На правах рукописи

Галкин
Александр Николаевич

# ЛИТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ БЕЛОРУССИИ: ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ, МОНИТОРИНГ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ

Специальность 25.00.08 – инженерная геология,
мерзлотоведение и грунтоведение

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в Витебском государственном университете имени П.М. Машерова на кафедре географии и Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова на кафедре инженерной и экологической геологии

Научный консультант: доктор геолого-минералогических наук, профессор **Королев Владимир Александрович**

Официальные оппоненты:
**Потапов Александр Дмитриевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии и геоэкологии, Московский государственный строительный университет (МГСУ)

**Шешеня Николай Логвинович**, доктор геолого-минералогических наук, главный специалист отдела инженерно-геологических процессов, ОАО «ПНИИИС»

**Колпашников Геннадий Александрович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры геотехники и экологии в строительстве, Белорусский национальный технический университет (БНТУ)

Ведущее предприятие: **Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии** (ВСЕГИНГЕО)

Защита диссертации состоится «30» мая 2014 г. в 14 час 30 мин на заседании диссертационного совета Д 501.001.30 при Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, зона «А», геологический факультет, ауд. 415.

Автореферат размещен на интернет-сайтах геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова www.geo.web.ru и Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak.ed.gov.ru. С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале отдела диссертаций Фундаментальной библиотеки МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва, Ломоносовский проспект, 27, сектор «А», 8 этаж, к. 812).

Отзывы на автореферат в 2-х экз., заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, ученому секретарю диссертационного совета Д 501.001.30, профессору В.Н. Соколову.

Автореферат разослан «20» апреля 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.г.-м.н, профессор Соколов Вячеслав Николаевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** 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 единством выполняемой социально-экономической функции***. В инженерной геологии они изучаются для обеспечения устойчивого функционирования инженерных сооружений либо инженерно-хозяйственной деятельности человека в целом (Трофимов, 2006).

В условиях современного обострения экологических проблем, свойственного как Белоруссии, так и другим государствам, одной из важнейших инженерно-геологических задач является реабилитация техногенно нарушенных территорий, на которых состояние ЛТС уже достигло опасного уровня развития. Для решения этой задачи необходима научная разработка инженерно-геологического обоснования управления такими системами.

Имеется ряд научных работ, затрагивающих проблемы управления ЛТС и его инженерно-геологического обоснования. Это работы Т.И. Аверкиной, Г.К. Бондарика, И.В. Галицкой, Г.А. Голодковской, М.В. Графкиной, О.М. Гуман, Р.Э. Дашко, Е.С. Дзекцера, В.Г. Жогло, А.П. Камышева, Г.А. Колпашникова, В.А. Королева, А.В. Кудельского, А.В. Матвеева, В.Л. Невечери, А.А. Никифорова, О.С. Овсянниковой, В.И. Осипова, В.И. Пашкевича, В.В. Пендина, А.Д. Потапова, В.Т. Трофимова, Р.С. Штенгелова, Н.Л. Шешени, Л.А. Ярг и др. В них рассмотрены многие теоретические и методологические аспекты этих проблем. В то же время эти работы не в полной мере учитывают специфику различных ЛТС: их структуру, состояние, режим работы, от которых во многом будет зависеть выработка геологически обоснованных управленческих решений.

В настоящее время возникла необходимость развить научно-методологические подходы к исследованию ЛТС как объектов управления и к формированию общей научной стратегии инженерно-геологического обоснования управления ЛТС, базирующейся на элементах теорий системного анализа, инженерной геологии, мониторинга и кибернетики. Разработка методологии инженерно-геологического обоснования управления ЛТС выступает как актуальная проблема, имеющая важное инженерно-геологическое значение, отличающаяся принципиальной

новизной и повышенной практической значимостью не только для Белоруссии, но и многих сопредельных государств.

**Основная идея работы** заключается в том, что оптимальное, не превышающее критического уровня режима, функционирование ЛТС может быть обеспечено за счет эффективного управления различными ее компонентами.

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является разработка теоретических основ и методологии инженерно-геологического обоснования управления ЛТС локального и регионального уровней организации, базирующихся на элементах теорий системного анализа, мониторинга и геокибернетики. Ее достижение вполне целесообразно реализовать на примере исследования особенностей ЛТС территории Белоруссии, типичных и для многих ЛТС ряда сопредельных государств, включая Россию, Украину и др.

Указанная цель обусловила необходимость постановки и решения следующих **задач**:

1. Изучить инженерно-геологические условия (ИГУ) территории Белоруссии как главный фактор обеспечения условий создания, геологического обоснования и эксплуатации ЛТС различного назначения и уровня организации.
2. Проанализировать современное состояние функционирования технических систем разного уровня на территории Белоруссии, разработать и обосновать основные принципы их классификации и на основе этого создать региональную инженерно-геологическую типизацию ЛТС. С учетом типизации рассмотреть особенности функционирования ЛТС при различных видах техногенного воздействия на компоненты геосреды.
3. На базе мониторинга разработать методику количественной оценки состояния и режима работы ЛТС разного уровня организации с целью инженерно-геологического обоснования управления ими.
4. Разработать научно-методологическое обоснование концепции организации мониторинга ЛТС территории Белоруссии в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) как основы для прогнозных оценок развития ЛТС и управления ими.
5. Разработать методологию создания системы выработки геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования ЛТС различного уровня организации.

**Объектом** исследований являлись верхние горизонты земной коры в сфере их взаимодействия с техническими объектами – ЛТС Белоруссии разного назначения, уровня организации и срока эксплуатации, функционирующие в пределах различных инженерно-геологических обстановок. **Предмет** исследований – выявление функциональных связей геологической и технической подсистем указанных ЛТС с целью инженерно-геологического обоснования управления ими.

**Методология и методы проведенного исследования.** Работа базируется на общей методологии инженерной геологии, смежных геологических наук, а также на общенаучных методах исследований. Основными методами исследований являлись системный анализ, геокибернетика, функциональный подход, моделирование, а также полевые и лабораторные эксперименты, современные картографические методы накопления, обработки и представления информации.

**Научная новизна работы** заключается в следующем.

1. На основе новых геологических данных установлены новые закономерности пространственных изменений инженерно-геологических условий территории Белоруссии, выявлены особенности их влияния на условия создания и эксплуатации ЛТС различного назначения и уровня организации, реализованные в виде оригинальных геологических карт, разрезов и других графических материалов.

2. Для целей инженерной геологии предложена принципиально новая региональная типизация ЛТС, отличающаяся от известных типизаций наличием генетического подхода к изучению данных систем, высокой степени детализации их структуры, учетом уровней организации и функционирования, а также информации об управляющих взаимодействиях.

3. Предложен оригинальный методический подход к количественной оценке состояния и режима функционирования ЛТС, основанный на использовании результатов мониторинговых наблюдений за изменениями параметров различных классов воздействий на геологическую подсистему и вводимых новых количественных характеристик ЛТС, отражающих интенсивность этих воздействий, пространственные границы и текущее состояние ЛТС. В отличие от известных, в данном подходе существует возможность устанавливать стадии неустановившегося режима функционирования ЛТС и в соответствии с ними оперативно принимать решения о необходимости выработки инженерно-геологического обоснования управления этой системой.

4. Теоретически обосновано авторское представление о структуре системы мониторинга ЛТС территории Белоруссии в составе НСМОС, предполагающее включение в ее состав основной (наблюдательной), вспомогательной (расчетно-аналитической, исследовательской) и обеспечивающей (организационное, техническое, научно-методическое, нормативное, информационное обеспечение) составляющих.

5. Предложена новая методология организации системы инженерно-геологического обоснования управления ЛТС различного уровня, заключающаяся в последовательном применении на разных этапах ее формирования системного, ситуационного, динамического и сценарного

подходов. Их использование является необходимым и достаточным условием создания подобной системы.

**Основные защищаемые положения.** На защиту автором выносятся следующие положения, содержащие новые научные результаты в исследовании ЛТС как объектов взаимодействия человека и геологической среды.

1. Инженерно-геологическое районирование территории Белоруссии, выполненное с полным учетом выявленных закономерностей изменений региональных и зональных геологических факторов инженерно-геологических условий как основа инженерно-геологической информации для территориального размещения литотехнических систем различного уровня организации и назначения, а также разработки прогнозов взаимодействия технической и геологической составляющих ЛТС с последующим обоснованием инженерно-геологических мероприятий по управлению этими системами.

2. Новая региональная инженерно-геологическая типизация ЛТС, позволяющая разделять совокупности взаимосвязанных элементов ЛТС разного уровня и оказываемых ими возмущающих воздействий на отдельные составляющие для последующего анализа, оценки, прогноза развития и управления состоянием с целью достижения эффективного функционирования ЛТС в целом.

3. Обоснование и использование нового методического подхода к количественной оценке состояния и режима функционирования литотехнической системы на основе полученной в процессе мониторинга текущей информации об изменениях параметров различных классов воздействий на геологическую подсистему и новых количественных характеристик ЛТС, позволяющего оперативно устанавливать стадии режима работы этой системы и в соответствии с ними принимать решения по инженерно-геологическому обоснованию управления ею.

4. Обоснование концепции организации системы мониторинга литотехнических систем территории Белоруссии в составе НСМОС, обеспечивающей выход на принципиально новый уровень компетентности получения информации о состоянии ЛТС локального и регионального уровней, прогнозных оценок его изменений и разработки инженерно-геологического обоснования управления этими системами.

5. Новая методология организации системы инженерно-геологического обоснования управления литотехническими системами различного уровня, позволяющая на основе системного анализа функционирования ЛТС принимать или корректировать управленческие решения в соответствии со складывающейся ситуацией, априори устанавливать значения целевых показателей и определять структуру и параметры управления этими системами.

**Достоверность и обоснованность полученных результатов** подтверждаются многолетними инженерно-геологическими и геоэкологическими исследованиями автора на территориях различных регионов Белоруссии, результаты которых опубликованы в виде научных статей в ведущих изданиях и монографий.

Диссертационная работа выполнялась в составе Государственной программы ориентированных фундаментальных исследований «Геохимия и геодинамика земной коры Беларуси как основа минерагенических прогнозов и рационального использования недр» (ГПОФИ «Недра Беларуси», 2006-2010 гг.) по заданию 14 «Изучение закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий территории Беларуси и история их формирования» (руководитель задания А.Н. Галкин), а также Региональной научно-технической программы Гомельской области (утверждена решением Гомельского облисполкома от 14.12.1999 г. № 889) по заданию 08 «Оценить состояние и дать прогноз изменений инженерно-геологических условий территории г. Гомеля под влиянием техногенной нагрузки» (руководитель задания Е.Ю. Трацевская) и 7 хозяйственных договоров с Гомельским химическим и Светлогорским целлюлозно-бумажным заводами (научный руководитель В.Г. Жогло), в которых автор настоящего диссертационного исследования выступал в качестве исполнителя.

**Практическая значимость результатов работы.** Результаты исследований представляют собой составную часть комплекса практических мер, направленных на оптимизацию процессов территориального планирования в размещении, прогнозов развития и управления различного уровня организации ЛТС. Они могут быть использованы администрациями, проектными и изыскательскими организациями городов и районов для принятия проектных решений при возведении объектов различного назначения, областными комитетами природных ресурсов и охраны окружающей среды при создании системы мониторинга геосреды городов и промышленных зон, а также служить информационной базой при обосновании и разработке региональной политики природопользования.

