

Можно сделать вывод, что образование силикатного сапропеля приурочено к озёрам и болотам, расположенным в сильно залесённых областях, тогда как образование карбонатных сапропелей соответствует озёрам и болотам в зонах распространения лугов. А распространение лесов и лугов, в свою очередь, сильно зависит от подстилающих пород и их химического состава.

Библиографические ссылки

1. Курзо Б. В. Особенности формирования генетических типов озёрных отложений и районирование сапропелевых месторождений Полесья. Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь. 2008.
2. Научный портал ГлавАгроном. Влияние кремниевых соединений на свойства почвы и растений [Электрон. ресурс]. URL: <https://glavagronom.ru/articles/vliyanie-kremnievyh-soedineniy-na-svoystva-pochvy-i-rasteniya> (дата обращения: 1.12.2021).
3. Национальный атлас Беларуси. Минск : Белкартография, 2002.

УДК 624.131

ИНФОРМАЦИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. Н. Галкин

Витебский государственный университет им. П. М. Машерова,
пр. Московский 33, 210038 Витебск, Республика Беларусь; galkin-alexandr@yandex.ru

Рассмотрены различные аспекты информации, моделирования и прогноза в системе мониторинга литотехнических систем.

Ключевые слова: мониторинг; литотехнические системы.

Various aspects of information, modeling and forecasting in the monitoring system of lithotechnical systems are considered.

Key words: monitoring; lithotechnical systems.

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 всё чаще выступают литотехнические системы (ЛТС), под которыми понимают *части (или подсистемы) природно-технических систем, включающих подсистемы инженерных сооружений и взаимодействующих с ними части литосферы (геологические подсистемы)* [5].

Известно, что действительные качественные и количественные характеристики фактического взаимодействия инженерных объектов (инженерного сооружения) с геологической средой можно определить лишь посредством различных процедур функционирования ЛТС. Такой контроль обеспечивается мониторингом ЛТС, под которым понимают *систему целенаправленных постоянных наблюдений за сферой взаимодействия литосферы (СВЛ) с технической подсистемой ЛТС, оценки её состояния, прогноза развития и разработки инженерно-геологического обоснования управления для оптимизации функционирования всей литотехнической системы в целом.*

В основе мониторинга литотехнических систем, как и любой другой системы, лежат процессы получения информации. Информацию, используемую в мониторинге ЛТС, по источнику, степени обобщения и времени её получения принято разделять на *априорную* и *апостериорную*. Априорная информация, или, как ещё нередко её называют, начальная, пред-

ставляет собой совокупность заранее известных сведений о параметрах литотехнической системы (её 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 [4].

Особенностью данной информации является то, что в ней изначально закладываются сведения о критериях оптимальности и ограничениях при функционировании ЛТС, выраженные в виде выбора методов воздействий, установления нормативных нагрузок и нормативных показателей параметров компонентов системы.

Использование априорной информации позволяет прогнозировать в ближайшем и отдаленном времени поведение ЛТС, её структуру, режим и состояние. В то же время у априорной информации имеется существенный недостаток, заключающийся в том, что, 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 априорной информации компенсируется, как правило, получением апостериорной (текущей или оперативной), 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 [4].

Среди указанных видов информации в мониторинге 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.

Инженерно-геологическая информация, по Г. К. Бондару [2], – *это сведения о структуре и свойствах геологической среды и процессах её движения, отбираемые и используемые для оценки её современного состояния и прогноза взаимодействия с другими средами, в т. ч. с искусственной средой (сооружения и другие продукты человеческой деятельности)*. Другими словами, под инженерно-геологической информацией следует понимать сведения о компонентах инженерно-геологических условий и об 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 [2]. Вследствие этого инженерно-геологическую информацию можно определить как сведения о геологической среде и её 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. Бондаря [1], используемая информация должна быть обоснованной с точки зрения её соответствия принятым критериям эффективности функционирования ЛТС. Это определяется тремя показателями [3]: качеством информации, использованной для оценки и разработки прогноза состояния ЛТС и её компонентов (подсистем), качеством полученных результатов, а также эффективностью примененных способов получения и обработки информации. При этом параметрами (элементами) качества здесь должны выступать полнота, в т. ч. количество и объём, оптимальность (необходимость и достаточность), точность, актуальность и достоверность информации, а также своевременность и оперативность её получения.

Информацию требуемого качества можно получить, только располагая научно-обоснованной режимной сетью наблюдений в системе мониторинга. Пространственно-временной объём режимной сети мониторинга при его создании задается структурой ЛТС и 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.

