, а также экосистемы в целом или ее отдельных биотических составляющих с пространственным выделением классов состояния эколого-геологических условий и зон состояния экосистемы.

Опыт проведения комплексной оценки эколого-геологического состояния на примере г. Гомеля

Начальный этап работы по комплексной оценке эколого-геологического состояния территории г. Гомеля проводился нами на топографической основе в масштабе 1:10000, последующие картографические модели – на топографической основе масштаба 1:25000.

Математическая обработка фактологической информации осуществлялась с использованием прикладного пакета программ «SURFER». Для создания математико-картографической модели территория города была разбита на блоки (46x56) и дополнена основой административного характера – границы города, административных районов, территориально-медицинских объединений, участков, обслуживаемых поликлиниками. Корректировка моделей и оформление осуществлялось с помощью программных пакетов «Photoshop» и «CorelDRAW». Статистическая обработка материалов производилась в программном продукте «STATISTICA».

Состояния геологической среды в пределах административных границ г. Гомеля оценивалось нами путем типологического инженерно-геологического районирования, в результате которого была дана характеристика геологической среды и рассмотрена специфика проявления ее экологических функций. Определены уровни трансформации экологических функций геологической среды под влиянием комплекса техногенных

воздействий. Оценка современного состояния геологической среды дана в качестве типизации территорий по измененности, которая выполнена в прямой зависимости от степени устойчивости геологической среды к техногенным воздействиям. На основании значительного количества информации, в том числе и статистической, дана комплексная характеристика экосистем территории г. Гомеля. Результаты всех вышеперечисленных исследований приведены в работах авторов [7–13].

Результатом комплексной оценки эколого-геологического состояния служит картографическая модель, выполненная на основе карты измененности геологической среды, с учетом административных границ, взаимно учитывающая наиболее значимые из воздействующих факторов геологической среды и показатели заболеваемости населения по основным нозологическим формам.

Установление классов состояния эколого-геологических условий геологической среды производилось путем дискриминантного анализа, при определении границ разделения многомерной совокупности, который качественно и количественно учитывает наиболее значимые факторы и пути их воздействия на условия проживания городского населения.

Статистической обработке предшествовала подготовка специального многомерного массива данных. Для этого была использована информация о пространственном положении экологических зон (нормы, риска, кризиса) в пределах жилой зоны каждого из участков, обслуживаемых различными медицинскими учреждениями (зоны бедствия в пределах исследуемой территории не выделено) [13]. При этом учитывалось выделение зон по каждому из действующих техногенных факторов, в наибольшей степени трансформирующих экологические функции геологической среды:

- содержанию цезия-137 в почвах и грунтах зоны аэрации;
- суммарному радиационному воздействию;
- акустическому воздействию;
- содержанию в почвах и грунтах зоны аэрации подвижной формы цинка, меди, хрома, водорастворимой формы фтора;
- валовому содержанию свинца, ртути, кадмия;
- содержанию нефтепродуктов.

Затем было определено число обращений граждан за медицинской помощью по всем нозологическим формам, соответствующее каждой экологической зоне, выделенной по каждому в отдельности фактору. Подготовленная информация заносилась в многомерный массив, фрагмент которого приведен в табл. 1.

Дискриминантный анализ является мощным статистическим средством разделения многомерных нормально распределенных совокупностей на группы таким образом, чтобы была достигнута максимальная однородность внутри групп и минимальная между ними. Преимущественным здесь является тот факт, что число групп (в нашем случае три, в соответствии с принципами ранжирования [1]) задается заранее и зависит от априорных сведений о соотношении между данными. Линейные дискриминантные функции преобразуют множество показателей, входящих в массив, в дискриминантные зависимости, которыми определяется граница разделения совокупностей, таким образом, что первая функция проводит наилучшую дискриминацию между всеми группами, вто-

рая функция является второй наилучшей и т.д. Более того, эти функции независимы или ортогональны, то есть их вклады в разделение совокупности не перекрываются.