Практическая значимость подтверждается использованием результатов работы в деятельности Гомельского облкомитета природных ресурсов и охраны окружающей среды, в производстве инженерных изысканий РДУПИП «Витебскгипроводхоз», Витебского отдела УП «Геосервис», а также в учебном процессе ряда вузов Белоруссии, что зафиксировано соответствующими актами.

**Апробация.** Результаты исследований докладывались на 20 международных научных и научно-практических конференциях (Витебск, 2009, 2010); (Гомель, 1998, 1999); (Екатеринбург, 2005); (Минск, 2004, 2005, 2009); (Могилев, 2012); (Мозырь, 2008); (Москва, 1997, 2001, 2002, 2003,

2004, 2006, 2007, 2009); (Новочеркасск, 2006); (Санкт-Петербург, 2003); республиканской научно-практической конференции «Природные и социально-экономические аспекты Белорусского Полесья в экстремальных условиях» (Гомель, 1992); 1-й научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения акад. АН БССР Г.В. Богомолова, «Проблемы охраны геологической среды» (Минск, 1995); конференции аспирантов и молодых ученых, посвященной 100-летию со дня рождения С.С. Морозова и 60-летию кафедры инженерной геологии и охраны геологической среды МГУ им. М.В. Ломоносова, «Проблемы инженерной и экологической геологии» (Москва, 1998); Всероссийской конференции с международным участием «Северные территории России: проблемы и перспективы развития» (Архангельск, 2008); юбилейной научно-практической конференции, посвященной 40-летию ГГУ им. Ф.Скорины (Гомель, 2009); республиканской научной конференции «Аналитика Республики Беларусь-2010» (Минск, 2010); XV (62), XVI (63) и XVII (64) региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов (Витебск, 2010, 2011, 2012). Результаты исследований обсуждались на сессиях Научного совета РАН «Сергеевские чтения» (Москва, 2003, 2004, 2007, 2012), научных сессиях преподавателей, научных сотрудников и аспирантов ВГУ им. П.М. Машерова (2002, 2003, 2005, 2007, 2010, 2011, 2012) и научных семинарах кафедры инженерной и экологической геологии МГУ им. М.В. Ломоносова (1998, 2008).

**Личный вклад соискателя.** Диссертация является многолетним (1990-2014 гг.) итогом научно-исследовательских работ по изучению закономерностей формирования ИГУ Белоруссии, состояния геосреды и геоэкологических обстановок отдельных территорий в условиях высокой техногенной нагрузки, выполненных лично или при непосредственном участии автора в ходе экспериментальных и теоретических исследований в МГУ им. М.В. Ломоносова (научный консультант – д.г.-м.н., профессор В.А. Королев), ГГУ им. Ф. Скорины (научный консультант – д.г.-м.н., доцент В.Г. Жогло) и ВГУ им. П.М. Машерова.

Диссертационные исследования дополнены анализом фондовых материалов РУП «Белгеология», УП «Геосервис», БелНИЦ «Экология», БелНИГРИ, Ин-та геохимии и геофизики НАН Беларуси (ИГиГ НАН Б), ГГУ им. Ф. Скорины и др.

**Публикации.** По теме диссертационных исследований опубликовано 85 научных работ, в том числе: 5 монографий, 13 статей в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК РФ, 17 статей в научных изданиях, рекомендованных ВАК РБ, 9 статей в научных сборниках, 3 статьи в научных журналах, 3 статьи в сборниках научных трудов, 35 материалов и тезисов докладов конференций.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность своему научному консультанту, д.г.-м.н., член-корр. РАЕН, профессору В.А. Королеву за постановку темы диссертационных исследований и всестороннюю поддержку в их выполнении; д.г.-м.н., доценту В.Г. Жогло за плодотворные консультации при выполнении диссертационных исследований; д.г.-м.н., акад. НАН Беларуси, профессору А.В. Матвееву за консультации и предоставление тематического картографического материала; к.г.-м.н., доценту И.А. Красовской и А.Ф. Акулевичу за оказанную поддержку и советы на всех этапах выполнения работы.

Автор также выражает искреннюю благодарность сотрудникам кафедры географии ВГУ им. П.М. Машерова, геолого-географического факультета ГГУ им. Ф. Скорины и коллективу кафедры инженерной и экологической геологии МГУ им. М.В. Ломоносова за внимание, участие в обсуждении и ценные рекомендации и замечания, которые способствовали завершению работы.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения, включающего акты внедрения результатов исследований, общим объемом 401 страница. Содержит 56 рисунков, 24 таблицы. Список использованной литературы включает 299 наименований.

***Во введении*** отражены актуальность исследований, цели и задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость.

***Первая глава*** «Современные проблемы изучения литотехнических систем» посвящена рассмотрению содержания понятия «литотехническая система», структурно-функциональных особенностей ЛТС, а также состояния проблем, связанных с их созданием и эксплуатацией.

***Во второй главе*** «Инженерно-геологические условия территории Белоруссии как фактор создания и эксплуатации литотехнических систем» по результатам обобщения нового фактического геологического материала рассмотрены особенности формирования инженерно-геологических условий региона и их пространственные изменения. Отмечено, что ИГУ территории страны весьма специфичные и в целом неоднородные, что определяет разный характер их влияния на условия создания и эксплуатации ЛТС. На основе анализа закономерностей пространственных изменений региональных и зональных геологических факторов построена новая карта инженерно-геологического районирования территории страны, которая в наибольшей степени, по сравнению с ранее опубликованными картами и схемами, отвечает как современному состоянию знаний об ИГУ региона, так и потребностям практики. Содержание второй главы представляет собой ***первое защищаемое положение***.

***В третьей главе*** «Особенности функционирования литотехнических систем на территории Белоруссии» подробно освещается эволюция ЛТС через историю хозяйственного освоения территории страны, приводиться новая региональная инженерно-геологическая типизация ЛТС, составившая предмет ***второго защищаемого положения*** диссертационной работы. В главе также дана подробная функционально-территориальная характеристика деятельности ЛТС на территории страны. Отмечено, что для получения подобной информации, а также оценки и прогноза развития различных процессов с целью их управления необходим мониторинг, система которого является одним из компонентов функционирования ЛТС.

***Четвертая глава*** «Теоретико-методологические основы мониторинга литотехнических систем» рассматривает современные представления о мониторинге ЛТС, его содержании и структуре. Отмечается, что использование результатов мониторинга дает возможность количественно оценить состояние и режим работы ЛТС и в соответствии с ними оперативно принимать решения о необходимости выработки инженерно-геологического обоснования управления этой системой. Методический подход к данной оценке выступает предметом ***третьего защищаемого положения***.

***В пятой главе*** «Концепция организации системы мониторинга литотехнических систем территории Белоруссии» обосновывается необходимость создания в структуре НСМОС системы мониторинга ЛТС как основы для прогнозных оценок их развития и управления ими, рассматривается опыт организации подобных систем мониторинга на разных уровнях. Концепция создания системы мониторинга ЛТС территории Белоруссии составляет предмет ***четвертого защищаемого положения*** настоящей работы.

***В шестой главе*** «Научно-методологические основы управления литотехническими системами» на основе теорий системного анализа, мониторинга и геокибернетики раскрыто содержание и дано развернутое определение понятия «управление 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, на ряде примеров показана их реализация. Содержание пятой главы представляет собой ***пятое защищаемое положение***.

***В заключении*** сформулированы основные выводы и результаты выполненных исследований.

## ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**1. Инженерно-геологическое районирование территории Белоруссии, выполненное с полным учетом выявленных закономерностей изменений региональных и зональных геологических факторов инженерно-геологических условий как основа инженерно-геологической информации для территориального размещения литотехнических систем различного уровня организации и назначения, а также разработки прогнозов взаимодействия технической и геологической составляющих ЛТС с последующим обоснованием инженерно-геологических мероприятий по управлению этими системами.**

Создание и эксплуатация ЛТС требуют разнообразной исходной информации. Эта информация содержит как сведения социально-экономического характера, отраженные, главным образом, в планах и программах социально-экономического развития, так и сведения об инженерно-геологических условиях, т.е. сведения о геосреде – ее структуре, свойствах и процессах, протекающих в ней. От характера и содержания этой информации в значительной степени будут зависеть территориальное размещение и сроки создания ЛТС, их пространственная структура, состояние и режим функционирования.

Инженерно-геологические условия являются, как известно, сложной, многофакторной, изменяющейся во времени системой, современное состояние которой определяется региональными и зональными геологическими факторами. Изучение этих факторов в условиях Белоруссии позволило оценить основные особенности ИГУ региона и их пространственные изменения, которые в значительной степени определяют условия создания и эксплуатации ЛТС разного уровня организации и назначения. Среди этих особенностей следует отметить: 1) широкое развитие в сфере влияния наземных ЛТС четвертичных (Q) отложений различного генезиса, преимущественно песчаного и глинистого состава; более древние породы (AR-PR, PZ, MZ, E-N), вовлеченные в инженерно-хозяйственную деятельность, распространены фрагментарно; 2) формирование равнинного, в целом слаборасчлененного аккумулятивного и в меньшей степени денудационного рельефа с преобладанием плоских и пологоволнистых равнин и низин, речных долин и грядово-холмистых комплексов; 3) приуроченность к Q отложениям горизонта грунтовых вод с весьма изменчивыми глубиной залегания, мощностью, водообильностью, минерализацией и агрессивностью; 4) развитие разнообразных геологических процессов и явлений (эрозионных, болотообразовательных, гравитационных, суффозионных, карстовых и др.), характеризующихся

различными распространением и интенсивностью и в разной степени осложняющих условия создания и функционирования ЛТС.

Сочетание этих особенностей определяет весьма специфичные и в целом неоднородные ИГУ территории страны, что является вполне закономерным и обусловлено геологическими причинами и современной климатической обстановкой. Анализ закономерностей пространственных изменений ИГУ территории Белоруссии позволил автору выполнить типизацию инженерно-геологических обстановок (табл. 1) как геологической основы создания и эксплуатации различных ЛТС и построить принципиально новую карту инженерно-геологического районирования, которая, в отличие от ранее созданных карт, наиболее полно отражает особенности инженерно-геологических условий различных территорий страны (рис. 1). Она отвечает как современному состоянию знаний об ИГУ Белоруссии, так и потребностям практики, в частности, для региональной оценки развития ЛТС и их типизации.

Предлагаемая карта районирования предполагает выделение 2 инженерно-геологических регионов второго порядка, 2 провинций, 2 зон, 3 подзон, 5 областей первого порядка и 71 области второго порядка, дифференцированных на инженерно-геологические районы, территории которых сложены определенным геолого-генетическим комплексом отложений. По своему содержанию разработанная карта является картой смешанного инженерно-геологического районирования, поскольку регионы и области второго порядка обособляются как единицы индивидуальные (региональные), а инженерно-геологические провинции, зоны, подзоны, области первого порядка и районы – как единицы типологические.

## 2. Новая региональная инженерно-геологическая типизация литотехнических систем, позволяющая разделять совокупности взаимосвязанных элементов ЛТС разного уровня и оказываемых ими возмущающих воздействий на отдельные составляющие для последующего анализа, оценки, прогноза развития и управления состоянием с целью достижения эффективного функционирования ЛТС в целом.

