

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»

А.Н. Галкин, А.В. Матвеев

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ БЕЛАРУСИ

Монография

В 3 частях

Часть 3

Региональная инженерная геология

Под научной редакцией В.А. Королева

*Витебск
ВГУ имени П.М. Машерова
2018*

УДК 624.131(476)
ББК 26.3
Г16

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова». Протокол № 2 от 21.12.2017 г.

Одобрено научно-техническим советом ВГУ имени П.М. Машерова. Протокол № 8 от 25.09.2017 г.

Авторы: профессор кафедры географии ВГУ имени П.М. Машерова, доктор геолого-минералогических наук, профессор **А.Н. Галкин**; главный научный сотрудник Института природопользования НАН Беларуси, доктор геолого-минералогических наук, академик НАН Беларуси, профессор **А.В. Матвеев**

Рецензенты:

главный научный сотрудник отдела геологии и минерагении платформенного чехла РУП «Научно-производственный центр по геологии», академик НАН Беларуси, доктор геолого-минералогических наук, профессор *А.А. Махнач*; заведующий кафедрой географии и природопользования УО «БрГУ имени А.С. Пушкина», доктор геолого-минералогических наук, профессор *М.А. Богдасаров*

Научный редактор:

профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАЕН, профессор *В.А. Королев*

Галкин, А.Н.

Г16 Инженерная геология Беларуси : монография : в 3 ч. / А.Н. Галкин, А.В. Матвеев. – Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2018. – Ч. 3 : Региональная инженерная геология / под науч. ред. В.А. Королева. – 184 с.
ISBN 978-985-517-647-4.

В монографии освещена история отечественной региональной инженерной геологии, на основе новых данных рассмотрены общерегиональные особенности пространственных изменений инженерно-геологических условий Беларуси, обоснованы новые типизация инженерно-геологических обстановок территории страны и схема инженерно-геологического районирования региона. Для целей инженерной геологии предложена принципиально новая региональная типизация литотехнических систем (ЛТС), функционирующих на территории республики; теоретически обосновано авторское представление о структуре системы мониторинга ЛТС в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды как основы для прогнозных оценок развития этих систем и управления ими.

Книга предназначена для специалистов в области инженерной геологии, гидрогеологии, геоэкологии, почвоведения, географии, строительства, а также студентов вузов и аспирантов, обучающихся по данным специальностям.

УДК 624.131(476)
ББК 26.3

ISBN 978-985-517-647-4

© Галкин А.Н., Матвеев А.В., 2018
© ВГУ имени П.М. Машерова, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ В БЕЛАРУСИ	6
1.1. Региональные инженерно-геологические исследования до 1950 г.	6
1.2. Региональные инженерно-геологические исследования в 1951–1991 гг.	9
1.3. Современный этап региональных инженерно-геологических исследований (1991 г. – настоящее время)	12
ГЛАВА 2. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФАКТОРОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ	18
2.1. Основные черты геологического строения и развития терри- тории Беларуси	18
2.2. Особенности строения и пространственного изменения рельефа	32
2.3. Региональные особенности гидрогеологических условий	41
ГЛАВА 3. ТИПИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК (СИСТЕМ) ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ	49
ГЛАВА 4. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ	66
4.1. Основные положения теории и практики инженер- но-геологического районирования	66
4.2. Классификационные признаки и схема инженер- но-геологического районирования территории Беларуси	76
ГЛАВА 5. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ БЕЛАРУСИ	89
ГЛАВА 6. ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГИОНАЛЬНЫХ ЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ БЕЛАРУСИ	126
ГЛАВА 7. КОНЦЕПЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ	155
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	174
ЛИТЕРАТУРА	176
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	183

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая монография представляет собой третью часть научного издания «Инженерная геология Беларуси»¹ и посвящена проблемам отечественной региональной инженерной геологии.

Региональная инженерная геология – самое молодое научное направление инженерной геологии. Оно сформировалось лишь в конце пятидесятых годов XX столетия. Главной его задачей в то время было исследование пространственного размещения территорий с различными инженерно-геологическими условиями (ИГУ).

Инженерно-геологические условия (или обстановки) относятся к числу открытых систем. Их можно определить как комплекс геологических параметров, определяющих условия хозяйственной деятельности человека, в первую очередь условия изысканий, строительства и эксплуатации инженерных сооружений. По своей структуре это сложные, многофакторные динамические образования, изменяющиеся под влиянием природных геологических или инженерно-геологических процессов, причем изменяющиеся очень быстро даже в физическом времени, а с точки зрения геологической временной системы почти мгновенно.

Современное состояние такой системы сформировалось под влиянием двух групп причин: закономерностей геологического развития в прошлом и современного тектонического режима, современной климатической обстановки, а на освоенных территориях – и техногенных воздействий. Первая группа причин обуславливает формирование так называемых региональных геологических факторов или компонентов инженерно-геологических условий, вторая (с определенным участием первой) – зональных геологических факторов или компонентов. Поскольку природные инженерно-геологические условия определяются естественным для данного времени сочетанием этих двух групп факторов, то необходимо изучать причинные закономерности их формирования и пространственного распределения. Только на основе такого анализа можно познать основные закономерности формирования, пространственного распределения и изменения самих инженерно-геологических условий (Трофимов, Аверкина, 2007). Вышесказанное позволяет следующим образом сформулировать основные задачи настоящей работы, определившие и ее структуру:

1) рассмотреть историю становления и развития региональной инженерной геологии в Беларуси;

¹Галкин, А.Н. Инженерная геология Беларуси: в 3 ч. / А.Н. Галкин. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2016. – Ч. 1: Грунты Беларуси / под науч. ред. В.А. Королева. – 367 с.; Галкин, А.Н. Инженерная геология Беларуси: в 3 ч. / А.Н. Галкин, А.В. Матвеев, А.И. Павловский, А.Ф. Санько. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2017. – Ч. 2: Инженерная геодинамика Беларуси / под науч. ред. В.А. Королева. – 452 с.

2) исследовать региональные и зональные геологические факторы инженерно-геологических условий территории республики и закономерности их пространственных изменений;

3) на основании анализа базовых теоретических положений региональной инженерной геологии выполнить типизацию инженерно-геологических обстановок территории Беларуси как геологической основы создания и эксплуатации инженерных и других объектов разного уровня организации и назначения (или литотехнических систем – ЛТС) и разработать принципиально новую схему инженерно-геологического районирования, которая, в отличие от ранее созданных карт и схем, наиболее полно отражала бы особенности инженерно-геологических условий различных регионов страны;

4) проанализировать современное состояние функционирования технических систем разного уровня на территории Беларуси, разработать и обосновать базовые принципы их классификации и на основе этого создать региональную инженерно-геологическую типизацию литотехнических систем;

5) с учетом типизации ЛТС рассмотреть региональные особенности их функционирования при различных видах техногенного воздействия на компоненты геологической среды;

6) разработать научно-методологическое обоснование концепции организации мониторинга литотехнических систем территории страны в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды как основы для прогнозных оценок развития ЛТС и управления ими.

Следует заметить, что данная монография содержит некоторые новые подходы и, несомненно, может вызвать определенные вопросы. Возникшие в связи с этим и другими аспектами замечания и предложения просим направлять по адресу: 210038, г. Витебск, Московский проспект, 33, ВГУ имени П.М. Машерова, кафедра географии.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую признательность заслуженному работнику высшей школы Российской Федерации, профессору кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, доктору геолого-минералогических наук, члену-корреспонденту РАН, профессору В.А. Королеву, осуществившему научное редактирование книги, а также рецензентам: доктору геолого-минералогических наук, академику НАН Беларуси, профессору А.А. Махначу и доктору геолого-минералогических наук, профессору М.А. Богдасарову, замечания и пожелания которых способствовали совершенствованию этой книги.



ГЛАВА 1

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ В БЕЛАРУСИ

История региональных инженерно-геологических исследований в Беларуси тесно связана со становлением этого научного направления в бывшем Советском Союзе и в то же время имеет свою специфику, что позволяет выделить три этапа в развитии региональных работ в регионе: до 1950 г., 1951–1991 гг. и современный.

1.1. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДО 1950 г.

На характеризуемом этапе постепенно накапливалась инженерно-геологическая информация по отдельным регионам Беларуси. К концу XIX века было выполнено картографирование территории страны, исследованы отдельные типы и формы рельефа, появились первые региональные сведения о грунтах и уровне режиме подземных вод. В трудах выдающихся ученых того времени содержался ряд описаний территории, отдельных ее районов, что имело большое значение для последующего познания инженерно-геологических условий Беларуси в целом. Это работы В.М. Севергина, Г.П. Гельмерсена, А.Э. Гедройца, А.А. Иностранцева, П.Я. Армашевского, А.Б. Миссуны, Е.В. Оппокова, В.В. Докучаева и др.

С 1873 по 1898 г. в Белорусском Полесье работала экспедиция под руководством И.И. Жилинского. Был собран и обобщен богатый материал по геологическим и гидрогеологическим условиям Полесской низменности. Во второй половине XIX века начала проводиться десятиверстная геологическая съемка, бурились неглубокие скважины для водоснабжения, проводились геологические исследования вдоль трассы Киево-Брестской железной дороги.

В 1919–1930 гг. под руководством П.А. Тутковского, А.М. Жирмунского, Г.Ф. Мирчинка, М.М. Жукова на значительной части территории Беларуси была проведена мелкомасштабная геологическая съемка, позволившая собрать большой материал по геоморфологии и геологии четвертичных отложений.

С 1928 г. на территории страны стали выполняться среднемасштабные геологические и гидрогеологические съемки, в процессе которых значительное внимание уделялось изучению верхних горизонтов литосферы. В различных районах Беларуси этими работами руководили С.М. Булыга, Е.Н. Геммельштейн, П.А. Леонович, В.И. Маевский, Т.М. Микулина,

М.М. Цапенко, Е.В. Шанцер, М.Г. Эткин. Данные ученые активно занимались разработкой вопросов стратиграфии четвертичных отложений, выявлением связанных с ними полезных ископаемых, установлением общих закономерностей формирования рельефа и грунтовых вод. Материалы геологических съемок послужили основой для обобщающих исследований по геоморфологическому строению и четвертичным отложениям страны.

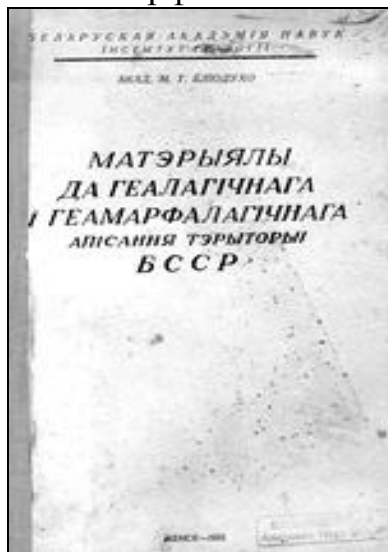


Рис. 1.1. Книга академика
Н.Ф. Блюдоху

Большой вклад в изучение инженерно-геологических условий Беларуси в этот период внес академик АН БССР Н.Ф. Блюдоху. В работе «Матэрыялы да геалагічнага і геамарфалагічнага апісання тэрыторыі БССР», опубликованной в 1930–1931 гг., ученый описал геоморфологическое строение, генетические типы четвертичных отложений, полезные ископаемые, гидрогеологические условия (рис. 1.1). Это было первое исследование, в котором выявлялась связь рельефа с глубинным геологическим строением, литологическими особенностями горных пород. На территории Беларуси Н.Ф. Блюдоху выделил по геоморфологическому признаку следующие ландшафты: кристаллический (массив в районе д. Глушковичи Лельчицкого района); конечно-моренный; зандровый; донно-моренный; древнеаллювиальный (прежде всего Полесье); лессовый. Разработки Н.Ф. Блюдоху были использованы при обосновании первой схемы геоморфологического районирования БССР, выполненной В.А. Дементьевым в 1948 г.

В 1930-х годах Белгипроводхозом в бассейнах рек Вити, Журы, Ведрича и Птичи проводились детальные гидрологические и гидрогеологические исследования в связи с проектными разработками мероприятий по осушению и сельскохозяйственному освоению болот и заболоченных земель. В 1937–1939 гг. трестом «Спецгео» в центральных и южных областях Беларуси выполнена комплексная гидрогеологическая съемка в масштабе 1:200000, материалы которой содержали много сведений о грунтах и их свойствах (Наревич и др., 1970).

Начало систематическому изучению инженерно-геологических условий территории Беларуси положили работы созданного в 1933 г. первого в республике проектно-изыскательского института «Белгоспроект», который к концу 1930-х годов окончательно сформировался как комплексная проектно-изыскательская организация широкого градостроительного профиля. До начала Великой Отечественной войны этим институтом были созданы генеральные планы всех областных и ряда других крупных городов страны, в том числе и Западной Беларуси, вошедшей в состав БССР в 1939 г. В полную силу институт заработал уже после

1945 года, когда возобновилось прерванное войной строительство и было необходимо восстанавливать разрушенное хозяйство. Появилась новая инженерно-геологическая информация, касающаяся условий эксплуатации и строительства различных сооружений, в том числе промышленных, гражданских, гидротехнических и других; выполнено накопление и обобщение материалов о компонентах инженерно-геологических условий страны, которые были собраны в результате различных геолого-съёмочных работ и инженерно-геологических изысканий.



Рис. 1.2. Современное здание
проектно-изыскательского института
«Белгоспроект»
(по <https://www.interfax.by>, 2016)



И.В. Попов
(1891–1974)

В конце 1940-х годов была опубликована серия работ разных авторов, в которых начинают обсуждаться теоретические и методические вопросы региональных исследований. Это научные труды Л.Д. Белого, Д.С. Соколова, И.В. Попова, Н.И. Николаева и др. В 1950 г. под редакцией И.В. Попова вышло в свет двухтомное методическое руководство «Инженерно-геологические исследования для гидроэнергетического строительства». В нем развивались идеи, изложенные И.В. Поповым еще в 1934 г., а также были рассмотрены основы инженерно-геологического районирования территорий и принципиальная схема инженерно-геологической классификации геологических тел (от формаций до разновидностей пород). В руководстве дана характеристика геологических процессов, впервые сделан региональный обзор инженерно-геологических условий территории СССР применительно к требованиям гидроэнергетического строительства, изложена методика исследований на разных стадиях изысканий (Инженерная ..., 2015).

К концу рассматриваемого этапа оформились исходные теоретические и методические положения региональной инженерной геологии и было признано, что задачи этой области инженерной геологии выходят за рамки грунтоведения и инженерной геодинамики и требуют специального развития.

1.2. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В 1951–1991 гг.

Второй этап истории региональной инженерной геологии начался с обоснования необходимости выделения этого нового научного направления. Наиболее важную лепту в создание и развитие региональной инженерной геологии на данном этапе внесли И.В. Попов, Н.Н. Маслов, Н.В. Коломенский, В.А. Приклонский, В.Д. Галактионов, Л.Д. Белый, С.А. Роза, И.С. Комаров. В высших учебных заведениях Советского Союза,



Академик Е.М. Сергеев
(1914–1997)

осуществлявших подготовку инженер-геологов, началось чтение курса «Инженерная геология СССР» и вышло учебное пособие И.В. Попова «Инженерная геология СССР. В 5-ти ч.» (М.: Изд-во Моск. ун-та, 1961–1974), где были впервые изложены теоретические основания региональной инженерной геологии в целом и для территории СССР в частности, включая и территорию Беларуси. В дальнейшем эти вопросы рассматривались в 8-томной монографии «Инженерная геология СССР» (1976–1978), Е.М. Сергеевым в учебнике «Инженерная геология» (1978, 1982), в работах В.Т. Трофимова по Западной Сибири (1977–1979), в монографии Г.К. Бондарика «Общая теория инженерной (физической) геологии» (1981), в 4-томном издании «Теоретические основы инженерной геологии» (1985–1986), в монографии «Engineering Geology of the Earth» (1989). В 1970-х годах выходит в свет инженерно-геологическая карта Советского Союза, включая Беларусь, масштаба 1:2500000 под редакцией М.В. Чуринова (1970), а также «Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200000» (1978). Этому способствовали масштабные изыскательские работы для различных видов жилищного, промышленного, дорожного, гидротехнического и мелиоративного строительства, развернутые в 1950–1970-х годах специалистами различных организаций СССР, в том числе и белорусских (Белгоспроект, Белпромпроект, Белгипросельстрой, Белгипродор, Белгипроводхоз, БелГИИЗ и др.). При

этом надо отметить, что в Беларуси уже с 1953 г. стали выполняться специализированные комплексные геолого-гидрогеологические съемки с инженерно-геологическими исследованиями в масштабах 1:100000 и 1:50000 (Г.Ф. Глиняная, Н.М. Грипинский, М.М. Гриценко, С.П. Гудак, Ю.С. Зубрицкий, Н.С. Ильина (Юрцева), А.С. Кабанов, В.М. Козлов, Н.Р. Кулыгина, И.С. Лещинская, И.А. Линник, В.Г. Лободенко, Г.Г. Маляр, М.Ф. Медведь, С.В. Овчаренко, В.С. Олийниченко, В.А. Ольховик, Л.О. Острогорова, В.С. Сергиевич, Р.С. Слывка, Н.А. Фадеев, Я. Цауне, В.В. Шахнюк, В.И. Ширин, Е.С. Шляппо, А.П. Щуров, Е.К. Щурок и др.), а с 1970 г. инженерно-геологические исследования стали входить в состав комплекса работ при съемках в масштабе 1:200000. Кроме того, в 1963 г. сотрудниками Белорусской геолого-гидрогеологической экспедиции (БГГЭ) Ю.С. Зубрицким, Н.И. Парфеновой и Л.М. Волковой на основе обобщения большого фактического материала были составлены обзорная инженерно-геологическая карта масштаба 1:2500000 и карта инженерно-геологического районирования территории Беларуси масштаба 1:1000000, а в 1975 г. Л.И. Панасенко и др. – масштаба 1:500000, все с характеристикой отложений верхней части (10–15 м) четвертичной толщи.

Дальнейшее проведение геолого-съемочных работ способствовало расширению общих представлений об инженерно-геологической обстановке территории Беларуси. В этом направлении большая работа была проведена специалистами БелНИГРИ (Г.А. Колпашников, М.И. Курбатов и др.), БелГИИЗа (В.Ф. Вишне夫斯基, В.Г. Лободенко и др.). Впоследствии их разработки были положены в основу характеристики инженерно-геологических условий Беларуси в монографии «Инженерная геология СССР, т. I. Русская платформа» под редакцией Е.М. Сергеева (1978).

Во второй половине 70-х годов XX века появился ряд публикаций, в которых приводились схемы инженерно-геологического районирования территории Беларуси, составленные до уровня районов и подрайонов. Так, например, Н.С. Юрцева и С.П. Гудак (1977) выполнили инженерно-геологическое районирование, в основе которого, согласно принципам районирования И.В. Попова (1961), были положены геоструктурные особенности, геоморфологические признаки и распространение первых от поверхности геолого-генетических комплексов. Этими авторами в пределах страны выделены четыре инженерно-геологических региона и три области, каждая из которых охватывает части регионов с однородным по генезису рельефом, а также с однотипными комплексами четвертичных отложений. В последующие годы Г.А. Колпашниковым с сотрудниками (1977, 1982) с учетом новых данных о геологическом строении территории Беларуси и разработок в методологии инженерно-геологического районирования было создано несколько мелкомасштабных карт и схем районирования Беларуси.

Заслуживает внимания схематическая карта районирования отложений ледникового комплекса территории Беларуси И.А. Бусела (1989), в основу

которой положены закономерности пространственной изменчивости состава, состояния и свойств грунтов – важнейших параметров инженерно-геологических условий любой территории. Результаты исследований структуры поля условного динамического сопротивления P_d позволили ученому разработать принципиально новую схему типологического инженерно-геологического районирования ледниковых отложений Беларуси для целей массового строительства.



