



# МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛИТОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

## METHODOLOGICAL BASIS OF ENGINEERING-GEOLOGICAL SUBSTANTIATION OF LITHOTECHNICAL SYSTEM MANAGING

**ГАЛКИН А.Н.**

Доцент кафедры географии Витебского государственного университета им. П.М. Машерова, к.г.-м.н.,  
Galkin-Alexandr@yandex.ru

**GALKIN A.N.**

An associate professor of the department of geography of Masherov Vitebsk State University, candidate of geological-mineralogical sciences,  
Galkin-Alexandr@yandex.ru

### Ключевые слова:

инженерная геология; литотехнические системы (ЛТС); состояние системы; режим функционирования; управление ЛТС; информация; инженерно-геологическое обоснование; методологические подходы.

### Key words:

engineering geology; lithotechnical systems (LTS); system state; regime of operation; LTS managing; information; engineering-geological substantiation; methodological approaches.

### Аннотация

**В статье на основе теорий системного анализа, мониторинга и геокибернетики раскрыто содержание и дано развернутое определение понятия «управление литотехнической системой (ЛТС)», сформулированы его цель и задачи. Предложено новое определение понятия «инженерно-геологическое обоснование управления ЛТС». Установлена необходимость применения в процессе выработки геологически обоснованных управленческих решений по оптимизации функционирования ЛТС системного, ситуационного, динамического и сценарного научных подходов.**

### Введение

Изучение процессов, происходящих в верхних горизонтах литосферы в связи с инженерной деятельностью человека, традиционно считается одной из главных научных задач инженерной геологии. При этом предметами исследований все чаще выступают литотехнические системы (ЛТС), под которыми понимают любые комбинации из технических устройств или технических продуктов их использования и литосферного блока любой размерности, элементы которых взаимодействуют друг с другом и объединяются выполняемой социально-экономической функцией. В инженерной геологии они изучаются с целью обеспечения устойчивого функционирования инженерных сооружений либо инженерно-хозяйственной деятельности человека в целом [28].

В условиях современного обострения геоэкологических проблем одной из важнейших инженерно-геологических задач является реабилитация (восстановление) техногенно нарушенных территорий, на которых состояние литотехнических систем уже достигло критического или опасного уровня развития. Для решения этой задачи необходима научная разработка геологического (точнее, инженерно-геологического) обоснования управления такими системами.

В настоящее время имеется целый ряд научных работ, рассматривающих проблемы управления ЛТС или ПТС (природно-техническими системами). В большинстве своем они затрагивают вопросы создания систем управления функционированием отдельных типов ЛТС (ПТС) — урбанизированных территорий (Г.А. Голодковская, Е.С. Дзекцер, Г.Л. Кофф, В.И. Осипов, А.Л. Рагозин, Л. Чан Мань и др.), памятников архитектуры (В.Л. Невечеря, В.О. Подборская и др.), полигонов ТБО (О.М. Гуман, С.Н. Костарев и др.), объектов нефтегазового (В.Г. Аковецкий, В.В. Пен-

### Abstract

**The article reveals the contents and gives a detailed definition of the concept of «lithotechnical system (LTS) managing» on the basis of the system analysis theories, monitoring and geocybernetics, formulates its goals and objectives. The authors propose a new definition of the concept of «engineering-geological substantiation of lithotechnical system managing». The necessity of using systemic, situational, dynamic and scenario scientific approaches for developing geologically substantiated managerial decisions to optimize LTS operation is determined.**

дин и др.), горнодобывающего (В.Н. Попов, Е.А. Федорова и др.), железнодорожного (А.П. Камышев и др.) и автотранспортного (В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко и др.) комплексов, промышленного и гражданского строительства (М.В. Графкина, А.Д. Потапов и др.) и ряда других. В каждой из этих систем, как показывает анализ, обеспечивается определенная (в зависимости от критерия эффективности [4]) эффективность управления ЛТС. Однако, по мнению автора, используемые разными учеными методологические подходы к управлению не учитывают всего многообразия типов ЛТС, как следствие, имеют ограниченное применение и носят частный характер. Поэтому ни один из них не может служить общей основой для формирования научной стратегии инженерно-геологического обоснования управления ЛТС.

Теоретические и методологические аспекты управления функционированием ЛТС в целом наиболее полно отражены в работах Г.К. Бондарика [2–9] и В.А. Королева [21, 22]. В этих работах с позиций теории управления геологической средой (по В.А. Королеву) или геокибернетики (по Г.К. Бондарнику) достаточно подробно рассмотрены функциональная сущность управления литотехническими системами, его цели, задачи, существующие возможности и ограничения, а также ряд научных положений и принципов, определяющих научно обоснованные подходы к управлению ЛТС. В то же время данные работы, несмотря на высокую степень их информативности, не в полной мере учитывают специфику различных ЛТС (их структуру, функциональные особенности (длительность и режим работы), пространственное положение и т.п.), от которой в значительной степени будет зависеть выработка геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования этих систем.

Цель настоящей работы — развитие современных научных представлений об управлении литотехническими системами, базирующихся на теориях системного анализа, мониторинга и кибернетики, об особенностях управления функционированием ЛТС различного уровня, об информационном обеспечении (как основе для разработки методологических подходов и принципов создания системы инженерно-геологического обоснования управления ЛТС). В соответствии с этим в статье решаются следующие задачи:

- 1) на основе анализа главных факторов (состояния и режима функционирования ЛТС), определяющих условия управления данной системой, предложить теоретически продуктивную и содержательную формулировку понятия «управление ЛТС», сформулировать его цель и задачи;
- 2) рассмотреть особенности информационного обеспечения управления литотехническими системами, определить условия получения информации, необходимой для управления ЛТС;
- 3) раскрыть содержание и дать определение понятия «инженерно-геологическое обоснование управления ЛТС»;

- 4) определить и обосновать методологические подходы, необходимые в процессе выработки геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования ЛТС.

### **Современные представления об управлении литотехническими системами**

Любые литотехнические системы изначально создаются как управляемые. При этом управление ЛТС представляет собой заключительную цепь функциональных процедур в системе их мониторинга.