Известно, что полное множество ЛТС составляет иерархия, в которой выделяют элементарные, локальные, региональные (национальные) и глобальные уровни. Такое подразделение ЛТС обусловливает разные особенности их изучения. С другой стороны это вызывает необходимость их систематизации и классифицирования. К настоящему времени в инженерной геологии нет единого подхода к систематизации ЛТС (ПТС). Существуют лишь отдельные работы, посвященные этому вопросу – работы Т.И. Аверкиной, Г.К. Бондарика и др.

Таблица 1 – **Типы инженерно-геологических обстановок территории Белоруссии**

| Типовое поле | Геологические условия | | | | | Гидрогеологические условия | | Геоморфологические условия | Степень проявления современных геологических процессов |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Четвертичные (Q) породы | | | | Возраст пород основания Q толщи | Преобладающая глубина залегания УГВ, м | Мощность зоны интенсивного водообмена, м | | |
| | Мощность, м | | Преобладающие в разрезе генетические типы пород | Содержание в разрезе моренных грунтов, % | | | | | |
| | интервал изменения | средняя | | | | | | | |
| **1** | 40-160 | 100-120 | g, fg | 70 | $O \setminus D_{2-3}$ | >10 | 150-350 | Преимущественно краевые ледниковые возвышенности | Преимущественно средняя |
| **2** | 20-100 | 80 | fg, lg, g, h, la | 40 | $D_{2-3}$ | 3-5 | 150-350 | Плоские низины и равнины с преобладанием озерно-ледникового типа рельефа | От очень низкой до высокой |
| **3** | 60-270 | 100-120 | g, fg, lg | 50 | $D_{2-3} \setminus K_2$ | 0-10 | 250-450 | Преимущественно пологоволнистые водно-ледниковые и моренные равнины | От очень низкой до средней |
| **4** | 50-200 | 120 | g, fg, lg | 70 | $K_2 \setminus E_2 \setminus N$ | >10 | 300-450 | Преимущественно краевые ледниковые возвышенности | От низкой до высокой |
| **5** | 80-230 | 90-110 | fg, g | 30 | $\mathcal{E}\text{-}S \setminus D_2 \setminus K_2$ | 0-10 | 200-450 | Преимущественно пологоволнистые водно-ледниковые равнины с фрагментами краевого ледникового рельефа | От очень низкой до очень высокой |
| **6** | 90-300 | 110-140 | g, fg, lg | 60-70 | $AR\text{-}PR_1 \setminus PR_2 \setminus \mathcal{E}\text{-}S \setminus D_2 \setminus K_2$ | >10 | 200-450 | Преимущественно пологоволнистые и увалистые моренные равнины и краевые ледниковые возвышенности с покровом лессовидных пород | От очень низкой до очень высокой |
| **7** | 70-200 | 100 | fg, lg, g, h | 35-60 | $AR\text{-}PR_1 \setminus PR_2 \setminus D_2 \setminus K_2 \setminus E_2 \setminus N$ | 0-3 | 200-450 | Плоские озерно-ледниковые и водно-ледниковые низины | От очень низкой до средней |
| **8** | 60-180 | 100 | g, fg, lg | 70 | $D_{2-3}$ | 0-10 | 150-350 | Преимущественно краевые ледниковые возвышенности | От очень низкой до очень высокой |
| **9** | 10-120 | 40-60 | fg, lg, g | 20-30 | $D_2 \setminus K_2 \setminus E_3 \setminus N$ | 0-10 | 150-400 | Водно-ледниковые и моренно-водно-ледниковые равнины с фрагментами краевого ледникового рельефа | От очень низкой до очень высокой |
| **10** | 20-140 | 20-40 | fg, lg, g | 45 | $D_3 \setminus J \setminus K_2 \setminus E_{2-3}\text{-}N$ | 3-10 | 150-350 | Моренные и водно-ледниковые равнины с фрагментами краевого ледникового рельефа (в восточной части с покровом лессовидных пород) | От очень низкой до очень высокой |
| **11** | 10-120 | 60-80 | g, fg, lg, la | 50 | $PR_2 \setminus D_3 \setminus K_2 \setminus E_{2-3} \setminus N$ | 0-10 | 150-450 | Водно-ледниковые и моренно-водно-ледниковые равнины с фрагментами краевого ледникового рельефа | Преимущественно низкая |
| **12** | 10-90 | 35 | a, la, fg, h, g | 15 | $K_2 \setminus E_{2-3} \setminus N$ | 0-3 | 100-300 | Плоские аллювиальные и озерно-аллювиальные низины с фрагментами мелкогрядово-бугристого эолового рельефа | Преимущественно высокая |
| **13** | 0-80 | 20-40 | fg, h, la, g | 20 | $E_3 \setminus N$ | 0-3 | 200-300 | Преимущественно плоские водно-ледниковые равнины с заболоченными низинами и фрагментами эолового рельефа | От низкой до высокой |
| **14** | 20-200 | 30-60 | fg, g, la, a, h | 40 | $D_2 \setminus J \setminus K_2 \setminus E_2 \setminus N$ | 0-3 | 100-450 | Плоские заболоченные озерно-аллювиальные низины | Преимущественно высокая |
| **15** | 15-200 | 30-60 | fg, g, la, h | 25 | $J \setminus K_2 \setminus E_{2-3} \setminus N$ | 0-3 | 200-400 | Пологоволнистые моренно-водно-ледниковые и озерно-аллювиальные низины с заболоченными низинами и фрагментами эолового рельефа | От низкой до очень высокой |
| **16** | 20-160 | 40-60 | g, fg, lg | 70 | N | >10 | 250-300 | Краевая ледниковая возвышенность с покровом лессовидных пород | От низкой до очень высокой |
| **17** | 10-110 | 40-60 | fg, lg, g, h, la | 20 | $AR\text{-}PR_1 \setminus PR_2 \setminus K_2 \setminus E_{2-3} \setminus N$ | 0-3 | 300-400 | Водно-ледниковые равнины с заболоченными понижениями и фрагментами краевого ледникового рельефа | От низкой до высокой |
| **18** | 30-160 | 80-90 | fg, lg, g | 45 | $PR_2 \setminus K_2 \setminus E_{2-3} \setminus N$ | 0-3; >10 | 300-450 | Пологоволнистые водно-ледниковые и моренные равнины с краевыми ледниковыми образованиями | От очень низкой до средней |

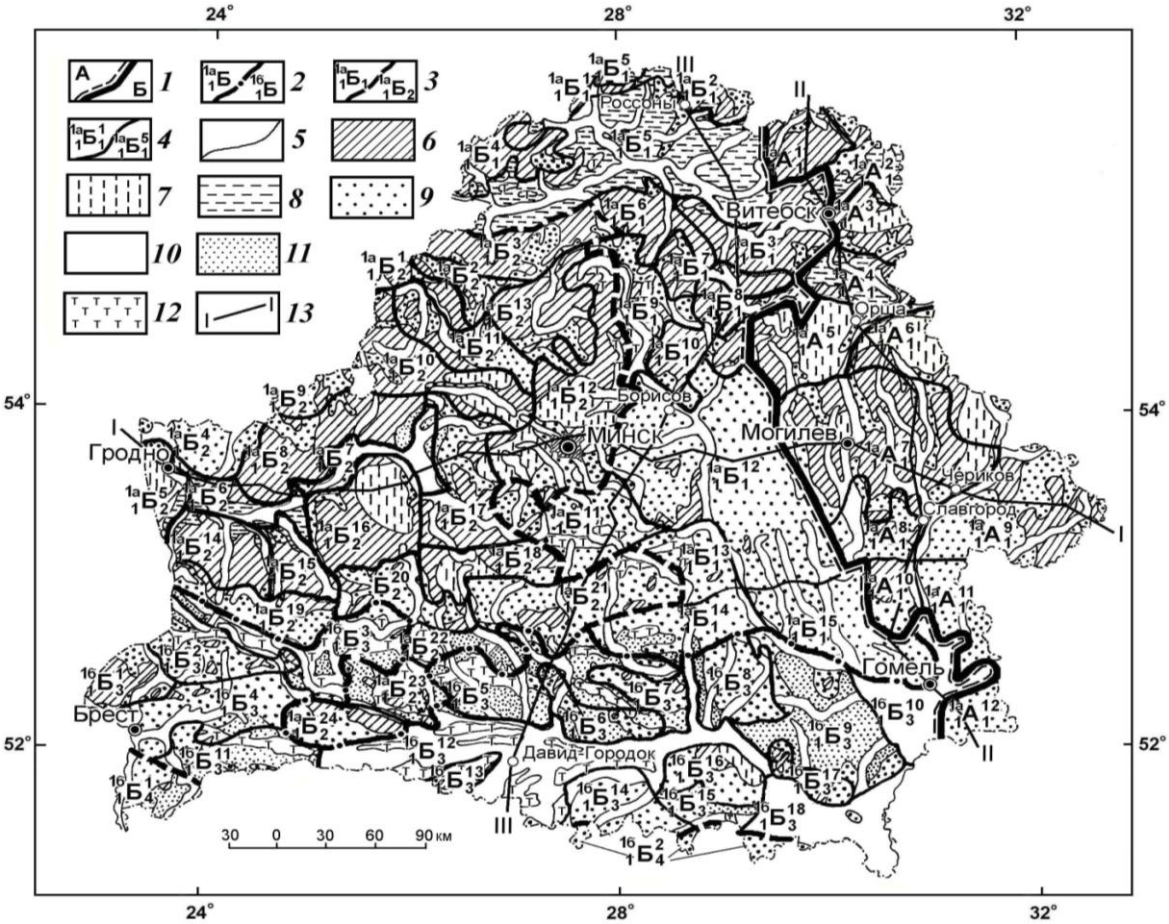



Рисунок 1 – **Карта инженерно-геологического районирования территории Белоруссии**.

Границы и индексы: *1* – инженерно-геологических регионов II порядка; *2* – инженерно-геологических подзон; *3* – инженерно-геологических областей I порядка; *4* – инженерно-геологических областей II порядка. *5* – границы инженерно-геологических районов. Районы развития отложений: *6* – моренных (суглинки, супеси валунные, пески, гравий); *7* – лессовидных (супеси, суглинки); *8* – озерно-ледниковых (глины, суглинки, пески); *9* – водно-ледниковых (пески, гравий, супеси); *10* – аллювиальных (пески, гравий, супеси, суглинки, илы); *11* – озерно-аллювиальных (пески, супеси, суглинки); *12* – болотных (торф, илы). *13* – линия геологического разреза

Анализ всех известных классификаций и типизаций ЛТС, рассмотрение возможности их применения для целей инженерной геологии показывают, что в большинстве из них не соблюден генетический подход к изучению ЛТС, не в полной мере проведена детализация, некорректно отражена техногенная составляющая ЛТС, имеются другие несоответствия. В связи с этим нами была выполнена типизация ЛТС, функционирующих на территории Белоруссии, призванная устранить отмеченные противоречия в этом вопросе. В основу ее построения положено совместное рассмотрение технических и геологических объектов как главных составляющих любой ЛТС. С этой целью на первом этапе типизации было осуществлено классифицирование технических систем (ТС), отличающихся в условиях Белоруссии широким многообразием и разной

степенью развития. В качестве таксономических единиц в классификации ТС нами приняты ***группа, класс, тип, вид, разновидность***, выделенные по различным признакам (рис. 2). Наряду с таксономическими единицами в классификации отражены структурные элементы, время «жизни» ТС, а также их вероятные воздействия на геосреду и интенсивность. Приведенная классификация является наиболее полной и информативной. Она учитывает как генетический подход к изучению ТС, так и высокую степень детализации их структуры, уровни организации и функционирования. Кроме того, в процессе своего существования различные ТС воздействуют на геосреду, как правило, комплексно. Однако, пользуясь разработанной классификацией, эти воздействия могут быть расчленены на отдельные составляющие для их последующего анализа, оценки и отражения на картографических моделях.