Член-корреспондент
А.В. Кудельский

Ценный материал для познания закономерностей формирования инженерно-геологических условий территории страны на этом этапе дали научные работы белорусских исследователей по стратиграфии, литологии, тектонике, геоморфологии и гидрогеологии. Детально изучены четвертичные отложения республики, условия их формирования, закономерности размещения в них полезных ископаемых, созданы стратиграфические схемы четвертичной системы (С.Д. Астапова, Л.Н. Вознячук, Г.И. Горецкий, Б.Н. Гурский, Р.А. Зинова, В.А. Кузнецов, Э.А. Левков, К.И. Лукашев, В.К. Лукашев, А.В. Матвеев, Н.А. Махнач, С.Л. Шиманович, М.М. Цапенко и др.); изданы монография «Геология СССР. Т. III. Белорусская ССР» (ред. П.А. Леонович, 1971), геологические карты дочетвертичных (гл. ред. А.С. Махнач, 1983) и четвертичных (гл. ред. Г.И. Горецкий, 1980) отложений масштаба 1:500000; под руководством Р.Г. Гарецкого опубликованы тектоническая карта Беларуси того же масштаба (1974) и монография «Тектоника Белоруссии» (1976). Коллективом, возглавляемым А.В. Матвеевым, проводилось детальное изучение современных геологических процессов и геоморфологических условий страны. Вышли в свет геоморфологическая карта Беларуси масштаба 1:500000 (гл. ред. Б.Н. Гурский, 1986), монографии, характеризующие основные особенности и историю формирования рельефа страны (А.В. Матвеев, Б.Н. Гурский, Г.И. Илькевич, Э.А. Крутоус, А.К. Карабанов, Р.И. Левицкая, В.Ф. Моисеенко и др.). Подготовлены серии карт и геолого-гидрогеологических разрезов с данными о солевом составе и ресурсах подземных вод, о глубинах залегания водоносных горизонтов; выполнены исследования по водоснабжению городов республики, изданы монографии «Гидрогеология СССР. Т. II. Белорусская ССР» (1970), М.Ф. Козлова «Гидрогеология Припятского Полесья» (т. 1, 2; 1970, 1977). Проведены исследования в области региональной гидрогеологии и гидродинамики, при этом большое внимание уделено проблеме охраны подземных вод на территории страны (А.В. Кудельский, С.П. Гудак, Н.А. Журавель, В.Г. Жогло,

А.Ф. Акулевич, В.И. Пашкевич, А.А. Петрович, М.В. Фадеева, В.М. Шиманович, М.Г. Ясовеев и др.).

Следует заметить, что данный этап явился самым плодотворным в развитии отечественной региональной инженерной геологии. В этот же период выходит большое количество печатных изданий теоретического и прикладного характера по проблемам региональной инженерной геологии ученых из союзных республик бывшего СССР. Среди наиболее активных участников творческого процесса создания теоретических и методических основ региональной инженерной геологии следует отметить Г.К. Бондарика, Г.А. Голодковскую, Г.С. Золотарева, И.С. Комарова, Ф.В. Котлова, В.Д. Ломтадзе, И.В. Попова, В.И. Осипова, Е.М. Сергеева, Г.Г. Скворцова, В.Т. Трофимова, В.В. Фромма, М.В. Чуринова, А.И. Шеко и др. Их работы оказали значительное влияние на развитие региональных инженерно-геологических исследований на территории Беларуси.

1.3. СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РЕГИОНАЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (1991 г. – настоящее время)

К концу XX столетия на проведение инженерно-геологических исследований территории Беларуси стали влиять экономические преобразования, происходившие в последние годы существования СССР и особенно после приобретения республикой статуса самостоятельного государства. Начали пересматриваться взгляды на роль местной минерально-сырьевой базы в развитии народного хозяйства. Произошло сокращение численности специалистов, работающих как в системе инженерной геологии, так и всей геологической отрасли в целом. Сузилась тематика научно-исследовательских и других учреждений геологического и инженерно-геологического профиля. И все же данный этап отличается рядом значимых достижений. Среди них можно отметить следующие:

1. Развитие региональных инженерно-геологических исследований на собственной отечественной базе инженерной геологии (в связи с распадом СССР).
2. Повышенное внимание инженер-геологов к региональным эколого-геологическим проблемам (в том числе и в связи с аварией на Чернобыльской АЭС).
3. Совершенствование методов региональных инженерно-геологических исследований (внедрение спутникового дистанционного зондирования Земли, ГИС-технологий, мониторинга и т.п.).

К началу этого этапа территория Беларуси была полностью покрыта геологической съемкой масштаба 1:200000. В районах крупных городов и промышленных центров проводилась и геологическая съемка масштаба

1:50000, причем при ее выполнении часто делался акцент на оценке инженерно-геологического потенциала территории и инженерно-геоэкологические аспекты.

Новый шаг в инженерно-геологическом изучении территории Беларуси связан с аварией на Чернобыльской АЭС. Чернобыльская катастрофа заставила геологов всех направлений уделить особое внимание особенностям распределения и миграции радионуклидов. Удалось выявить плотность загрязнения искусственными изотопами почвенного разреза, выделить четыре самостоятельных радиогеохимических района, определить специфику миграции радионуклидов в основных типах элементарных ландшафтов и их сорбцию на геохимических барьерах (И.И. Лиштван, В.Б. Кадацкий, В.А. Кузнецов, А.В. Кудельский, В.А. Генералова, В.П. Кольненьков, Г.И. Илькевич, В.И. Пасюкевич и др.). Выявлены закономерности распределения элементов в системах *горная порода–почва* и *почва–растительность*, а также специфика формирования областей сноса и аккумуляции радионуклидов в природных и нарушенных биогеосистемах зоны аварии на ЧАЭС (Н.Н. Петухова, Я.И. Аношко и др.); определено направление миграции грунтовых и подземных вод из районов радиоактивного загрязнения (В.П. Ильин, Г.И. Илькевич, О.Н. Шпаков и др.).



Академик И.И. Лиштван

В 1992 г. профессором Г.А. Колпашниковым защищена докторская диссертация «Пространственно-временные закономерности формирования инженерно-геологических условий Беларуси и их изменений под влиянием техногенных воздействий», представляющая собой крупное обобщение об инженерно-геологических условиях территории Беларуси. Автором этого научного исследования были впервые установлены пространственно-временные закономерности формирования инженерно-геологических условий региона, даны оценка и прогноз их изменения в связи с появлением новых генетических типов экзогенных геологических процессов в промышленно развитых районах страны, проанализирована роль техногенных процессов, в том числе в результате аварии на ЧАЭС, в изменении инженерно-геологической обстановки; обоснованы критерии и выполнено инженерно-геологическое районирование всей территории Беларуси; разработаны основные теоретические положения и методика районирования территорий с большой чувствительностью к техногенным нагрузкам, составлена серия новых инженерно-геологических карт разных масштабов и назначения; предложены научно-практические рекомендации по инженерной защите территории (Колпашников, 1992).

На современном этапе в исследованиях белорусских специалистов больше внимания стало уделяться вопросам, связанным с техногенным преобразованием верхних горизонтов литосферы: выделен и детально описан техногенный рельеф, определены критерии оценки допустимой техногенной нагрузки на земную поверхность (А.В. Матвеев, С.Ф. Савчик и др.); оценено влияние мелиоративных работ на поведение подземных вод, выявлены особенности техногенного, в том числе и радионуклидного, загрязнения грунтовых и межпластовых вод (А.В. Кудельский, В.Г. Жогло, А.Ф. Акулевич, Н.А. Журавель, Т.Д. Кривецкая, В.И. Пашкевич, А.А. Петрович, О.Н. Шпаков, М.Г. Ясовеев и др.). Были разработаны критерии и методики геоэкологической оценки территорий, основанные на показателях природного состояния и характеристике техногенного воздействия на геологическую среду, включая и радиационное загрязнение (В.П. Ильин, Г.Л. Фурсиков); определена защищенность подземных вод от загрязнения (С.П. Гудак, В.Г. Жогло, Т.А. Кононова, М.В. Фадеева, В.И. Фоменко), выделены территории с разной степенью благоприятности для проживания и деятельности человека (М.В. Фадеева, В.Н. Губин), в масштабе 1:500000 составлена карта техногенной нагрузки на территорию Беларуси (М.В. Фадеева, Л.И. Шаповал), выяснены масштабы загрязнения литосферы и гидросферы. Это потребовало создания наблюдательной сети мониторинга геологической среды, в том числе и радиоэкологического. Специальные работы позволили наметить пути подземного захоронения бытовых, промышленных, токсичных и радиоактивных отходов (А.В. Кудельский, М.Г. Ясовеев, В.И. Фоменко, Л.И. Шаповал). Продолжаются работы по изучению четвертичных отложений как объекта многосторонних геологических исследований. Детально характеризовались строение, рельеф и этапы развития Новогрудской, Минской и Ошмянской возвышенностей (М.Е. Зусь, М.Е. Комаровский и др.), анализировались особенности четвертичных отложений как в Белорусском Полесье, так и Поозерье (М.А. Богдасаров, И.А. Бусел, Н.Ф. Гречаник, А.К. Карабанов, Э.А. Левков, О.А. Лажевич, В.Г. Лободенко, А.В. Матвеев, Л.А. Нечипоренко, И.Э. Павловская и др.). Разработана схема гидрогеологического районирования территории Беларуси, выполнена гидрогеологическая стратификация платформенного чехла, описаны основные водоносные горизонты и комплексы, создана схема гидродинамической зональности основных гидрогеологических структур и гидрогеохимической зональности платформенного чехла (Кудельский и др., 1997). В связи с практическими нуждами заметное развитие получили неогеодинамические исследования; впервые была составлена неотектоническая карта в масштабе 1:500000, выполнено неотектоническое районирование территории республики (Э.А. Левков, А.К. Карабанов), проведены комплексные исследования более чем на 30 ключевых участках, расположенных в разных районах Беларуси, что

позволило выбрать место для строительства АЭС (Р.Е. Айзберг, А.Г. Аронов, Р.Г. Гарецкий, А.К. Карабанов, А.В. Матвеев и др.).



Академик А.С. Махнач
(1918–2006)



Академик А.А. Махнач

В 2001 г. выходит в свет коллективная монография «Геология Беларуси» под редакцией академиков А.С. Махнача, Р.Г. Гарецкого, А.В. Матвеева, в которой проанализированы и обобщены результаты различных геологических исследований, проводимых в 1970–1980-х годах, в том числе по охране геологической среды территории республики.

Крупным обобщением геологических знаний о земной коре региона явилось издание в 2002 г. Национального атласа Беларуси, включающего более 100 разномасштабных карт геологического содержания (геологические карты платформенного чехла и фундамента, тектонические, геофизические, геохимические, геоморфологические, геодинамические, инженерно-геологические, гидрогеологические и другие карты и схемы). В их построении участвовало большинство научно-исследовательских, производственных и учебных организаций республики (научные руководители академики Р.Г. Гарецкий, А.С. Махнач, А.А. Махнач, А.В. Матвеев, И.И. Лиштван, член-корреспондент А.В. Кудельский и др.).

Важнейшими особенностями современного этапа региональных инженерно-геологических исследований являются внедрение ГИС-технологий, разработка специализированных региональных геоинформационных систем, автоматизированное компьютерное картографирование и т.п. Определенных успехов в этом направлении достигли специалисты Центрального НИИ комплексного использования водных ресурсов (А.М. Гречко, М.Ю. Калинин, П.В. Лободенко, А.П. Станкевич, Е.В. Сытник, Н.М. Томина, М.М. Черепанский и др.), БелНИГРИ (ныне научно-производственного центра по геологии и его филиала Института геологии) (О.А. Березко, В.И. Бучурин, К.А. Курило и др.), РУП «Геосервис» и его отделений (И.Н. Духанин, О.А. Лажевич, С.А. Фролов, А.В. Хадарович и др.), Института природопользования НАН Беларуси (С.В. Какарека, Т.И. Кухарчик, В.С. Хомич и др.), Белгосуниверситета (Д.М. Курлович, Ю.М. Обуховский, А.П. Романкевич и др.), ГГУ имени Ф. Скорины (В.Г. Жогло, А.Ф. Акулевич и др.), ВГУ имени П.М. Машерова (А.Н. Галкин, И.А. Красовская, А.Б. Торбенко) и др.

Новые возможности спутникового дистанционного зондирования поверхности и верхних горизонтов литосферы, глобальные системы позиционирования и передачи данных и другие инновационные технологические средства ставят на новый уровень региональные инженерно-геологические исследования как у нас в стране, так и за рубежом. В настоящее время в республике имеются различные технические средства для приема необходимой космической информации с зарубежных спутников. Отечественными учеными совместно со специалистами Российского авиационно-космического агентства создана Белорусская космическая система дистанционного зондирования Земли, которая нацелена на решение широкого спектра практических задач, в том числе и инженерно-геологической направленности (оценка и прогноз изменений инженерно-геологических условий территории, организация и ведение литомониторинга и др.). Среди специалистов, внесших существенный вклад в развитие аэрокосмических методов исследований геологической среды Беларуси, следует отметить Л.С. Вольскую, В.И. Гридина, В.Н. Губина, Н.А. Капельщикова, А.А. Ковалева, В.Я. Коженова, А.А. Лепешева, В.И. Михайлова, З.А. Ничипоровича, Ю.М. Обуховского, А.Р. Понтуса, А.А. Топаза, Ф.Е. Шалькевича и др.

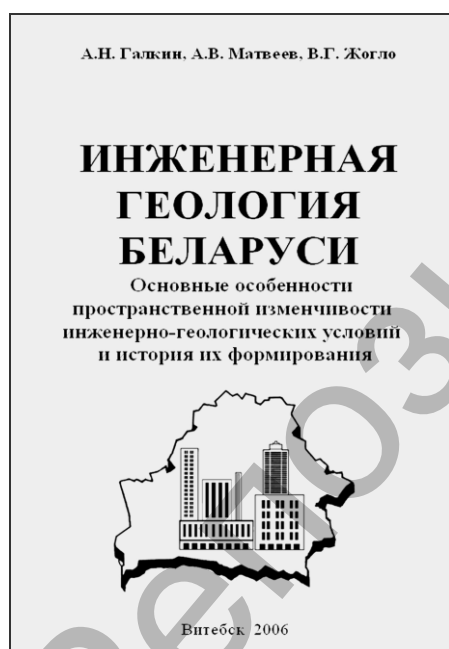


Рис. 1.3. Монографическое издание 2006 г.

Значительным событием в области региональной инженерной геологии Беларуси стал выход в 2006 г. монографии А.Н. Галкина, А.В. Матвеева и В.Г. Жогло «Инженерная геология Беларуси. Основные особенности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий и история их формирования», в которой авторами на основе новых геологических данных рассмотрены общерегиональные особенности пространственных изменений инженерно-геологических условий Беларуси и показаны пути их учета при инженерно-геологическом районировании (рис. 1.3).

Не менее важное значение в развитии отечественной региональной инженерной геологии имеют научно-исследовательские работы по изучению литотехнических систем территории Беларуси, проводимые в настоящее время в ВГУ имени П.М. Машерова коллективом научных сотрудников под руководством профессора А.Н. Галкина. Результаты этих исследований сводятся к следующему: на основании обобщения нового фактического геологического материала рассмотрены особенности формирования инженерно-геологических условий региона и их пространственные изменения, выявлена специфика их влияния на условия создания и эксплуатации

литотехнических систем (ЛТС) различного уровня организации и назначения; разработана 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 этих систем в целом; разработана концепция организации системы мониторинга литотехнических систем территории Беларуси в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС), обеспечивающей выход на принципиально новый уровень компетентности получения информации о состоянии литотехнических систем для прогнозных оценок их развития и управления ими.

Из сказанного следует, что на современном этапе отечественными исследователями сделан существенный качественный скачок в изучении инженерно-геологических условий территории Беларуси. Этому способствовало не только получение новых данных о компонентах геологической среды региона, их региональных изменениях под влиянием инженерной деятельности человека, но и появление ряда обобщающих работ ученых стран СНГ, главным образом России, по проблемам региональной инженерной геологии. Среди них, в первую очередь, необходимо назвать капитальный труд большого коллектива ученых, вышедший под редакцией В.Т. Трофимова (Инженерная геология России: в 3 т. Т. 1: Грунты России (2011); Т. 2: Инженерная геодинамика территории России (2013); Т. 3: Инженерно-геологические структуры России (2015)), монографию В.Т. Трофимова и Т.И. Аверкиной «Теоретические основы региональной инженерной геологии» (2007), монографический справочник под редакцией В.Т. Трофимова «Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии» (2012), учебные пособия В.Т. Трофимова и Н.С. Красиловой «Инженерно-геологические карты» (2008), В.А. Королева «Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем» (2007, 2015), а также работы Г.К. Бондарика, Г.А. Голодковской, О.Н. Грязнова, С.Г. Дубейковского, С.Б. Ершовой, В.Д. Ломтадзе, В.И. Осипова, Ю.Б. Тржцинского, Л.А. Ярг и др.



Г Л А В А 2

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФАКТОРОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Инженерно-геологические условия, как известно, определяются большим комплексом природных факторов. Наиболее важные из них – геологическое строение территории, особенности слагающих ее пород, рельеф, гидрогеологические условия, современные геологические и инженерно-геологические процессы и явления². Характер проявления указанных факторов обуславливается, с одной стороны, региональными геологическими особенностями территории, а с другой – современными климатическими условиями. Закономерное сочетание этих основных параметров и формирует инженерно-геологическую обстановку любого региона, любого участка (Трофимов, 1977, 1985).

2.1. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

В геологическом отношении исследуемая территория характеризуется достаточно высокой степенью изученности. Геологическое строение региона изучалось в разные годы в процессе проведения геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических съемок различных масштабов и целевого назначения. Его описание достаточно подробно изложено в работах Р.Е. Айзберга, Л.Ф. Ажгиревич, Ф.Ю. Величкевича, Л.Н. Вознячука, Р.Г. Гарецкого, Г.И. Горецкого, Б.Н. Гурского, Г.В. Зиновенко, А.К. Карабанова, Г.А. Колпашникова, Э.А. Левкова, В.К. Лукашева, К.И. Лукашева, А.В. Матвеева, А.С. Махнача, А.А. Махнача, Г.К. Хурсевич, Т.В. Якубовской и многих других ученых. Используя фондовый материал и многочисленные литературные источники, в том числе фундаментальные коллективные монографии «Геология Беларуси» (2001) и «Палеогеография кайнозоя Беларуси» (2002), вкратце охарактеризуем основные черты геологического строения и развития исследуемого региона.

Территория Беларуси расположена на западе Восточно-Европейской платформы в пределах Русской плиты, в основании которой залегает древний (допалеозойский) кристаллический фундамент, перекрытый осадочным чехлом мощностью от 0,02 до 6 км. Здесь в классическом виде представлены все характерные для древних платформ тектонические

²В главе современные геологические и инженерно-геологические процессы и явления нами не рассматриваются, поскольку их подробная характеристика приведена во второй части издания: *Галкин, А.Н.* Инженерная геология Беларуси: в 3 ч. / А.Н. Галкин [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2017. – Ч. 2: Инженерная геодинамика Беларуси / под науч. ред. В.А. Королева. – 452 с.

структуры (рис. 2.1), в геологическом строении которых принимают участие комплексы горных пород широкого стратиграфического диапазона – от архейских до современных отложений включительно. Среди этих пород основное место занимают терригенные, карбонатные, вулканогенно-осадочные и галогенные комплексы позднего протерозоя и палеозоя. Меньшим распространением пользуются мезозойские терригенно-карбонатные и палеоген-неогеновые песчано-глинистые отложения. Практически повсеместно представлены терригенные образования ледниковой формации четвертичной системы (Матвеев, 1990).