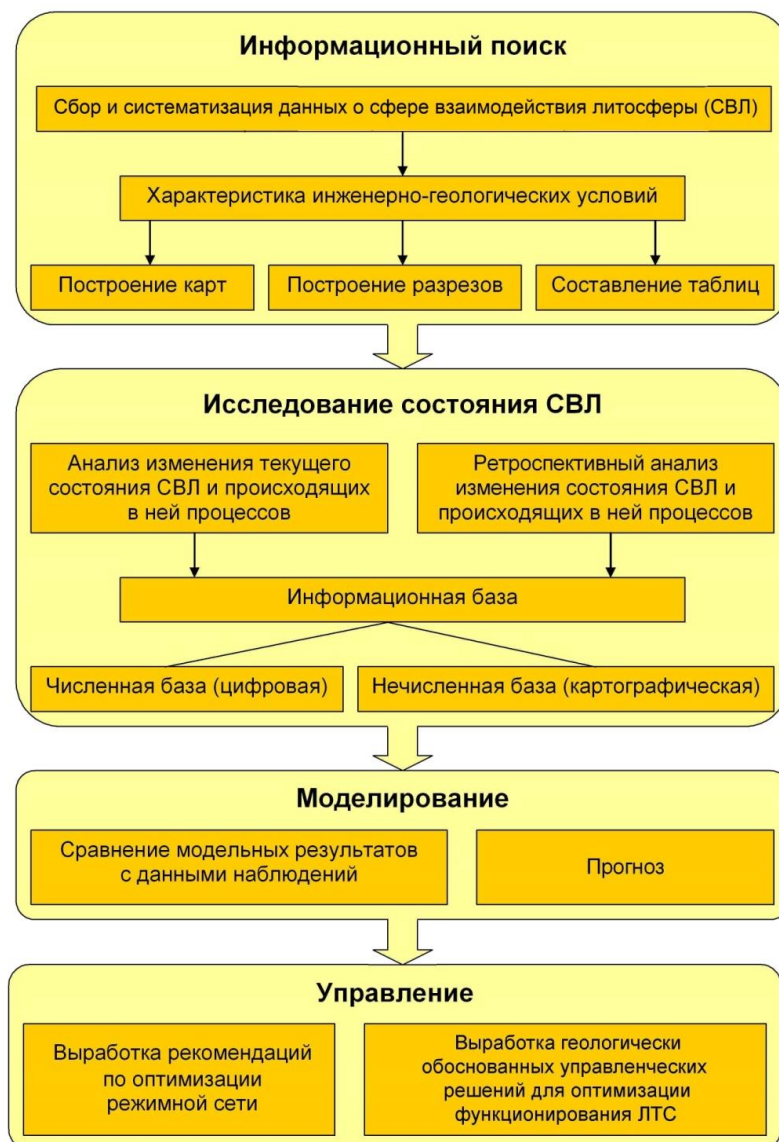


Рисунок 1 – Схема использования инженерно-геологической информации в системе мониторинга литотехнических систем

Количество режимных сетей зависит от состояния ЛТС. Чем ближе состояние ЛТС будет находиться к границе области её существования (по Г. К. Бондарнику, *границе области допустимых состояний системы*), тем более высокие требования должны предъявляться к созданию данной сети. В этом случае сеть режимных наблюдений надо создавать в наибольшем объёме. Если окажется, что выход управляемых воздействий за допустимые пределы практически исключен, то объём режимных сетей будет минимален.

Пространственно-временной объём однажды созданной режимной сети мониторинга не остается постоянным. В процессе функционирования ЛТС она меняется. При этом изменения направлены в сторону её оптимизации, т. е. только для обеспечения режимных наблюдений в объёме, необходимом и достаточном для достижения главных целей мониторинга ЛТС – разработки прогнозов изменений состояния и свойств сферы взаимодействия подсистем ЛТС и принятие на их основе рекомендаций и решений по управлению данной литотехнической системой [4].

Если рассматривать мониторинг ЛТС как информационную систему, обеспечивающую контроль за состоянием и свойствами сферы взаимодействия геологической и технической составляющих ЛТС, результаты которого во многом определяют стратегию землепользования, то сама модель контролируемого пространства входит в мониторинг как подсистема. Она выполняет функции прогнозного моделирования и служит формой отражения состояния изучаемой сферы взаимодействия литосферы или литотехнической системы в целом, трансформированного в их логическое, картографическое или математическое изображение с целью прогнозирования и управления [6].

Как известно, методы моделирования широко используются в различных разделах инженерной геологии. При этом используется детерминированное, стохастическое (вероятностное) или смешанное моделирование. Все эти группы моделирования применимы в мониторинге ЛТС. Среди них наибольшее распространение получила подгруппа материального лабораторного моделирования: физическое (метод эквивалентных материалов, тензосетки, центробежного моделирования и др.) и математическое (аналоговое, цифровое и др.) [5].