В сопоставлении с типами инженерно-геологических обстановок классификация ТС позволяет выполнить инженерно-геологическую типизацию ЛТС, функционирующих на территории Белоруссии, а также охарактеризовать территориальную специфику проявления техногенеза, являющегося следствием сочетания ЛТС (табл. 2). Данные типизации свидетельствуют о том, что различным инженерно-геологическим структурам свойственно определенное размещение разных по назначению и степени развития ЛТС. В тоже время особенности такого распределения ЛТС послужили условиями для крайне неравномерной техногенной трансформации геологической среды. Установлено, что наибольшему преобразованию геосреды подверглись территории инженерно-геологических областей, где в техническом плане размещены крупные населенные пункты и промышленные предприятия, а в геологическом отношении широким распространением пользуются краевые ледниковые образования, участки неглубокого залегания глинистых и карбонатных отложений, пород кристаллического фундамента, подземных вод, долины крупных рек и торфяники (рис. 3). Нередко на таких участках геологическая среда приобрела качественно новые состояние и свойства. Несмотря на то, что типизация ЛТС разработана для Белоруссии, ее принципы и возможности реализации могут быть применимы и к другим регионам, в том числе и на территории России.

## 3. Обоснование и использование нового методического подхода к количественной оценке состояния и режима функционирования литотехнической системы на основе полученной в процессе мониторинга текущей информации об изменениях параметров различных классов воздействий на геологическую подсистему и новых количественных характеристик ЛТС, позволяющего оперативно устанавливать тип режима работы этой системы и в соответствии с ним принимать решения по инженерно-геологическому обоснованию управления ею.

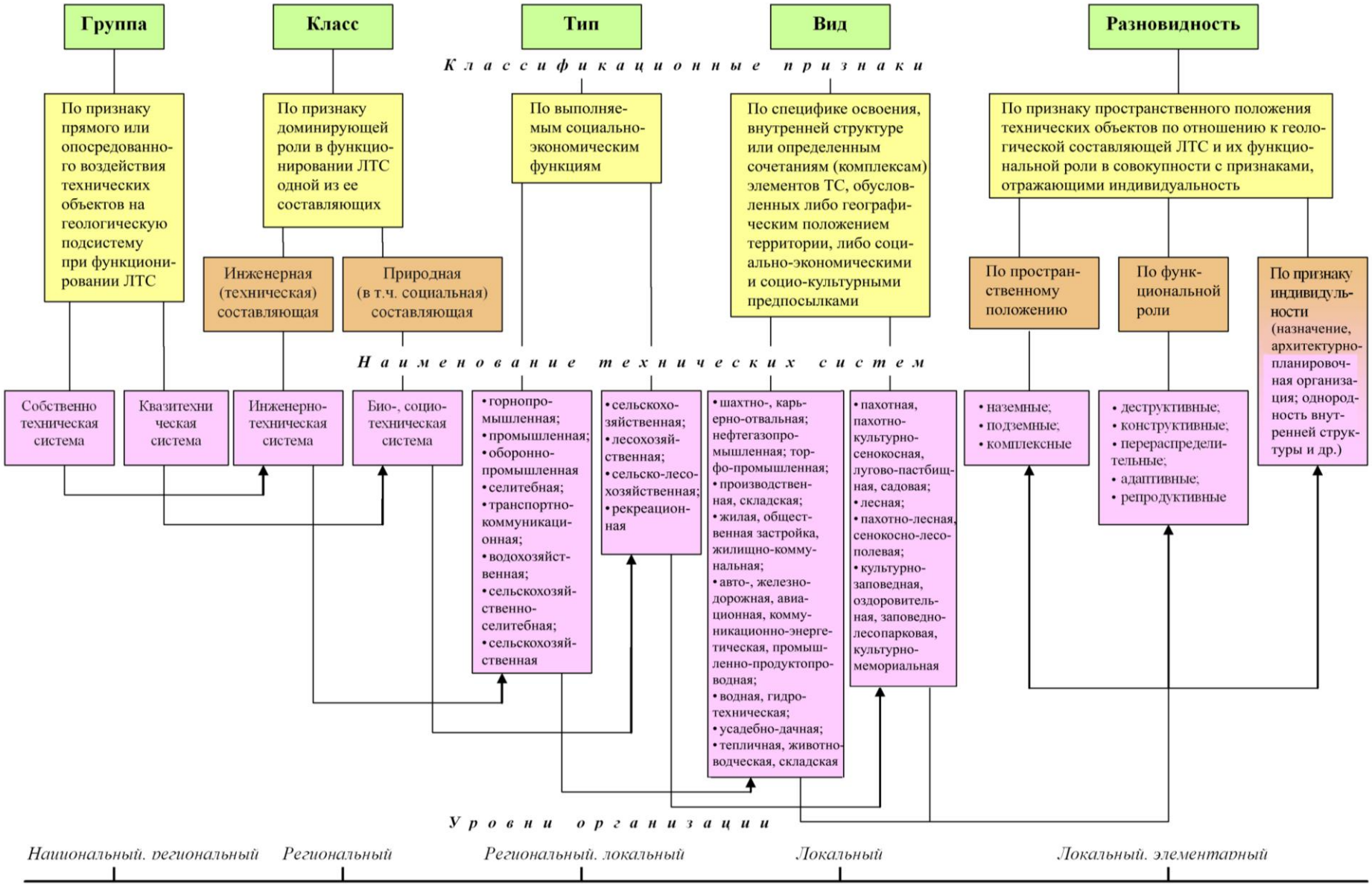



Рисунок 2 – **Иерархические уровни технических систем Белоруссии**

Таблица 2 – **Региональная инженерно-геологическая типизация литотехнических систем территории Белоруссии (фрагмент)**

| Инженерно-геологический регион второго порядка | Инженерно-геологическая провинция | Инженерно-геологическая зона / подзона | Инженерно-геологическая область первого порядка | Инженерно-геологическая область второго порядка | ТИПЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Горнопромышленная | Промышленная | Селитебная | Транспортно-коммуникационная |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| А. ВОРОНЕЖСКО-ТВЕРСКАЯ АНТЕКЛИЗА | 1. Провинция распространения пород и осадков без жестких связей | 1. Зона распространения талых и немерзлых пород / а. Подзона развития слабо- и умеренноувлажненных пород | 1. Область денудационных столово-останцовых равнин | 1. Область Городокской краевой ледниковой возвышенности | **II A $_{4,2}$ / 1** | **V A $_{2,7,8}$ / 1**<br>**VI A $_{1,2}$ / 1** | **IX A $_{1,2}$ / 1**<br>**X A $_{1\text{-}4,6,7}$ / 1** | **XII A / 1**<br>**XIII A / 1**<br>**XV B / 1** |
| | | | | 2. Область Суражской озерно-ледниковой равнины | **II A $_{7}$ / 2** | **V A $_{10}$ / 2**<br>**VI A $_{1,2}$ / 2** | **IX A $_{1}$ / 2**<br>**X A $_{1\text{-}4,6}$ / 2** | **XII A / 2**<br>**XV B / 2** |
| | | | | 3. Область Витебской краевой ледниковой возвышенности | **II A $_{4,2}$ / 1** | **V A $_{1\text{-}4,6,7,10}$ / 1**<br>**VI A $_{1\text{-}3}$ / 1** | **IX A $_{2,1}$ / 1**<br>**X A $_{1\text{-}7}$ / 1** | **XII A / 1**<br>**XIII A / 1**<br>**XIV A / 1**<br>**XV B / 1** |
| | | | | 4. Область Лучосинской озерно-ледниковой равнины | **IV A / 2** | **V A $_{7}$ / 2**<br>**VI A $_{1,2}$ / 2** | **IX A $_{1,2}$ / 2**<br>**X A $_{1\text{-}4,6,7}$ / 2** | **XII A / 2**<br>**XIII A / 2**<br>**XV B / 2**<br>**XVI B / 2** |
| | | | | 5. Область Оршанской краевой ледниковой возвышенности | **II A $_{4,2}$ / 8** | **V A $_{2\text{-}4,6,7,10}$ / 8**<br>**VI A $_{1\text{-}3}$ / 8** | **IX A $_{2,1}$ / 8**<br>**X A $_{1\text{-}7}$ / 8** | **XII A / 8**<br>**XIII A / 8**<br>**XV B / 8**<br>**XVI B / 8** |
| | | | | 6. Область Горецкой моренной равнины с краевыми ледниковыми образованиями | **II A $_{2}$ / 10** | **V A $_{1,2,6,7}$ / 10**<br>**VI A $_{1,2}$ / 10** | **IX A $_{1,2}$ / 10**<br>**X A $_{1\text{-}4,6,7}$ / 10** | **XII A / 10**<br>**XIII A / 10**<br>**XV B / 10**<br>**XVI B / 10** |

Примечание: литотехнические системы обозначены в клетках как отношение технических объектов этих систем к их геологической составляющей. Соответственно в числителе указаны виды и разновидности технических систем согласно их классификации, в знаменателе – типовое поле инженерно-геологических систем согласно их типизации. Цветом обозначена степень развития (интенсивность функционирования) ЛТС: оранжевый – высокая, желтый – средняя, зеленый – низкая. Степень развития ЛТС определена по картам Национального атласа Белоруссии (2002), отражающим размещение промышленных и горнопромышленных предприятий, сельского и лесного хозяйств, плотности городского и сельского населений и ряд других.