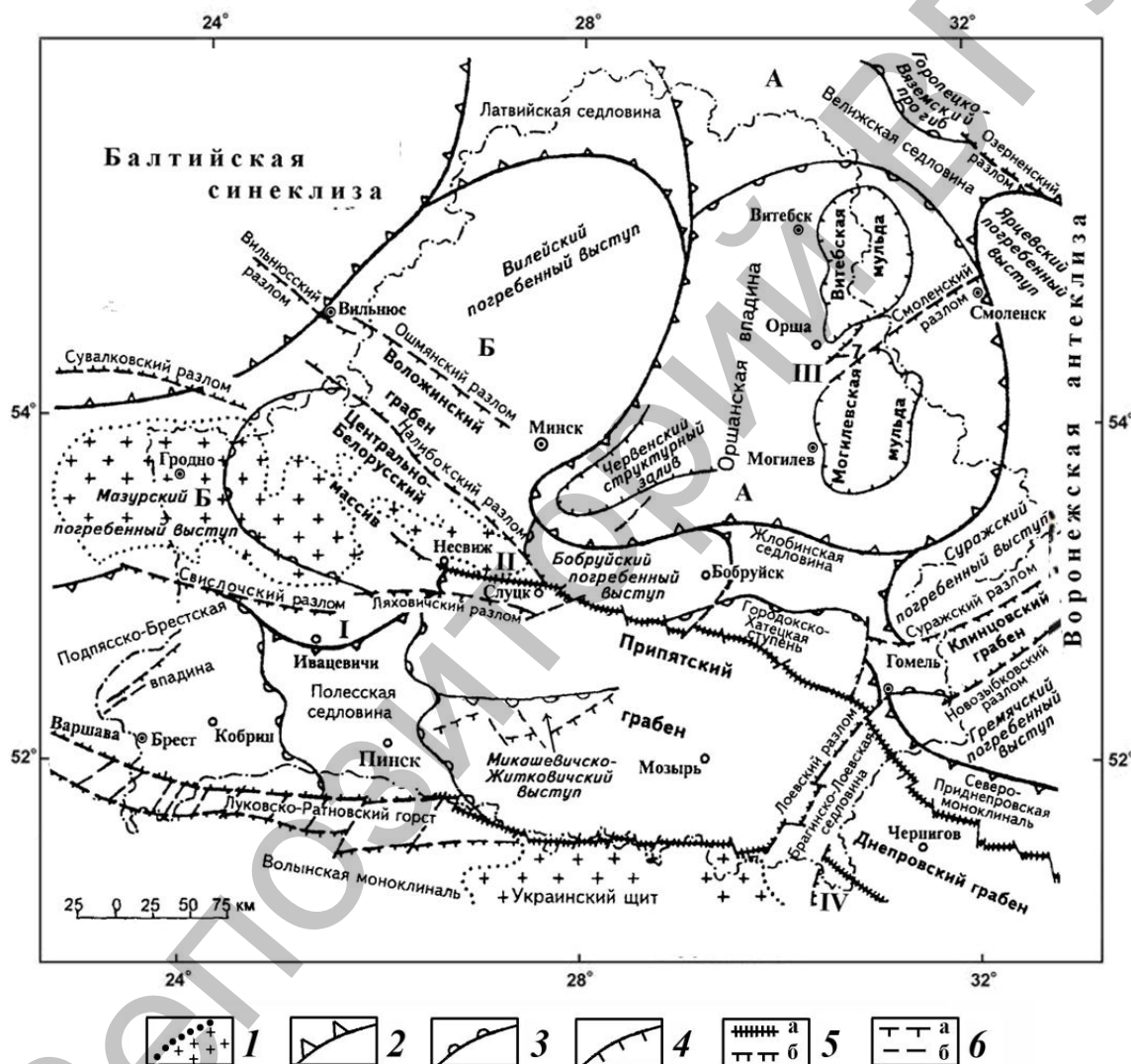


Рис. 2.1. Схема тектонического районирования территории Беларуси по поверхности фундамента (по Р.Г. Гарецкому, Р.Е. Айзбергу, 1976).

Границы: 1 – выходов фундамента по подошве юрско-антропогенных отложений; 2 – структур I порядка, 3 – структур II порядка, 4 – структур III порядка; разломы: 5 – суперрегиональные (а) и региональные (б), 6 – субрегиональные (а) и локальные (б); А – Московская синеклиза; Б – Белорусская антеклиза; погребенные выступы: I – Ивацевичский, II – Бобовнянский, III – Оршанский горст; IV – Южно-Приднепровская моноклираль

Все структурно-тектонические элементы претерпели довольно длительный, сложный и весьма своеобразный путь геологического развития и

сыграли существенную роль в формировании инженерно-геологических условий территории Беларуси. Однако, как свидетельствует история формирования ИГУ различных регионов, современный инженерно-геологический облик территорий в значительной степени определяется последней, неотектонической стадией развития (Ершова, 1985). Эта стадия характеризовалась наряду с унаследованием многих элементов древнего структурного плана сложными соотношениями древних и новейших структурных форм, частичной перестройкой контуров структур, новообразованиями, изменениями знака движений отдельных структурных элементов, большой ролью разрывной тектоники (Галкин и др., 2006).

Территория Беларуси в неотектоническую стадию своего развития испытывала слабые общие поднятия со слабо дифференцированной структурой. При этом наиболее существенное воздымание претерпели две области. Одна из них расположена на юго-западе и юге республики и соответствует (по кровле фундамента) северным склонам Украинского щита, Микашевичско-Житковичскому выступу, а также прилегающим к ним участкам Припятского прогиба, Полесской седловины, Подляско-Брестской впадины и Луковско-Ратновского горста. Вторая приходится на юго-восток Беларуси и тяготеет к западным склонам Воронежской антеклизы. Одновременно с этим небольшие участки, расположенные на западе региона, оказались опущенными ниже своего первоначального положения. Такой характер неотектонической деформации привел к заметной перестройке ранее существовавшего структурного плана, сформировавшегося в мезозое и начале кайнозоя (Карабанов, Левков, 2001). Среди наиболее крупных новейших структур на территории Беларуси и сопредельных стран выделяются Балтийско-Белорусская синеклиза и Воронежско-Тверская антеклиза (рис. 2.2).

Балтийско-Белорусская синеклиза в пределах страны наследует Подляско-Брестскую впадину, Припятский прогиб, наложена на Латвийскую седловину, Белорусскую антеклизу, западную часть Оршанской впадины, Полесскую седловину. На территории республики представлена Литовско-Эстонской моноклиной, осложненной рядом малоамплитудных поднятий и опусканий. Размеры самых крупных из них достигают десятков и сотен километров.

Воронежско-Тверская антеклиза представлена Смоленской ступенью с амплитудой новейшего поднятия 100 м и более. Граница антеклизы с Литовско-Эстонской моноклиной на значительном отрезке имеет вид уступа (глинта) в кровле дочетвертичных пород, представленных известняками и доломитами франского яруса верхнего девона. Она наследует Воронежскую антеклизу; наложена на северо-восточную часть Припятского прогиба, Жлобинскую седловину, восточную часть Оршанской впадины (Карабанов, 2002).

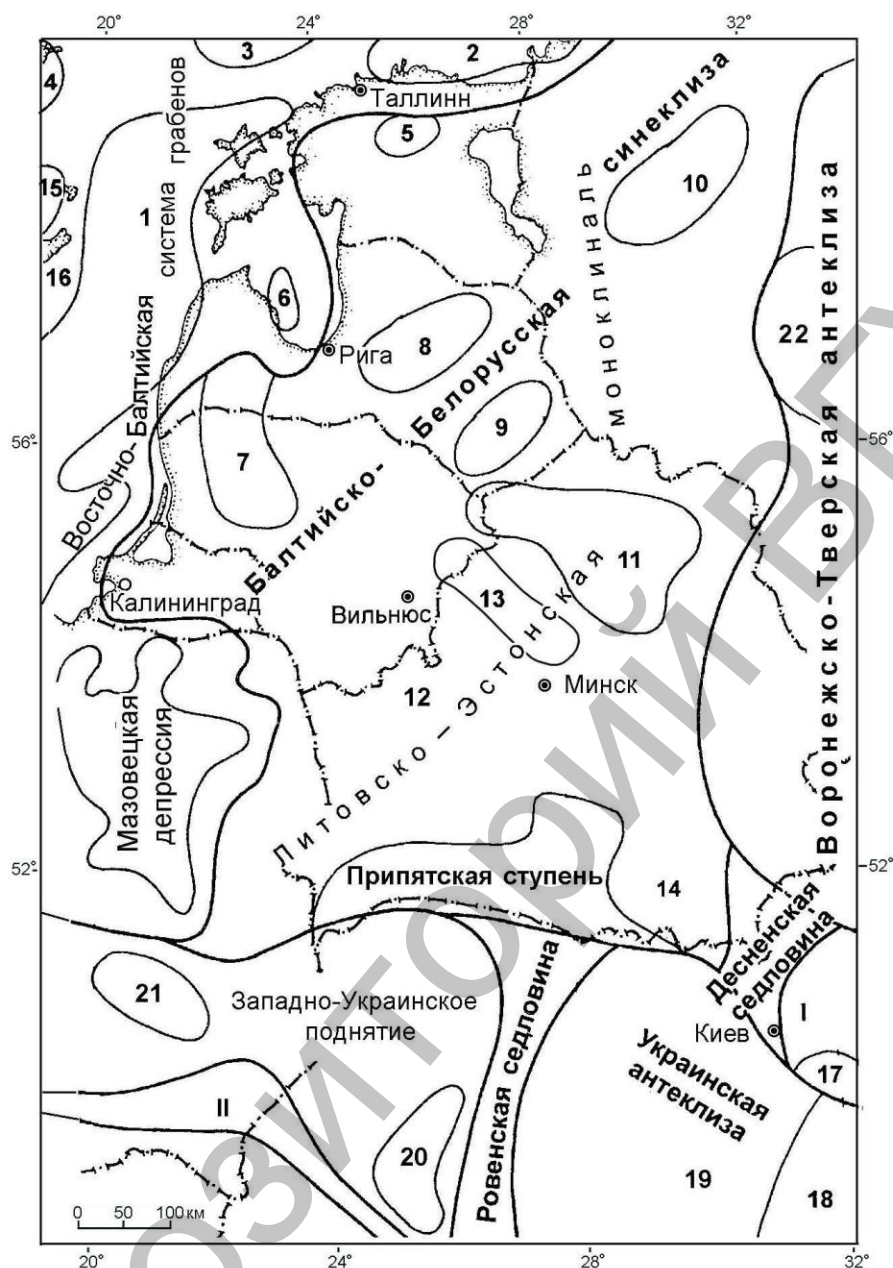


Рис. 2.2. Карта неотектонического районирования запада Восточно-Европейской платформы и смежных областей (по Р.Г. Гарецкому и др., 2001).

- I – Днепровская синеклиза, II – Предкарпатский прогиб; 1 – Восточно-Готландский грабен, 2 – Финский грабен, 3 – Хельсинкская ступень, 4 – Стокгольмская ступень, 5 – Пандивереское поднятие, 6 – Рижская депрессия, 7 – Жемайтско-Курземское поднятие, 8 – Видземское поднятие, 9 – Латгальское поднятие, 10 – Ильменская депрессия, 11 – Полоцкая депрессия, 12 – Воложинский структурный залив, 13 – Нарочанско-Плещеницкая седловина, 14 – Березинский структурный залив, 15 – Западно-Готландский грабен, 16 – Центрально-Готладское поднятие, 17 – Кременчугская ступень, 18 – Кировоградское поднятие, 19 – Центрально-Украинский выступ, 20 – Подольское поднятие, 21 – Свентокшисский выступ, 22 – Ржевский выступ

Дифференцированность движений и смещение областей прогибаний и поднятий в течение новейшего этапа определили особенности формирования новейших отложений и рельефа региона (Матвеев, 1990).

В позднем олигоцене активизация неотектонических движений вызвала значительный подъем южной части территории страны. Постепенно воздымались и осушались площади, покрывавшиеся раннеолигоценовым рюпельским морем. На их месте формировались озерно-аллювиальные равнины с плоским рельефом и малыми амплитудами высот. Поверхность суши была слегка наклонена от Белорусского массива и Полесской седловины, по которым проходил основной водораздел, в сторону Днепровско-Донецкой и Подляско-Брестской впадин. В этих направлениях вытягивались формировавшиеся долины крупнейших рек. Сложились исключительно благоприятные тектонические и климатические условия для развития карста, яркие проявления которого на территории страны связаны с подземным выщелачиванием карбонатной толщи мела (в Подляско-Брестской впадине), соленосной толщи девона (в зоне сочленения Припятского прогиба с Полесской седловиной) и верхнедевонских известняков, доломитов и мергелей (в Оршанской впадине). Изометричные или продолговатые по форме карстовые воронки и котловины располагались изолированно либо вытягивались в виде цепочек, ориентируясь по линиям дизъюнктивных нарушений. Отдельные карстовые формы углублялись настолько глубоко (до 100 м и более), что полностью прорезали толщу мела. В зависимости от скорости выщелачивания карстовые образования либо заполнялись терригенными псаммито-алевритовыми отложениями, либо на их месте возникали заболоченные понижения с водоемами, в которых накапливался органогенный материал, впоследствии преобразовавшийся в прослой бурых углей. Формирование карстового рельефа не ограничилось олигоценом и, как свидетельствуют палеонтологические остатки, продолжалось до конца среднего миоцена, что совпало со временем крупнейшей по своей интенсивности эпохи угленакопления на площади Беларуси (Палеогеография ..., 2002).

На плакорах денудационных равнин происходило сиаллитное корообразование с формированием пестроцветной каолиновой коры выветривания. Последняя развита по девонским, меловым, морским палеогеновым и континентальным олигоценовым породам, т.е. по всем породам, оказавшимся вне областей продолжавшейся до конца олигоцена и в неогене седиментации.

В неогеновый период территория Беларуси развивалась как континентальная окраина Восточно-Европейской платформы, на которой господствовали аллювиальные, озерные и болотные условия осадконакопления. Гидросеть была унаследована от позднего олигоцена, речной сток имел преимущественно южное направление в сторону бывшего моря (Палеогеография ..., 2002).

К началу четвертичного периода территория страны представляла собой унаследованную от неогена пологоволнистую равнину с хорошо развитой

гидрографической сетью, значительные пространства которой покрывали сосново-березовые леса, содержавшие элементы флоры неогена. Поверхность равнины образовывала как бы три ступени – на северо-востоке и востоке с абсолютными отметками до 140–160 м, в центральной части 80–100 м, локально до 120–140 м, и в западной до 60–80 м (Нечипоренко, 1989). Наиболее высокая северо-восточная и восточная часть представляла собой платообразную денудационную равнину, сложенную в основном девонскими породами, сменяющимися к югу преимущественно меловыми отложениями. Центральную часть занимала денудационная равнина, сложенная на севере и в центре девонскими, на юге преимущественно меловыми, палеогеновыми и неогеновыми породами. В юго-западной части территории Беларуси на значительных площадях сформировались озерные и озерно-аллювиальные низины с многочисленными водоемами, котловины которых имели тектоническое, карстовое или аллювиально-старичное происхождение (Галкин и др., 2006).

В раннем плейстоцене (гомельское время) и начале среднего плейстоцена (брестское время) характер геодинамических процессов и седиментогенеза на территории Беларуси почти мало отличался от позднего плиоцена. Осадконакопление происходило практически на тех же площадях, накапливались преимущественно аллювиальные, озерные и озерно-аллювиальные (подпрудный аллювий) пылеватые супеси и глины, болотные и лессовидные отложения (Палеогеография ..., 2002). Следует отметить, что геологическое развитие территории Беларуси на этапе раннего и начала среднего плейстоцена происходило в условиях начала формирования в Скандинавии материковых ледниковых покровов. Они не достигали территории республики, однако обуславливали чередование здесь фаз тепла и холода (Галкин и др., 2006).

К концу брестского времени изменение климатических условий в сторону похолодания, сопровождавшееся сменой лесных ландшафтов открытыми пространствами, привело к тому, что в наревское время среднего плейстоцена большую часть Беларуси перекрыл ледник (рис. 2.3, д).

Если до этого ведущую роль в формировании облика земной поверхности и отложений играли геологическая деятельность воды и тектонические движения, то с началом среднего плейстоцена к числу наиболее активных геологических агентов добавился материковый лед.

Судя по многочисленным находкам теплолюбивой флоры и фауны в осадках, разделяющих типично ледниковые отложения, оледенение было многократным и прерывалось эпохами, когда климат был теплее современного. Вопрос о количестве оледенений до настоящего времени остается дискуссионным.

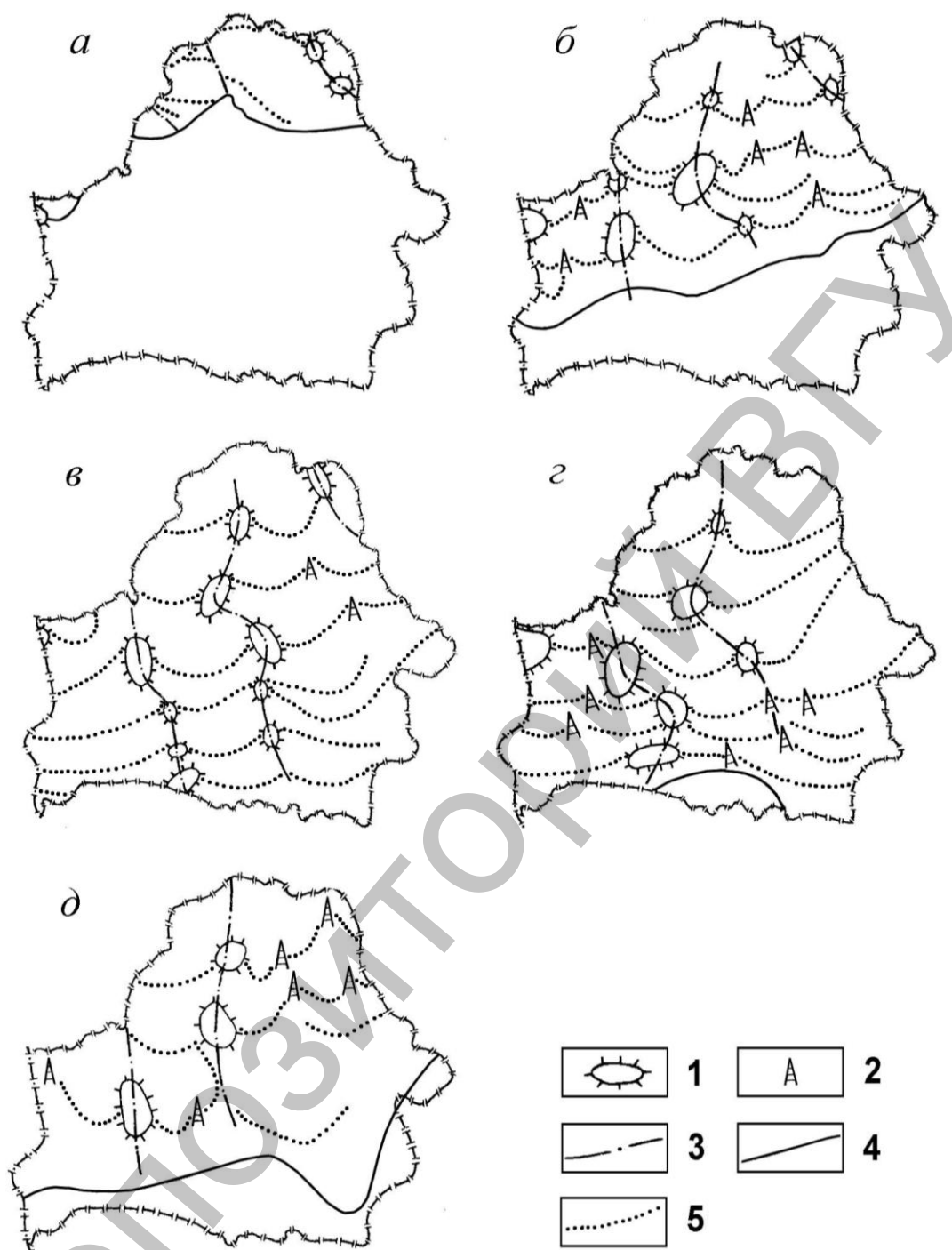


Рис. 2.3. Структуры ледниковых покровов на территории Беларуси:
а) поозерского; б) припятского сожской стадии; в) припятского днепровской
стадии; г) березинского; д) наревского (по А.В. Матвееву, 1990).

Массивы: 1 – межлопастные, 2 – межъязыковые. 3 – основные ледоразделы,
4 – граница предельного распространения ледника, 5 – положение края ледника
на различных этапах деградации

Согласно региональной стратиграфической схеме на территории страны получили распространение четыре ледниковых покрова: *наревский*, *березинский*, *припятский*, *поозерский*, которые разделялись тремя меж-

ледниковьями: *беловежским, александрийским, муравинским*. Некоторые исследователи (Якубовская, Назаров, 1993; Величkevич и др., 1996 и др.) выделяют шесть ледниковых и пять межледниковых эпох (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Стратиграфическая схема четвертичных отложений Беларуси

ЧЕТВЕРТИЧНАЯ (КВАРТЕР)														
Система	Раздел	Звено	Индекс	Геология Беларуси, 2001		Региональная унифицированная схема четвертичных отложений Белоруссии, 1981		Якубовская, Назаров, 1993; Величkevич и др., 1996						
	ГОЛЮЦЕН	Современное	HI	Надгоризонт, горизонт, подгоризонт		Надгоризонт, горизонт		Надгоризонт, горизонт						
	ПЛЕЙСТОЦЕН	Верхнее	IIIpz	Поозерский		Поозерский		Поозерский						
			IIImr	Муравинский		Муравинский		Муравинский						
		Среднее	IIpr	Припятский	Сожский		Сожский		Сожский					
					Днепровский		Шкловский		Днепровский					
			Днепровский		Днепровский									
			IIalk	Александрийский		Александрийский		Александрийский						
			IIbr	Березинский		Белорусский	Березинский		Березинский					
			IIbl	Беловежский			Беловежский		Могилевский					
									Нижнинский					
									Беловежский					
			IInr	Наревский				Наревский		Минский	Ясельдинский			
						Корчевский								
						Наревский								
			IIbs	Брестский	Ружанский		Брестский		Брестский	Сморгонский				
		Варяжский												
		Нижнее	Igm	Гомельский	?		Белицкая серия					Гомельский	Вселюбский	
					Рогачевский									
					Жлобинский									
					Ельнинский									
					Вселюбский									

Из перечисленных оледенений максимальное распространение получило припятское, которое в днепровскую стадию своего развития полностью перекрыло поверхность региона и продвинулось далеко на юг за пределы республики (рис. 2.3, в). На значительной части Беларуси на образованиях этого ледника залегают более молодые четвертичные отложения различного генезиса и состава, и лишь на юге республики днепровские ледниковые комплексы выходят на дневную поверхность (Мозырская гряда, Загородье и др.). Несколько меньшим распространением характеризуются образования сожской стадии припятского оледенения (рис. 2.3, б). Эти отложения приурочены в основном к зоне холмисто-грядового рельефа Центральной Беларуси, которая простирается в субширотном направлении в виде сплошных или прерывистых полос. Последний – поозерский ледник позднего плейстоцена – охватил лишь северную часть республики (рис. 2.3, а), где его отложения практически повсеместно залегают с поверхности, а формы рельефа слабо изменены последующими геологическими процессами. Строение толщ ледниковых отложений различного возраста однотипно: в основании разреза залегают флювиогляциальные и ледниково-озерные отложения этапа наступания ледника, выше по разрезу следует донная (основная) морена и завершают разрез флювиогляциальные и ледниково-озерные отложения этапа отступления ледника (рис. 2.4). Ледниковые толщи разного возраста либо непосредственно налегают друг на друга, либо разделены межледниковыми отложениями. При этом следует заметить, что в едином разрезе все указанные разновозрастные горизонты ледниковых отложений встречаются редко (рис. 2.5, 2.6) и в основном на участках севернее границы последнего (поозерского) ледника.