Таблица 1

Фрагмент многомерного массива данных для проведения дискриминантного анализа и определения границ классов эколого-геологического состояния территории г. Гомеля

Нозологические формы	Зоны	Количество обращений в зоне, установленной по следующему фактору										
		суммарное радиационное воздействие	содержание цезия	содержание свинца	содержание кадмия	содержание ртути	содержание нефтепродуктов	содержание цинка	шумовое воздействие	содержание меди	содержание фтора	содержание хрома
Инфекционные заболевания	норма	822	0	2353	3785	1063	1193	901	0	2432	766	3116
Новообразования	норма	1329	0	3613	7200	2240	1727	1562	0	4885	1214	6368
Болезни эндокринной системы	норма	1367	0	2601	6129	1316	946	787	0	3325	957	5073
Болезни щитовидной железы	риск	1711	569	931	376	1912	1450	41	1449	1813	1696	449
Болезни крови	риск	315	132	214	34	468	263	52	229	287	329	149
Психические расстройства	риск	1621	396	1057	243	3444	1374	723	1923	1038	2588	959
Нервной системы и органов чувств	риск	24952	11771	20590	6195	31969	28910	5952	24880	21069	23546	12549
Болезни системы кровообращения	риск	21681	6589	16479	6042	26284	22082	6307	19202	14171	22649	10880
Болезни органов дыхания	риск	53561	12486	28901	13036	53480	48169	12636	37388	30385	46159	30897
Болезни органов пищеварения	риск	12569	2400	7548	3245	12458	11016	2915	8213	6927	11669	6761
Болезни мочеполовой системы	кризис	6411	18080	4758	0	1354	4082	12976	12554	0	9003	0
Осложнения беременности	кризис	509	1659	643	0	377	571	1495	1016	0	1205	0

Окончание табл. 1

Болезни кожи и под- кожной клетчатки	кризис	1373	4453	1143	0	448	1170	3022	2880	0	1983	0
Болезни костно- мышечной системы	кризис	7463	22652	5246	0	1815	4953	16595	15842	0	9868	0
Врожденные ано- малии	кризис	103	464	154	0	86	128	337	227	0	222	0

Коэффициенты дискриминантной функции отражают частный вклад каждой переменной (каждого фактора) в отдельную дискриминантную функцию. Для интерпретации использованы только те из них, которые признаны статистически значимыми. Таким образом, дискриминантный анализ позволяет не только надежно решить задачу классификации, но и определять информативность используемых для классификации признаков и выбирать из первоначального набора признаков оптимальную комбинацию, т.е. подбирать оптимальный комплекс из всех воздействующих факторов геологической среды.

Так, наибольшее влияние на дискриминантную функцию 1 (ДФ1) оказывают: суммарное радиационное воздействие и содержание в почвах и грунтах зоны аэрации кадмия, на ДФ2 – содержание в почвах и грунтах зоны аэрации ртути и кадмия. Значения значимых весовых коэффициентов для первых двух дискриминантных функций приведены в табл. 2. Ошибка классификации при выполнении расчетов не превышала 0,1%.

Таблица 2

Весовые коэффициенты для первых двух функций дискриминантного анализа

	Фактор, определяющий количество обращений в соответствующей экологической зоне	ДФ1	ДФ2
X ₁	Кадмий	1,38834	0,425489
X ₂	Ртуть	-2,98587	1,009336
X ₃	Цинк	-0,34245	-0,797435
X ₄	Суммарное радиационное воздействие	2,19890	-0,471011
	Постоянный коэффициент	0,78494	0,639787

Применение дискриминантного анализа позволяет провести разбиение многомерного массива на три группы по значениям дискриминантных функций, т.е. позволяет отнести территории, с установленными показателями, в определенный класс эколого-геологического состояния: удовлетворительного, условно удовлетворительного и неудовлетворительного (рис. 1). Так, участки, попадающие по диаграмме рассеяния в первые две координатные четверти уверенно могут быть отнесены к неудовлетворительному состоянию, в III координатную четверть – к условно удовлетворительному, а в IV – к удовлетворительному классу состояния.