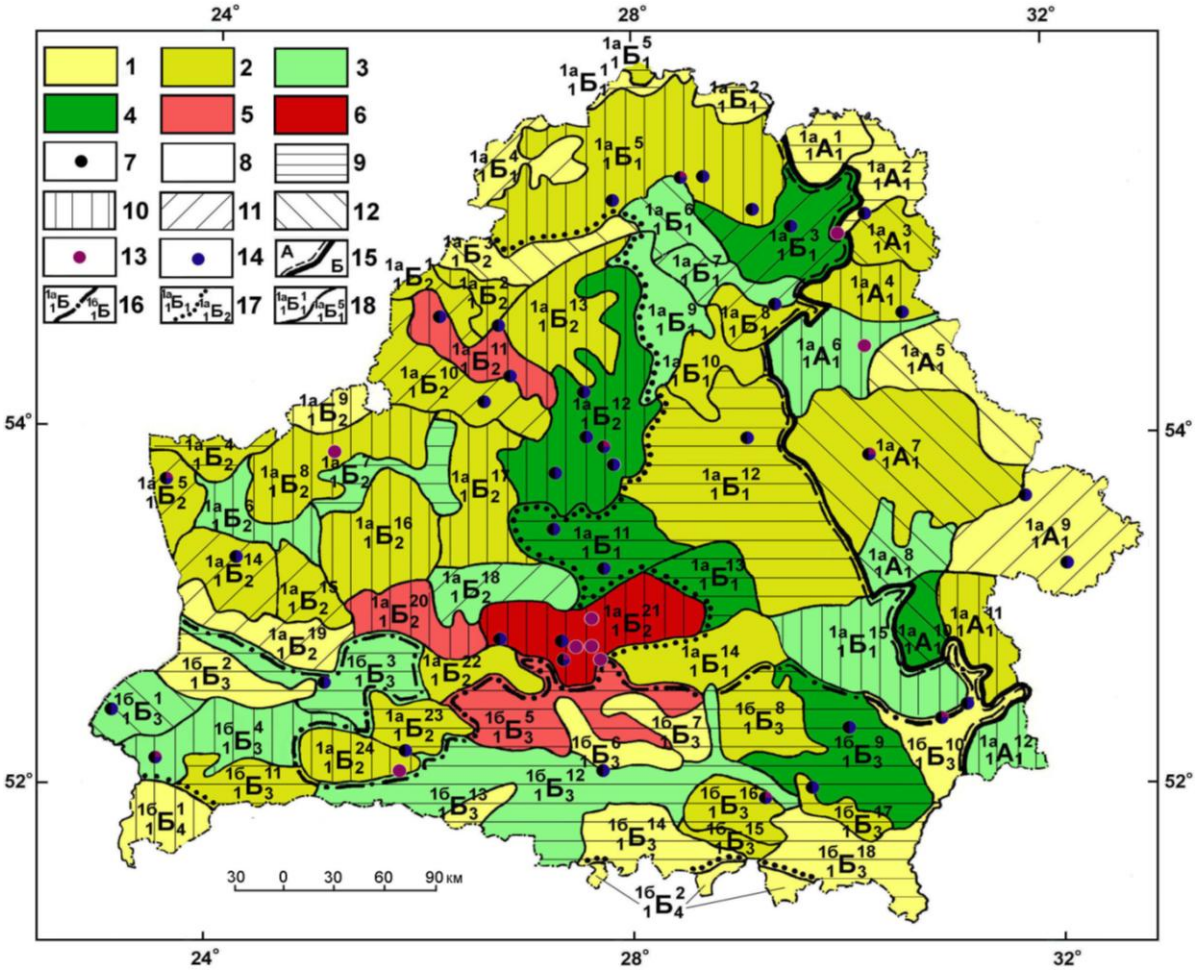



Рисунок 3 – **Карта техногенной трансформации компонентов геологической среды территории Белоруссии** (составлена по материалам ИГиГ НАН Б).

Интенсивность техногенной трансформации грунтовых массивов, тыс. $м^3/км^2$ в год: *1* – <10; *2* – 10-20; *3* – 20-30; *4* – 30-40; *5* – 40-50; *6* – >50 (300-350); *7* – локальные участки с интенсивностью >1000. Площадь загрязнения ($NO_3^-$, $Cl^-$, $SO_4^{2-}$, $NH_4^+$, $K^+$) грунтовых вод, %: *8* – <10; *9* – 10-30; *10* – 30-50; *11* – 50-70; *12* – >70. Локальные участки с интенсивной трансформацией режимов грунтовых и межпластовых вод: *13* – гидрохимического, *14* – гидродинамического. Границы и индексы: *15* – инженерно-геологических регионов II порядка; *16* – инженерно-геологических подзон; *17* – инженерно-геологических областей I порядка; *18* – инженерно-геологических областей II порядка

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

Под состоянием ЛТС, по Г.К. Бондарику и Л.А. Ярг (2008), понимают 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 на какой-либо момент времени после начала ее функционирования.

К таким параметрам 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, система в области своего существования способна находиться в самых разных состояниях, определяемых граничными условиями ее существования или пределами области допустимых состояний системы. С этой точки зрения важное значение приобретает установление ***режима функционирования ЛТС, под которым*** мы ***понимаем изменение в некотором интервале (серии моментов) времени количественных показателей параметров ЛТС и происходящих в ней процессов, способное отражать ее состояние.*** В зависимости от поведения параметров ЛТС различают два режима функционирования системы − *установившийся* и *неустановившийся*. Они могут существовать как короткое, так и довольно длительное время. В связи с этим при характеристике неустановившегося режима нами предлагается выделять ***стадии его развития***, от которых во многом будут зависеть прогнозные оценки и обоснование управленческих решений в целях оптимизации работы системы (табл. 3). При этом ***критерием оценки режима функционирования ЛТС должна выступать допустимая вероятность техногенных изменений параметров сферы взаимодействия литосферы в расчетном коридоре их значений – от 0 до предельно допустимого уровня (ПДУ).***

В свою очередь эти изменения будут зависеть от интенсивности техногенных воздействий на сферу взаимодействия литосферы, которую в количественном отношении предлагается выражать через ***коэффициент интенсивности техногенных воздействий*** $F^t_{\text{ЛТС}}$, численно равный сумме отношений действительных параметров воздействий (физического, химического, биологического и др.) к их критической величине:

$$F^t_{\text{ЛТС}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{K_{i\,дейст}}{K_{i\,крит}}, \qquad (1)$$

где $K_{i\,действ.}$ – действительные параметры воздействий; $K_{i\,критич.}$ – критические параметры воздействий; $N$ – количество параметров воздействия. Следует заметить, что величину критических параметров воздействий устанавливают по регламенту качества компонентов геологической подсистемы исходя из расчетного коридора значений параметров качества [0; ПДУ] при условии, что $K_{i\,критич.} \neq 0$.

Для оценки режима функционирования ЛТС необходимо знать также пространственное положение сферы взаимодействия литосферы, которое может быть охарактеризовано предложенным нами ***показателем пространственной границы функционирования ЛТС*** $L^n$ (км$^n$), соответствующего расстоянию

Таблица 3 – **Стадии развития неустановившегося режима функционирования ЛТС на основе оценки состояния сферы взаимодействия литосферы**

| **Стадия развития** | **Характеристика параметров и состояния ЛТС** |
|---|---|
| Нормальная | Структура, конфигурация и объем сферы взаимодействия литосферы (СВЛ) с технической подсистемой, а также набор, масштаб и интенсивность инженерно-геологических процессов (ИГП) соответствуют проектным параметрам; значения показателей свойств компонентов СВЛ находятся в пределах фона, не превышая ПДУ. Состояние ЛТС дает возможность прогнозировать различные ситуации с множеством вариантов управленческих решений. |
| Напряженная | Структура, конфигурация и объем СВЛ, набор, масштаб и интенсивность ИГП 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, не 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 ИГП, свойства компонентов СВЛ подвержены значительным 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. |

($n$=1), площади геологического пространства ($n$=2) или объему геологической среды ($n$=3), за пределами которого воздействие ЛТС на геологическую среду не будет превышать допустимых уровней:

$$L^3 = L^2 \times L^1 = V = S \times h, \qquad (2)$$

где $V$ – объем, км$^3$; $S$ – площадь, км$^2$; $h$ – расстояние или глубина, км.

Произведение параметров $F^t_{\text{ЛТС}}$ и $L^n$ позволяет количественно охарактеризовать еще один параметр: ***состояние сферы взаимодействия литосферы с технической подсистемой ЛТС*** в виде показателя $R^f_{\text{ЛТС}}$ – характеристики СВЛ на момент функционирования ЛТС, имеющего размерность идентичную размерности показателя пространственной границы функционирования ЛТС, (км$^n$).

$$R^f_{\text{ЛТС}} = F^t_{\text{ЛТС}} \times L^n. \qquad (3)$$

В соотношении с числом параметров воздействий, существующих в пространственных границах системы, и в соответствии с характеристикой параметров состояния СВЛ (табл. 3) можно с помощью $R^f_{\text{ЛТС}}$ определить стадию развития неустановившегося режима функционирования ЛТС, отражающую ее текущее состояние. Так, например, если $R^f_{\text{ЛТС}} < N \times L^n$, то

ЛТС будет функционировать в нормальной стадии неустановившегося режима, поскольку значение коэффициента $F^t_{ЛТС}$, входящего в параметр состояния СВЛ, меньше числа параметров воздействий, что соответствует условиям, когда показатели свойств компонентов СВЛ находятся в расчетном коридоре значений параметров качества, не превышая при этом ПДУ. Если $R^f_{ЛТС} = N \times L^n$ – режим будет соответствовать напряженной стадии развития, при $R^f_{ЛТС} > N \times L^n$ – критической, а при $R^f_{ЛТС} >> N \times L^n$ – катастрофической стадии неустановившегося режима функционирования ЛТС.

Данный подход был применен нами при оценке режима функционирования двух ЛТС: «Мозырский нефтеперерабатывающий завод» и «Гомельский химзавод», которую проводили по вышеуказанным параметрам на момент режимных наблюдений в 2010 г. и 2005 г. соответственно. Расчеты показали, что ЛТС «Мозырский НПЗ» на указанный год работала в нормальной стадии, а ЛТС «Гомельский химзавод» – в критической стадии своего развития. Впоследствии это явилось основанием в срочном порядке начать научные исследования по инженерно-геологическому обоснованию управления последней системой.

Предложенный подход к оценке режима функционирования ЛТС позволяет посредством мониторинговых наблюдений за изменениями параметров различных классов воздействий на СВЛ оперативно определять режим работы системы и намечать по необходимости комплекс мероприятий по снижению влияния технического объекта на состояние геологического компонента ЛТС.

## 4. Обоснование концепции организации системы мониторинга литотехнических систем территории Белоруссии в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды, обеспечивающей выход на принципиально новый уровень компетентности получения информации о состоянии ЛТС локального и регионального уровней, прогнозных оценок его изменений и разработки инженерно-геологического обоснования управления этими системами.

Опыт показывает, что создание и эксплуатация ЛТС часто сопряжены с возникновением новых или активизацией ранее проявивших себя геологических и инженерно-геологических процессов (ГиИГП), которые нередко приводят к масштабным техногенным изменениям состава и свойств геологической составляющей этих систем. Территория Белоруссии в этом отношении не является исключением. При этом надо отметить, что характер проявления и степень воздействия указанных процессов на состояние ЛТС страны остаются до сих пор слабо изученными. Это объясняется не только отсутствием государственной системы мониторинга литотехнических систем (СМ ЛТС), которая должна производить информацию о ГиИГП как основном показателе взаимодействий,

обусловливающих функционирование ЛТС, но и отсутствием в стране вообще каких-либо наблюдений за развитием данных процессов. Даже в существующей Национальной системе мониторинга окружающей среды мониторинг ГиИГП не предусмотрен (рис. 4). Только располагая мониторингом можно получить необходимую информацию о процессах, происходящих в области взаимодействия литосферы (ОВЛ) и технической подсистемы ЛТС, выполнить на ее основе прогнозную оценку развития этих процессов и разработать геологически обоснованные управленческие решения для оптимизации функционирования ЛТС в целом.

В условиях отсутствия СМ ЛТС ее разработка выступает как актуальная научно-практическая задача, имеющая важное инженерно-геологическое значение. Предлагаемая ***концепция*** определяет цель, задачи, функции, состав, структуру, основные направления работ в области создания, использования и развития СМ ЛТС территории Белоруссии. Ее суть полностью отвечает требованиям новых СНиП в отношении цели и задач инженерно-геологических работ. Она должна быть составной частью действующей НСМОС и базироваться на единой информационной и методической основе, обеспечивающей сопоставимость результатов наблюдений и совместимость с другими системами мониторинга.

***Цели и задачи работ по созданию системы мониторинга ЛТС.*** Целью создания СМ ЛТС является установление тенденций развития литотехнических систем различного уровня организации и назначения (или их частей) и на основе этого – принятие управляющих решений по оптимизации функционирования этих систем.

Для реализации указанной цели решаются следующие задачи: 1) организация наблюдений, получение достоверной и объективной информации о пространственно-временных изменениях состояния и развития ЛТС; 2) оценка и системный анализ получаемой информации, выявление причин, вызывающих изменения в состоянии и развитии ЛТС; 3) разработка прогнозов развития ЛТС; 4) разработка, анализ эффективности и обеспечение реализации геологически обоснованных управляющих решений по снижению уровня или устранению изменений в состоянии и развитии ЛТС.