В общем виде под управлением понимается *процесс организации целенаправленного воздействия на какую-либо систему, обеспечивающий ее переход в требуемое (целевое) состояние, поддержание необходимых режимов ее функционирования, а также сохранение и развитие ее структуры*. Иными словами, управление есть функция некоторой системы, направленная либо на сохранение ее основного качества, потеря которого приводит к ее разрушению, либо на выполнение программы, обеспечивающей устойчивость функционирования данной системы и достижение ею заданной цели, либо на ее развитие. Отсюда следует, что цель любой функциональной системы состоит в обеспечении собственного устойчивого существования [21].

Управление является необходимым условием нормального функционирования всякой системы, в т.ч. и ЛТС. Его основу составляют процессы получения информации о системе, ее переработки, нахождения управляющих воздействий и обеспечения их реализации.

Согласно Г.К. Бондарнику [3, 4], управление литотехнической системой — это взаимодействие с ней, выбранное на основе соответствующей информации из возможных вариантов взаимодействия, улучшающее в требуемом отношении функционирование ЛТС. Управление всегда предусматривает изменение состояния системы, которое достигается в результате изменения управляющих воздействий.

В теории систем и кибернетике состояние системы есть упорядоченная совокупность значений параметров (внутренних и внешних), определяющих ход происходящих в ней процессов. При этом множество значений параметров системы в различные моменты времени образует пространство ее состояний. Соответственно функционирование системы можно определить как «смещение» в пространстве ее состояний.

Под состоянием литотехнической системы, по Г.К. Бондарнику [9], следует понимать совокупность геологических и технических параметров, определяющих ее функционирование в некоторый момент времени. Другими словами, *состояние ЛТС — это параметрически выраженная характеристика свойств системы и происходящих в ней процессов в какой-либо момент времени после начала ее функционирования*.



К таким параметрам (или переменным), как правило, относятся те величины, которые можно измерять количественно и которые способны изменяться в процессе функционирования ЛТС. Причем согласно принципу конечной мощности системы изменяться эти параметры могут в строго определенном интервале величин\*. Отсюда следует, что, поскольку совокупность значений всех характеризующих систему параметров в каждый момент времени есть ее состояние, она способна находиться в самых разных состояниях, определяемых граничными условиями ее существования или пределами области ее допустимых состояний. Последнее, как отмечает С.Д. Ганова [16], должно соответствовать выполняемым системой функциям — в противном случае она будет неэффективной. С другой стороны, усложнение системы с выходом за указанные пределы в конечном итоге приведет к ее разрушению или «гибели» [16].

В процессе управления данные параметры могут подразделяться на входные и выходные, а с точки зрения их участия в управлении — на управляющие и управляемые соответственно. Значения управляющих переменных выбираются в системе мониторинга геологической подсистемы ЛТС на основе обработки поступившей и поступающей информации о геологической среде, требований к ЛТС и желаемых значений управляемых переменных. Управляющие переменные действуют на управляемую часть литотехнической системы, изменяя значения управляемых переменных в нужном направлении [22].

С понятием «состояние ЛТС» тесно связано понятие «режим функционирования ЛТС», поскольку и то, и другое определяется поведением параметров системы. ***Под режимом функционирования литотехнической системы в данной работе понимается изменение в некоторый момент времени количественных показателей (параметров) ЛТС и происходящих в ней процессов, способное отражать ее состояние.***

В зависимости от поведения параметров в процессе управления литотехнической системой различают два режима ее функционирования — *установившийся* (стационарный) и *неустановившийся* (нестационарный или переходный). В общем виде первый из них характеризуется отсутствием каких-либо изменений параметров или переменных величин системы во времени, а второй возникает в случае, когда под влиянием управляющих или возмущающих параметров система переходит от одного установившегося режима к другому [22].

Применительно к элементарным ЛТС (ПТС) Г.К. Бондарик и Л.А. Ярг [8] эти режимы характеризуют следующим образом: «...Неустановившийся режим ПТС охватывает период от начала строительства до некоторого момента времени после его завершения. Последний момент времени отвечает такому состоянию геологической среды внутри сферы взаимодействия, которое характеризуется как условно стабильное. Завершение периода развития ПТС, которому свойственен не-

установившийся режим, фиксируется по времени относительной стабилизацией инженерно-геологических процессов, расчет которых производился при проектировании ПТС... В ходе функционирования ПТС постепенно переходит от неустановившегося режима к установившемуся, при котором инженерно-геологические процессы достигают стадии относительной стабилизации...» [8].

В правильности подобного описания режимов функционирования ЛТС трудно сомневаться. Однако существуют литотехнические системы различного уровня организации (от элементарных до глобальной), эксплуатация которых сопряжена с постоянным на протяжении длительного времени (иногда даже всего их «жизненного цикла») извлечением или привнесом в них вещества и энергии, что приводит к непрерывным изменениям в составляющей эти системы геологической среде и не позволяет им долгое время находиться в стабильном (равновесном) состоянии, в т.ч. и в условно стабильном. В соответствии с этим ***при характеристике неустановившегося режима функционирования ЛТС автором предлагается выделять стадии его развития*** [10], от которых в значительной степени будут зависеть особенности прогнозных оценок и, как результат, обоснования управленческих решений в целях оптимизации работы системы (см. таблицу).

Кроме того, по мнению автора, от принадлежности к той или иной стадии развития будет зависеть и оптимизация режима функционирования ЛТС (цель которой состоит в установлении наилучшего, в некотором смысле оптимального, режима поведения ЛТС).