Выявление наиболее значимых факторов и дискриминантных функций позволило по установленным в соответствии с прямыми критериям экологическим зонам, определить классы эколого-геологического состояния для каждого блока математико-

картографической модели, т.е. решить «обратную» задачу. Для приведения прямых критериев в соответствие показатели зоны принимались нами в качестве условных единиц: нормы – 1, риска – 2, кризиса – 3, – что значительно облегчило расчетные операции.

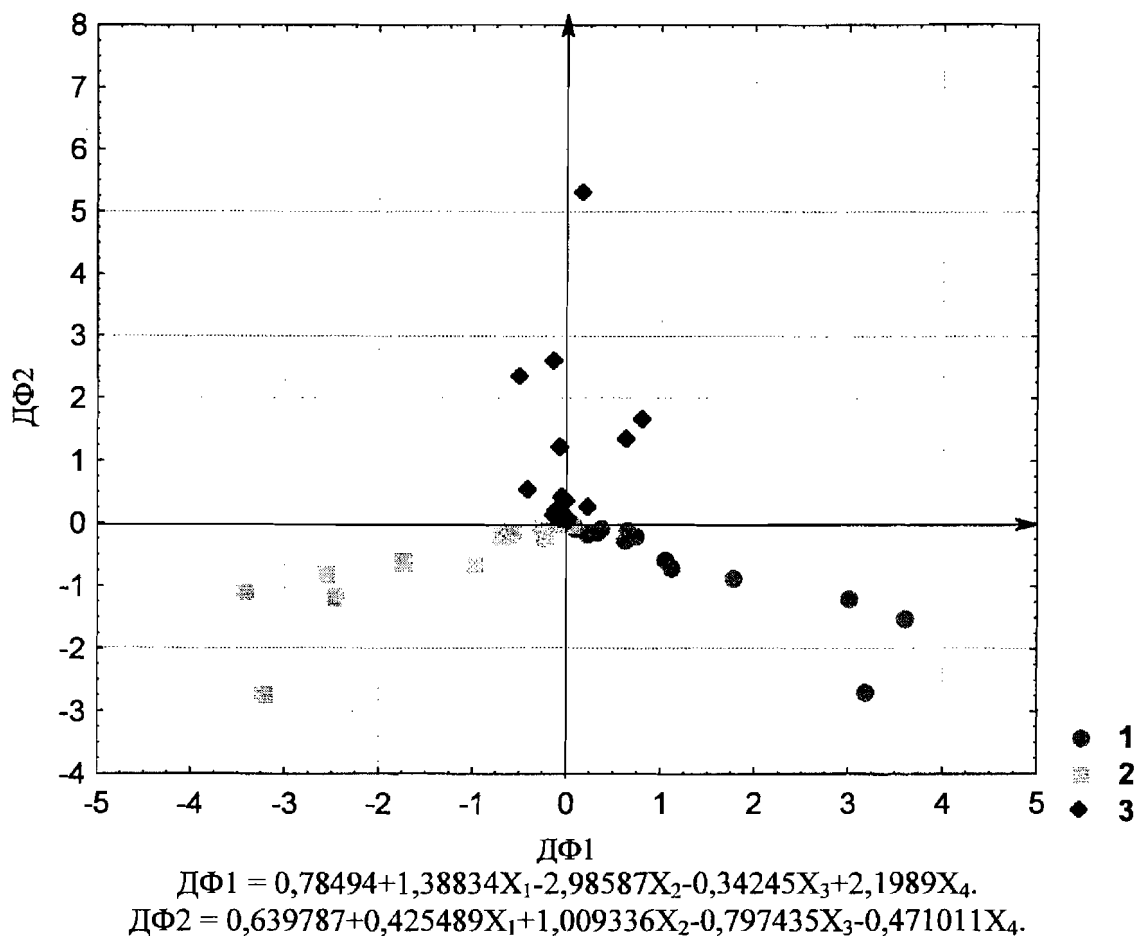


Рис. 1. Диаграмма рассеяния, отражающая границы разделения многомерной совокупности для определения классов эколого-геологического состояния.