Расширенный доступ к компьютерной базе позволяет в настоящее время при организации мониторинга широко использовать различные виды математического (аналитического, имитационное и др.) моделирования с помощью компьютеров в форме вероятностного и детерминированного моделирования (рис. 2). Последнее, как правило, осуществляется на базе компьютерных моделей с применением специальных программ. Сегодня существует достаточно большое количество программных продуктов по различным видам математического моделирования, которые могут вполне успешно использоваться в системах мониторинга.

При организации моделирования в системе мониторинга важно уметь создать модель ЛТС, объектов СВЛ и других систем или их элементов, которая способна отражать взаимодействие природной и техногенной составляющих [4, 5]. В этих целях необходимым условием является использование теории системного анализа, в которой существующие понятия «входной и выходной эффекты» вполне применимы к геологической подсистеме или ЛТС в целом. Так, в качестве входного эффекта может рассматриваться любой вид техногенного воздействия на геологическую среду или их комплекс, в качестве же выходных эффектов или выходов – изменения (или отклики), которые претерпевает система. При этом входные эффекты представляют собой внешние факторы по отношению к рассматриваемой системе (техногенная компонента), а выходные эффекты могут быть изменениями её свойств и характеризоваться комплексом параметров (реакция геологической среды или ЛТС).

Отличие использования моделирования в системе мониторинга ЛТС от других направлений исследований в инженерной геологии состоит в том, что созданная модель ЛТС, или её части, «работает» в системе мониторинга постоянно, а не направлена на решение какой-либо разовой, единовременной задачи. Это – постоянно действующая модель (ПДМ), непрерывно пополняющаяся новой информацией по мере функционирования всей системы мониторинга. Создание и использование ПДМ является пока единственным и наиболее эффективным способом совершенствования системы управления в области рационального использования и охраны геологической среды территорий, решения всевозможных инженерно-геологических проблем [6].

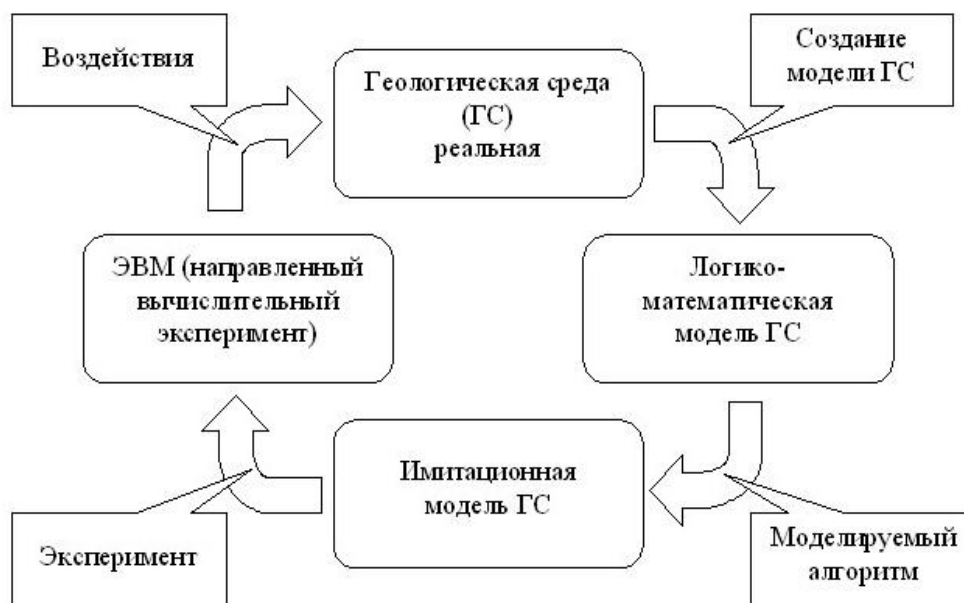


Рисунок 2 – Процесс имитационного исследования геологической среды

Постоянно действующая модель ЛТС, по определению В. А. Королёва [5] – это набор взаимосвязанных, постоянно уточняющихся в ходе мониторинга условий и факторов, отражающих состояние изучаемой ЛТС, модифицированного в его логическое, картографическое или математическое изображение с целью прогноза функционирования и управления данной ЛТС.

Основным назначением ПДМ в системе мониторинга является решение инженерно-геологических и других задач, связанных с оценкой изменения (как природного, так и техногенного характера) геологической среды и её компонентов, а также прогнозом её развития. Применение ПДМ обеспечивает упорядочение технологии сбора и обработки поступающей инженерно-геологической информации на основе компьютеров.