По Г.К. Бондарнику [5], оптимальный режим функционирования ЛТС — это такой режим, при котором траектория (или пространственное смещение состояний) системы никогда не выйдет за границы области ее допустимых состояний. При этом для сравнения и оценки вероятных режимов функционирования системы и выбора наилучшего нужно иметь некоторую меру, которая в теории систем получила название ***критерия эффективности — показателя, выражающего степень соответствия действительного результата тому, который должен иметь место при всей полноте выполнения системой своей функции.***

Исходя из параметров и состояния литотехнической системы на каждой стадии режима ее работы (см. таблицу), можно сделать вывод, что ***оптимальным следует считать тот режим, который в своем развитии не достиг критической и/или катастрофической стадий.***

Управление ЛТС нередко сопровождается наличием ограничений как производственного характера (экономического, административного, технологического, технического и др., к примеру, ограничений по времени и объему финансирования на реализацию управленческих решений или по объему и качеству необходимой инженерно-геологической информации), так и природного или геологического (например, при управлении зданиями и сооружениями в сейсмических обла-

стях или в районах развития многолетнемерзлых толщ). Выявление подобных ограничений является важной задачей в управлении ЛТС, поскольку их несоблюдение служит одной из главных причин принятия заведомо неэффективных, нереальных, а то и просто ошибочных управленческих решений.

Вышесказанное позволяет сформулировать следующее определение. *Под управлением литотехнической системой понимают процесс обеспечения оптимального режима ее функционирования на каждой ступени ее «жизненного цикла» с использованием всех имеющихся ресурсов (информационных, вычислительных, интеллектуальных, технических, технологических, административных, экономических и др.) при соблюдении множества ограничений. Его цель — при заданных параметрах состояния ЛТС с учетом их изменений в какой-либо момент времени обеспечивать требуемый режим работы системы при максимальном использовании различных ресурсов и ограничений и минимальных экономических затратах на это.* В соответствии с указанной целью основными задачами управления литотехнической системой (в зависимости от этапов ее существования) являются: (1) сбор и обработка информации об ЛТС; (2) оценка и анализ состояния и функционирования ЛТС; (3) установление и диагностика проблем в состоянии и функционировании ЛТС; (4) выявление ресурсов и ограничений, необходимых для управления ЛТС; (5) выработка и обоснование управленческих решений для оптимизации работы ЛТС.

В отношении задач инженерной геологии приведенное выше определение управления ЛТС можно представить следующим образом. *Управление литотехнической системой — это процесс достижения такого состояния ее геологической подсистемы (по Г.К. Бондарьку, сферы взаимодействий литосферы с технической подсистемой, или СВЛ), которое способно обеспечить оптимальный режим работы всей системы в це-*

*лом на каждом этапе ее существования, с использованием всех имеющихся ресурсов (информационных, вычислительных, интеллектуальных, технических, технологических, административных, экономических и др.) при соблюдении множества ограничений.* При этом в качестве цели управления ЛТС здесь будет выступать минимизация неблагоприятных последствий изменений СВЛ и ее компонентов в какой-либо момент времени при максимальном использовании различных ресурсов и ограничений и минимизации экономических затрат на создание или поддержание ее устойчивых состояний, благоприятных для нормального функционирования ЛТС. Соответственно в задачи управления ЛТС будут входить: (1) сбор и обработка информации о СВЛ; (2) оценка и анализ состояния СВЛ; (3) установление и диагностика проблем в состоянии СВЛ; (4) выявление ресурсов и ограничений, необходимых для управления СВЛ; (5) выработка геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации работы всей ЛТС.

Из последнего определения следует, что управление ЛТС может осуществляться путем регулирования состояния СВЛ (геологической среды в более широком понимании) с учетом прогнозных оценок ее развития. Реализовать эту задачу способна система методов управления, базирующаяся на использовании следующих механизмов [27]: (1) административно-правовых (законов, стандартов, нормативов, прямых запретов, аудита, экспертизы и др.); (2) экономических (экономической оценки ущерба и др.); (3) научно-технических (инженерно-технологических мероприятий и др.).

Первые две группы механизмов непосредственно применимы лишь к административным органам управления ЛТС. Научно-технические механизмы связаны с разработкой [22]:

- профилактических мероприятий, способных предотвратить возможность развития неблагоприятных инженерно-геологических процессов;

Таблица

Стадии развития неустойчивого режима функционирования ЛТС	
Стадия развития	Характеристика параметров и состояния ЛТС
Нормальная	Структура, конфигурация и объем сферы взаимодействия литосферы с технической подсистемой (СВЛ), а также набор, масштаб и интенсивность инженерно-геологических процессов соответствуют проектным параметрам; значения показателей свойств компонентов СВЛ находятся в пределах фона, не превышая предельно допустимых уровней (ПДУ). Состояние ЛТС дает возможность прогнозировать различные ситуации с множеством вариантов управленческих решений.
Напряженная	Структура, конфигурация и объем СВЛ, набор, масштаб и интенсивность инженерно-геологических процессов в целом отвечают проектным параметрам; значения показателей свойств компонентов СВЛ изменяются до ПДУ, иногда превышая их. Состояние ЛТС позволяет составлять прогнозы и корректировать принимаемые решения; управление процессами, происходящими в СВЛ, затруднено.
Критическая	Структура, конфигурация и объем СВЛ в целом отвечают проектным параметрам, в редких случаях выходя за пределы допустимых условий функционирования ЛТС. Набор, масштаб и интенсивность инженерно-геологических процессов, а также свойства компонентов СВЛ подвержены значительным и слабокомпенсируемым изменениям. Управление процессами, происходящими в СВЛ, затруднено.
Катастрофическая	Происходят глубокие и часто необратимые изменения в СВЛ и резкое ухудшение свойств ее компонентов, вызванные в основном многократным превышением техногенных нагрузок. Управляющие действия носят апостериорный характер, основные усилия направлены на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций или всей ЛТС.



- компенсационных мероприятий, способных восстанавливать нарушенные участки геологической среды;
- инженерно-строительных (конструктивных) мероприятий, направленных на ослабление или видоизменение внешних воздействий на геологическую среду, а также борьбу с проявлениями нежелательных инженерно-геологических процессов и др.;
- методов технической мелиорации грунтов, позволяющих целенаправленно улучшать в нужном направлении свойства определенных участков геологической среды или создавать искусственные грунты с требуемыми свойствами, предотвращающими развитие негативных инженерно-геологических процессов.