Классы эколого-геологического состояния: 1 – удовлетворительный, 2 – условно удовлетворительный, 3 – неудовлетворительный.

Классы состояния геологической среды были отображены на карте эколого-геологического состояния цветовой фоновой закрашкой по принципу «светофора». Характеристика классов состояния, соответствующих им экологических зон, а также состояния городских фитоценозов и заболеваемости населения приведена в легенде к карте в виде взаимосвязанного пространственно-временного сочетания состояния экологических функций геологической среды и биотического компонента в целом, качественно и количественно отражая наиболее значимые факторы геологической среды и пути их воздействия на условия проживания городского населения (табл. 3).

Фрагмент легенды к карте эколого-геологического состояния территории г. Гомеля

Класс состояния	Степень измененности геологической среды	Уровень трансформации экологических функций геологической среды	Состояние городских фитоценозов	Уровень заболеваемости городского населения
1	2	3	4	5
Удовлетворительный	Слабая	<p>Ресурсной. Незастроенные территории, используемые в основном в рекреационных целях, частично под застройку усадебного типа. Для питьевых целей используются воды палеогенового водоносного горизонта, на который оборудован водозабор.</p> <p>Геодинамической. В паводковый период происходит затопление, возможно подтопление. Распространены процессы заболачивания, в северной части развита дефляция.</p> <p>Геофизической. Умеренно опасный: содержание в почвах и грунтах зоны аэрации цезия-137 не превышает $1,0 \text{ Ки/км}^2$; уровень суммарного радиационного воздействия составляет $0,2-0,5 \text{ мЗв/год}$; значительные шумовые воздействия, достигающие $75-80 \text{ дБ(А)}$.</p> <p>Геохимической. Низкий уровень трансформации по содержанию в почвах и грунтах зоны аэрации химических элементов и тяжелых металлов. Исключение составляют водорастворимая форма фтора и нефтепродукты, содержание которых достигает умеренно опасного уровня: 8 мг/кг и 250 мг/кг соответственно</p>	<p>Фитоценозы представлены древесной растительностью на окраине города, пойменными лугами и насаждениями общего пользования. Отмечается снижение размеров радиального прироста лесных фитоценозов, сопровождаемое расширением амплитуды его годовых колебаний. В отдельных видах прибрежно-водной растительности отмечается повышенное содержание тяжелых металлов</p>	<p>Проживает незначительная часть населения со средним уровнем общей заболеваемости взрослых и высоким уровнем обращения взрослых по болезням органов пищеварения, новообразованиям, а также осложнениям беременности и врожденным аномалиям</p>

1	2	3	4	5
Условно удовлетворительный	Сильная	<p>Ресурсной. Территория используется в основном для производственных и транспортных нужд, с включением отдельных незастроенных территорий. Жилые массивы представлены многоэтажной и усадебной застройкой. Для питьевых целей используются воды палеогенового и альбсеноманского водоносных горизонтов, в отдельных случаях возможно частное использование грунтовых вод.</p> <p>Геодинамической. Возможно появление верховодки, развиты эрозионно-денудационные процессы, суффозия. Происходит подтопление и заболачивание. К территории относятся участки наиболее интенсивного преобразования поверхности.</p> <p>Геофизической. По суммарному радиационному воздействию достигает умеренно опасного уровня со средними значениями 0,2–0,5 мЗв/год, за исключением локальных участков повышенных значений (до 1,0 мЗв/год). Опасных значений достигает содержание цезия в почвах и грунтах (в среднем 3,0 Ки/км²) и шумовое воздействие (более 80 дБ(А)).</p> <p>Геохимической. Умеренно опасным характеризуется уровень содержания в почвах и грунтах фтора (от 2 до 4 мг/кг), свинца (до 30 мг/кг), ртути (в среднем 0,35 мг/кг) и нефтепродуктов (в среднем 200 мг/кг). Опасного уровня достигают концентрации цинка: 40–80, местами более 80 мг/кг.</p>	<p>Фитоценозы представлены прибрежно-водной растительностью озер, насаждениями специального назначения и ограниченного пользования. В прибрежно-водной растительности отмечается повышенное содержание тяжелых металлов: меди (свыше 100 мг/кг сухого вещества), свинца (более 60 мг/кг), хрома (около 6,0 мг/кг), кадмия (до 50,0 мг/кг)</p>	<p>Отмечен наиболее высокий уровень общей заболеваемости по городу. Для взрослого населения наиболее характерны обращения по болезням органов дыхания, нервной системы и органов чувств, болезням крови, щитовидной железы, эндокринной и мочеполовой систем. Возможны заболевания кожи, костно-мышечной системы, новообразования</p>