Оледенение привело не только к образованию специфических генетических типов отложений³ и форм рельефа, но существенно изменило условия залегания и свойства более древних пород, оказавшихся под воздействием ледникового покрова. Имеется ряд геологических свидетельств того, что каждый ледник на трансгрессивной стадии приводил к гляциоизостатическому опусканию занимаемой им площади, а на регрессивной – к ее воздыманию. Размах этих движений мог достигать многих десятков метров, а при максимальном оледенении – даже 100 м и более. При этом происходила активизация разломных зон древнего заложения. Вместе с тем ледниковые покровы вызвали появление ряда нарушений в залегании пород (гляциодислокаций), захватив приповерхностную часть земной коры до глубины 100–250 м (Палеотектоника .., 1983). В связи с неоднородностью такие толщи при использовании их в качестве основания сооружений требуют детального изучения.

³Их подробная характеристика приведена в первой части издания: *Галкин, А.Н.* Инженерная геология Беларуси: в 3 ч. / А.Н. Галкин. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2016. – Ч. 1: Грунты Беларуси / под науч. ред. В.А. Королева. – 367 с.

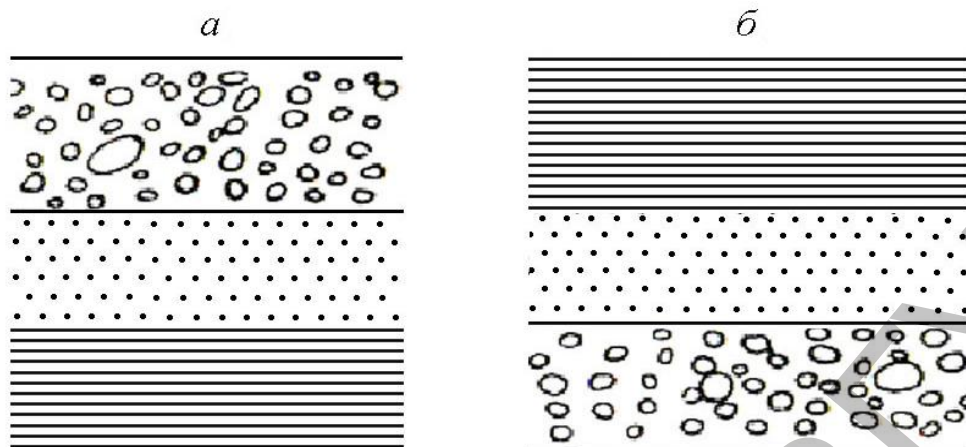


Рис. 2.4. Разрезы толщ ледниковых отложений при наступании (а) и отступании (б) ледника

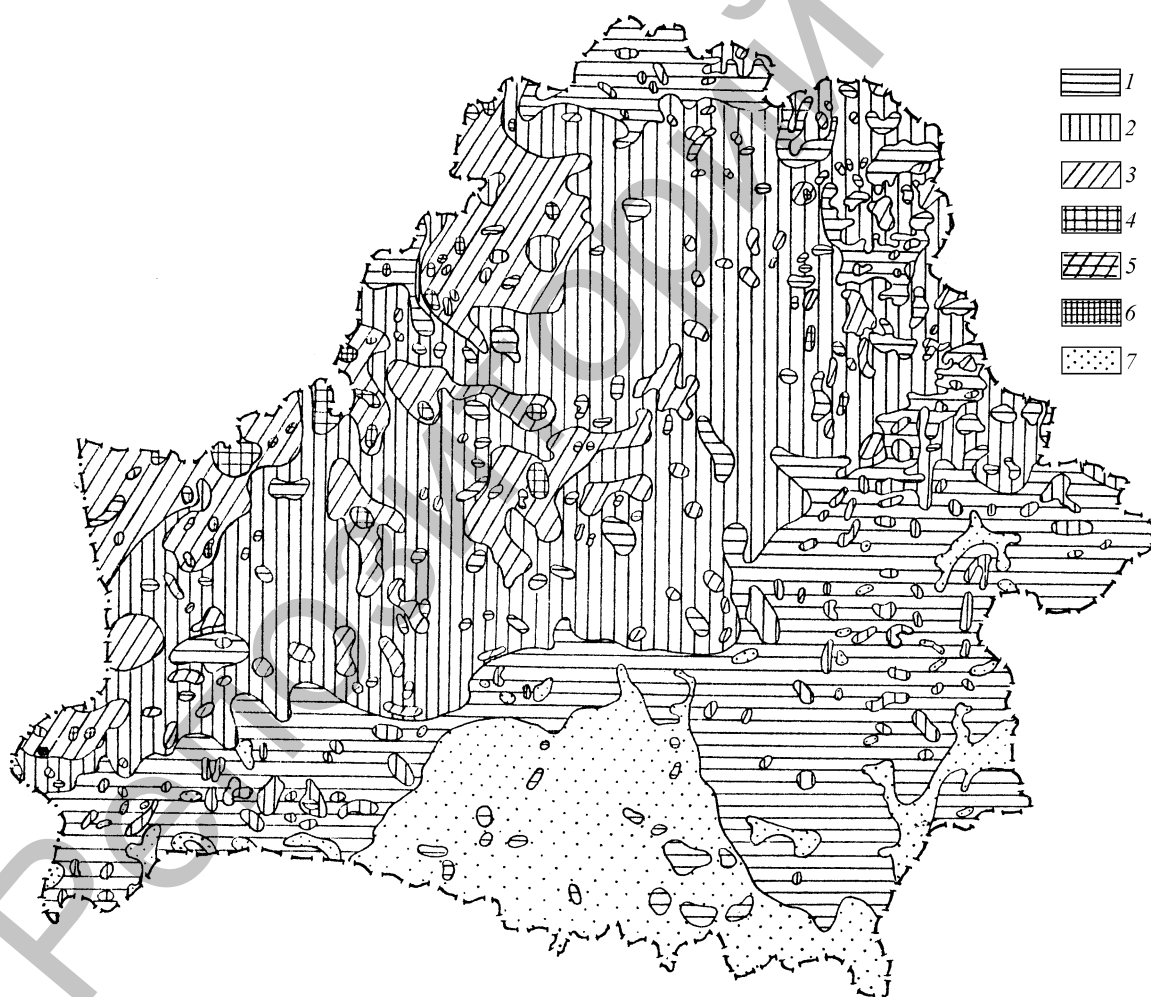


Рис. 2.5. Схематическая карта количества моренных интервалов в четвертичном разрезе Беларуси (по А.В. Матвееву, 1976).

Количество интервалов: 1 – 1; 2 – 2; 3 – 3; 4 – 4; 5 – 5; 6 – 6 и более; 7 – участки, где моренные отложения отсутствуют

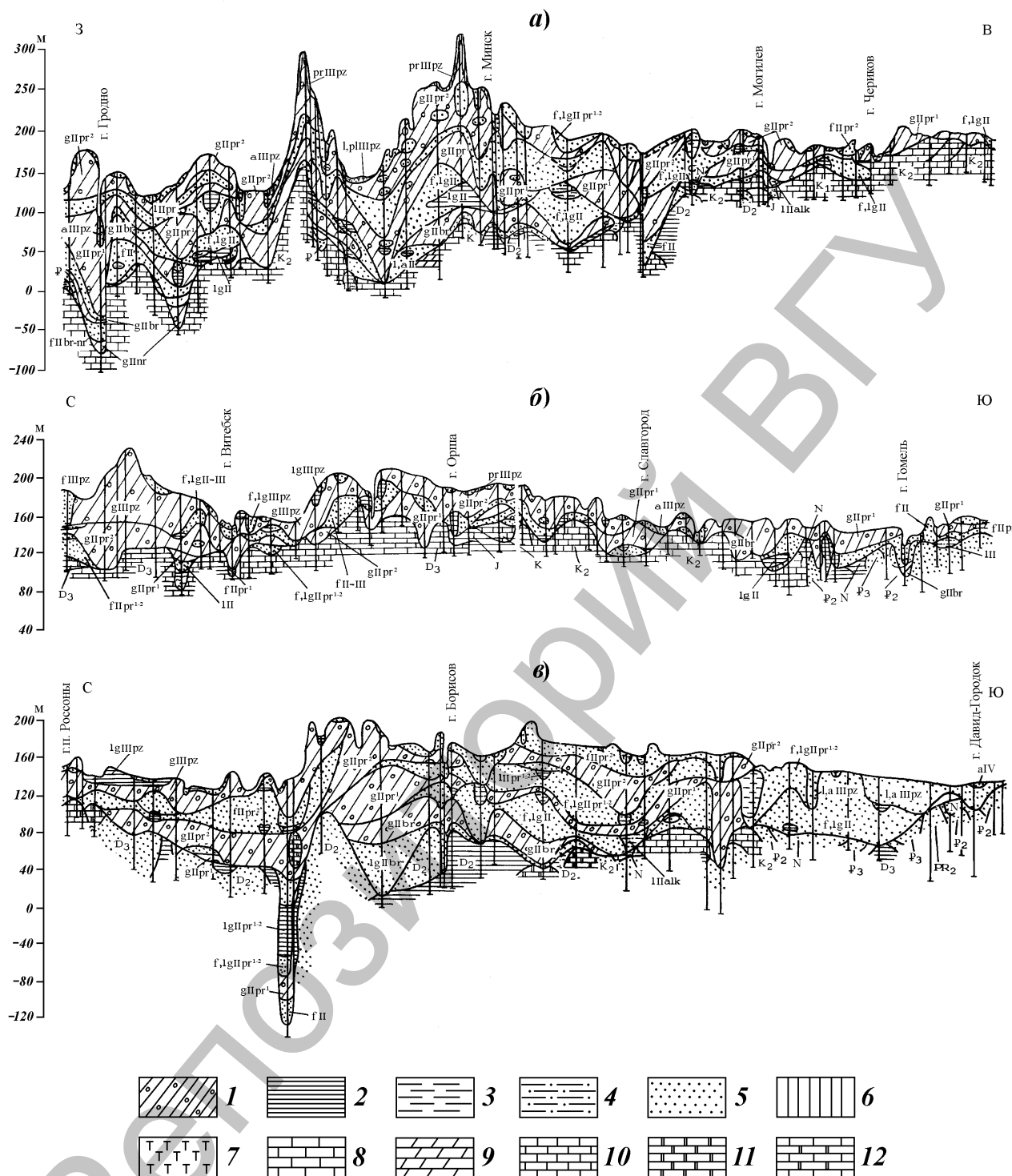


Рис. 2.6. Схематические геологические разрезы по линиям а) Гродно – Минск – Могилев – Чериков; б) Витебск – Орша – Славгород – Гомель; в) Россоны – Борисов – Давид-Городок (по Л.А. Нечипоренко, 1989, с изменениями).

1 – моренные супеси и суглинки; 2 – глина; 3 – суглинок; 4 – супесь; 5 – песок; 6 – лессовидные супеси и суглинки; 7 – торф; 8 – мел; 9 – мергель; 10 – известняк; 11 – доломит; 12 – доломитизированный известняк

Значительное воздействие ледника проявлялось в разрушении горных пород и переносе обломочного материала (в том числе и в виде глыб объемом в десятки и даже сотни кубических метров) на значительные расстояния от места его образования. О масштабах денудационной деятельности ледника дает представление содержание обломочного материала (в том числе скандинавского происхождения) в толще морены разного возраста.

По подсчетам специалистов в результате воздействия ледников на свое ложе был снесен слой горных пород мощностью около 30 м. При этом возникали протяженные, в десятки километров длиной, ложбины ледникового выпахивания и размыва (Галкин и др., 2006). Последние широко распространены практически по всей территории республики, а на севере к ним приурочены современные наиболее глубокие озерные котловины (озера Долгое в Глубокском районе, Гиньково, Сенно, Соро и др.).

Образование ледниковых покровов сопровождалось изменениями климатических условий. Непосредственно над ледяными щитами формировалась область высокого давления с очень низкими температурами (до минус 50–60°C) и интенсивными сгонными ветрами. Охлаждающее влияние распространялось и на окружающие пространства, вызывая перестройку ландшафтной обстановки, многолетнее промерзание пород и развитие различных сопутствующих криогенных процессов.

Следы криогенных процессов, сопровождавших промерзание пород (морозобойные клинья, полигонально-блочные и термокарстовые образования, параболические дюны и др.), наблюдаются в настоящее время как в северных, так и в южных районах Беларуси. Процессы криогенеза (в слое сезонного промерзания–оттаивания) привели также к образованию покровных отложений, состоящих в основном из частиц пылеватой фракции. Развевание этих отложений с последующим переотложением материала в экстрагляциальной области в условиях холодного засушливого климата положило начало образованию толщ лессовидных пород (Галкин и др., 2006).

Во время таяния ледников возникали водные потоки, несшие песок, реже гравий и гальку. Этот, флювиогляциальный, материал отлагался на поверхности ледников, в их толще и у краев. Иногда в теле таявшего ледника образовывались огромные полости, которые заполнялись материалом водных потоков и водоемов. Так формировались камы и озы. Многочисленные потоки воды, стекавшие от края ледников, образовывали конусы выноса, которые распространялись далеко на юг от границ ледников. Накопившимся таким образом песчаным материалом на территории Беларуси сложены обширные зандровые равнины. Одна из них – Центральнобережинская – протягивается в широтном направлении почти на 150 км. Водные потоки, возникавшие при таянии льда, нередко были настолько мощными, что формировали ледниковые реки.

Иногда водные потоки встречали на своем пути препятствия в виде конечных морен. В результате подпруживания возникали озера, в которых

накапливались лимногляциальные отложения. Одним из наиболее характерных видов лимногляциальных осадков являются ленточные глины, представляющие собой тонкое чередование песчаных и глинистых слоев (Галкин и др., 2006).

У края ледников, в перигляциальных зонах, формировались эоловые холмы, гряды, дюны, наиболее характерные для севера и юга страны, толщи лессовидных отложений.

Во время межледниковий осадконакопление было сосредоточено в руслах, долинах и поймах рек, многочисленных озерных котловинах, болотах. Каждое межледниковье сопровождалось некоторым поднятием территории, что приводило к активизации речной эрозии. В эти периоды реки вновь прокладывали свои русла в моренных и флювиогляциальных толщах, оставленных предыдущими оледенениями. В условиях умеренного гумидного климата в озерах, болотах и речных долинах накапливались сапропели, мергели, торф, гиттии.

Наиболее тесно история формирования ИГУ Беларуси связана с последним поозерским оледенением. На территории страны установлены следы двух его стадий: оршанской и brasлавской. Структура ледника была довольно сложной, в его пределах обособлялись потоки, лопасти и языки разного размера (рис. 2.3, а). В краевых частях этих ледниковых масс, в зонах их контактов возникли конечно-моренные гряды и массивы севера Беларуси (Нарочанские, Браславские, Свенцянские и др.). Во время деградации льдов максимальной (оршанской) стадии появились обширные озерно-аллювиальные бассейны Полесья, в результате линейного стока оформились близкие к современным очертаниям долины Днепра и его крупных притоков на уровне вторых надпойменных террас. Таяние льдов brasлавской стадии привело к образованию целого ряда приледниковых озерных бассейнов (Дисненского, Полоцкого, Суражского, Лучосинского), на месте которых образовались озерно-ледниковые равнины с остаточными озерами (рис. 2.7). С этапом отступления ледника связано также формирование высоких надпойменных террас рек Балтийского бассейна – Немана и Западной Двины, а также первой надпойменной террасы рек Черноморского бассейна – Днепра, Сожа, Припяти, Западного Буга.

С этапами развития поозерского оледенения коррелируется накопление лессовидных отложений, которые имеют площадное распространение на Оршанско-Могилевском плато, перекрывают ледниковые и другие образования в пределах Минской, Новогрудской возвышенностей, Мозырской гряды и др.

Около 10 тыс. лет назад началось послеледниковое время – голоцен, в течение которого происходили относительно небольшие колебания климата, сформировался современный облик растительного и животного мира, рельефообразование и осадконакопление протекали в обстановке, близкой к современной. Ведущую роль в изменении земной поверхности играл флюви-

альный фактор. Судя по строению отложений и особенностям современного рельефа, в голоцене продолжалось усложнение строения речных долин. В реках бассейна Днепра и Западного Буга возникло 2–3 пойменных уровня, в бассейне Западной Двины – первая надпойменная терраса и пойменные уровни, а в бассейне Немана завершилось образование уступа первой надпойменной террасы и нескольких пойменных уровней (Галкин и др., 2006).

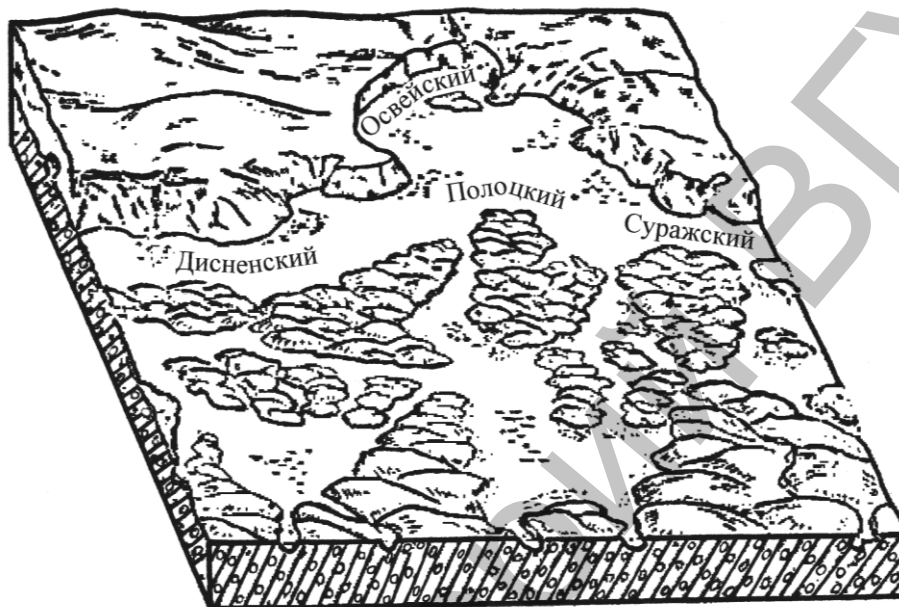


Рис. 2.7. Положение поозерского ледника браславской стадии
(по О.Ф. Якушко и др., 2000)

В раннем голоцене активно протекали термокарстовые процессы, главным образом на участках, сложенных слабоуплотненными озерными, озерно-аллювиальными и болотными отложениями. Это способствовало появлению новых озерных котловин. Продолжали развитие многие водоемы, возникшие в позднеледниковье. В озерах вначале накапливались песчано-глинистые и карбонатные отложения, с небольшим содержанием органики, а начиная со среднего голоцена стали преобладать органические и карбонатные осадки – сапропель. Интенсивно развивались процессы болотообразования и накопление торфа, причем в среднем голоцене произошло заболачивание даже части суходолов. Все это привело к тому, что заторфованные низины в голоцене стали довольно распространенным типом рельефа. Местами появилась густая сеть оврагов и балок, чаще в береговой зоне речных долин. На участках развития лессовидных отложений формировались суффозионные западины и подземные тоннели. Последние при обрушении стенок также превращались в овраги.