Важно отметить, что реализация методов каждой из названных групп требует инженерно-геологического обоснования. По выражению В.Т. Трофимова [26], «особенно велика его роль при разработке управляющих решений оптимизации режима функционирования... систем с использованием научно-технических механизмов. Их осуществление без этого просто невозможно».

### **Информационные ресурсы управления ЛТС**

Ранее отмечалось, что основу управления литотехнической системой (как и любой другой) составляют процессы получения информации о ней — ее состоянии, режиме функционирования, происходящих в ней процессах. Это является следствием положения о том, что управление ЛТС следует понимать не как одномоментный акт, а как последовательность действий, включающую: создание ЛТС (включая планирование и проектирование) → изучение ее состояния и функционирования → изучение изменений геологической среды → выявление негативных инженерно-геологических процессов → их оценивание → выбор принципиальных мер по борьбе с ними → проектирование конкретных мер по борьбе с ними → осуществление этих мер → изучение системы после проведения корректировочных мер → определение их эффективности → внесение изменений в режим эксплуатации системы.

Очевидно, что для осуществления каждого из этих действий требуется необходимая информация. Информацию, используемую в управлении ЛТС, в зависимости от источника, степени обобщения и времени получения принято разделять на априорную и апостериорную [25].

*Априорная информация*, или, как ее нередко называют, *начальная*, представляет собой совокупность заранее известных сведений о параметрах литотехнической системы (ее структуре, типе, конструкции, характере взаимодействий, свойствах и состоянии геологической среды), полученных путем обработки архивной и фондовой информации, а также результатов рекогносцировочных инженерно-геологических работ на стадиях планирования и проектирования ЛТС. Осо-

бенностью данной информации является то, что в ней изначально закладываются сведения о критериях оптимальности и ограничениях при функционировании ЛТС, выраженные в виде выбранных методов воздействий, установленных нормативных нагрузок и нормативных показателей (параметров) компонентов системы.

Использование априорной информации позволяет прогнозировать на ближайшее и отдаленное время поведение ЛТС, ее структуру, режим и состояние. В то же время у такой информации имеется существенный недостаток: будучи полученной заранее, она затем не только не обновляется (приобретает статичный характер), но вследствие различных случайных изменений, всегда существующих в реальных условиях, теряет свою достоверность. Данный недостаток компенсируется, как правило, получением *апостериорной (текущей, или оперативной) информации*, которая извлекается в результате наблюдений за изменениями состояния и свойств ЛТС и происходящих в ней процессов в различные моменты времени в периоды создания и эксплуатации системы. Использование апостериорной информации о текущем состоянии ЛТС позволяет осуществлять оценку и прогноз его изменения в пространственно-временных границах и тем самым обеспечивать оптимизацию управления этой системой.

Единственным способом получения подобной информации является мониторинг, система которого является компонентом ЛТС (подсистемой производства, обработки и накопления информации о текущих и будущих состояниях ЛТС, а также выработки рекомендаций по управлению) [5]. Теоретические и методологические основы мониторинга ЛТС, его структура и функционирование подробно рассмотрены в работах Г.К. Бондарика, А.П. Камышева, В.А. Королева, В.В. Пендина, В.Т. Трофимова, В.И. Осипова и др. [4, 6, 7, 9, 21–23, 28].

Среди указанных видов информации в управлении ЛТС особое место принадлежит инженерно-геологической, которая в совокупности с информацией технического и технологического характера составляет основу для разработки инженерно-геологических прогнозов взаимодействия технической и геологической составляющих ЛТС с последующей выработкой геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования данных систем.

По Г.К. Бондарика [8], инженерно-геологическая информация — это сведения о структуре, свойствах и процессах движения геологической среды, отбираемые и используемые для оценки ее современного состояния и прогноза взаимодействия с другими средами, в т.ч. с искусственной (сооружениями и другими продуктами человеческой деятельности). Другими словами, под инженерно-геологической информацией следует понимать сведения о компонентах инженерно-геологических условий и их изменениях. Эти сведения используются для оценки современного состояния геологической среды и прогноза развития инженерно-геологических процессов (рис. 1).

Инженерно-геологические исследования всегда предназначены для информационного обслуживания процессов, связанных с ЛТС [8]. Вследствие этого инженерно-геологическую информацию можно определить как сведения о геологической среде и ее движении, получаемые при производстве инженерно-геологических работ в целях обеспечения оптимального функционирования ЛТС различного иерархического уровня, вплоть до глобального.

Процесс управления ЛТС требует отвечающего его целям качественного информационного обеспечения. По выражению Г.К. Бондарика [4], используемая информация должна быть обоснованной с точки зрения ее соответствия принятым критериям эффективности функционирования ЛТС.

Это определяется тремя показателями [5]: (1) качеством информации, использованной для оценки и разработки прогноза состояния ЛТС и ее компонентов (подсистем); (2) качеством полученных результатов; (3) эффективностью примененных способов получения и обработки информации.

При этом параметрами (элементами) качества здесь должны выступать полнота (в т.ч. количество и объем), оптимальность (необходимость и достаточность), точность, актуальность и достоверность информации, а также своевременность и оперативность ее получения. Следует отметить, что ее полнота и оптимальность целиком определяются на методическом уровне разработки системы мониторинга ЛТС. Остальные параметры