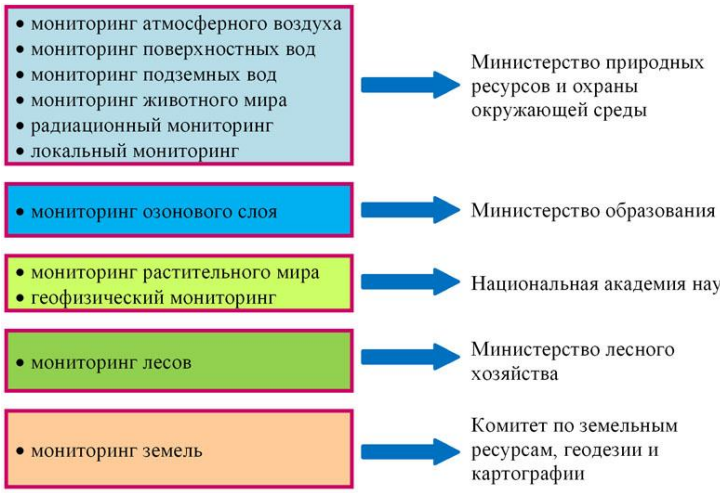



Рисунок 4 – **Структура Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь**

***Основные организационные положения.*** В организационном аспекте мониторинг ЛТС территории Белоруссии целесообразно осуществлять на двух уровнях: локальном и региональном (как это принято в НСМОС).

Основу мониторинга ЛТС организует сеть наблюдательных участков, тип и структура которых будут определяться инженерно-геологическими условиями в пространственных границах ЛТС. При этом основным принципом рационального размещения наблюдательной сети следует считать определение такого количества пунктов наблюдений и их размещения, которое было бы достаточным и необходимым для получения достоверных и репрезентативных характеристик состояния ОВЛ и не требовало бы открытия чрезмерного количества постов связанного с неоправданными затратами материальных ресурсов.

Организацию наблюдательной сети в СМ ЛТС территории страны следует проводить поэтапно. На *первом этапе*, по мнению автора, необходимо разработать концептуальную модель данной сети с учетом местоположения и содержательных (технических и инженерно-геологических) особенностей ЛТС. В основе этой модели могут быть положены разработанные нами инженерно-геологическая типизация ЛТС, карты пространственного размещения ЛТС и техногенной трансформации компонентов геосреды территории Белоруссии. Эти источники информации позволяют выделить отдельные территории с различной степенью техногенного преобразования геологической среды и ее компонентов и наметить участки локальной режимной сети наблюдений за последующими изменениями этих преобразований.

*Второй этап* – это создание наблюдательной сети локального мониторинга ЛТС. Как правило, на локальном уровне для каждого объекта мониторинга ЛТС создается своя сеть, в которой количество пунктов наблюдений, схема их расположения, частота и методика наблюдений будут определяться множеством факторов: масштабами ЛТС, характером и степенью воздействия технических объектов на геологическую подсистему ЛТС, ИГУ участка размещения ЛТС и др., и должны устанавливаться индивидуально в каждом конкретном случае.

На *третьем этапе* организовываются работы по созданию наблюдательной сети регионального мониторинга ЛТС, включающие в себя обустройство наблюдательных постов и полигонов с соответствующими измерительными и регистрирующими оборудованием и аппаратурой в зависимости от изучаемых процессов и явлений (инженерно-геологических, гидрогеологических, геофизических, геохимических и др.).

***Основные методологические принципы мониторинга ЛТС.*** В основе создания системы мониторинга ЛТС должны быть положены ранее обоснованные базовые методологические принципы (Королев, 2007), дополненные нами с учетом специфики рассматриваемой системы мониторинга. Содержание этих принципов отражено в табл. 4.

Таблица 4 – **Принципы мониторинга ЛТС**

| **Название принципа** | **Содержание** |
|---|---|
| Целенаправленности | Предполагает, что СМ ЛТС должна быть «настроена» на достижение его конечной цели – разработку инженерно-геологического обоснования управления ЛТС для оптимизации их функционирования. Следование этому принципу позволит не заниматься сбором и обработкой «случайной» информации, создаст предпосылки для создания экономически эффективной системы. |
| Системности | Предусматривает целостное рассмотрение объекта мониторинга – область взаимодействия литосферы с технической подсистемой ЛТС, комплексное и последовательное его изучение. Необходимо исследовать не только отдельно взятые параметры – должны прослеживаться все стороны развития ОВЛ, включая и прогнозирование его хода. Важно определить место каждого параметра в общей структуре ОВЛ, его взаимосвязи со всеми сторонами развития этой области. |
| Комплексности | Требует, чтобы объект мониторинга ЛТС был описан посредством комплекса параметров. Одновременно он требует использования и комплекса способов и методов осуществления мониторинга ЛТС. |
| Репрезентативности и экономичности | Предполагает, что СМ ЛТС должна быть ориентирована на получение статистически значимых для характеристики объекта мониторинга параметров, а также на минимизацию количества и ресурсоемкости мониторинговых наблюдений. |
| Нормативности | Предполагает наличие нормативов (допустимых значений) по ключевым параметрам, используемым в системе мониторинга. |
| Структурно-организационный (иерархичности) | Заключается в том, что а) информация, полученная с нижних уровней мониторинга ЛТС должна соответствовать информации, сведенной на верхних уровнях, б) информация любого уровня мониторинга ЛТС должна соответствовать содержанию ставящихся задач. |
| Временной | Частота наблюдений и сбора информации во времени в системе мониторинга полностью определяется динамикой наблюдаемых процессов в ЛТС: режимом развития ГиИГП, временем существования инженерных сооружений, временными особенностями их взаимодействия и влияния на геологическую подсистему ЛТС. На его основе осуществляется разработка методики наблюдений в данной системе мониторинга, проводятся режимные наблюдения, подбирается соответствующая аппаратура для сбора первичной информации. |
| Сочетания непрерывности и периодичности | Предусматривает постоянное и регулярное наблюдение за развитием состояния ЛТС и их компонентов, результатами развития, а также оценку и прогноз состояния ЛТС через определенные промежутки времени. |
| Рациональности | Характеризует рациональное сочетание прогнозно-аналитической ценности информации и затрат на ее получение, сбалансированность показателей. |
| Объективности | Заключается в необходимости отражения в формируемой информационной базе мониторинга реальных условий функционирования ЛТС и факторов, определяющих их состояние и прогнозы развития. |
| Оперативности | Предусматривает своевременный сбор и предоставление информации, а также принятие на ее основе решений, способных оптимизировать в реальном масштабе времени условия функционирования ЛТС. |
| Развития | Его суть заключается в необходимости с течением времени совершенствования системы мониторинга (новых теорий развития процессов в области взаимодействия технической и геологической составляющих ЛТС, используемого методического инструментария и др.). Важно отметить, что изменения не должны усложнять систему мониторинга. При этом, система мониторинга во времени должна непрерывно совершенствоваться и строиться как «самообучающаяся» система. Чем дольше работает мониторинг, тем совершеннее его прогнозы и управление. |

***Объекты наблюдений.*** С позиций инженерной геологии СМ ЛТС должна быть нацелена, прежде всего, на комплексную оценку естественных и техногенных изменений состояния ИГУ в границах ЛТС и управление этими изменениями. Следовательно, в качестве объекта наблюдений в мониторинге ЛТС будут выступать источники изменений состояния ИГУ и компоненты, формирующие эти условия: рельеф, грунты, подземные воды, современные ГиИГП, причем не в отдельности, а в совокупности. При этом надо заметить, что рассматриваемая совокупность компонентов ИГУ, по своей сути, есть не что иное, как характеристика геологического тела, базирующаяся на понятии поля геологических параметров (Бондарик, 1981). Таким образом, объектом наблюдений в мониторинге ЛТС следует считать источник(и) воздействий на ОВЛ и поле геологических параметров в пределах ОВЛ. В соответствии с этим оценку состояния области взаимодействия литосферы и технической составляющей ЛТС необходимо проводить по комплексу технических и геологических параметров, являющихся также и основой прогноза изменений состояния ОВЛ. К числу таких параметров, которые должны составлять информационный фонд СМ ЛТС, следует отнести: 1) количественные характеристики технических подсистем ЛТС и оказываемых ими воздей-ствий; 2) количественные характеристики геолого-геоморфологического и гидрогеологического строения территории размещения ЛТС; 3) глубину залегания и показатели динамики изменений уровня подземных вод; 4) температуру, показатели химического, микробиологического и газового состава подземных вод; 5) показатели свойств грунтов; 6) активность или геодинамический потенциал ГиИГП, оказывающих влияние на условия создания и эксплуатации ЛТС или возникающих при функционировании этих систем.

***Методы и средства наблюдений.*** Для получения информации о поле геологических параметров при функционировании ЛТС применяется широкий комплекс дистанционных и наземных методов наблюдений со свойственной им измерительной и регистрирующей аппаратурой. Эти методы могут регламентироваться в зависимости от условий их использования (пространственно-временных, инженерно-геологических, экономических и др.). В связи с этим важной проблемой выступает обоснование оптимального применения дистанционных и наземных методов наблюдений и решение вопроса о целесообразности и масштабах использования автоматизированных средств наблюдений. В первом случае следует решить задачу – сопоставить дистанционные и наземные методы таким образом, что бы при минимальных затратах времени, труда и средств можно было получить максимальный объем информации.

***Основные требования к аналитической информации.*** Главным условием для объективной оценки состояния ОВЛ и процессов, протекающих в ней, является получение качественной информации. При

этом элементами качества здесь должны выступать полнота, оптимальность, точность, актуальность и достоверность информации, а также своевременность и оперативность ее получения.

Одним из важнейших требований к информации в мониторинге ЛТС является ее унификация, предусматривающая составление унифицированного перечня показателей ОВЛ и протекающих в ней процессов, создание системы классификаторов и кодирования информации для ее ввода и вывода, а также разработку стандартных форм входной и выходной документации для всех стадий сбора, хранения, обработки и выдачи информации. При этом формы выходной информации должны быть максимально близки к традиционному инженерно-геологическому представлению результатов исследований (разрезы, колонки скважин и т.д.).

***Прогнозные задачи мониторинга ЛТС.*** К основным прогнозным задачам мониторинга ЛТС относятся: 1) выбор методов прогнозирования и периодов упреждения прогнозов; 2) вероятностное описание возможных изменений параметров области взаимодействия литосферы с технической подсистемой ЛТС и взаимосвязей этих параметров под влиянием различных видов воздействия на ОВЛ, обусловленных существующей или проектируемой техногенной нагрузкой; 3) определение вероятности возникновения и развития в ОВЛ при существующей или проектируемой техногенной нагрузке современных ГиИГП, а также оценка возможных последствий их проявлений; 4) составление прогнозов изменения состояния ОВЛ; 5) разработка вероятностных моделей критических ситуаций в отношении ОВЛ и оказываемых на нее воздействий различного характера, оценка этих ситуаций; 6) корректировка пространственного размещения и организационно-технического обеспечения пунктов наблюдательной сети; 7) обоснование инженерно-геологических мероприятий по предотвращению или снижению уровня негативных изменений состояния ОВЛ и связанных с ними процессов для оптимизации функционирования ЛТС.