На склонах протекали делювиальные, оползневые, обвальные процессы, крип. Определенную роль в формировании инженерно-геологических условий играли карст, эоловая дефляция и аккумуляция.

Помимо перечисленных процессов, земная поверхность в голоцене испытывала небольшие деформации, связанные с современными тектоническими движениями, которые изменяли конфигурацию речных систем, характер меандрирования, способствовали развитию эоловых процессов и вызывали заметные смещения береговых линий озер.

Начиная с конца атлантики – начала суббореала – около 5 тысяч лет назад – на формирование инженерно-геологических условий все более активное влияние стал оказывать человек, деятельность которого в настоящее время по масштабам и значению стала соизмеримой с природными геологическими процессами, а по разносторонности ее проявления – с совокупным их проявлением (Галкин и др., 2006). Вооружившись орудиями труда, человек создал новый тип отложений, называемый техногенными грунтами и ставший характерным компонентом современного ландшафта территории Беларуси. Эти отложения представляют собой или отходы хозяйственной деятельности человека (отвалы карьеров, шахт, заводов, полигоны и свалки промышленных и бытовых отходов и т.д.), или отложения, специально созданные человеком в строительных и производственных целях (намывные, насыпные грунты и т.д.).

2.2. ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ПРОСТРАНСТВЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ РЕЛЬЕФА

В общем виде территория Беларуси представляет собой пологоволнистую ледниково-аккумулятивную равнину, которая осложнена системой гряд и холмов и расчленена долинами рек. Высота дневной поверхности составляет в среднем 160 м над уровнем моря, изменяясь в пределах от 80 до 345 м (рис. 2.8). Низменные пространства на юге, западе и севере страны находятся на абсолютных отметках 100–150 м, нередко заболочены. Для них характерно наличие плоских котловин зарастающих озер. Повышенные равнины с высотами 150–220 м над уровнем моря обычно приобретают платообразный характер, лучше дренированы, местами расчленены оврагами и балками. Наиболее высокое гипсометрическое положение занимают холмистые возвышенности и гряды. Они выделяются над прилегающими равнинами относительными высотами от нескольких десятков до 100 м, реже более, а абсолютными отметками до 300 м и выше. Возвышенности расчленены густой сетью относительно глубоких долин и ложбин, с которыми на севере региона связаны многие озерные котловины (Матвеев и др., 1988).

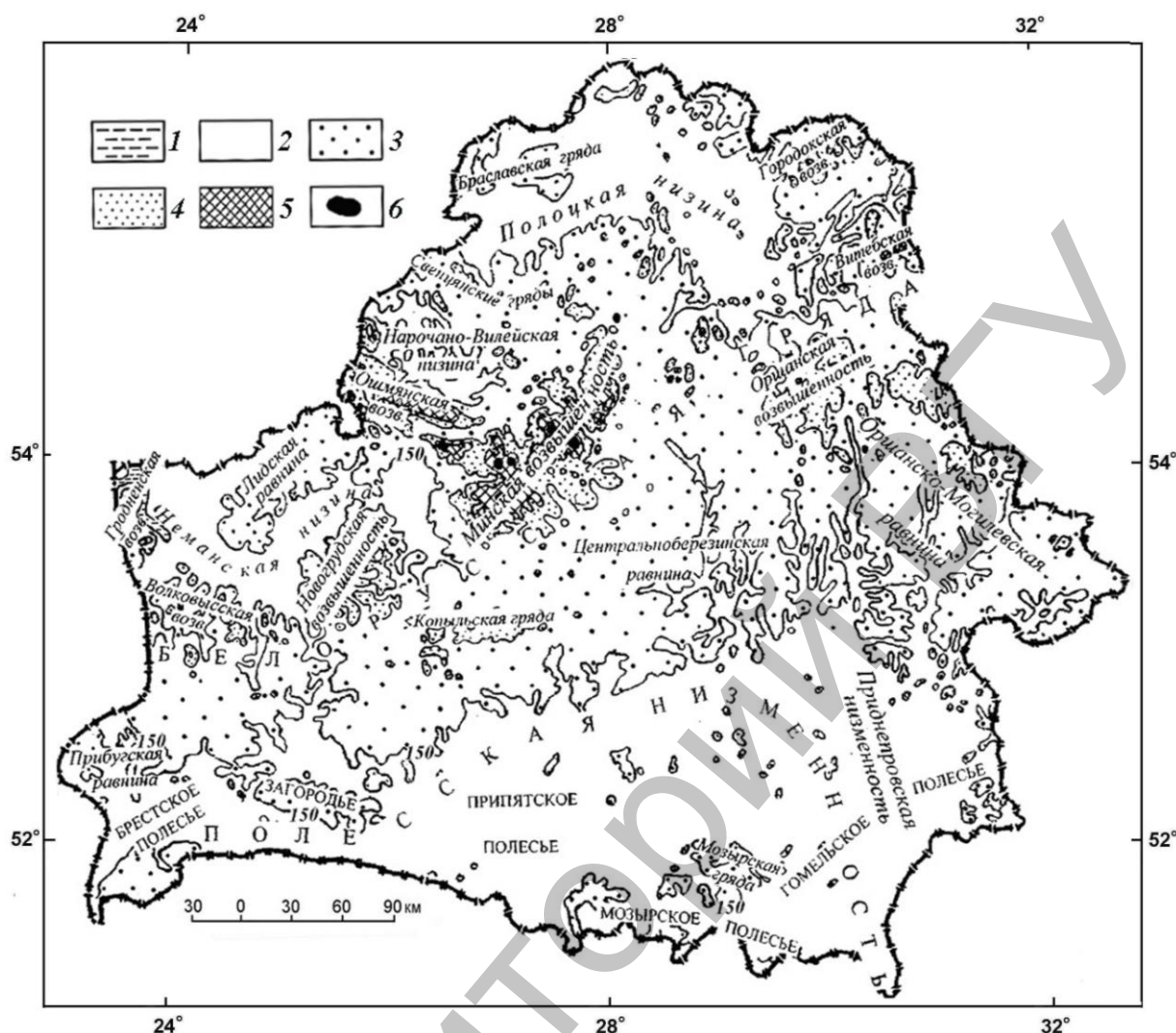


Рис. 2.8. Физическая карта Беларуси (по А.Н. Галкину и др., 2006).
 Абсолютные высоты: 1 – ниже 100 м; 2 – 100–150; 3 – 150–200; 4 – 200–250;
 5 – 250–300; 6 – выше 300 м

В целом 60% территории республики занимают равнинно-низменные пространства, 10% – повышенные платообразные равнины и 30% – возвышенности. Расчлененность и углы наклона поверхности этих пространств неодинаковы. В пределах низменностей они незначительны. Средняя глубина расчленения рельефа здесь составляет 5–10 м и менее, густота расчленения – 0,2–0,6 км/км², на более приподнятых территориях – до 0,4–1,0 км/км²; углы наклона поверхности не превышают 2°, а на юге Беларуси – менее 0,5 (рис. 2.9, 2.10).

Расчлененность возвышенностей и гряд в несколько раз больше. Средняя глубина расчленения здесь довольно часто превышает 20 м, густота расчленения составляет порядка 1,0–2,0 км/км², углы наклона поверхности, в основном, изменяются от 2 до 6°, иногда до 8°. Максимальная амплитуда относительных высот достигает на отдельных участках краевых

ледниковых гряд и возвышенностей 80 и даже 100 м, здесь же имеют место и максимальные углы наклона поверхности – 10° и более (рис. 2.8, 2.9).

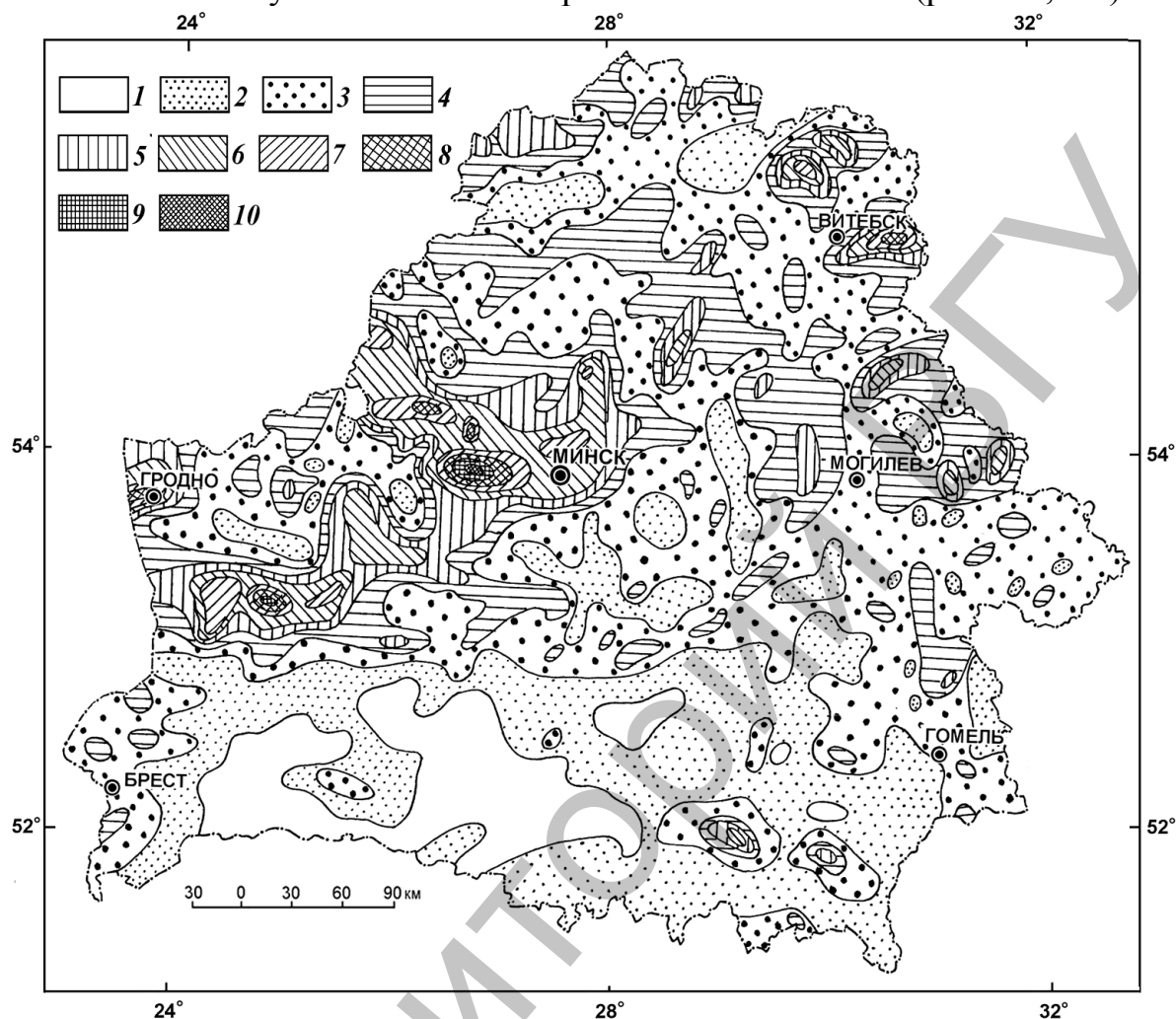


Рис. 2.9. Карта вертикального расчленения рельефа
(по Р.І. Сачку, М.А. Шышонку, 2002).

Глубина расчленения, м/км²: 1 – до 2; 2 – 2–5; 3 – 5–10; 4 – 10–15; 5 – 15–20; 6 – 20–25; 7 – 25–30; 8 – 30–35; 9 – 35–40; 10 – более 40

Наиболее разнообразен рельеф северо-запада и запада Беларуси, для которых характерны крупнохолмистые возвышенности, чередующиеся с водно-ледниковыми низинами и моренными равнинами. Из всех краевых ледниковых образований самым значительным по протяженности и сложности строения является Белорусская гряда, которая прослеживается от района Гродно–Волковыск до г. Орша и далее на восток, где она соединяется со Смоленско-Московской возвышенностью. Современный облик возвышенности преимущественно сформирован сожским ледником и последующими эрозионно-денудационными процессами. Наиболее высокая часть представлена Минской возвышенностью, к которой приурочены максимальные высоты региона – горы Дзержинская (345 м), Лысяя (341 м), Маяк (335 м).

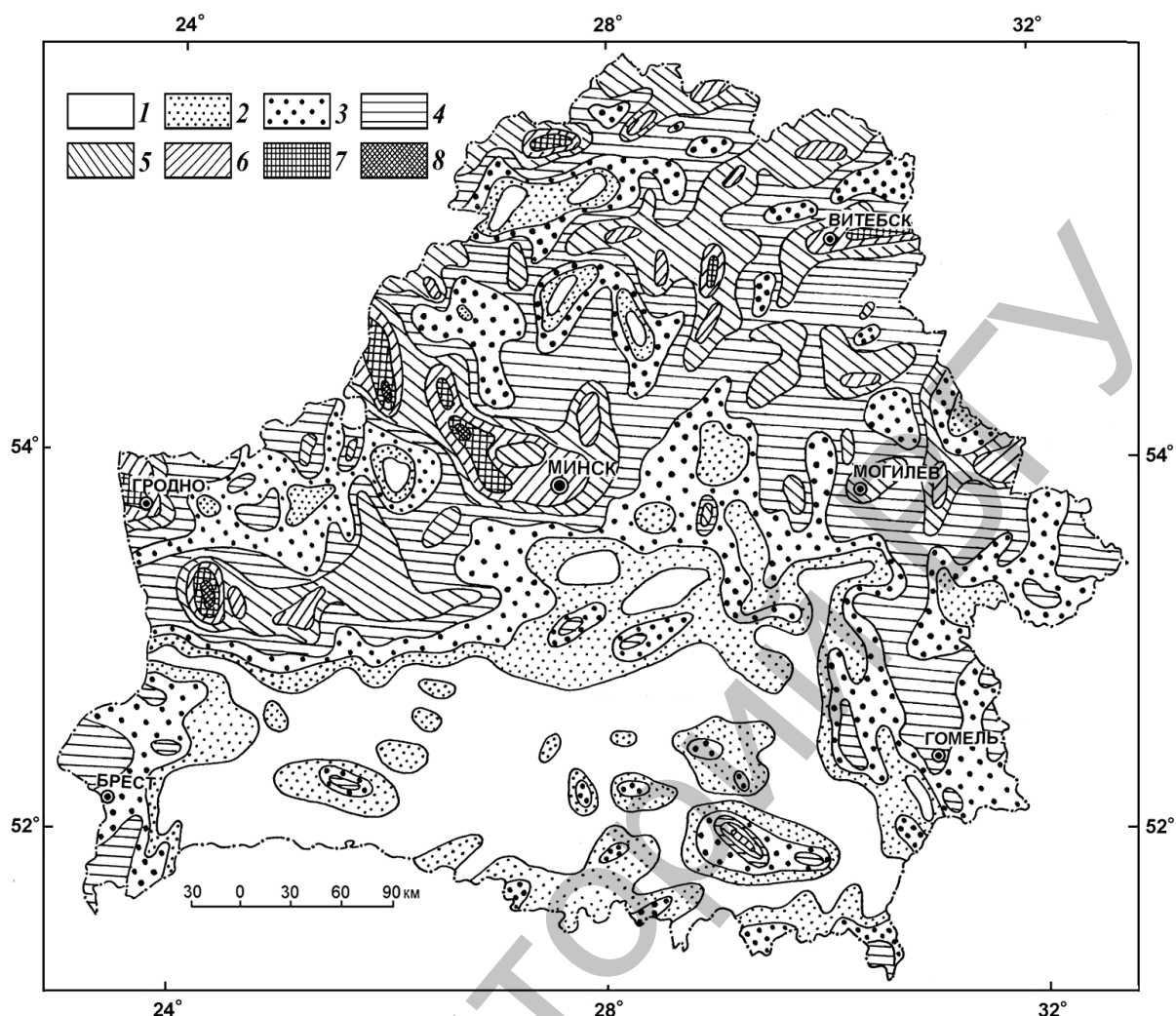


Рис. 2.10. Карта крутизны склонов (по Р.І. Сачку, М.А. Шышонку, 2002).
Крутизна склонов, градусы: 1 – до 0,5; 2 – 0,5–1,0; 3 – 1,0–2,0; 4 – 2,0–4,0; 5 – 4,0–6,0; 6 – 6,0–8,0; 7 – 8,0–10,0; 8 – более 10

Запад–юго-западную ветвь гряды, отделенную от Минской возвышенности Столбцовой моренной равниной, образуют Новогрудская возвышенность (323 м) и более низкие, местами платообразные и расчлененные эрозией Слонимская, Волковысская и Гродненская возвышенности, приподнятые до абсолютных отметок 200–250 м. На северо-запад от Минской простираются Ошмянские гряды, поднимающиеся над окружающими низинами на 150 м, а над уровнем моря – до 320 м. Восточная ветвь Белорусской гряды представлена волнисто-платообразной Оршанской возвышенностью (до 255 м) и серией относительно небольших по площади массивов краевых ледниковых образований.

Ряд возвышенностей и гряд выделяется на севере Беларуси, в пределах Белорусского Поозерья, с которым совпадает область распространения поозерского оледенения. На юге Поозерья это Свенцянские гряды (высотой до 226 м), Кубличская (до 239 м) и Лукомльская (до 280 м) возвышенности;

на северо-западе – Браславская гряда (до 210 м); на севере – Освейская гряда и Нещердовская возвышенность (до 224 м); на востоке – Городокская (до 265 м) и Витебская (до 295 м) возвышенности.

Между конечно-моренными возвышенностями Белорусского Поозерья простираются разнообразные по величине и устройству поверхности низины и равнины, прорезанные сетью террасированных долин. Междолинные пространства плоские и волнистые, если они сложены флювио- или лимногляциальными отложениями. Моренные равнины обычно мелкохолмистые или волнистые. На отдельных участках поверхность их осложняется небольшими прерывистыми грядами.

Наиболее обширной является плоская озерно-ледниковая Полоцкая низина с абсолютными отметками в центральной наиболее пониженной части 130–150 м. На востоке Белорусского Поозерья простираются Суражская и Лучосинская низины, а в юго-западной части, в бассейне верхнего течения Вилии, расположена Нарочано-Вилейская низина.

Рельеф восточной части Беларуси преимущественно равнинный, частью платообразный, возникший благодаря накоплению основной морены и водно-ледниковых отложений, а также лессовидных образований. Общий наклон равнин обращен к югу. Наиболее высоко приподнята над уровнем моря расчлененная овражно-балочными системами Оршанско-Могилевская повышенная равнина или плато (до 233 м в истоках р. Прони). На юге Оршанско-Могилевская равнина сменяется Чечерской, а на западе Центральнoбережинской равнинами, в пределах которых высоты в направлении к югу уменьшаются от 180 до 150 м. Овраги широкого распространения не имеют, встречаются участки с покровом лессовидных пород и невысокие конечно-моренные гряды.

На западе Беларуси, кроме краевых возвышенностей и гряд, также распространены выровненные поверхности. К ним относятся Лидская моренная равнина и водно-ледниковая Барановичская равнина, а в междуречье Ясельды и Буга – Прибугская равнина с мелкохолмистым моренным и плоским водно-ледниковым рельефом, с участками денудированных моренных гряд и сетью древних ложбин стока, с высотами до 150–200 м.

Весь юг Беларуси занят обширной Полесской низменностью (низины Белорусского Полесья), в состав которой входят Брестское, Припятское, Мозырское и Гомельское Полесья. Пониженная, заболоченная, пологая, слабоволнистая поверхность низменности сложена водно-ледниковыми, озерно-аллювиальными и аллювиальными отложениями, с которыми связано распространение эоловых дюнно-бугристых форм. Местами над плоской поверхностью возвышаются краевые ледниковые гряды и холмы.

Наиболее низкие гипсометрические уровни занимают обширные болотные массивы с зарастающими озерами, а самые высокие – краевые ледниковые образования Мозырской гряды, Загородья и др. Ниже краевых возвышенностей и гряд расположены водно-ледниковые и вод-

но-ледниково-моренные равнины – Брестская, Высоковская, Пружанская (Брестское Полесье), Логишинская, Столинская (Припятское Полесье), Лельчицкая, Хойникская (Мозырское Полесье), Ветчинская, Тереховская, Озаричская (Гомельское Полесье) и др. Еще ниже – озерно-аллювиальные и аллювиальные низины (Верхнеприпятская, Наревско-Ясельдинская, Случско-Оресская, Уборть-Словечненская и др.). Абсолютные отметки поверхности обычно не превышают 150–160 м, за исключением участков, где отмечаются краевые ледниковые формы (Матвеев и др., 1988; Нечипоренко, 1989).