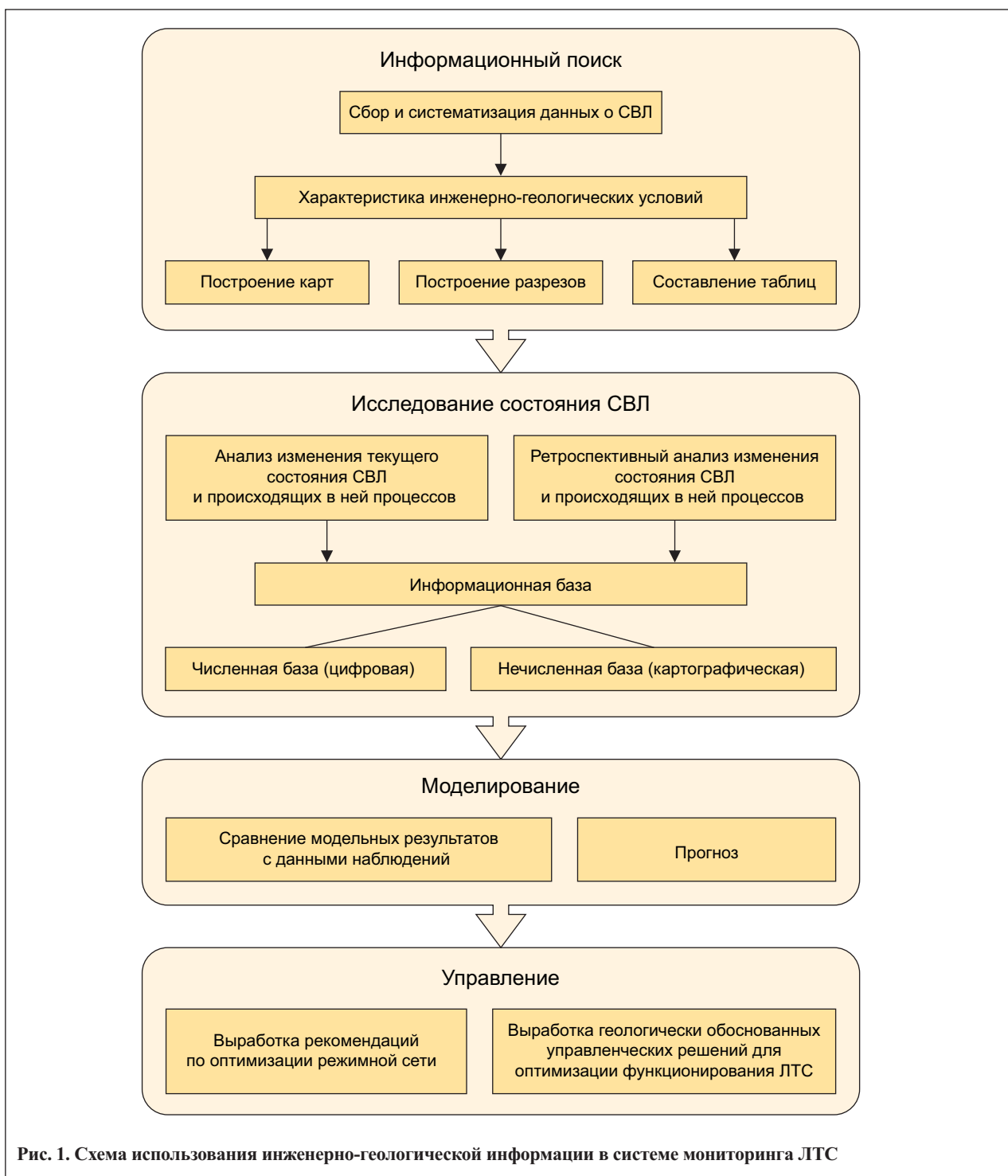


Рис. 1. Схема использования инженерно-геологической информации в системе мониторинга ЛТС



качества информации также в большей степени обуславливаются на методическом уровне, однако на их величину существенно влияет и характер функционирования ЛТС.

Информацию требуемого качества можно получить только располагая научно обоснованной режимной сетью наблюдений в системе мониторинга. Пространственно-временной объем этой сети при создании системы мониторинга задается целью управления, структурой ЛТС, а также инженерно-геологическими условиями, определяющими основные возмущающие воздействия, управление режимом которых обеспечивает требуемое состояние области взаимодействия геологической и технической составляющих ЛТС, т.е. устойчивость ЛТС к этим воздействиям.

Количество режимных сетей зависит от принятой системы управления и состояния ЛТС. Чем ближе состояние литотехнической системы будет находиться к границе области ее существования (по Г.К. Бондарьку, границе области допустимых состояний системы), тем более высокие требования должны предъявляться к созданию сети режимных наблюдений. В этом случае последнюю надо создавать в наибольшем объеме. Если окажется, что выход управляемых воздействий за допустимые пределы практически исключен, то объем режимных сетей будет минимален.

Пространственно-временной объем однажды созданной режимной сети мониторинга не остается постоянным. В процессе функционирования ЛТС она меняется, при этом изменения направлены в сторону ее оптимизации, т.е. для обеспечения режимных наблюдений в объеме, необходимом и достаточном для решения задач управления ЛТС [25].

### **Методологические подходы к инженерно-геологическому обоснованию управления ЛТС**

Как известно, завершающим этапом работы системы мониторинга литотехнических систем является выработка геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации их функционирования [26]. При этом необходимо отметить, что в мониторинге ЛТС речь идет именно о выработке управленческих решений (или об обосновании мероприятий по управлению этими системами), а не об их реализации, которая, по мнению В.А. Королева [22], должна осуществляться независимо.

В самом общем виде выработка решений в процессе управления (обоснование управления) представляет собой набор процедур, объединяемых в отдельные этапы [29]. Таких этапов можно выделить пять:

- 1) выявление, анализ и диагностика проблемы;
- 2) формирование целей и задач решения проблемы с учетом ограничений;
- 3) анализ способов решения проблемы и адекватных им управленческих решений;
- 4) моделирование вариантов сценариев, оценка результатов и последствий реализации разных вариантов;

- 5) выбор предпочтительного варианта, обоснование выбора.

Обоснование управления, как правило, иницируется возникновением проблемы, относящейся прямо или косвенно к объекту управления. Под проблемой понимают несоответствие между реальным (наблюдаемым) и желаемым (нормативным) состоянием управляемой системы [29]. Специалисты в области управления справедливо отмечают, что своевременно и верно определить проблему значит наполовину решить ее. Поэтому обнаружение проблем, проникновение в их сущность и их верное толкование — неотъемлемая часть процесса выработки решений.

Для ЛТС с инженерно-геологической точки зрения в качестве такой проблемы выступает изменение состояния сферы взаимодействий литосферы (или геологической среды), которое в случае несоответствия нормативным требованиям приводит к необходимости разработки инженерно-геологического обоснования управления геологической средой и, как следствие, работой всей системы.

