

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ****С. А. Жуков, И. И. Косинова*, В. С. Стародубцев*****Воронежский государственный архитектурно-строительный университет***Воронежский государственный университет****Воронежский филиал Российского государственного социального университета*

Интенсивное освоение территорий, развитие мегаполисов требует системного подхода к изучению нарушенных природных систем. В статье приводятся основные принципы квантификации и дискретизации эколого-геологических систем и рекомендации по проведению мониторинга в нарушенных природных системах

Ключевые слова: система, эколого-геологическая система, экологический мониторинг, моделирование, гидросфера.

Согласно паспорту специальности геэкология — это междисциплинарное научное направление, объединяющее исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов. Основной задачей геэкологии является изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек под влиянием природных и антропогенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды.

Уже в самом определении геэкологии как междисциплинарного научного направления заложено требование системного подхода к изучению геосфер Земли. В то же время сами геосферы Земли (атмосфера, гидросфера и литосфера) являются сложными динамическими системами, включающими не менее сложные подсистемы, например в составе гидросферы можно выделить подсистемы поверхностных и подземных вод и т. д.

Определяя системный подход как методологию исследования объекта и построения его математической модели, когда объект рассматривается как целостный комплекс взаимосвязанных компонентов, имеющий особое единство с внешней средой и представляющий собой подсистему системы более высокого порядка (глобальной системы) [1], мы тем самым обуславливаем необходимость ис-

пользования современных информационных технологий при изучении геосфер земли. Рациональное использование природных ресурсов предполагает эффективное управление нарушенными природными процессами на основе широкого использования информационных технологий.

С другой стороны, процессы в нарушенных природных системах характеризуются динамичностью. При этом изменяются как отдельные характеристики процессов, так и их внутренняя структура. Это вызывает необходимость использования информации, получаемой в результате мониторинга за геэкологическими процессами. Такая информация должна обладать достаточной точностью, что связано с проблемой выбора показателей природной среды, которые можно было бы использовать в моделировании и получать результаты, пригодные для оценки тех или иных реальных объектов, выбранных в качестве объектов исследования. Эти требования, в свою очередь, накладывают довольно жесткие требования к проведению геэкологического мониторинга природной среды.

В материалах конвенции о биологическом разнообразии (Рио-де-Жанейро, 3–14 июня 1992 года) экосистема означает динамичный комплекс сообществ растений, животных и микроорганизмов, а также их неживой окружающей среды, взаимодействующих как единое функциональное целое. Таким образом, экологическая система — это природный объект (часто испытывающий значительные техногенные нагрузки), динамически изменяющийся во времени и пространстве [2].

Изучение геоэкологических условий, экологической геодинамики природных систем диктуется необходимостью прогнозировать экологические последствия промышленного освоения и развития территорий.

Квантификация природного континуума на природные, природно-технические, эколого-геологические и другие системы осуществляется исследователем для эффективного управления изучаемыми объектами (в дальнейшем будут рассматриваться только эколого-геологические системы, требующие эффективного и оперативного управления, однако такой выбор не означает, что предлагаемые решения и рекомендации не могут быть применены к другим системам). Рассмотрим более подробно особенности квантификации экогеосистем.

Как и всякая природная система, эколого-геологическая система является открытой и, как следствие этого, всегда находится в состоянии динамического равновесия [3]. Динамическое равновесие предполагает возбуждение процессов, препятствующих нарушению равновесного состояния системы. Вследствие этого можно предположить, что всякое вмешательство человека в эколого-геологическую систему будет приводить к противодействию системы, что проявляется в изменении характеристик системы и вынуждает нас отказываться от их использования или затрачивать значительные дополнительные средства на их преодоление.

Квантификация природных систем — это процесс, при помощи которого природный континуум сводится к дискретному. Очевидно, что квантификация является в высшей степени субъективным процессом, т. к. может различаться пространственно-временными границами, учетом внешних и внутренних факторов развития системы, а также объемами и видами техногенного воздействия. Любая природная система всегда представляет квантифицированные образы и структуры.

Очевидное преимущество квантифицирования континуума и перехода к дискретному состоит в том, что оно гарантирует устойчивость построенных таким образом структур. Это соотношение между квантификацией и устойчивостью является существенным при любом количественном рассмотрении структур.