Помимо описанных типов и форм рельефа земная поверхность на исследуемой территории расчленена многочисленными речными долинами, наиболее крупными из которых являются долины Днепра и его притоков – Припяти, Сожа и Березины, а также Западной Двины и Немана.

В морфоструктурном отношении земная поверхность территории Беларуси также неоднородна. По проявлению основных тектонических структур в рельефе ложа четвертичных отложений на территории региона различают следующие морфоструктуры (Матвеев и др., 1988):

1. Денудационная столово-останцовая равнина на востоке и северо-востоке Беларуси, соответствует Оршанской впадине. Из-за распространения прочных доломитов и известняков верхнего девона морфоструктура отличается сравнительно слабой расчлененностью и распространением на земной поверхности ряда краевых ледниковых образований (Городокская, Витебская, Оршанская и другие возвышенности) и приподнятых равнин (Могилевская и Горецкая равнины).

2. Денудационная субгоризонтальная равнина, развитая в основном на песчано-глинистых породах девонского, мелового и палеогенового возраста и тяготеющая преимущественно к Латвийской седловине, склонам Белорусской антеклизы и Жлобинской седловине. Для нее свойственна пологоволнистая поверхность как кровли доледниковых пород, так и дневного рельефа; характеризуется преобладанием водно-ледниковых равнин и низин, протягивающихся от Браслава к Полоцку и далее вдоль долины Березины до района Гомеля.

3. Структурно-денудационная равнина, совпадающая с погребенным выступом кристаллического фундамента в пределах Белорусской антеклизы и Полесской седловины. Морфоструктура характеризуется максимальной расчлененностью поверхности дочетвертичных отложений, широким развитием гляциодислокаций и мощных краевых ледниковых образований (Волковысская, Гродненская, Новогрудская, Минская возвышенности; Ошмянские, Свенцянские, Копыльские гряды; Загородье и др.).

4. Пластово-аккумулятивная равнина, сформировавшаяся при дифференцированных неотектонических движениях в пределах внутриплатформенных прогибов и впадин. Морфоструктура приурочена к территориям

Подляско-Брестской впадины и Припятского прогиба, отличающихся максимальной мощностью континентальных песчано-глинистых отложений верхнего олигоцена и неогена, выровненностью и значительной заболоченностью поверхности.

5. Цокольная равнина с устойчивыми неотектоническими поднятиями и блоковыми движениями, расположенная на участках неглубокого залегания пород фундамента с маломощным покровом осадочных пород (отроги Украинского кристаллического щита в южной части Белорусского Полесья).

Формирование указанных морфоструктур в ложе четвертичного чехла происходило, в основном, начиная от позднего мела до неогена. В плейстоцен-голоценовое время эти формы развивались унаследованно, что в значительной степени обусловило их выраженность и в современном рельефе (Матвеев и др., 1988).

Изучение взаимосвязи структур фундамента и рельефа дочетвертичных пород с дневной поверхностью позволило составить схематическую карту структурно-геоморфологического районирования территории Беларуси (Галкин, 2005), отражающую совместное воздействие на рельеф различных экзогенных рельефообразующих факторов, развивающихся на фоне региональных и локальных новейших тектонических движений (рис. 2.11).

При составлении этой схемы был принят историко-генетический подход к анализу рельефа, а также учтены его морфологические особенности на определенных этапах дифференциации территории. В качестве основной геоморфологической таксономической единицы рассматривается область, соответствующая каждой из выделенных морфоструктур. В составе областей по времени формирования и степени сохранности рельефа выделены геоморфологические подобласти. Границы последних фактически соответствуют границам ледниковых покровов: поозерского, сожского и днепровского (Нечипоренко, 1989).

В связи с этим соответственно выделяются подобласти развития свежего, заметно и сильно денудированного ледниково-аккумулятивного рельефа (Галкин, 2005). В свою очередь подобласти подразделены на районы. При их выделении помимо возраста и генезиса учитывались гипсометрическое положение и характер эрозионного расчленения – важные с практической точки зрения характеристики рельефа. Границы между геоморфологическими районами проведены по более или менее резкой смене морфологических особенностей рельефа (Мацвеев, 2004). В целом систематика геоморфологических территориальных единиц, выделенных в пределах Беларуси, имеет следующий вид (рис. 2.11).

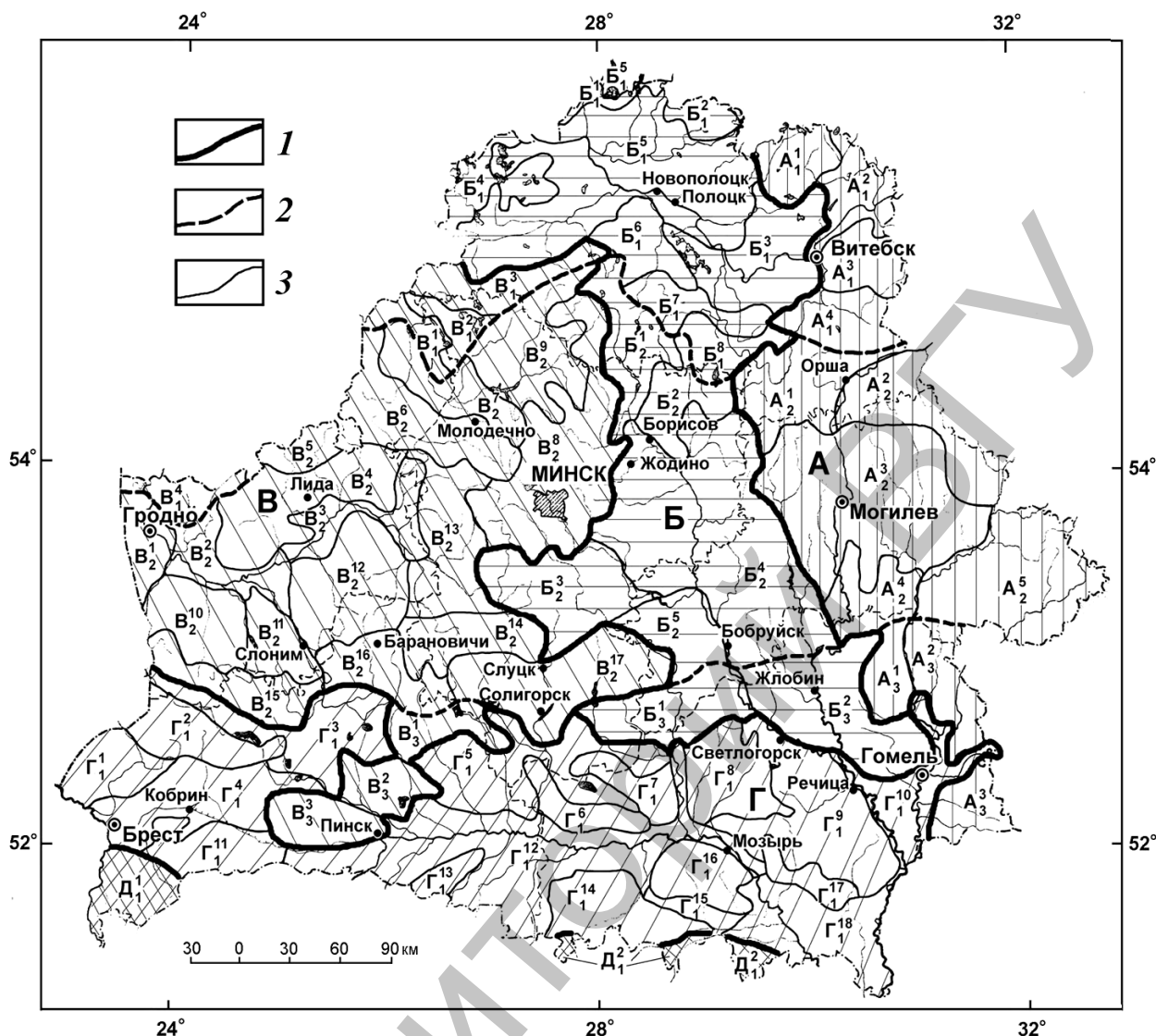


Рис. 2.11. Схематическая карта структурно-геоморфологического районирования территории Беларуси (по А.Н. Галкину, 2005).

Границы: 1 – геоморфологических областей; 2 – геоморфологических подобластей; 3 – геоморфологических районов

Область денудационных столово-останцовых равнин (А). Подобласть свежего, преимущественно ледниково-аккумулятивного рельефа (А₁): А₁¹ – Городокская возвышенность; А₁² – Суражская равнина; А₁³ – Витебская возвышенность; А₁⁴ – Лучосинская равнина.

Подобласть заметно денудированного ледниково-аккумулятивного рельефа (А₂): А₂¹ – Оршанская возвышенность; А₂² – Горецкая равнина; А₂³ – Могилевская равнина; А₂⁴ – Славгородская равнина; А₂⁵ – Костюковичская равнина.

Подобласть сильно денудированного ледниково-аккумулятивного рельефа (А₃): А₃¹ – Чечерская равнина; А₃² – Светиловичская равнина; А₃³ – Тереховская равнина.

Область денудационных субгоризонтальных равнин (Б). Подобласть свежего, преимущественно ледниково-аккумулятивного рельефа (Б₁): Б₁¹ – Освейская гряда; Б₁² – Заборская равнина; Б₁³ – Шумилинская равнина; Б₁⁴ – Браславская возвышенность; Б₁⁵ – Полоцкая низина; Б₁⁶ – Ушачская возвышенность; Б₁⁷ – Чашникская низина; Б₁⁸ – Сенненская равнина.

Подобласть заметно денудированного ледниково-аккумулятивного рельефа (Б₂): Б₂¹ – Верхнеберезинская равнина; Б₂² – Лукомльская возвышенность; Б₂³ – Пуховичская равнина; Б₂⁴ – Центральнoберезинская равнина; Б₂⁵ – Бобруйская равнина.

Подобласть сильно денудированного ледниково-аккумулятивного рельефа (Б₃): Б₃¹ – Светлогорская низина; Б₃² – Стрешинская низина.

Область структурно-денудационных равнин (В). Подобласть свежего, преимущественно ледниково-аккумулятивного рельефа (В₁): В₁¹ – Свирская гряда; В₁² – Нарочанская равнина; В₁³ – Свенцянские гряды; В₁⁴ – Озерская низина.

Подобласть заметно денудированного ледниково-аккумулятивного рельефа (В₂): В₂¹ – Гродненская возвышенность; В₂² – Скидельская низина; В₂³ – Любчанская низина; В₂⁴ – Лидская равнина; В₂⁵ – Вороновская равнина; В₂⁶ – Ошмянские гряды; В₂⁷ – Вилейская низина; В₂⁸ – Минская возвышенность; В₂⁹ – Кривичская равнина; В₂¹⁰ – Волковысская возвышенность; В₂¹¹ – Слонимская возвышенность; В₂¹² – Новогрудская возвышенность; В₂¹³ – Столбцовская равнина; В₂¹⁴ – Копыльские гряды; В₂¹⁵ – Косовская равнина; В₂¹⁶ – Барановичская равнина; В₂¹⁷ – Солигорская равнина.

Подобласть сильно денудированного ледниково-аккумулятивного рельефа (В₃): В₃¹ – Люсиновская равнина; В₃² – Логишинская равнина; В₃³ – Равнина Загородья.

Область пластово-аккумулятивных и заболоченных аллювиальных и озерно-аллювиальных низин (Г). Подобласть сильно денудированного ледниково-аккумулятивного рельефа (Г₁): Г₁¹ – Высоковская равнина; Г₁² – Пружанская равнина; Г₁³ – Наревско-Ясельдинская низина; Г₁⁴ – Брестская равнина; Г₁⁵ – Случско-Оресская низина; Г₁⁶ – Житковичская низина; Г₁⁷ – Ветчинская низина; Г₁⁸ – Озаричская низина; Г₁⁹ – Василевичская низина; Г₁¹⁰ – Речицкая низина; Г₁¹¹ – Верхнеприпятская низина; Г₁¹² – Лунинецкая низина; Г₁¹³ – Столинская равнина; Г₁¹⁴ – Лельчицкая равнина; Г₁¹⁵ – Уборть-Словечненская низина; Г₁¹⁶ – Мозырская возвышенность; Г₁¹⁷ – Хойникская низина; Г₁¹⁸ – Комаринская низина.

Область цокольных равнин (Д). Подобласть сильно денудированного ледниково-аккумулятивного рельефа (Д₁): Д₁¹ – Малоритская равнина; Д₁² – Глушковичский, Александровский и Зосинецкий участки Украинского Полесья.

Составленная схема геоморфологического районирования является достаточно детальной, она отражает совместное воздействие на рельеф различных экзогенных рельефообразующих факторов, развивающихся на определяющем их фоне новейших тектонических движений. Собственно их совместное влияние определило все особенности современного рельефа Беларуси (Галкин, 2005).

2.3. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Подземные воды относятся к числу важнейших компонентов, формирующих инженерно-геологические условия территории. Характер распространения подземных вод, глубина их залегания, режим, водообильность, химический состав и агрессивность определяют особенности проведения изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Все эти показатели тесно связаны с геологическим строением, геоморфологическими и климатическими условиями региона. Для целей промышленного, гражданского, дорожного, мелиоративного и других видов строительства в условиях Беларуси основное значение имеют данные о подземных водах верхнего гидрогеологического этажа, преимущественно четвертичных отложений.

Верхний гидрогеологический этаж на территории Беларуси представляет собой многократное чередование стратифицированных гидрогеологических элементов, в качестве которых рассматриваются водоносные слои, горизонты, комплексы, а также относительно слабопроницаемые водоупорные слои, пласты и толщи горных пород. Именно наличие в разрезе регионально распространенных и относительно выдержанных слабопроницаемых отложений (толщ, разделов) является причиной фиксируемых различий пьезометрических напоров, состава и минерализации подземных вод смежных водоносных элементов гидрогеологического разреза (Всеволожский, 1983). В целом в разрезе верхнего гидрогеологического этажа Беларуси выделяются зона аэрации, грунтовый и несколько межпластовых (напорных) водоносных горизонтов и комплексов.

Обобщение и анализ многочисленного опубликованного материала (работы П.Г. Альтшулера, С.С. Белецкого, В.И. Бучурина, В.Г. Жогло, М.Ю. Калинина, М.Ф. Козлова, А.В. Кудельского, В.И. Пашкевича, В.С. Усенко, М.В. Фадеевой, М.М. Черепанского, М.Г. Ясовеева и др.) с привлечением результатов собственных исследований позволяют более подробно охарактеризовать указанные гидрогеологические элементы.

Зона аэрации на территории Беларуси имеет неоднородное строение. На слабо дренированных территориях (районы развития болотных и аллювиальных отложений, озерно-аллювиальных равнин) ее мощность из-

меняется от нескольких десятков сантиметров до 2,0–3,0 м, на некоторых участках может достигать 8–12 м. В пределах развития флювиогляциальных отложений – чаще всего не превышает 2–5 м, иногда достигая 10–15 м (Галкин и др., 2006).

За счет сезонного колебания уровней грунтовых вод мощность зоны аэрации постоянно меняется. О масштабах этого процесса можно судить по результатам уровенного режима грунтовых вод региона, полученным Белорусской гидрогеологической экспедицией в 1996–2000 гг. Наблюдения проводились по 280 скважинам на 137 гидрогеологических постах в бассейнах рек Западная Двина, Неман, Днепр, Припять, Западный Буг (табл. 2.2).

Грунтовые воды, как и зона аэрации, приурочены к покровным отложениям различного возраста и состава. Это главным образом моренные и конечно-моренные (пески разного гранулометрического состава, а также песчано-гравийный и песчано-гравийно-галечный материал в виде прослоев, линз и карманов в толще глинистых пород), флювиогляциальные отложения поозерского и припятского горизонтов, верхнепоозерские и современные аллювиальные, озерно-аллювиальные и озерно-болотные образования. Подстилается грунтовый водоносный горизонт глинистой толщиной морен поозерского (на крайнем севере республики) и припятского оледенений: сожской стадии – в северной и центральной частях, днепровской – на юге Беларуси. На участках размыва морен грунтовые воды имеют прямую гидравлическую связь с нижележащим водоносным горизонтом. Мощность горизонта грунтовых вод весьма изменчива – от 0 до 50 м, в среднем составляет 10–20 м, глубина залегания изменяется от 0,1 до 10–15 м и более. Коэффициенты фильтрации водовмещающих пород варьируют от тысяч долей до 35 м/сут (Кудельский и др., 1998).

Уровенная поверхность грунтовых вод в сглаженном виде, как правило, повторяет рельеф дневной поверхности. На участках распространения линз и прослоев супесей, суглинков и глин возможно формирование местных напоров (до 2–3 м). Амплитуды сезонных колебаний уровня грунтовых вод (УГВ) обычно не превышают 1,5–2,0 м, минимальные величины наблюдаются в болотных массивах – 1,0–0,4 м, а максимальные – в долинах крупных рек. Питание горизонта осуществляется, в основном, за счет инфильтрации атмосферных осадков, а в долинах рек – за счет подтока напорных вод из подстилающих водоносных горизонтов и комплексов. Разгрузка происходит в реки и мелиоративные каналы, озера и болотные массивы. На водораздельных участках имеют место перетоки в нижележащие водоносные горизонты, а на пониженных элементах рельефа – разгрузка грунтовых вод в форме испарения через зоны аэрации (Кудельский, Пашкевич, 2014).

Таблица 2.2

**Характеристика уровня режима грунтовых вод территории Беларуси
в естественных условиях в 1996–2000 гг. (по А.Н. Галкину и др., 2006)**

№ п/п	Показатели режима грун- товых вод	Бассейн реки				
		Зап. Двина	Неман	Днепр	Припять	Зап. Буг
1	2	3	4	5	6	7
1.	Глубина залегания УГВ, м	+0,81–8,66	+0,34–26,11	+0,92–13,92	+0,36–4,30	+0,19–27,42
2.	Годовая амплитуда коле- бания УГВ, м	0,35–4,20	0,14–2,92	0,17–3,72	0,26–2,55	0,14–1,89
3.	Глубина залегания пред- весенних (минимальных) УГВ, м	8,66	26,11	13,92	4,30	27,42
4.	Продолжительность ве- сеннего подъема УГВ, сут.	35–83	31–66	51–70	29–71	51–72
5.	Скорость весеннего подъема УГВ, см/сут.	1,02–4,41	0,71–1,26	0,80–1,81	0,48–2,14	0,45–1,62
6.	Амплитуда весеннего подъема УГВ, м	0,12–3,49	0,02–2,92	0,01–2,66	0,10–1,58	0,02–1,41
7.	Амплитуда летне-осеннего спада, м	0,02–4,20	0,01–2,73	0,02–3,72	0,01–2,55	0,03–1,89

Примечание. Знак «+» перед цифрами означает, что УГВ находится выше дневной поверхности.

По типу климатических условий, определяющих количество атмосферных осадков и температуру воздуха и их внутригодовое распределение, территория Беларуси относится к провинции сезонного, преимущественно весеннего и осеннего, питания грунтовых вод, что находит отражение в годовом ходе колебаний их уровня. Периодам питания соответствуют весенний и осенний подъемы уровней грунтовых вод, разделенные летне-осенним и зимним спадами. Основное питание грунтовых вод осуществляется в весеннее время за счет накопившихся за зиму осадков. Летние осадки расходуются в значительной мере на испарение и в питании грунтовых вод участия практически не принимают (Галкин и др., 2006).

По особенностям режима грунтовых вод, связанных с генезисом рельефа, на территории Беларуси выделяются шесть областей, которые приурочены соответственно к моренным возвышенностям и грядам, моренным, водно-ледниковым, озерно-ледниковым и лессовым равнинам, а также к аллювиальным равнинам и долинам рек (Бучурин и др., 1979). Для каждой области характерны свои глубины расчлененности рельефа и состав рельефообразующих пород. Эти характеристики обуславливают уклоны потока грунтовых вод, преобладающие глубины их залегания, фильтрационные свойства водовмещающих пород и пород зоны аэрации.

В естественных ненарушенных условиях преобладают грунтовые воды, являющиеся по химическому составу гидрокарбонатными кальциево-магниевыми. Их средняя минерализация составляет 190 мг/дм³, а величина pH 7,0. Вместе с тем можно проследить и весьма существенные региональные особенности. На территории Беларуси распространены грунтовые воды с минерализацией от ультрапресных (менее 100 мг/дм³) до вод

с относительно повышенной минерализацией (более 600 мг/дм³). Наиболее широко представлены гидрогеохимические поля грунтовых вод с минерализацией от 100 до 200 и от 200 до 300 мг/дм³ (Кудельский, Пашкевич, 1997).