1	2	3	4	5
Неудовлетворительный	Сильная	<p>Ресурсной. Территория промышленного назначения, с включением отдельных незастроенных участков. В ее пределах расположен крупный железнодорожный и автомобильный узел, а также коммунально-складская зона. Для питьевых целей используются воды палеогенового и альб-сеноманского водоносных горизонтов, на которые в пределах территории оборудован водозабор.</p> <p>Геодинамической. Возможно появление верховодки, развиты эрозионно-денудационные явления, подтопление, морозное пучение, процессы заболачивания. К территории относятся участки наиболее интенсивного преобразования поверхности.</p> <p>Геофизической. Умеренно опасный уровень характерен лишь для суммарного радиационного воздействия, значения которого составляют 0,2-0,5 мЗв/год. Опасного уровня достигают содержание цезия в почвах и грунтах (при средних значениях 2,6-3,0 Ки/км²) и шумовые воздействия (более 80 дБ(А)).</p> <p>Геохимической. Умеренно опасного уровня достигает большее число элементов-загрязнителей. На локальных участках они достигают опасных концентраций: цинк – до 75–80 мг/кг (средние значения около 20 мг/кг), хром – более 5,0 мг/кг; свинец – 28–35 мг/кг (средние около 20 мг/кг); кадмий – около 0,2 мг/кг, нефтепродукты – от 300 до 500 мг/кг. Опасным уровнем характеризуется содержание фтора (8,0–16,0 мг/кг) и ртути (более 0,5 мг/кг)</p>	<p>Фитоценозы представлены в основном прибрежно-водной растительностью озер, преимущественно осоковой, насаждениями общего, в том числе ограниченного пользования и специального назначения. В прибрежно-водной растительности отмечается повышенное содержание тяжелых металлов: меди (38,4–75,6 мг/кг сухого вещества), свинца (15,4–304,8 мг/кг), хрома (3,8–8,7 мг/кг), кадмия (49,1–172,8 мг/кг)</p>	<p>Уровень общей заболеваемости взрослого населения выше среднего. Наиболее высокие показатели заболеваний нервной системы и системы кровообращения. Выше средних по городу показатели заболеваемости органов дыхания, пищеварения, болезней кожи, патологий во время беременности. Наиболее характерны обращения по болезням органов дыхания, нервной системы и органов чувств, эндокринной системы, врожденным аномалиям, а также болезням кожи, костно-мышечной системы и осложнениям беременности</p>

Анализ карты эколого-геологического состояния территории г. Гомеля свидетельствует, что в пределах города в зависимости от степени измененности можно выделить три класса состояния геологической среды:

- удовлетворительного на слабоизмененных, среднеизмененных и сильноизмененных территориях;
- условно удовлетворительного на средне- и сильноизмененных территориях;
- неудовлетворительного на средне- и сильноизмененных территориях.

В целом выделенные классы состояния существенно отличаются между собой современным состоянием геологической среды, уровнем трансформации ее экологических функций и выраженным повреждающим действием городских экосистем, в том числе населения.

Таким образом, предложенная методика построения карты эколого-геологической обстановки урбанизированной территории, основанная на комплексной оценке современного состояния экологических функций геологической среды и биотического компонента в целом и заключающаяся в последовательном наборе и минимизации числа признаков и определении границ разделения многомерных совокупностей путем дискриминантного анализа, позволяет отразить в качественной и количественной форме наиболее значимые факторы геологической среды и пути их воздействия на условия проживания городского населения.