Постоянно действующая модель в системе мониторинга является частью автоматизированной информационной системы (АИС) или особой ГИС. Она строится таким образом, чтобы по каналам связи постоянно имелась бы возможность получения для модели новой исходной информации из банка данных АИС о состоянии моделируемой геологической среды и о техногенных воздействиях на неё. Функционирование ПДМ, таким образом, осуществляется циклически: по мере получения в АИС новых исходных данных они загружаются в ПДМ, и на модели «проигрывается» новый вариант развития моделируемой системы, затем при поступлении новых исходных данных цикл повторяется и т. д. (рис. 2). Отсюда следует важное свойство и особенность ПДМ: чем дольше функционирует система мониторинга или чем полнее исходная для моделирования информация, тем «точнее» моделирование, тем ближе модель к моделируемому объекту [5].

Для ПДМ в системе мониторинга ЛТС обычно выбирается главный объект системы – это сфера или область взаимодействия литосферы с технической подсистемой ЛТС. Поскольку, собственно, СВЛ, точнее её компоненты – грунты, рельеф, подземные воды, современные геодинамические процессы, способны отражать изменения, которые могут происходить при воздействии технических объектов на геологическую составляющую ЛТС [4].

По существу, ПДМ должна быть имитационной моделью ЛТС (СВЛ или её компонентов), показывающей наиболее существенные связи между составляющими ЛТС объектами и работающая в диалоговом режиме. В более сложном варианте для каждого блока модели раз-

рабатывается своя схема причинно-следственных цепей, или диаграмма потока, входы и выходы которой соединяются системой прямых и обратных связей с другими блоками. В идеальном варианте ПДМ должна решать проблему прогнозного моделирования не отдельных геологических и инженерно-геологических процессов, а их парагенетических совокупностей, элементы которых состоят как из процессов трансформации, так и из процессов переноса вещества и энергии [5].

Несмотря на исключительную сложность построения имитационных ПДМ, концепция их как систем постоянно совершенствующихся позволяет организационно преодолевать эту сложность путем влияния не только на постановку и проведение массовых натуральных наблюдений и инженерных изысканий, но и на постановку и проведение научных исследований по разработке моделей. Причём приоритетность осуществления тех или иных исследований определяется конкретными особенностями объекта прогнозирования, принадлежащего к той или иной территории, а также интересами развития её хозяйственного комплекса [6].

Библиографические ссылки

1. Бондарик Г. К. Экологические проблемы и природно-технические системы. М. : Икар, 2004.
2. Бондарик Г. К., Ярз Л. А. Инженерно-геологические изыскания. 2-е изд. М. : КДУ, 2008.
3. Бондарик Г. К., Иерусалимская Е. Н., Ярз Л. А. Научные основы информационного обеспечения управления состоянием окружающей среды на региональном уровне // Инженерная геология. 2011. № 3. С. 12–18.
4. Галкин А. Н. Методологические основы инженерно-геологического обоснования управления литотехническими системами // Инженерная геология. 2012. № 2. С. 63–72.
5. Королёв В. А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем / Под ред. В. Т. Трофимова. М. : КДУ, 2007.
6. Королёв В. А. Мониторинг геологической среды / Под ред. В. Т. Трофимова. М. : Изд-во МГУ, 1995.

УДК 551.438.5:553.3/9

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РАЙОНАХ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

А. И. Павловский¹, А. Н. Галкин², О. В. Шершнёв¹, С. В. Андрушко¹, В. Л. Моляренко¹

¹Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
ул. Советская 104, 246019 Гомель, Республика Беларусь; airavlovsky@mail.ru

²Витебский государственный университет им. П. М. Машерова,
пр. Московский 33, 210038 Витебск, Республика Беларусь; galkin-alexandr@yandex.ru

Рассмотрены свойства техногенных грунтов, процессы их образования и накопления в результате разработки месторождений полезных ископаемых на примере крупнейших горнопромышленных комплексов Республики Беларусь. Установлено, что в результате воздействия на геологическую среду образуются разнотипные отходы производства, формирующие техногенные отложения и особый рельеф оказывающие воздействие на все компоненты геосреды.

Ключевые слова: техногенные отложения, природно-технические (лито-технические) системы, месторождения полезных ископаемых, терриконы, отвалы фосфогипса, воздействие на геологическую среду.

The properties of technogenic soils and the process of their formation and accumulation, the processes arising as a result of the development of mineral deposits are considered on the example of the largest mining complexes of the Republic of Belarus. It was found that as a result of the impact on the geological, various