Эколого-геологическая система обладает динамическими свойствами, т. е. свойствами, которые со временем вызывают изменения не только во взаимодействии частей, но также и в самих эле-

ментах. Поэтому изменение может касаться самой структуры системы или приводить к изменению типа или количества элементов, образующих систему без изменения характера процесса взаимодействия, или связи между элементами системы. Исследование экологических систем состоит в нахождении и распознавании различных иерархических уровней (по времени и пространству) и характеристик каждого уровня.

Процесс дискретизации систем должен исходить из двух фундаментальных положений.

1. Дискретизация системы должна повышать и улучшать наши знания о природном континууме.

2. Иерархические уровни системы должны относиться к тому же классу эквивалентности, что и сама система.

Дальнейшее изучение выделенных систем подразумевает их дискретизацию, что, в свою очередь, также накладывает отпечаток на интерпретацию полученных результатов. При этом результаты различных исследователей остаются сопоставимыми с изучаемыми природно-техническими процессами, а описательная часть (заклучение о эколого-геологических условиях территории, прогноз и рекомендации) сильно различается.

Для устранения этой многозначности предлагается в качестве критерия значимости полученных результатов (КЗПР) рассматривать погрешность прогноза развития природно-технических процессов. Так как управление эколого-геологическими системами, как, впрочем, и всеми другими сложными системами, базируется на планировании и прогнозировании процессов в изучаемых системах, то такой выбор КЗПР очевиден. Если полученные результаты на 5, 10 % и более повышают точность прогноза по сравнению с предыдущими исследованиями, то тем самым можно утверждать, что мы расширили свои знания об изучаемой эколого-геологической системе.

Анализ стадий квантификации природного континуума, дискретизации выбранной эколого-геологической системы, подготовки, проведения и обработки результатов эксперимента позволяет выделить своеобразный граф эколого-геологической системы [4] — дискретную сетевую структуру, описывающую некоторый нарушенный процесс. Рассмотрим это понятие применительно к эколого-геологической системе крупного промышленного центра. Такой выбор диктуется важностью сохранения экологического качества окружающей нас гидросферы, необходимого для комфортного развития человеческого социума.

Процесс круговорота воды в природе требует рассматривать в эколого-геологическом плане такие его составляющие, как атмосферный массоперенос загрязняющих компонентов и поверхностный сток. В то же время очевидно, что и атмосферный массоперенос, и перенос загрязняющих компонентов поверхностными водами являются доминирующими факторами, определяющими экологическое качество подземных вод (инфильтрационные водозаборы, незащищенные водоносные горизонты, используемые населением для водоснабжения и др.)

Каждый из этих трех процессов представлен своим пространством и развитием, что предполагает изменения как в пространстве, так и во времени. Поэтому очевидно, что каждый процесс должен быть описан оригинальной моделью, учитывающей не только особенности самого процесса, но и взаимодействия с другими процессами триады. В результате эта часть графа получила название «модель».

Изучение особенностей формирования и развития процессов массопереноса атмосферой, поверхностными и подземными водами невозможно без проведения соответствующего мониторинга. Реализация мониторинга для каждого отдельного процесса будет различаться как по форме, так, что немаловажно, и по шагу дискретизации времени. Эти фактические данные используются не только для идентификации законов наблюдаемых процессов, но и для задания максимальных и/или мини-

мальных значений параметров, характеризующих изучаемый процесс или явление. Такой подход осуществляется для случая планового развития эколого-геологической системы на основе рационального использования природных ресурсов. Поэтому эту часть графа эколого-геологического процесса уместно определить как «план».

Экономико-географическое планирование, рациональное и эффективное управление и определение перспектив развития благоприятных и неблагоприятных процессов и явлений невозможно без системы краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования. Все это заставляет нас рассматривать прогноз как составляющую часть графа эколого-геологического процесса.

Интегрируя озвученные постулаты, определения и утверждения, можно представить граф эколого-геологической системы как неразрывное динамическое единство модели, плана и прогноза.