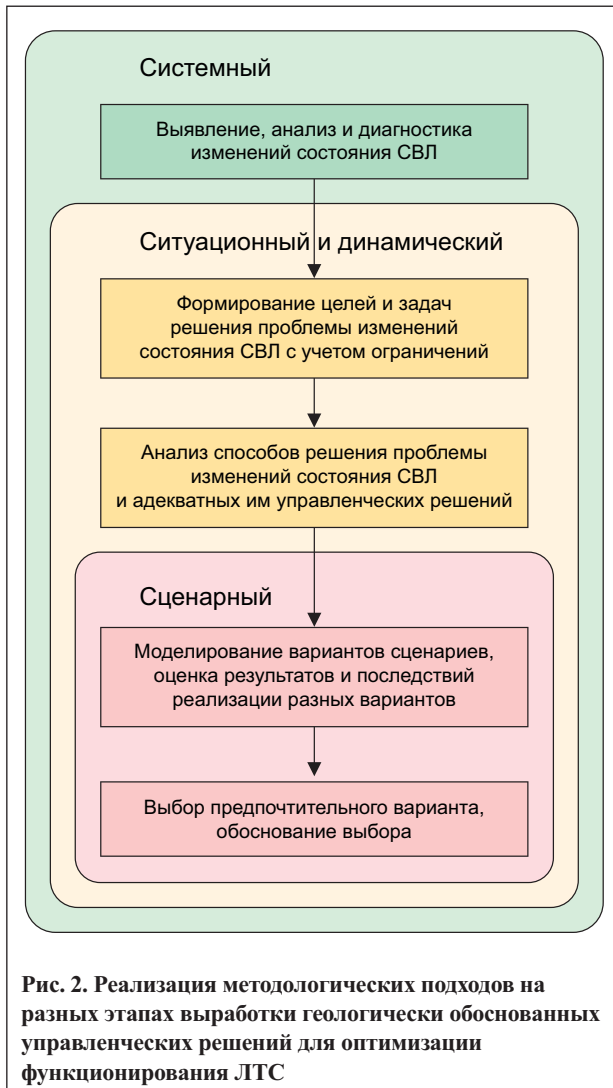
Следовательно, *инженерно-геологическое обоснование управления литотехнической системой* можно определить как *технологическую процедуру в системе управления ЛТС, направленную на выбор среди множества альтернативных вариантов такого инженерно-геологического мероприятия (или их комплекса), применение которого необходимо и достаточно для обеспечения оптимального режима функционирования ЛТС.*

Эффективность и качество выработки управленческих решений определяются прежде всего обоснованностью методологии решения возникающих при функционировании ЛТС проблем, т.е. обоснованностью подходов, принципов, методов и технологий. Без хорошей теории практика малорезультативна. Однако в настоящее время к управлению ЛТС и ее компонентами, прежде всего геологической средой, применяют только некоторые научные подходы и принципы. Это можно объяснить в некотором смысле «узостью» цели управления геологической средой — обеспечения оптимального режима функционирования ЛТС.

Анализ теории и практики управления различными природными и природно-техническими системами позволяет установить необходимость применения в процессе выработки геологически обоснованных управленческих решений следующих основополагающих научных подходов: системного, ситуационного, динамического и сценарного.

*Системный подход* предполагает рассмотрение литотехнической системы как совокупности ее взаимосвязанных элементов (геологической и технической подсистем), обладающих благодаря их взаимосвязи качественно новыми характеристиками (причем каждая ЛТС выступает элементом системы более высокого порядка, а любой ее элемент — системой более низкого порядка).

Этот подход дает возможность учесть все необходимые взаимосвязи и взаимодействия в систе-



**Рис. 2.** Реализация методологических подходов на разных этапах выработки геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования ЛТС

ме управления ЛТС и ее подсистемами, позволяет при постановке целей всесторонне анализировать, взвешивать факторы и направлять механизмы управления на достижение поставленных целей.

Одним из инструментов системного подхода, который, по мнению автора, следует применять при выработке управленческих решений, особенно на региональном уровне, является типизация ЛТС. В ее основу должны быть положены генетический подход, высокая степень детализации структуры, уровня организации и функционирования ЛТС, а также информация об управляющих взаимодействиях. Все эти сведения можно получить в процессе выполнения мониторинговых исследований ЛТС различного уровня. Примером является выполненная автором типизация литотехнических систем на территории Беларуси, в которой наряду с детальной характеристикой уровня организации и функционирования ЛТС приведены сведения об их компонентах, времени «жизни» и вероятных техногенных воздействиях на геологическую подсистему [11, 12]. Подобные типизации, которые, по существу, отражают системную природу ЛТС разного порядка и их элементов, способны создавать реальные предпосылки для эффективного управления этими системами.

Методологически системный подход следует применять на всех этапах обоснования управле-

ния ЛТС (рис. 2), поскольку выполнение каждого из них вне системы просто невозможно.

*Ситуационный подход* сосредоточивается на том, что обоснование различных методов управления ЛТС и ее компонентами, главным образом геологической средой, определяется конкретной *ситуацией* — совокупностью условий, возникающих под влиянием внутренних и внешних воздействий в некоторый момент времени.

Основанием применения данного подхода в управлении ЛТС является «поведение» режима ее функционирования. Это обусловлено тем, что происходящие изменения параметров состояния литотехнической системы (или развитие инженерно-геологических процессов) на разных этапах ее существования могут быть как значительными, так и малозначимыми, иногда даже не поддающимися прогнозу. Последние, несмотря на свое «слабое» проявление, впоследствии способны оказать существенное влияние как на отдельные подсистемы ЛТС и их элементы, так и на всю систему в целом.

Подтверждением этому служат неизученные закономерности в функционировании локальных и региональных ЛТС, установленные автором с сотрудниками ранее [14, 15], заключающиеся в том, что в литотехнических системах, длительное время находящихся в критическом режиме работы, когда геологическая подсистема или ее отдельные компоненты подвержены значительному, но не превышающему технологический уровень воздействию со стороны технических объектов, возникают и активизируются новые инженерно-геологические процессы, ведущие к снижению этого воздействия.