Грунтовые воды с минерализацией менее 200 мг/дм³ в основном приурочены к областям широкого развития аллювиальных и флювиогляциальных отложений в бассейнах рек Припяти, Березины, Днепра (ниже г. Рогачев) и Западного Буга. На этом фоне в Белорусском Полесье выделяются площади распространения ультрапресных подземных вод с минерализацией менее 100 мг/дм³. Они, как правило, приурочены к возвышенным участкам водно-ледниковых равнин и вторых надпойменных террас, сложенных хорошо промытыми кварцевыми песками (междуречья рек Ствиги и Уборти, Случи и Птичи, Цны и Лани). Здесь встречаются грунтовые воды с минерализацией 15–30 мг/дм³. В связи с низкими концентрациями HCO_3^- главными компонентами подобных вод могут быть Cl^- или SO_4^{2-} . Близкую минерализацию (до 30–50 мг/дм³) имеют воды верховых болот, но они отличаются высоким содержанием водорастворенных органических веществ, железа, свободной углекислоты (до 300 мг/дм³) и минимальными величинами pH (3,8–4,5). Грунтовые воды с относительно повышенной минерализацией (более 300 мг/дм³) приурочены к областям с преобладанием в составе покровных отложений моренных и озерно-ледниковых грунтов. Все они имеют ярко выраженный гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав (Галкин и др., 2006; Кудельский, Пашкевич, 2014).

На заболоченных участках формируются чрезвычайно своеобразные по составу грунтовые воды. Они имеют высокое содержание органических веществ (до 50–100 мг/дм³ и более), свободной углекислоты (до 200 мг/дм³ и более), закисного железа (до 10–30 мг/дм³) и кремнекислоты (до 70 мг/дм³). С учетом органической компоненты болотные воды по своему составу часто являются фульвокисотно-гидрокарбонатными кальциевыми или же кальциево-железистыми. Величины минерализации, pH и Eh этих вод колеблются в очень широком диапазоне, что связано с весьма разнообразными условиями минерального питания и водного режима не только болот различных генетических типов (верховых, переходных и низинных), но и отдельных участков каждого болотного массива (Кудельский, Пашкевич, 1997).

Описанный гидрогеохимический фон грунтовых вод территории Беларуси нередко нарушается на участках, подверженных интенсивному техногенному воздействию, связанному с функционированием селитебных, промышленных, сельскохозяйственных, коммунально-бытовых и других объектов (рис. 2.12). Здесь минерализация грунтовых вод возрастает до 1,0–4,5 г/дм³ (Галкин, 2004; Жогло, Галкин, 2008); воды приобретают весьма пестрый химический состав (хлоридные, нитритные, нитратные, сульфатные, фосфатные, сероводородные и др.) и агрессивность – чаще углекислотную или общекислотную, реже сульфатную или выщелачивающую (Колпашников, 2005).

Межпластовые четвертичные (межморенные) водоносные горизонты. В разрезе четвертичной толщи на территории Беларуси наиболее широкое распространение получили межморенные сожско-поозерский, днепровско-сожский и березинско-днепровский водоносные горизонты (Галкин и др., 2006).

Сожско-поозерский межморенный водоносный горизонт распространен в северных районах страны. Его южная граница проходит примерно по границе поозерского оледенения. Водовмещающими породами являются пески (мелко-, средне- и крупнозернистые), часто с гравием и галькой. Встречаются многочисленные прослои гравийно-галечных и песчано-гравийных пород, а также глин, супесей, суглинков и межледниковых отложений – торфов и илов. Мощность водовмещающей толщи варьирует от нескольких метров до 40–50 м, составляя в среднем 10–20 м. Кровля горизонта залегает на глубинах до 70–90 м, но преобладают глубины 25–50 м. Водообильность и фильтрационные свойства пород весьма изменчивы (Кудельский, Пашкевич, 2014).

Коэффициенты фильтрации водовмещающих пород составляют в среднем 3–10 м/сут. По химическому составу воды являются, как правило, гидрокарбонатными магниево-кальциевыми. Их минерализация изменяется от 0,15 до 0,80 г/дм³ при среднем значении 0,38 г/дм³. Общая жесткость вод колеблется от 2,5 до 9,0 мг-экв/дм³, а величина pH – от 6,7 до 8,2. Использование вод описываемого горизонта наиболее часто (около 50% всех скважин) осложняется повышенным содержанием в них железа, превышающим допустимый уровень (Кудельский и др., 1998).

Днепровско-сожский межморенный водоносный горизонт широко распространен в центральных и северных районах Беларуси. Водовмещающие породы представлены, главным образом, песками различного гранулометрического состава, часто глинистыми. В толще этих пород встречаются многочисленные прослои и линзы супесей, суглинков и глин. Мощность водовмещающих отложений очень изменчива и колеблется от долей метра до 40–50 метров и более. Чаще всего встречаются мощности 15–30 м. Кровля горизонта залегает на глубинах от 5–20 до 120 м и более. Коэффициенты фильтрации водовмещающих пород изменяются от 0,2–1,0 до 20–30 м/сут. По химическому составу воды днепровско-сожского горизонта являются гидрокарбонатными магниево-кальциевыми. Их минерализация изменяется в широком диапазоне от 0,13 до 0,85 г/дм³ при среднем значении 0,27 г/дм³. Общая жесткость вод колеблется от 3,0 до 8,0 мг-экв/дм³, а величина pH – от 6,7 до 8,2. Использование этих вод также осложняется из-за повышенных концентраций железа, достигающих нередко 3,0–5,0 мг/дм³ и более (Кудельский и др., 1998).

Березинско-днепровский межморенный водоносный горизонт широко распространен в центральных и южных районах Беларуси. В древних речных долинах мощность горизонта достигает 50–80 м, но чаще всего

не превышает 15–30 м. Кровля горизонта залегает на глубинах от 15 до 170 м на территории Витебской области, от 5 до 90 м – в Минской, Гомельской и Могилевской областях и от 5 до 140 м – на территории Гродненской области. При этом максимальные глубины залегания фиксируются на водораздельных пространствах, а минимальные – в долинах рек. Водовмещающие отложения представлены песками различного гранулометрического состава, часто мелкозернистыми и глинистыми с многочисленными прослоями и линзами супесей, суглинков и глин, торфов и илов. Водобильность горизонта весьма изменчива по площади. Коэффициенты фильтрации водовмещающих пород варьируют от 0,2 до 26 м/сут. По химическому составу воды горизонта являются гидрокарбонатными магниевыми-кальциевыми с минерализацией от 0,1 до 0,5 г/дм³ при среднем значении 0,28 г/дм³. Воды мягкие и умеренно жесткие. Величина pH варьирует от 6,5 до 7,9, составляя в среднем 7,5. Изменение минерализации вод по площади в целом очень мозаичное. Однако при достаточно детальном рассмотрении проявляется отчетливо выраженная зависимость минерализации вод от геоморфологического положения водопункта. Минимальные величины минерализации (0,1–0,2 г/дм³) наблюдаются на наиболее возвышенных, часто водораздельных участках, а максимальные (0,4–0,5 г/дм³) приурочены к низким участкам рельефа – поймам и первым надпойменным террасам, где происходит разгрузка вод этого горизонта (Кудельский, Пашкевич, 2014).

В целом четвертичные межморенные водоносные горизонты территории Беларуси характеризуются площадной невыдержанностью. В долинах рек, где морены нередко размыты, а также на участках фациального замещения суглинков и супесей песками имеют место так называемые «гидрогеологические окна», через которые осуществляется прямая гидравлическая связь межморенных водоносных горизонтов как между собой, так и с грунтовыми и поверхностными водами. Пьезометрические уровни этих горизонтов на водораздельных участках имеют максимальные абсолютные отметки, но устанавливаются они ниже уровней грунтовых вод (Галкин и др., 2006).

Межморенные водоносные горизонты четвертичных отложений входят в число важнейших источников водоснабжения на территории практически всей Беларуси, за исключением небольших участков на крайнем западе и северо-востоке республики. Эти водоносные горизонты активно эксплуатируются групповыми водозаборами в Минске, Молодечно, Борисове, Вилейке, Столбцах, Жлобине, Поставах и др., а также большим количеством одиночных скважин в сельской местности (в основном для водоснабжения животноводческих ферм) (Кудельский и др., 1998). На использовании грунтовых вод основывается хозяйственно-питьевое водоснабжение большей части сельского населения и значительного числа жителей небольших городов. Эти воды повсеместно эксплуатируются с помощью колодцев и неглубоких индивидуальных скважин на подворьях.

Как и грунтовые воды, воды четвертичных межморенных отложений испытывают постоянно возрастающее техногенное воздействие (Жогло и др., 1992, 1995; Кудельский и др., 1994, 1997, 1998, 2001 и др.). Основными источниками локального загрязнения межморенных подземных вод являются промышленные предприятия (особенно химические), населенные пункты, свалки твердых бытовых и промышленных отходов, животноводческие фермы, поля орошения отходами животноводческих комплексов и т.д. (рис. 2.12).

Грунтовый и межморенные водоносные горизонты по интенсивности водообмена представляют собой наиболее промытую часть верхнего гидрогеологического этажа территории Беларуси. Его нижнюю часть составляют *межпластовые водоносные горизонты и комплексы в дочетвертичных палеогеновых, меловых, юрских, девонских, ордовикских, силурийских, кембрийских и верхнепротерозойских отложениях*, а также *трещиноватая зона пород кристаллического фундамента архея – нижнего протерозоя*, имеющих различные региональное распространение и глубину залегания. Водовмещающие породы этих горизонтов и комплексов представлены, в основном, песчаными (P , $K_{1-2} al+s$, $D_{2+3} st+\check{s}v$, PR_2), трещиноватыми карбонатными (мергельно-меловые породы K_2 ; известняки, доломиты J , $D_3 fr$), терригенно-карбонатными (J , $D_2 pr-nr$, $O+S$, C), магматическими и метаморфическими (граниты, диориты, габбро, гнейсы $AR-PR_1$) породами (Галкин и др., 2006).

Водообильность горизонтов и комплексов довольно пестрая, зависит от гранулометрического состава дисперсных или от степени трещиноватости скальных и полускальных пород. По химическому составу воды дочетвертичных пород преимущественно гидрокарбонатные магниево-кальциевые (в трещиноватой зоне пород фундамента – гидрокарбонатные натриево-кальциевые), с минерализацией от 0,15–0,3 г/дм³ до 0,7–1,0 г/дм³. Воды с минерализацией 0,8–1,0 г/дм³ имеют, как правило, сложный химический состав – сульфатно-гидрокарбонатный либо хлоридно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый. Величина рН колеблется в пределах от 6,5 до 8,3. Часто воды содержат повышенные концентрации железа. На участках неглубокого их залегания иногда фиксируются следы техногенного загрязнения. По мере увеличения глубины залегания указанных водоносных горизонтов и комплексов воды становятся высокоминерализованными и рассолами и приобретают, как правило, хлоридный натриевый состав (Кудельский и др., 1998).

Межпластовые пресные воды палеогеновых, меловых, юрских, девонских и верхнепротерозойских отложений относятся к числу важнейших источников хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Беларуси.



ГЛАВА 3

ТИПИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК (СИСТЕМ) ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Анализ закономерностей пространственных изменений инженерно-геологических условий территории Беларуси позволяет выполнить типизацию инженерно-геологических обстановок или систем. Это обусловлено тем, что при выполнении региональных инженерно-геологических исследований всегда необходимо стремиться к конкретности при характеристике как территории в целом, так и отдельных ее частей. Этому как раз и способствует их типизация – *научно обоснованное сведение многообразия инженерно-геологических обстановок к небольшому числу их типов на основе учета наиболее общих и существенных признаков*. Подобная типизация позволяет не только унифицировать методику инженерных изысканий и совершенствовать методики оценки прогноза изменений инженерно-геологических условий, но и решать проблемы рационального использования территорий. В частности, более качественно разрабатывать комплексы защитных инженерных мероприятий при развитии различных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений, возникающих в процессе создания и эксплуатации разного уровня организации и назначения инженерно-хозяйственных объектов или литотехнических систем.

В основу предлагаемой типизации инженерно-геологических обстановок территории Беларуси положены методологические разработки, которые нашли свое отражение в трудах Г.К. Бондарика, С.Б. Ершовой, Г.А. Сулакшиной, В.Т. Трофимова и др. Так, согласно В.Т. Трофимову и Т.И. Аверкиной (2007) в ходе типизации следует осуществлять ряд последовательных действий: определение границ объекта исследований; его изучение; выбор классификационных признаков; выбор степени их неразличимости (шаг деления признака); иерархическое подразделение признаков (выстраивание их в ряд по степени значимости); деление изучаемого объекта по принятым признакам; построение итоговой классификационной схемы (схемы типизации).

В качестве основных признаков типизации инженерно-геологических обстановок территории страны нами определены: современное тектоническое положение, особенности геологического строения верхних горизонтов платформенного чехла, являющихся геологической основой для большинства инженерных объектов (площадь распространения и мощность четвертичных отложений, их генезис, доля слабопроницаемых моренных грунтов в общем объеме четвертичной толщи, возраст и состав подстилающих четвертичную толщу горных пород); гидрогеологические ус-

ловия (глубина залегания уровня грунтовых вод и мощность зоны пресных вод); особенности рельефа и современная геодинамическая обстановка, выраженная степенью проявления современных геологических процессов.

Типизация, проведенная по указанному набору признаков, позволила выделить на территории Беларуси девятнадцать типов инженерно-геологических обстановок или систем (рис. 3.1, табл. 3.1). Ниже приводится краткое их описание.

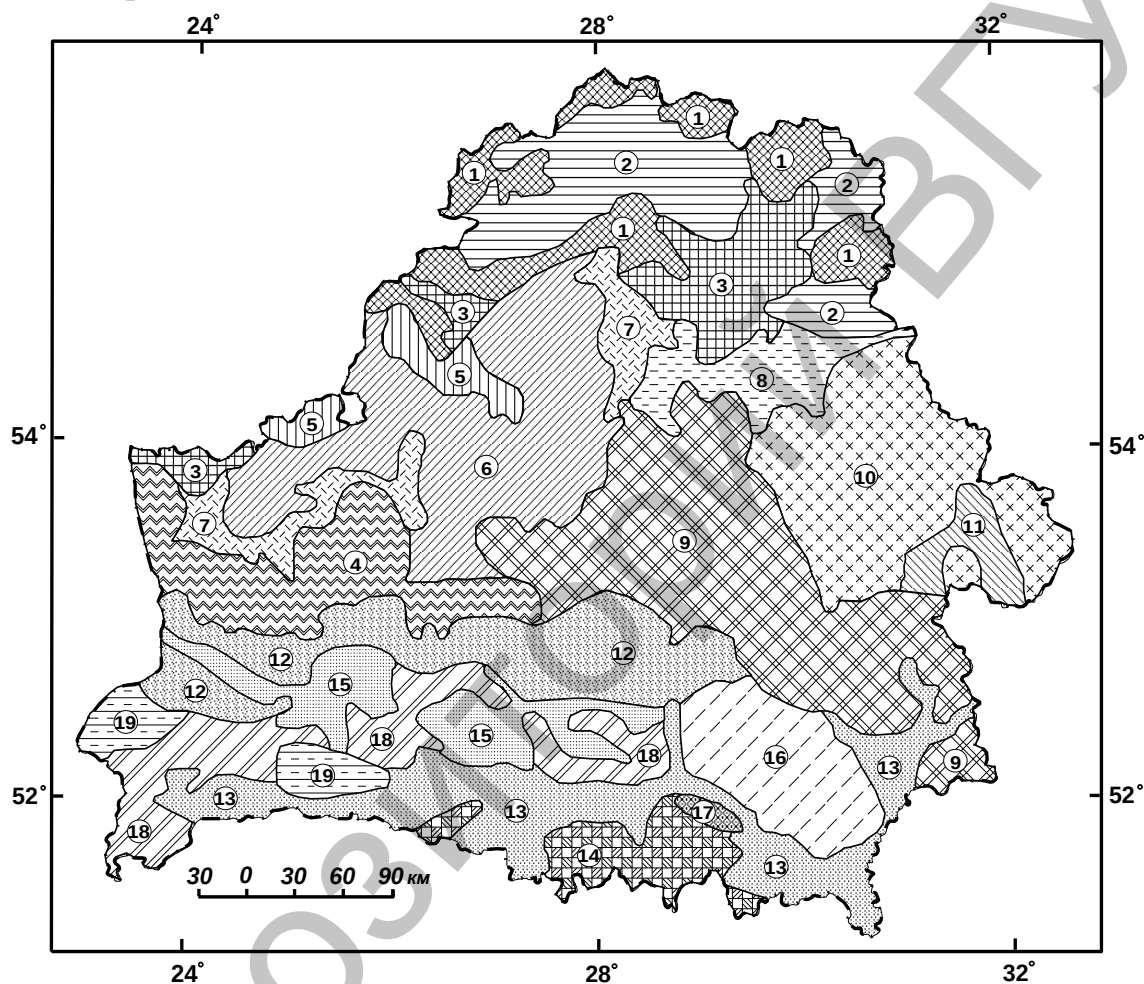


Рис. 3.1. Карта типов инженерно-геологических обстановок территории Беларуси (по А.Н. Галкину, 2016)

Первый тип приурочен к северной части Беларуси (рис. 3.1). В тектоническом отношении соответствующие площади расположены на северо-западном склоне Вилейского погребенного выступа, Латвийской седловине и в крайней северной части Оршанской впадины (Гарецкий, Айзберг, 1976), в неоструктурном плане они приурочены к Балтийско-Белорусской синеклизе и крайней северо-западной части Воронежско-Тверской антеклизы (Гарецкий и др., 2001). Субчетвертичная поверхность сложена в основном песчано-глинистыми породами, мергелями, доломитами и известняками среднего и верхнего девона.