Реализуя методологию динамического единства составляющих графа эколого-геологической системы, граф гидросферы крупного промышленного центра описывается для случая инфильтрационных водозаборов подземных вод следующей системой уравнений (1). Эта система уравнений решает плановую задачу геофильтрации и включает уравнение атмосферной турбулентной диффузии для осредненных значений скоростей и концентрации (1), уравнение турбулентной диффузии в системе «воздушная среда – водная поверхность» (2, 3), уравнение массопереноса загрязняющих компонентов в дон-

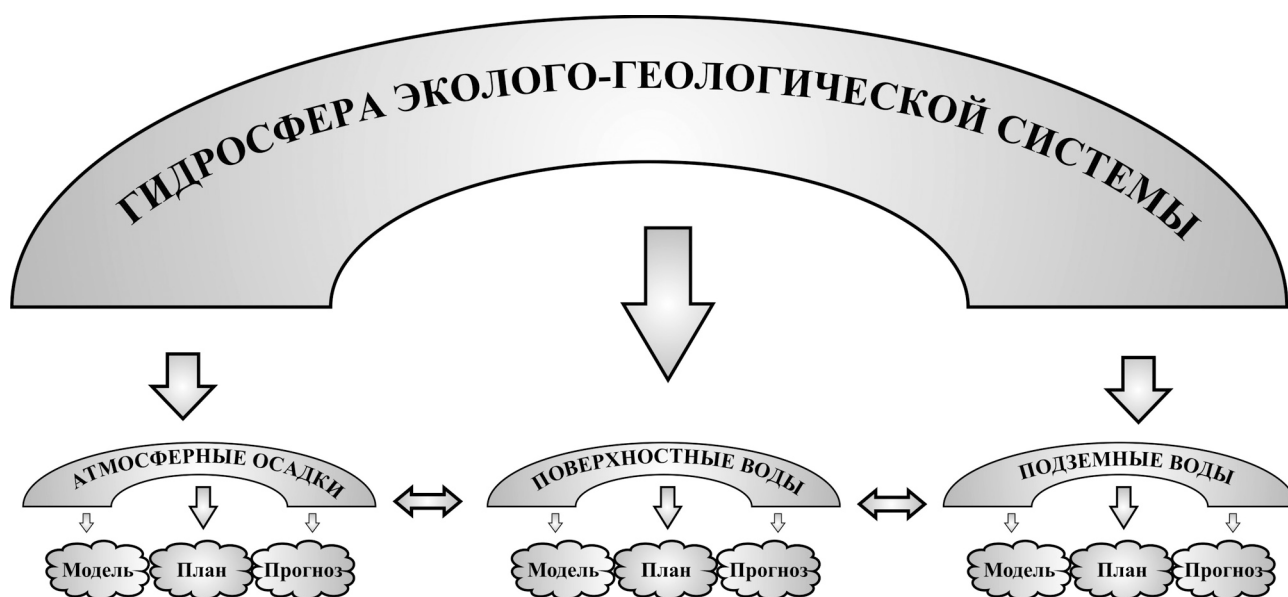


Рис. 1. Схематизация гидросферы эколого-геологической системы на основе дискретной сетевой структуры нарушенных процессов

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial c}{\partial y} \\ \frac{G}{L} \frac{dc_{ar}}{ds} - c_{ar} + \psi c_B = 0 \\ \frac{dc_B}{ds} - c_{ar} + \psi c_B = 0 \\ \frac{d}{dz} \left(D_p \frac{dc}{dz} \right) + V_p \frac{dc}{dz} + J = n \frac{dc}{dt} \\ \mu_0^* \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) \\ \frac{d}{dw_i} \left(D_i \frac{dc}{dw_i} \right) + V_i \frac{dc}{dw_i} + J = n \frac{dc}{dt} \end{array} \right.$$

ных отложениях (4) и уравнения плановой геофильтрации (5) и геомиграции (6) [4–6].

Процесс квантификации для геоэкологических систем должен предусматривать возможные изменения структуры системы при различных дискретизационных построениях по времени и пространству.

Исходя из того, что эколого-геологическая система всегда стремится к динамическому равновесию, а также второму фундаментальному положению о классах эквивалентности иерархических уровней системы, следует выбирать шаг дискретизации по времени, сопоставимому со временем протекания противодействующего процесса.

Очевидно, что пространственная дискретизация, основываясь на определении системы, должна включать хотя бы один компонент системы, но вместе с этим количество рассматриваемых компонентов не должно приводить к изменению класса эквивалентности системы.

Анализируя подходы к решению проблемы наблюдений за изменениями в природных системах мы пришли к следующим выводам:

– квантификация природной среды является в высшей степени субъективным процессом;

– дискретизация эколого-геологических систем должна проводиться на основе повышения качества прогнозов.

Были определены также требования, предъявляемые к мониторингу эколого-геологических систем. Однако само понятие мониторинга неоднозначно трактуется различными исследователями. Рассмотрим понятие мониторинга применительно к эколого-геологическим системам.