***Основные положения для разработки целевой программы мониторинга ЛТС.*** Назначение мониторинга ЛТС конкретизируется в его целевой программе – основном методологическом и методическом документе, на базе которого проводится организация мониторинга ЛТС. Ее разработка должна основываться на следующих базовых положениях (Королев, 2007).

1. Целевая программа должна базироваться на системном, комплексном, программно-целевом и нормативно-параметрическом подходах.

2. Целевая программа должна содержать ряд важнейших научно-методических обоснований, главными из которых являются: а) обоснование пространственных границ изучения; б) обоснование и выбор системы мониторинга, в основе которой лежит анализ и выявление тех компонентов ОВЛ с техническими объектами, на которые оказывается или ожидается техногенное воздействие; в) обоснование расположения наблюдательной

сети мониторинга; г) обоснование периода наблюдений в системе мониторинга; д) обоснование режима наблюдений за каждым компонентом ОВЛ или соответствующим ГиИГП.

3. В целевую программу следует включать наблюдения за теми параметрами ЛТС, которые являются ведущими для данной системы, а также наиболее значимыми в инженерно-геологическом обосновании управления ЛТС.

4. В целевую программу необходимо включать наблюдения не только за техногенными, но и за природными изменениями состояния ОВЛ, прежде всего за изменениями, происходящими в результате тех геологических процессов, временные характеристики которых сопоставимы с периодом жизни данной ЛТС. В нее также должен входить и последующий генетический анализ изменений ОВЛ с целью выделения техногенной и природной компоненты этих изменений, их прогноз и оценка воздействия на состояние ЛТС.

5. Целевые программы организации мониторинга ЛТС разных уровней должны строиться по единой структуре, отражающей их типовой характер.

***Использование результатов системы мониторинга ЛТС Белоруссии*** позволит:

1. Оценивать состояние верхних горизонтов литосферы при взаимодействии с различными техническими объектами, контролировать соответствие их параметров нормативным требованиям и результатам ранее выполненных прогнозов.
2. Уточнять ИГУ территорий размещения ЛТС путем соответствующей обработки данных наблюдений, создания и периодической калибровки ПДМ этих систем; корректировать региональную инженерно-геологическую типизацию ЛТС.
3. Выполнять регулярное долго- и краткосрочное прогнозирование состояние ОВЛ и технических объектов, а также режима функционирования ЛТС.
4. Обеспечивать построение и ведение информационной базы данных.
5. Управлять функционированием ЛТС в рациональном режиме путем решения задач оптимизации ИГУ на участках размещения систем.

## 5. Новая методология организации системы инженерно-геологического обоснования управления литотехническими системами различного уровня, позволяющая на основе системного анализа функционирования ЛТС принимать или корректировать управленческие решения в соответствии со складывающейся ситуацией, априори устанавливать значения целевых показателей и определять структуру и параметры управления этими системами.

Любые ЛТС создаются изначально как управляемые. При этом управление представляет собой заключительную цепь функциональных процедур в системе мониторинга данных систем.

В отношении задач инженерной геологии ***управление ЛТС – есть процесс достижения такого состояния ее геологической подсистемы, которое способно обеспечить оптимальный режим работы всей системы в целом на каждом этапе ее существования, с использованием всех имеющихся ресурсов (информационных, вычислительных, интеллектуальных, технических, технологических, административных, экономических и др.) при соблюдении необходимого 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 разных 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) инженерно-геологическое обоснование управленческих решений для оптимизации работы всей ЛТС.

Из определения следует, что управление ЛТС может осуществляться путем регулирования состояния СВЛ с учетом прогнозных оценок ее развития. Реализовать эту задачу может система методов управления, в основе которой находится использование административно-правовых (законы, стандарты, экспертиза и др.), экономических (оценка ущерба и др.) и научно-технических (инженерно-технологические и др. мероприятия) механизмов. При этом, как отмечает В.Т. Трофимов (2010), каждая группа этих механизмов, особенно последняя, при реализации требует инженерно-геологического обоснования.

Под ***инженерно-геологическим обоснованием управления ЛТС*** мы понимаем ***процедуру инженерно-геологических исследований в системе управления ЛТС, направленную на выбор среди множества альтернативных вариантов мероприятий такого варианта, который в наибольшей степени учитывает современное и прогнозируемое изменение состояния инженерно-геологических условий, и применение которого необходимо и достаточно для обеспечения оптимального режима функционирования ЛТС.***

Эффективность и качество выработки управленческих решений определяются обоснованностью методологии решения возникающих при функционировании ЛТС проблем, т.е. обоснованностью подходов, принципов, методов и технологий. Анализ теории и практики управления

различными 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 ЛТС как совокупности ее взаимосвязанных элементов, 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 системе 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 нашему мнению, следует применять при выработке управленческих решений, особенно на региональном уровне, является типизация ЛТС.

Методологически системный подход следует применять на всех этапах обоснования управления ЛТС (рис. 5), поскольку выполнение каждого из них вне системы просто невозможно.

***Ситуационный подход*** сосредоточивается на том, что обоснование различных методов управления ЛТС определяется конкретной ***ситуацией – совокупностью условий, возникающих под влиянием внутренних и внешних воздействий в некоторый момент времени***.

Основанием его применения в управлении ЛТС является «поведение» режима ее функционирования. Это обусловлено тем, что происходящие изменения параметров состояния ЛТС (или развитие 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 установленные автором с сотрудниками закономерности в функционировании ЛТС, заключающиеся в том, что ***в ЛТС, длительное время находящихся в критическом режиме работы, когда геологическая подсистема или ее отдельные компоненты подвержены значительному, но не превышающему технологического уровня 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 (например, граничные и начальные условия, свойства геологической среды). Такое многообразие факторов определяет отсутствие какого-либо единого с точки зрения эффективности способа управления состоянием ЛТС

Рисунок 5 – **Реализация методологических подходов на разных этапах выработки геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования ЛТС**

и ее элементов. Самым эффективным в каждой конкретной ситуации следует считать тот метод управления, который будет максимально адаптирован к данной ситуации. Этот подход ориентирует инженер-геолога на правильный анализ ситуаций и на эффективное использование своих возможностей исходя из накопленных опыта и знаний. Применение данного подхода в общей схеме управления возможно в том случае, когда будет определена конкретная проблемная ситуация со всеми вытекающими последствиями (рис. 5).

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

***Сценарный (поисковый) подход*** позволяет проводить многовариантный ситуационный анализ применения разнообразных методов управления ЛТС и ее компонентами с учетом возможностей и ограничений 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 ГиИГП, которые возникли или могут возникнуть в будущем при создании, эксплуатации или ликвидации ЛТС, и их влияния на состояние компонентов системы (прежде всего геосреды) в случае использования какого-либо специального мероприятия или комплекса мероприятий***.

Среди инструментов, применяемых в данном подходе, важное место занимает имитационное моделирование, использующееся в создании математических постоянно действующих моделей (ПДМ) геосреды для прогнозирования и анализа ее состояния. Использование подобных ПДМ 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; 3) выбора оптимального решения.

В настоящее время накоплен достаточно большой опыт создания математических ПДМ (ГИС) для ЛТС различного уровня организации и назначения. Одним из примеров таких моделей является АИС ПДМ геосреды юго-востока Белоруссии, созданная коллективом сотрудников ГГУ им. Ф. Скорины под руководством В.Г. Жогло с участием автора настоящей работы на базе ПЭВМ с использованием программно-технического комплекса, включающего в себя системы специального программного обеспечения компании «Геолинк», МГУ им. М.В. Ломоносова.

Важным свойством ПДМ является перманентный характер их функционирования. Это свойство ПДМ в системе выработки геологически обоснованных управленческих решений позволяет без существенных затрат времени и ресурсов осуществлять поиск и формирование набора альтернативных решений проблемы, соответствующих им управляющих воздействий и производить выбор оптимального решения. Следовательно, преимущество данного подхода будет заключаться в возможности заранее выявлять неэффективные управленческие решения, разрабатывать множество вариантов развития ситуаций и прогнозировать состояние геосреды в каждой из них. Методологически данный подход в общей схеме выработки управленческих решений используется на последних ее этапах (рис. 5), когда необходимо осуществлять поиск и формирование набора вариантных решений, отбор критериев выбора оптимального решения, выбор и принятие наилучшего решения.

Резюмируя вышесказанное, отметим, что рассмотренные 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 применение совместно с созданной АИС ПДМ позволило автору с сотрудниками успешно реализовать ряд задач по инженерно-геологическому обоснованию управления такими ЛТС, как здание ЖЭС в Минске, химзавод и водозаборы Гомеля и др.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги проведенной работы, необходимо отметить следующее.

1. Длительная история хозяйственного освоения Белоруссии привела к тому, что в настоящее время ее территорию можно представить как сложное сочетание территориально разобщенных и сливающихся, различного назначения и уровня организации, близких к закрытым и свободно обменивающихся веществом и энергией ЛТС. Их развитие обусловлено как социально-экономическими предпосылками, так и инженерно-геологическими условиями страны [3, 5, 15, 16, 21, 30, 31, 37, 44].

Изучение региональных и зональных геологических факторов на территории Белоруссии позволило оценить основные особенности ИГУ и их пространственные изменения, определяющие условия создания и эксплуатации ЛТС разного уровня организации и назначения. Среди этих особенностей следует отметить: а) широкое развитие в сфере влияния наземных ЛТС четвертичных отложений разного генезиса, в основном песчаного и глинистого состава; более древние породы, вовлеченные в инженерно-хозяйственную деятельность, распространены фрагментарно; б) формирование равнинного, преимущественно слаборасчлененного аккумулятивного и в меньшей степени денудационного рельефа с преобладанием равнин и низин, речных долин и грядово-холмистых комплексов; в) приуроченность к Q отложениям горизонта грунтовых вод с весьма изменчивыми глубиной залегания, мощностью, водообильностью, минерализацией и агрессивностью; г) развитие разнообразных современных геологических процессов, характеризующихся различными распространением и интенсивностью и в разной степени осложняющих условия создания и функционирования ЛТС [1, 11, 12, 14-16, 19-23, 26-29, 33, 34, 38, 42, 43].

Сочетание этих особенностей определяет довольно специфичные и в целом неоднородные ИГУ территории Белоруссии, что обусловлено как геологическими причинами, так и современной климатической обстановкой. На основе анализа закономерностей пространственных изменений ИГУ территории страны созданы принципиально новые типизация инженерно-геологических обстановок и карта инженерно-геологического районирования, которая наиболее полно отражает особенности инженерно-геологических условий различных территорий республики [2, 15, 22, 25, 32, 36, 41].

2. Разработана и обоснована принципиально новая региональная типизация ЛТС для целей инженерной геологии, позволяющая разделять совокупности взаимосвязанных элементов систем разного уровня и оказываемых ими возмущающих воздействий на отдельные составляющие для последующего анализа, оценки, прогноза развития и управления

состоянием с целью достижения эффективного функционирования ЛТС в целом [6, 31].

Анализ типизации позволил установить, что различным инженерно-геологическим структурам свойственно определенное размещение разных по назначению и степени развития ЛТС. В тоже время особенности такого распределения ЛТС послужили условиями для крайне неравномерной техногенной трансформации геосреды. Выявлено, что наибольшей трансформации геосреда подверглась в инженерно-геологических областях, где в техническом плане размещены крупные населенные пункты и промпредприятия, а в геологическом отношении широким распространением пользуются краевые ледниковые образования, участки неглубокого залегания глинистых и карбонатных отложений, пород кристаллического фундамента, подземных вод, долины крупных рек и торфяники [2, 9, 10, 21, 24, 39, 40, 46].