Кроме того, существует довольно большое количество факторов, которыми можно управлять в системе мониторинга ЛТС. Среди них выделяют, например, граничные условия геологической среды (факторы, воздействующие на исследуемую часть геологической среды по ее внешним границам), начальные условия (факторы, рассредоточенные во внутренних точках геологической среды и действующие до начала развития процесса) и свойства геологической среды (характеристики геосреды, динамика которых изменяет назначаемые характеристики и определяет интенсивность развития инженерно-геологических процессов) [22].

Такое многообразие факторов, как правило, определяет отсутствие какого-либо единого с точки зрения эффективности способа управления состоянием ЛТС и ее элементов. Самым эффективным в каждой конкретной ситуации следует считать тот метод управления (или комплекс методов), который будет максимально адаптирован к данной ситуации, причем как в научно-техническом, так и в административно-экономическом отношении.

Ситуационный подход — это методология выработки управленческих решений, в соответствии с которой принимаемое решение формируется на основе как обработки располагаемой апостериорной (текущей) информации, так и накопленных ранее знаний и опыта путем выявления ограничений, переориентации целей, перераспределения





ресурсов, пересмотра алгоритмов и структуры литотехнической системы.

Данный подход ориентирует инженера-геолога на правильный анализ ситуаций и на эффективное использование своих возможностей исходя из накопленного опыта и знаний. При этом *текущее состояние геологической среды рассматривается как некоторая ситуация, которую требуется распознать и правильно сориентировать в ней работу всей ЛТС.*

Применение ситуационного подхода в общей схеме выработки управленческих решений возможно в том случае, когда будут установлены (продиагностированы) природа возникшей проблемы, ее содержание, степень настоятельности, связь с другими проблемами, виды и масштабы обусловленных данной проблемой опасностей (см. рис. 2), т.е. будет определена конкретная проблемная ситуация со всеми вытекающими последствиями. Это позволяет грамотно сформулировать цели и задачи решения проблемы и на основе различных ограничений обозначить область допустимых решений, в пределах которой следует производить поиск вариантов, рассматриваемых на последующих этапах процесса принятия решений.

*Динамический подход* применяется в дополнение к ситуационному. При его использовании *геологическая среда, как компонент ЛТС, рассматривается в ее диалектическом развитии, причинно-следственных связях и соподчиненности.* Для этого проводятся ретроспективный анализ состояния геологической среды за определенный промежуток времени и прогнозная оценка ее дальнейшего развития.

*Сценарный (поисковый) подход* позволяет проводить многовариантный ситуационный анализ применения разнообразных методов управления (или мероприятий по управлению) ЛТС и ее компонентами с учетом возможностей и ограничений (рисков) каждого из них для обеспечения оптимального режима на всех этапах развития системы.

По существу, *сценарий выступает в роли качественной и количественной оценки вероятного развития различных геологических и инженерно-геологических процессов, которые возникли или могут возникнуть в будущем при создании, эксплуатации или ликвидации ЛТС, и их влияния на состояние компонентов системы (прежде всего геологической среды) в случае использования какого-либо специального мероприятия или комплекса мероприятий.*

Среди разнообразных инструментов, применяемых в сценарном подходе, важное место занимает имитационное моделирование, которое широко используется в создании математических постоянно действующих моделей (ПДМ) геологической среды — частей автоматизированных информационных систем (АИС) или особых геоинформационных систем (ГИС) — для прогнозирования и анализа ее состояния. Использование подобных ПДМ наряду с основным их предназначением (решением инженерно-геологических и других задач, связанных с оценкой как природ-

ных, так и техногенных изменений геологической среды и ее компонентов, а также с прогнозом ее развития) позволяет создавать эффективные *системы выработки геологически обоснованных управленческих решений*, предназначенных для выполнения следующих задач: (1) прогнозирования и анализа последствий управленческих решений; (2) исследования эффективности и сравнения принимаемых мер (альтернатив); (3) выбора оптимального решения.

Следует отметить, что в настоящее время накоплен достаточно большой опыт создания математических ПДМ (ГИС) — как простых, так и весьма сложных — для литотехнических систем различных функциональных назначений и уровней организации, применение которых позволяет эффективно решать управленческие задачи по оптимизации работы данных систем [1, 20, 22, 24]. В качестве примера можно привести АИС ПДМ геологической среды юго-востока Беларуси [18], созданную под руководством В.Г. Жогло с участием автора настоящей статьи на базе ПЭВМ и предназначенную для решения гидрогеологических и инженерно-геологических задач (в первую очередь задач геофильтрации, миграции подземных вод и связанных с ними задач возникновения и развития инженерно-геологических процессов и явлений при функционировании ЛТС (ПТС) от элементарного до регионального уровней) методами математического моделирования с использованием программно-технического комплекса, включающего в себя системы специального программного обеспечения TopazHC [1], GWFS и MTS компании «Геолинк» [20] и MIG-2 [17].

Важным свойством ПДМ является циклический характер их функционирования: по мере поступления в АИС новые исходные данные загружаются в ПДМ, а на модели «проигрывается» новый вариант развития моделируемой системы (геологической среды), затем при поступлении новых исходных данных цикл повторяется и т.д. [21]. Это свойство ПДМ в системе выработки геологически обоснованных управленческих решений позволяет более эффективно, без существенных затрат времени и ресурсов, осуществлять поиск и формирование набора альтернативных решений рассматриваемой проблемы, соответствующих им управляющих воздействий и в результате производить выбор оптимального решения.

Следовательно, преимущество сценарного подхода будет заключаться в возможности заблаговременного выявления неэффективных с точки зрения последствий управленческих решений, разработки множества вариантов развития ситуаций и прогнозирования состояния геологической среды в каждой из них.

Методологически сценарный подход в общей схеме выработки управленческих решений используется на последних ее этапах (см. рис. 2), когда необходимо осуществлять поиск и формирование набора вариантных решений (альтернатив), отбор критериев выбора оптимального решения и в результате выбор и принятие наилучшего решения.