- В настоящее время мониторинг широко используется в различных сферах жизни. Развиваясь наиболее интенсивно в экологии и социологии он, тем не менее, наряду с общими подходами, имеет и свои отличия. Согласно [8] мониторинг выполняет функции наблюдения и предупреждения, а И. В. Бестужев-Лада определяет мониторинг в социологических исследованиях как средство прогнозирования, базирующееся на опросах экспертов и позволяющее отвечать на вопрос: «Что будет, если...».

- Применительно к эколого-геологическим системам понятие мониторинга также эволюционировало. Так, в [9] под мониторингом понималась «...многокомпонентная совокупность природных явлений, подверженная многообразным естественным динамическим изменениям и испытывающая разнообразные воздействия и преобразования ее человеком». С другой стороны [10], мониторинг предлагается рассматривать как «...систему наблюдений, которая позволяет выделить частные изменения состояния биосферы, происходящие только под влиянием антропогенной деятельности».

Такой расширенный, или, наоборот, субъективно детерминированный подход объясняется, конечно же, различными подходами при квантификации природной среды.

По нашему мнению, наиболее полно мониторинг трактуется в [11] как «комплекс выполняемых по научно обоснованным программам наблюдений, оценок, прогнозов и разрабатываемых на их основе рекомендаций и вариантов управленческих решений, необходимых и достаточных для обеспечения управления состоянием окружающей природной среды и экологической безопасностью» и в конвенции о биологическом разнообразии (Рио-де-Жанейро, 3–14 июня 1992 года), где каждая страна обязуется посредством отбора образцов и других методов осуществлять мониторинг компонентов биологического разнообразия, уделяя особое внимание тем, которые требуют принятия неотложных мер по сохранению, а также тем, которые открывают наибольшие возможности для устойчивого использования. В свою очередь, под термином «устойчивое использование» понимается использование компонентов биологического разнообразия таким образом и такими темпами, которые не приводят в долгосрочной перспективе к истощению биологического разнообразия, тем самым сохраняя его способность удовлетворять потребности нынешнего и будущих поколений и отвечать их чаяниям.

Объединяя оба эти определения и дополняя их системным подходом к изучению изменений природной среды, понятие «мониторинг эколого-геологических систем» можно трактовать как комплекс выполняемых по научно обоснованным программам наблюдений, оценок, прогнозов и разрабатываемых на их основе рекомендаций и вариантов управленческих решений, необходимых и достаточных для обеспечения управления состоянием эколого-геологических систем с целью обеспечения их устойчивого состояния.

В этом определении сфокусированы основные принципы проведения эколого-геологического мониторинга:

- приоритет управления при проведении мониторинга с целью устойчивого использования ресурсов природной среды;
- информационная открытость: результаты экологических исследований должны быть доступны для широкой общественности.

Полученная в результате проведения мониторинга экологическая информация затем проходит этапы систематизации и анализа с целью ответов на вопросы о качественных и количественных изменениях природной среды, выявления причин структурных изменений природных систем, прогнозов их дальнейшего развития и устойчивого использования.

Обобщая все вышесказанное, можно представить информационную систему эколого-геологического мониторинга согласно рис. 2.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- предметом эколого-геологического мониторинга являются нарушенные природные геосферы Земли — динамические объекты, находящиеся под влиянием внешних воздействий, которые могут вызвать аномальные изменения в функционировании объекта;
- постановка мониторинга эколого-геологических объектов должна базироваться на системном подходе к квантификации природного континуума. При этом дискретизация систем должна повышать и улучшать наши знания о природном континууме;
- проведение мониторинга предполагает организацию, по существу, режимных наблюдений (дискретизированных по времени и пространству) за объектом. В настоящее время режим наблюдений во многом определяется важностью объекта и ресурсными возможностями. Стало правилом проводить одноразовые акции мониторинга различных