3. Разработан новый методический подход к количественной оценке состояния и режима работы ЛТС, основанный на использовании результатов мониторинговых наблюдений за изменениями параметров различных классов воздействий на геологическую подсистему и вводимых новых количественных характеристик ЛТС, отражающих интенсивность этих воздействий, пространственные границы и текущее состояние ЛТС. Применение подхода позволило оценить режим работы промышленных ЛТС «Мозырский НПЗ» и «Гомельский химзавод» Расчетами установлено, что первая из них работала в нормальном режиме, вторая – в критической стадии своего развития. Впоследствии это явилось основанием в срочном порядке начать научные исследования по инженерно-геологическому обоснованию управления второй ЛТС [7, 8, 17, 18].

4. Обоснована новая концепция системы мониторинга ЛТС территории Белоруссии в составе НСМОС, обеспечивающей выход на принципиально новый уровень компетентности получения информации о состоянии ЛТС локального и регионального уровней, прогнозных оценок его изменений и разработки инженерно-геологического обоснования управления этими системами [17, 18, 35].

5. Разработана новая методология организации системы выработки геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования ЛТС различных уровней, заключающаяся в последовательном применении на разных этапах ее формирования системного, ситуационного, динамического и сценарного подходов. Ее применение позволило автору с сотрудниками разработать комплекс инженерно-геологических мероприятий, которые смогли обеспечить оптимальные условия функционирования ряда ЛТС [4, 8, 13, 17, 18, 45].

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ*


1. **Галкин А.Н.**, Королев В.А. Закономерности диффузионно-осмотических процессов в глинистых грунтах при миграции многокомпонентных растворов электролитов // Геоэкология. 2002. №1. С.61-64.

2. **Галкин А.Н.** Научно-методические основы инженерно-геологического районирования территории Беларуси // Геоэкология. 2007. №5. С. 429-438.

3. **Галкин А.Н.** История становления и развития инженерно-геологических исследований в Белоруссии // Инж. геология. №1. 2008. С.28-32.

4. **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 // Инж. геология. 2008. №4. С.74-80.

5. Красовская И.А., **Галкин А.Н.**, Галкин П.А., Тимошкова А.Д., Кремнев А.П. Ошибки в устройстве оснований и фундаментов, приводящие к разрушению зданий на территории Витебска // Геориск. 2008. №4. С.18-21.

6. **Галкин А.Н.** Типизация литотехнических систем: состояние проблемы и пути ее решения // Инж. геология. 2009. №3. С.30-33.

7. **Галкин А.Н.** Методические основы оценки режима функционирования литотехнических систем // Известия высших учеб. заведений. Геология и разведка. 2009. №4. С.46-50.

8. 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. 2009. №4. С.298-310.

9. **Галкин А.Н.**, Степин С.Г., Жогло В.Г. Сероводородное загрязнение подземных вод в районе Гомельского химического завода // Инж. изыскания. 2009. №10. С.46-48.

10. **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. 2010. №2. С.115-128.

11. **Галкин А.Н.**, Красовская И.А. Рельеф Белоруссии и структурно-геоморфологическое районирование ее территории // Известия РАН. Сер. географ. 2011. №4. С.71-77.

12. Королев В.А., **Галкин А.Н.** Геологические и инженерно-геологические процессы и явления: определение и содержание понятий // Инж. геология. 2011. №1. С.19-27.

13. **Галкин А.Н.** Методологические основы инженерно-геологического обоснования управления литотехническими системами // Инж. геология. 2012. №2. С.63-72.

### *Монографии*

14. **Галкин А.Н.** Диффузионно-осмотические свойства глинистых пород юго-востока Беларуси в условиях загрязнения геологической среды. – Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2004. 126 с.

15. **Галкин А.Н.**, Матвеев А.В., Жогло В.Г. Инженерная геология Беларуси. Основные особенности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий и история их формирования. – Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2006. 208 с.

16. Красовская И.А., **Галкин А.Н.** Оценка состояния эколого-геологических условий урбанизированных территорий. – Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2007. 165 с.

17. Жогло В.Г., **Галкин А.Н.** Мониторинг подземных вод на водозаборах и экологически опасных объектах юго-востока Беларуси. – Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2008. 161 с.

18. Жогло В.Г., **Галкин А.Н.** Мониторинг и управление состоянием подземных вод на водозаборах и экологически опасных объектах. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 133 с.

### *Статьи в научных журналах и сборниках*

19. Трацевская Е.Ю., **Галкин А.Н.**, Красовская И.А. Особенности тектоники территории г. Гомеля в связи с оценкой устойчивости геологической среды // Літасфера. 2003. №1 (18). С.78-85.

20. **Галкин А.Н.**, Трацевская Е.Ю., Матвеев А.В., Нечипоренко Л.А., Шишонок Н.А. Современные геологические процессы как фактор формирования инженерно-геологических условий территории г. Гомеля // Літасфера. 2003. №2 (19). С.67-73.

21. **Галкин А.Н.**, Красовская И.А., Аношко Я.И., Жогло В.Г. Оценка устойчивости геологической среды Гомеля к техногенному загрязнению // Літасфера. 2004. №1 (20). С.100-109.

22. **Галкин А.Н.**, Трацевская Е.Ю., Красовская И.А., Павловский А.И. Инженерно-геологическое районирование территории г. Гомеля // Літасфера. 2004. №2 (21). С.108-117.

23. **Галкин А.Н.** Структурно-геоморфологическое районирование территории Беларуси // Докл. НАН Беларуси. 2005. Т.49, №6. С. 98-100.

24. Красовская И.А., **Галкин А.Н.**, Верутин М.Г., Коваленко С.В. Особенности техногенных воздействий на эколого-геологическую систему г. Гомеля // Літасфера. 2005. №2 (23). С.91-101.

25. **Галкин А.Н.** Инженерно-геологическое районирование территории Беларуси // Докл. НАН Беларуси. 2006. Т.50, № 1. С.94-98.

26. **Галкин, А.Н.** Особенности проявления инженерно-геологических процессов на территории Беларуси // Літасфера. 2006. №1 (24). С.95-100.

27. **Галкин А.Н.**, Тимошкова А.Д., Красовская И.А., Торбенко А.Б. Особенности проявления современных экзогенных процессов на территории Витебска // Літасфера. 2007. №1 (26). С.73-77.

28. Красовская И.А., **Галкин А.Н.** Оценка эколого-геологического состояния урбанизированных территорий на примере г. Гомеля // Літасфера. 2007. №2 (27). С.122-137.

29. Торбенко А.Б., **Галкин А.Н.**, Красовская И.А., Тимошкова А.Д. Техногенные факторы экологических изменений на территории г. Витебска // Природные ресурсы. 2007. №2. С. 53-60.

30. **Галкин А.Н.** Отражение истории хозяйственного освоения территории Беларуси в особенностях формирования природно-технических систем // Природные ресурсы. 2008. №1. С.99-104.

31. **Галкин А.Н.** Особенности формирования природно-технических систем на территории Беларуси и их типизация // Літасфера. 2008. №1 (28). С.126-140.

32. **Галкин А.Н.** Новый подход к инженерно-геологическому районированию территории Беларуси // Літасфера. 2009. №1 (30). С.123-129.

33. Павловский А.И., **Галкин А.Н.**, Красовская И.А., Тимошкова А.Д., Галкин П.А. Геоморфологическое строение территории Витебска // Літасфера. 2009. №1 (30). С.130-134.

34. **Галкин А.Н.**, Павловский А.И., Галкин П.А., Красовская И.А. Геологическое строение четвертичных отложений на территории Витебска // Літасфера. 2010. №2 (33). С.107-111.

35. **Галкин А.Н.** Концепция организации системы мониторинга литотехнических систем территории Беларуси // Літасфера. 2013. №2 (39). С.134-146.

36. **Галкин А.Н.** О новом подходе в инженерно-геологическом районировании территории Беларуси // Ученые записки ВГУ им. П.М. Машерова. 2005. Т.4. С.210-221.

37. Красовская И.А., **Галкин А.Н.** Методические основы комплексной оценки эколого-геологического состояния городских территорий // Ученые записки ВГУ им. П.М. Машерова. 2006. Т.5. С. 223-239.

38. Красовская И.А., **Галкин А.Н.**, Галкин П.А. Результаты комплексных инженерно-геологических исследований территории Витебска и его окрестностей // Ученые записки ВГУ им. П.М. Машерова. 2009. Т.8. С.299-314.

39. Красовская И.А., **Галкин А.Н.**, Королев В.А. Оценка устойчивости урбанизированных территорий к техногенным воздействиям (на примере г. Гомеля) // Сергеевские чтения. Вып. 5. Молодежная сессия: матер. годич. сессии Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инж. геологии и гидрогеологии. – М.: ГЕОС, 2003. С.176-179.

40. Красовская И.А., **Галкин А.Н.**, Королев В.А. Классификация техногенных воздействий на геологическую среду г. Гомеля // Сергеевские чтения. Вып. 6. Инженерная геология и охрана геологической среды.

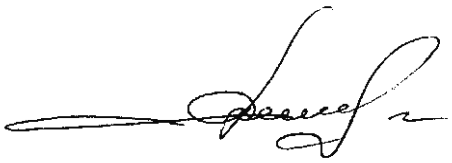
Современное состояние и перспективы развития: матер. годич. сессии Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инж. геологии и гидрогеологии. – М.: ГЕОС, 2004. С.271-276.

41. Красовская И.А., **Галкин А.Н.** Особенности геологической среды территории г. Гомеля // Сергеевские чтения. Вып. 6. Инженерная геология и охрана геологической среды. Современное состояние и перспективы развития: матер. годич. сессии Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инж. геологии и гидрогеологии. – М.: ГЕОС, 2004. С.385-389.

42. **Галкин А.Н.** Особенности строения и пространственной изменчивости рельефа Беларуси как фактора формирования инженерно-геологических условий // Веснік ВДУ. 2005. №4 (38). С.140-148.

43. **Галкин А.Н.**, Красовская И.А., Тимошкова А.Д., Торбенко А.Б. Особенности форм проявления и закономерности развития опасных экзогенных процессов на территории г. Витебска // Сергеевские чтения. Вып. 9. Опасные природные и техноприродные экзогенные процессы: закономерности развития, мониторинг и инженерная защита: матер. годич. сессии Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инж. геологии и гидрогеологии. – М.: ГЕОС, 2007. С.17-21.

44. **Галкин А.Н.**, Котягов В.Ф., Кремнев А.П., Красовская И.А., Германова Л.С., Смоляков Л.А. Опыт градостроительного освоения овражно-балочных систем в Витебске // Сергеевские чтения. Вып. 14. Роль инженерной геологии и изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий: матер. годич. сессии Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инж. геологии и гидрогеологии. – М.: ГЕОС, 2012. С.265-270.

45. **Галкин А.Н.** Методологические подходы к организации системы выработки геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования литотехнических систем // Проблемы устойчивого развития регионов Республики Беларусь и сопредельных стран: сб. науч. статей II междунар. науч.-практ. конф. – Могилев: МГУ им. А. Кулешова, 2012. С.489-492.

46. Степин С.Г., Сурков А.И., **Галкин А.Н.** Загрязнение подземных вод на территории Гомельского химического завода // Вестник Витебского гос. технолог. ун-та. 2012. №23. С.119-124.