## Заключение

В заключение отметим, что рассмотренные в работе методологические подходы тесно связаны между собой и образуют единую систему, которую, по мнению автора, следует рассматривать как общую методологическую основу для выработки геологически обоснованных управленческих решений по оптимизации функционирования ЛТС любого уровня организации. Их приме-

нение совместно с созданной АИС ПДМ геологической среды юго-востока Беларуси позволило автору с сотрудниками успешно реализовать ряд задач по инженерно-геологическому обоснованию управления такими ЛТС различных уровней, как административное здание жилищно-эксплуатационной службы в Минске [13], отвалы и промплощадка Гомельского химического завода [18, 19], водозаборы подземных вод г. Гомеля [18] и др. ❄

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированные сеточные модели бассейнов подземных вод / состав. И.И. Крашин, Е.А. Полшков, Е.К. Орфанди и др. М.: Недра, 1992. 176 с.
2. *Бондарик Г.К.* Диагностика и прогнозирование состояния неоднородных природных и природно-технических систем // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2010. № 1. С. 78–79.
3. *Бондарик Г.К.* Управление природно-техническими системами. Возможности и ограничения // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1994. № 1. С. 42–47.
4. *Бондарик Г.К.* Экологические проблемы и природно-технические системы. М.: Икар, 2004. 152 с.
5. *Бондарик Г.К., Иерусалимская Е.Н., Ярг Л.А.* Научные основы информационного обеспечения управления состоянием окружающей среды на региональном уровне // Инженерная геология. 2011. № 4. С. 74–80.
6. *Бондарик Г.К., Иерусалимская Е.Н., Ярг Л.А.* Теоретические основы и принципы организации мониторинга геологической среды природно-технических систем регионального уровня // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2009. № 3. С. 45–50.
7. *Бондарик Г.К., Чан Мань Л., Ярг Л.А.* Научные основы и методика организации мониторинга крупных городов. М.: Изд-во ОАО «ПНИИИС», 2009. 259 с.
8. *Бондарик Г.К., Ярг Л.А.* Инженерно-геологические изыскания: учебник. М.: КДУ, 2008. 424 с.
9. *Бондарик Г.К., Ярг Л.А.* Природно-технические системы и их мониторинг // Инженерная геология. 1990. № 5. С. 3–9.
10. *Галкин А.Н.* Методические основы оценки режима функционирования литотехнических систем // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2009. № 4. С. 46–50.
11. *Галкин А.Н.* Типизация литотехнических систем: состояние проблемы и пути ее решения // Инженерная геология. 2009. № 3. С. 30–33.
12. *Галкин А.Н.* Особенности формирования природно-технических систем на территории Беларуси и их типизация // Литосфера. 2008. № 1 (28). С. 126–140.
13. *Галкин А.Н., Жогло В.Г., Ковалева А.В.* Инженерно-геологические аспекты управления состоянием подземных вод при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений на примере г. Минска // Инженерная геология. 2008. № 4. С. 74–80.
14. *Галкин А.Н., Жогло В.Г., Ковалева А.В.* Об изменении условий питания и разгрузки подземных вод при их эксплуатации (на примере юго-востока Беларуси) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2010. № 2. С. 115–128.
15. *Галкин А.Н., Степин С.Г., Жогло В.Г.* Сероводородное загрязнение подземных вод в районе Гомельского химического завода // Инженерные изыскания. 2009. № 10. С. 46–48.
16. *Ганова С.Д.* Геоэкологический мониторинг территорий расположения объектов транспорта газа в криолитозоне (теория, методология, практика) / автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук: 25.00.36. М.: Изд-во РГГРУ, 2008. 43 с.
17. *Гидрогеодинамические расчеты на ЭВМ: учебное пособие* / под ред. Р.С. Штенгелова. М.: Изд-во МГУ, 1994. 335 с.
18. *Жогло В.Г., Галкин А.Н.* Мониторинг подземных вод на водозаборах и экологически опасных объектах юго-востока Беларуси. Витебск: Изд-во ВГУ, 2008. 161 с.
19. *Жогло В.Г., Галкин А.Н., Ковалева А.В.* Особенности создания системы инженерной защиты геологической среды от негативных техногенных процессов в районе Гомельского химического завода // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2009. № 4. С. 298–310.
20. *Зеугофер Ю.О., Клюквин А.Н., Пащковский И.С., Рошаль А.А.* Постоянно действующие модели гидrolитосферы территорий городских агломераций (на примере Московской агломерации). М.: Наука, 1990. 198 с.
21. *Королев В.А.* Мониторинг геологической среды: учебное пособие / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1995. 272 с.
22. *Королев В.А.* Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем: учебное пособие / под ред. В.Т. Трофимова. М.: КДУ, 2007. 416 с.
23. *Королев В.А.* Основные принципы организации мониторинга геологических, литотехнических и эколого-геологических систем // Инженерная геология. 2007. № 4. С. 24–29.
24. *Кульбеда И.П., Черепанский М.М.* Применение численных методов моделирования при прогнозе водного режима карьера «Гралево» и окружающей территории // Тезисы докладов Республиканского научно-технического семинара «Оценка влияния хозяйственной деятельности на геологическую среду». Минск, 1990. С. 95–96.
25. *Невечера В.А., Подборская В.О.* Разработка принципов и создание системы управления режимом функционирования памятников Белозерья (на примере Кирилло-Белозерского монастыря) // Кириллов: краеведческий альманах / гл. ред. Ф.Я. Коновалов. Вып. 2. Вологда: Русь, 1997. Диск 005.
26. *Трофимов В.Т.* Актуальные вопросы геологического обоснования управления эколого-геологическими системами // Труды Международной научной конференции «Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии». Москва, 25–26 мая 2010 г. / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. М.: Изд-во МГУ, 2010. С. 235–238.
27. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* Экологическая геология: учебное пособие. М.: Геоинформмарк, 2002. 415 с.
28. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А. и др.* Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Ноосфера, 2006. 720 с.
29. *Фатхутдинов Р.А., Райзберг Б.А.* Общая схема выработки и принятия управленческих решений // Менеджмент и менеджеры. 2009. № 5–6. С. 6–9.