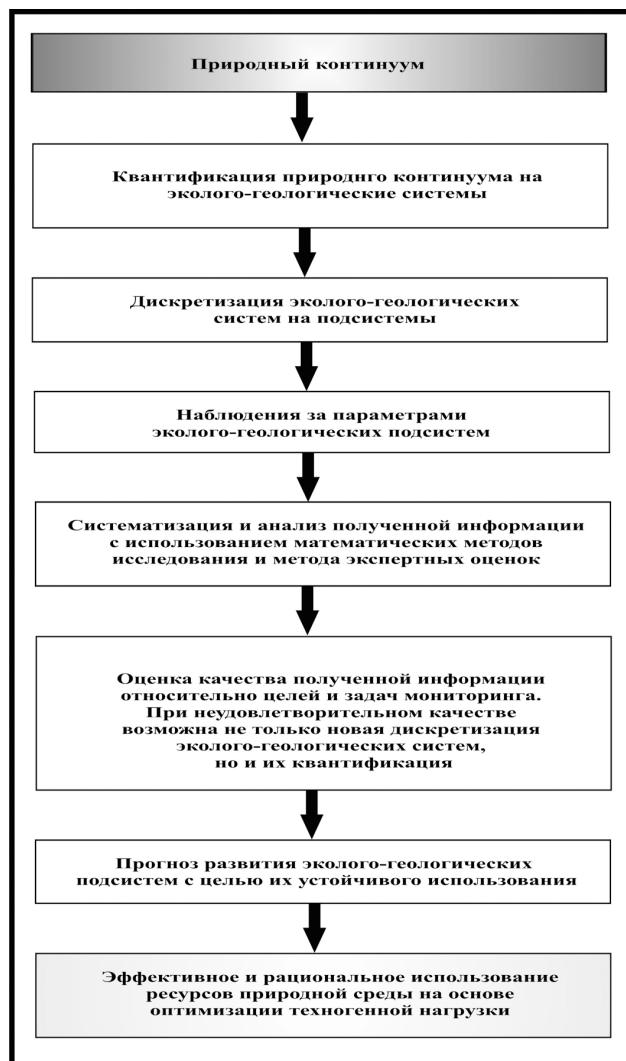


Рис. 2. Информационная система эколого-геологического мониторинга

эколого-геологических систем, делая при этом обобщающие выводы. Такая проблемная организация мониторинга может не учитывать системные принципы развития эколого-геологических систем;

- проблемная организация мониторинга косвенно приводит к ограничению доступа к экологической информации. Несмотря на многочисленные решения, до сих пор присутствует ведомственный подход при решении данной проблемы;

– направленность мониторинга на управление эколого-геологическими системами диктует необходимость получения не только качественной информации как об изменениях природной среды, так и о техногенной нагрузке на природные системы, но и ее достаточно квалифицированной количественной оценки. К сожалению, в настоящее время экологическая информация носит общий характер. Экологические данные в основном при-

водятся за год и по крупным эколого-геологическим системам (областям, районам, городам).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Орехов Н. А.* Математические методы и модели в экономике: Учеб. пособие для вузов [Текст] / Н. А. Орехов, А. Г. Левин, Е. А. Горбунов. — М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2004. — 302 с.

2. *Беляев В. И.* Теория сложных геосистем [Текст] / В. И. Беляев. — Киев : Наук. думка, 1978. — 134 с.

3. *Косинова И. И.* Теория и методология крупномасштабных эколого-геологических исследований / И. И. Косинова. — Воронеж : ВГУ, 1998. — 355 с.

4. *Жуков С. А.* Квантификация сетевых структур природно-техногенных систем [Текст] / С. А. Жуков, В. С. Стародубцев // Моделирование систем и процессов—2007. — Вып. 2. — С. 10–14.

5. *Берлянд М. Е.* Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы [Текст] / М. Е. Берлянд. — Л. : Гидрометеоиздат, 1975. — 448 с.

6. *Полосин И. И.* Экологическая безопасность внутригородских водоёмов (на примере Воронежского водо-

хранилища) [Текст] / И. И. Полосин, А. И. Скрыпник, С. А. Жуков, В. А. Крайников. — Воронеж : ВГАСУ, 2005. — 100 с.

7. *Шестаков В. М.* Динамика подземных вод [Текст] / В. М. Шестаков. — М. : Изд-во МГУ, 1979. — 368 с.

8. *Реймерс Н. Ф.* Природопользование: Словарь-справочник. [Текст] / Н. Ф. Реймерс. — М. : Мысль, 1990. — 637 с.

9. *Герасимов И. П.* Научные основы современного мониторинга окружающей среды [Текст] / И. П. Герасимов // Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1975. — № 3. — С. 13–25.

10. *Израэль Ю. А.* Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка изменений состояния окружающей природной среды. Основы мониторинга [Текст] / Ю. А. Израэль // Метеорология и гидрология. — 1974. — № 7. — С. 3–8.

11. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1995 г.». — М. : Центр междунар. проектов, 1996. — 458 с.