Выводы

1. Предлагаемый подход к составу, структуре и содержанию комплексной эколого-геологической оценки урбанизированной территории позволяет рассматривать состояние экосистем, в частности здоровья населения, в качестве интегрального показателя, отражающего состояние геологической среды. При этом медико-санитарные показатели рассматриваются в качестве внутренних факторов; учитываются динамика основных демографических процессов; сравнительный анализ уровня заболеваемости городского населения, населения района и области по основным нозологическим формам; динамика общей заболеваемости, структуры заболеваемости, а также изменение отдельных видов заболеваемости и распространенность заболеваемости в пределах урбанизированной территории.

2. Предлагаемая методика позволяет отразить в качественной и количественной форме наиболее значимые факторы геологической среды и пути их воздействия на условия проживания городского населения. При этом статистически обоснованно реализуется возможность рассмотрения здоровья населения в качестве интегрального показателя состояния геологической среды.

Л и т е р а т у р а

1. Трофимов, В.Т. Экологическая геология / Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. – 415 с.
2. Трофимов, В.Т. Экологические функции литосферы / В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг, Т.А. Барабошкина и др.; под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 432 с.

3. Голодковская, Г.А. К методике составления эколого-геологических карт городов / Г.А. Голодковская, М.Б. Куринов // Новые типы инженерно-геологических и эколого-геологических карт: труды Международной научной конференции, 29–30 мая 2001 г., Москва, МГУ / под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королева. – Москва, 2001. – С. 128–129.
4. Заиканов, В.Г. Геоэкологические исследования и оценка урбанизированных территорий / В.Г. Заиканов, Т.Б. Минакова, Н.С. Просунцова и др // Геоэкология. – 2000. – № 5. – С. 410–421.
5. Косинова, И.И. Теоретические основы крупномасштабных экогеологических исследований. – Воронеж: ВГУ, 1998. – 255 с.
6. Сысоев, Ю.А. Эколого-геологическая оценка урбанизированных территорий (на примере пригородов Санкт-Петербурга): автореф. ...дис. канд. геол.-минер. наук: 04.00.01, 04.00.24 / Ю.А. Сысоев. – М., 2000. – 26 с.
7. Красовская, И.А. Опыт использования ботанических и медико-санитарных критериев с целью оценки эколого-геологических условий / И.А. Красовская // Научные чтения им. акад. Ф.Ю. Левинсона-Лессинга: материалы III Международной научной конференции «Экологическая геология и рациональное недропользование (Экогеология – 2003)», Санкт-Петербург, 6–10 октября 2003 г. – СПб., 2003. – С. 190–192.
8. Галкин, А.Н. Оценка устойчивости геологической среды Гомеля к техногенному загрязнению / А.Н. Галкин, И.А. Красовская, Я.И. Аношко, В.Г. Жогло // Литосфера. – 2004. – № 1(20). – С. 100–109.
9. Галкин, А.Н. Инженерно-геологическое районирование территории г. Гомеля / А.Н. Галкин, Е.Ю. Трацевская, И.А. Красовская, А.И. Павловский // Литосфера. – 2004. – № 2 (21). – С. 5–12.
10. Красовская И.А. Трансформация биоценозов в условиях урбанизации (на примере г. Гомеля) / И.А. Красовская // Веснік ВДУ. – 2005. – № 2 (36). – С. 130–135.
11. Красовская, И.А. Устойчивость эколого-геологических систем: содержание и определение / И.А. Красовская // Веснік ВДУ. – 2004. – № 1(31). – С. 108–114.
12. Красовская, И.А. Особенности геологической среды территории г. Гомеля / И.А. Красовская, А.Н. Галкин // Сергеевские чтения, вып. 6. Молодежная сессия / Материалы годичной сессии Научного совета РАН. – Москва, ГЕОС, 2004. – С. 385–389.
13. Красовская, И.А. Особенности техногенных воздействий на эколого-геологическую систему г. Гомеля / И.А. Красовская, А.Н. Галкин, М.Г. Верутин, С.В. Коваленко // Литосфера. – 2005. – № 2 (23). – С. 91–101.

Поступило 20.04.2006