Таблица 3.1

Типы инженерно-геологических обстановок территории Беларуси (по А.Н. Галкину, 2016)

Типо- вое поле	Геологические условия					Гидрогеологические условия		Геоморфологические условия	Современные геологические процессы, степень их проявления
	Четвертичные породы				Возраст пород основания четвертичной толщи	Преобладающая глубина залегания уровня грунтовых вод, м	Мощность зоны интенсивного водообмена, м		
	Мощность, м		Преобладающие в разрезе генетические типы пород	Содержание в разрезе моренных грунтов, %					
	интервал изменения	средняя							
	40–160	110	g, fg	70	O \ D ₂₋₃	>10	150–350	Преимущественно краевые ледниковые возвышенности	Крип, плоскостной смыв, овражная эрозия; преимущественно средняя
	20–100	80	fg, lg, g, pl, la	40	D ₂₋₃	3–5	150–350	Плоские низины и равнины с преобладанием озерно-ледникового типа рельефа	Плоскостной смыв, речная и овражная эрозия, подтопление, заболачивание и торфонакопление, дефляция и эоловая аккумуляция; от очень низкой до высокой
	60–270	110	g, fg, lg	50	D ₂₋₃ \ K ₂	0–10	250–450	Преимущественно пологоволнистые водно-ледниковые и моренные равнины	Крип, плоскостной смыв, заболачивание и торфонакопление, дефляция и эоловая аккумуляция, в долинах рек – эрозионные и гравитационные процессы; от очень низкой до средней
	50–200	120	g, fg, lg	70	K ₂ \ P ₂ \ N	>10	300–450	Преимущественно краевые ледниковые возвышенности	Крип, плоскостной смыв, овражная эрозия, суффозия; от низкой до высокой
	80–230	100	fg, g	30	Є-S \ D ₂ \ K ₂	0–10	200–450	Преимущественно пологоволнистые водно-ледниковые равнины с фрагментами краевого ледникового рельефа	Крип, плоскостной смыв, в долинах рек – гравитационные процессы; от очень низкой до очень высокой
	90–300	125	g, fg, lg	60–70	AR-PR ₁ \ PR ₂ \ Є-S \ D ₂ \ K ₂	>10	200–450	Преимущественно полого-волнистые и увалистые моренные равнины и краевые ледниковые возвышенности с покровом лессовидных пород	Крип, плоскостной смыв, овражная эрозия, суффозия; от очень низкой до очень высокой

Продолжение табл. 3.1

	70–200	100	fg, lg, g, pl	35–60	AR–PR ₁ \ PR ₂ \ D ₂ \ K ₂ \ P ₂ \ N	0–3	200–450	Плоские озерно-ледниковые и водно-ледниковые низины	Подтопление, заболачивание и торфонакопление, дефляция, в долинах рек – эрозионные и гравитационные процессы; от очень низкой до средней
	60–180	100	g, fg, lg	70	D ₂₋₃	0–10	150–350	Преимущественно краевые ледниковые возвышенности	Плоскостной смыв, овражная эрозия, суффозия; от очень низкой до очень высокой
	10–120	50	fg, lg, g	20–30	D ₂ \ K ₂ \ P ₃ \ N	0–10	150–400	Водно-ледниковые и моренно-водно-ледниковые равнины с фрагментами краевого ледникового рельефа	Подтопление, заболачивание и торфонакопление, дефляция, в долинах рек – эрозионные и гравитационные процессы; от очень низкой до очень высокой
	20–140	30	fg, lg, g	45	D ₃ \ J \ K ₂ \ P ₂₋₃ \ N	3–10	150–350	Моренные и водно-ледниковые равнины с фрагментами краевого ледникового рельефа (в восточной части с покровом лессовидных пород)	Суффозия, карст, плоскостной смыв, овражная и речная эрозия, оползни, обвалы, осыпи, подтопление, заболачивание; от очень низкой до очень высокой
	10–40	20	g, fg	20–30	K ₂	3–5	300–350	Моренные и водно-ледниковые равнины с фрагментами карстового рельефа	Карст; преимущественно средняя
	10–120	70	g, fg, lg, la	50	PR ₂ \ D ₃ \ K ₂ \ P ₂₋₃ \ N	0–10	150–450	Водно-ледниковые и моренно-водно-ледниковые равнины с фрагментами краевого ледникового рельефа	Крип, плоскостной смыв, овражная эрозия, заболачивание; преимущественно низкая
	10–90	35	a, la, fg, pl, g	15	K ₂ \ P ₂₋₃ \ N	0–3	100–300	Плоские аллювиальные и озерно-аллювиальные низины с фрагментами мелко-грядово-бугристого золового рельефа	Подтопление, заболачивание, торфонакопление, дефляция и золовая аккумуляция; преимущественно высокая

	0–80	30	fg, pl, la, g	20	$P_3 \setminus N$	0–3	200–300	Преимущественно плоские водно-ледниковые равнины с заболоченными низинами и фрагментами золового рельефа	Заболачивание и торфонакопление, дефляция и золовая аккумуляция; от низкой до высокой
	20–200	45	fg, g, la, a, pl	40	$D_2 \setminus J \setminus K_2 \setminus P_2 \setminus N$	0–3	100–450	Плоские заболоченные озерно-аллювиальные низины	Подтопление, заболачивание и торфонакопление, дефляция и золовая аккумуляция; преимущественно высокая
	15–200	45	fg, g, la, pl	25	$J \setminus K_2 \setminus P_{2-3} \setminus N$	0–3	200–400	Пологоволнистые моренно-водно-ледниковые и озерно-аллювиальные низины с заболоченными низинами и фрагментами золового рельефа	Речная и овражная эрозия, заболачивание, гравитационные и золовые процессы; от низкой до очень высокой
	20–160	50	g, fg, lg	70	N	>10	250–300	Краевая ледниковая возвышенность с покровом лессовидных пород	Крип, плоскостной смыв, овражная эрозия и суффозия; от низкой до очень высокой
	10–110	50	fg, lg, g, pl, la	20	$AR-PR_1 \setminus PR_2 \setminus K_2 \setminus P_{2-3} \setminus N$	0–3	300–400	Водно-ледниковые равнины с заболоченными понижениями и фрагментами краевого ледникового рельефа	Подтопление, заболачивание и торфонакопление, дефляция и золовая аккумуляция, карст; от низкой до высокой
	30–160	85	fg, lg, g	45	$PR_2 \setminus K_2 \setminus P_{2-3} \setminus N$	0–3; >10	300–450	Пологоволнистые водно-ледниковые и моренные равнины с краевыми ледниковыми образованиями	Крип, плоскостной смыв, подтопление; от очень низкой до средней

Мощность четвертичной толщи сильно варьирует – от 40 до 160 м при среднем значении 110 м. В разрезе представлены комплексы трех ледниковых покровов. Количество моренных интервалов 3–4 (Матвеев и др., 2002, Нечипоренко, 1989). На их долю приходится около 70% разреза (табл. 3.1). Уровни грунтовых вод устанавливаются преимущественно на глубинах более 10 м, при этом максимальные глубины (20 м) фиксируются на водоразделах, а минимальные – в долинах рек, где они не превышают 5 м. Мощность зоны пресных вод (или интенсивного водообмена) изменяется от 150 до 350 м (Кудельский и др., 1994). В геоморфологическом отношении данный тип характерен для площадей распространения краевых ледниковых образований, в частности таких, как Городокская, Браславская, Витебская возвышенности, Освейская гряда, Свенцяньские гряды и др. Среди современных геологических процессов здесь широкое распространение получили крип, плоскостной смыв и овражная эрозия, характеризующиеся преимущественно средней степенью своего проявления (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Второй тип инженерно-геологических обстановок выделен в основном вдоль долины Западной Двины и ее притоков. Площади его распространения протянулись от западных до восточных границ страны. Эта территория располагается в пределах разных тектонических структур. Ее западная часть тяготеет к Прибалтийской моноклинали, центральная – к Вилейскому погребенному выступу, восточная – к Оршанской впадине (Гарецкий, Айзберг, 1976). В неоструктурном отношении большая часть рассматриваемой территории приурочена к Полоцкой депрессии Балтийско-Белорусской синеклизы (Гарецкий и др., 2001). В основании четвертичного разреза залегают глины, пески, алевролиты, мергели и доломиты среднего и верхнего девона. Средняя мощность четвертичной толщи составляет 80 м (табл. 3.1). Разрез довольно пестрый по составу, хотя представлен образованиями главным образом поозерского и позднеднепровского времени (Матвеев и др., 1988).

На моренные суглинки и супеси здесь приходится около 40% разреза (табл. 3.1). Данная территория отличается широким распространением ледниково-озерных отложений с хорошо выраженными фаціальными переходами от разнотерристых песков до ленточных глин, сформировавшихся в приледниковых бассейнах в период отступления поозерского ледника с территории Беларуси. Их средняя мощность составляет 10 м. В разрезе часто присутствуют линзы озерных и аллювиальных отложений муравинского межледниковья. По материалам буровых скважин они представлены, как правило, торфом и гиттией мощностью 3–5 м (Матвеев и др., 2002). Глубина залегания уровня грунтовых вод изменяется в широких пределах – от 1 до 10 м и более, преобладают глубины 3–5 м. Мощность зоны пресных вод составляет 150–350 м (Кудельский и др., 1994). В земной поверхности описываемая территория соответствует низинам и равнинам с преобладанием озерно-ледникового типа рельефа (табл. 3.1). Однообразие плоской

поверхности нарушают отдельные камовые холмы высотой до 8 м, остаточные озера, озовые и эоловые гряды, а на окраинных участках – останцы моренных гряд высотой до 3–5 м и абразионные площадки поозерских приледниковых водоемов шириной 5–7 км и высотой уступа от 5 до 20 м (Матвеев и др., 1988). Комплекс современных геологических процессов представлен плоскостным смывом, речной и овражной эрозией, подтоплением, заболачиванием и торфонакоплением, дефляцией и эоловой аккумуляцией, которые характеризуются весьма различной степенью проявления – от очень низкой до высокой (Мацвееў, Нечыпарэнка, 2002).

Третий тип инженерно-геологических обстановок характеризует строение участков вдоль предельной границы распространения поозерского ледника к северу от Гродно, в районе оз. Нарочь и на левобережье Западной Двины (рис. 3.1). В тектоническом плане эти участки расположены в пределах Белорусской антеклизы и Оршанской впадины (Гарецкий, Айзберг, 1976). В неоструктурном отношении соответствующие территории приурочены к Балтийско-Белорусской синеклизе (Гарецкий и др., 2001). В основании четвертичных отложений на участке севернее Гродно залегают терригенно-карбонатные породы мела, на остальных участках – пески, глины, алевролиты, мергели, доломиты и доломитизированные известняки среднего и верхнего девона. Мощность четвертичных отложений изменяется в довольно больших пределах – от 60 до 270 м при среднем значении 110 м (Матвеев и др., 2002; Нечипоренко, 1989). На моренные образования приходится более 50% четвертичной толщи (табл. 3.1). Уровни грунтовых вод устанавливаются на различных глубинах – от менее метра до 10 м и более, в зависимости от генетической принадлежности грунтового водоносного горизонта. Мощность зоны пресных вод изменяется от 250 до 450 м (Кудельский и др., 1994). Современная поверхность этих участков довольно разнообразная. Значительные пространства занимает мелкохолмистая или пологоволнистая моренная равнина с фрагментами краевых ледниковых форм, ниже располагаются пологоволнистые флювиогляциальные равнины и низины, осложненные ложбинами стока, камовыми холмами и озовыми грядами, на участке севернее Гродно – эоловыми бугристыми песками, дюнами, грядами и котловинами выдувания. Самую низкую часть рассматриваемых территорий занимают ледниково-озерные образования, примыкающие к озерам, а также заболоченные и заторфованные понижения. В геоморфологическом отношении данный тип инженерно-геологических обстановок приурочен к Нарочанской, Сенненской и Шумилинской равнинам, Озерской и Чашникской низинам. Среди современных геологических процессов здесь широким развитием пользуются крип, плоскостной смыв, заболачивание и торфонакопление, дефляция и эоловая аккумуляция, в долинах рек – эрозионные и гравитационные процессы. Интенсивность проявления всех этих процессов редко превышает среднюю степень (Мацвееў, Нечыпарэнка, 2002).

Четвертый тип инженерно-геологических обстановок характеризует особенности строения возвышенностей, которые простираются от западной границы в глубь страны (рис. 3.1). В тектоническом отношении описываемая территория приурочена преимущественно к Центрально-Белорусскому массиву Белорусской антеклизы и ее склонам, в неоструктурном плане – располагается в пределах Литовско-Эстонской моноклинали Балтийско-Белорусской синеклизы (Гарецкий, 1976, Гарецкий и др., 2001). В основании четвертичных отложений залегают преимущественно меловые и палеогеновые породы, а также верхнепалеоген-неогеновые песчано-глинистые образования. Кровля дочетвертичных пород устроена довольно сложно. Ей присуща густая сеть ледниковых ложбин, тальвеги которых порой достигают абсолютных значений –168 м (район Гродно). Это в значительной степени обусловило резкие колебания мощностей четвертичных отложений. При средней мощности четвертичного разреза 120 м ее значения варьируют от 50–60 до 200 м и более (Матвеев и др., 2002; Нечипоренко, 1989). Преобладающая часть этой толщи образована в результате деятельности среднеплейстоценовых ледников, хотя на отдельных площадях важную роль играют верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения. Примерно на 70% разрез сложен моренными супесями и суглинками (табл. 3.1). Глубина залегания уровней грунтовых вод изменяется в широких пределах – от менее метра в долинах рек до 15 м и более на водоразделах. При этом на большей части рассматриваемой территории грунтовые воды залегают на глубинах более 10 м. Мощность зоны интенсивного водообмена составляет 300–450 м (Кудельский и др., 1994). В геоморфологическом отношении территория характеризуется развитием форм краевого ледникового рельефа сожского времени: Гродненской, Волковысской, Слонимской, Новогрудской возвышенностями и Копыльскими грядами. Сложены эти формы песчано-гравийным материалом с галькой и валунами, а также моренными суглинками и супесями. Их средняя мощность составляет около 40 м. Наиболее возвышенные участки разделены моренной равниной, а ниже располагаются водно-ледниковые поверхности. Современные геологические процессы на участках распространения данного типа инженерно-геологических обстановок представлены крипом, плоскостным смывом, овражной эрозией, суффозией, характеризующимися различной степенью своего проявления – от низкой до высокой (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Пятый тип инженерно-геологических обстановок выделен на двух участках: наиболее крупный по площади примыкает с севера и северо-востока к Ошмянским грядам, а небольшой – к их юго-западным отрогам (рис. 3.1). В структурном отношении он располагается в пределах Прибалтийской моноклинали и Вилейского погребенного выступа Белорусской антеклизы (Гарецкий, Айзберг, 1976), в неоструктурном – приурочен к Воложинскому структурному заливу и Нарочанско-Плещеницкой седло-

вине Балтийско-Белорусской синеклизы (Гарецкий и др., 2001). Четвертичные отложения подстилаются девонскими и меловыми породами, реже встречаются кембрийские, силурийские, ордовикские образования. Мощность четвертичного чехла составляет 80–230 м (Матвеев и др., 2002). Он сложен водно-ледниковыми и другими генетическими типами и фациями преимущественно ледниковых отложений. Большая часть этой толщи сформировалась во время припятского (днепровской и сожской стадий) и поозерского оледенений и в голоцене, на собственно ледниковые комплексы (морену) приходится до 30% всего разреза (табл. 3.1). Уровни грунтовых вод устанавливаются на глубинах от менее метра до 10 м и более. Мощность зоны пресных вод изменяется от 200 до 450 м (Кудельский и др., 1994). В земной поверхности площадям данного типа инженерно-геологических обстановок соответствуют моренно-водно-ледниковая низина с заболоченными озерно-аллювиальными понижениями и водно-ледниковая равнина с краевыми ледниковыми образованиями (Матвеев и др., 1988). Среди современных геологических процессов здесь наибольшего развития достигли крип, плоскостной смыв, в долинах рек – гравитационные процессы, с весьма различной степенью своего проявления – от очень низкой до очень высокой (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Шестой тип инженерно-геологических обстановок выделен на значительной площади в западной и центральной частях Беларуси, простирающейся в субмеридианальном и субширотном направлениях (рис. 3.1). В тектоническом отношении эта территория приурочена к Белорусской антеклизе (Воложинскому грабену, Вилейскому погребенному выступу, Центрально-Белорусскому массиву), в неоструктурном плане располагается в пределах Литовско-Эстонской моноклинали Балтийско-Белорусской синеклизы (Гарецкий, 1976; Гарецкий и др., 2001). Для рассматриваемой территории характерно сложное строение субчетвертичной поверхности. Эта поверхность сложена породами кристаллического фундамента (в верховьях Немана); глинами, алевролитами и песчаниками верхнего протерозоя (к западу от Воложина); песками, песчаниками, алевролитами нижнего кембрия (в районе Сморгони); доломитами, доломитизированными известняками ордовика и силура; глинами, мергелями, доломитами среднего девона на севере территории, а к югу – кварцево-глауконитовыми песками, песчанистым мелом, мергелями меловой системы (Матвеев и др., 2002). Ее рельеф характеризуется значительной пересеченностью, наличием ледниковых ложбин, нередко имеющих относительную глубину 30 м и более (Матвеев и др., 1988). Четвертичные отложения данной территории имеют максимальную для Беларуси мощность – вблизи Логойска она превышает 300 м. В строении этой толщи основную роль играют моренные и водно-ледниковые образования березинского и припятского горизонтов. Среднее значение мощности четвертичных отложений составляет 125 м (Матвеев и др., 2002), из них на моренные горизонты приходится около 70% (табл. 3.1). Уровни грунтовых вод устанавли-

ваются на глубинах от менее метра до 10–15 м, преобладают глубины более 10 м. Мощность зоны пресных вод 200–450 м (Кудельский и др., 1994). Рельеф земной поверхности представляет собой сложное сочетание пологоволнистых и увалистых моренных равнин и краевых образований. Среди последних своими масштабами выделяются Ошмянские гряды и Минская возвышенность. Более низкий уровень рельефа занимают участки долинных зандров, флювиогляциальных равнин, котловинообразные понижения, выполненные поозерскими озерно-аллювиальными отложениями. Встречаются отдельные камовые холмы и озовые гряды, которые чаще всего приурочены к крупным ложбинам стока (Матвеев и др., 1988). Современные геологические процессы на участках распространения данного типа инженерно-геологических обстановок широко представлены крипом, плоскостным смывом, овражной эрозией, суффозией, характеризующимися различной степенью своего проявления – от очень низкой до очень высокой (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Седьмой тип инженерно-геологических обстановок выделен вдоль долины Немана и в верховьях Березины (рис. 3.1). В тектоническом отношении оба участка приурочены к Белорусской антеклизе, в неоструктурном плане – к Балтийско-Белорусской синеклизе (Гарецкий, 1976; Гарецкий и др., 2001). Субчетвертичная поверхность характеризуется сложным строением. В долине Немана ее слагают породы кристаллического фундамента, пески, глины и алевриты протерозоя, мергельно-меловые породы и пески мела, песчано-глинистые отложения палеогена и неогена; в верховьях Березины – пески, песчаники, алевриты, мергели и доломиты среднего девона. Рельеф этой поверхности отличается сильной пересеченностью из-за наличия многочисленных ледниковых ложбин, тальвеги которых достигают отметок от –60 до –100 м и ниже, и локальных выступов до 60–100 м и выше. Мощность четвертичных отложений чаще всего варьирует в интервале 80–120 м (Нечипоренко, 1989), а по тальвегам ложбин возрастает до 180–200 м (Матвеев и др., 2002). Довольно полно в разрезе представлены средне- и верхнеплейстоценовые и голоценовые образования, на долю моренных горизонтов приходится 35–60% всего объема толщи (табл. 3.1). Уровни грунтовых вод устанавливаются преимущественно на глубинах, не превышающих 3–5 м. Мощность зоны пресных вод составляет 200–450 м (Кудельский и др., 1994). Земная поверхность на участках этого типа занята относительно плоскими озерно-ледниковой низиной и водно-ледниковыми равнинами с небольшими фрагментами форм краевого ледникового рельефа. Комплекс современных геологических процессов представлен подтоплением, заболачиванием и торфонакоплением, дефляцией, в долинах рек – эрозионными и гравитационными процессами со степенью проявления не выше средней (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Восьмой тип инженерно-геологических обстановок выделен на востоке страны и имеет субширотное простирание (рис. 3.1).

В тектоническом отношении территория данного типа тяготеет в основном к Оршанской впадине (Гарецкий, Айзберг, 1976), в неоструктурном плане – располагается на стыке Балтийско-Белорусской синеклизы и Воронежско-Тверской антеклизы (Гарецкий и др., 2001). В ложе четвертичной толщи залегают девонские пески, алевролиты, мергели, доломиты и известняки. Их кровля отличается сильной расчлененностью, обусловленной наличием ложбин ледникового выпахивания и размыва глубиной до 150 м. Значительные площади занимают изолированные вытянутые в меридиональном направлении локальные поднятия. Мощность четвертичных отложений, среди которых на морены приходится до 70% объема (табл. 3.1), составляет преимущественно 60–80 м, увеличиваясь в пределах ледниковых ложбин до 180 м и уменьшаясь на локальных поднятиях (Матвеев и др., 2002; Нечипоренко, 1989). Уровни грунтовых вод устанавливаются на глубинах от менее метра до 10 м и более. Мощность зоны пресных вод изменяется от 150 до 350 м (Кудельский и др., 1994). В геоморфологическом отношении территория рассматриваемого типа приурочена к Лукомльской и Оршанской краевым ледниковым возвышенностям. Среди современных геологических процессов здесь широким развитием пользуются плоскостной смыв, овражная эрозия, суффозия, характеризующиеся крайне различной степенью своего проявления – от очень низкой до очень высокой (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Девятый тип инженерно-геологических обстановок выделен на значительной площади, простирающейся в субширотном направлении более чем на 300 км (рис. 3.1). В тектоническом плане эта территория располагается на стыке Белорусской антеклизы с Оршанской впадиной, Оршанской впадины со Жлобинской седловиной, Оршанской впадины с Воронежской антеклизой, Белорусской антеклизы с Припятским прогибом (Гарецкий, Айзберг, 1976). В неоструктурном же отношении рассматриваемая территория приурочена к Балтийско-Белорусской синеклизе и Воронежско-Тверской антеклизе (Гарецкий и др., 2001). В основании четвертичных отложений залегают преимущественно мергельно-меловые породы мела, меньшие площади занимают девонские, палеогеновые и неогеновые отложения. Мощность четвертичного покрова изменяется в пределах от 10 до 120 м при среднем значении 50 м (Матвеев и др., 2002). На моренные отложения приходится 20–30% (табл. 3.1). Уровни грунтовых вод устанавливаются на различных глубинах – от менее метра до 10 м и более. Мощность зоны пресных вод довольно изменчива, колеблется в пределах от 150 до 400 м (Кудельский и др., 1994). В геоморфологическом отношении эта обширная территория занята водно-ледниковыми, а также моренно-водно-ледниковыми равнинами, осложненными краевыми ледниковыми возвышенностями и грядами (Матвеев и др., 1988). Комплекс современных геологических процессов представлен подтоплением, заболачиванием и торфонакоплением, дефляцией, в долинах рек – эрозионными и гравита-

ционными процессами с весьма изменчивой степенью проявления – от очень низкой до очень высокой (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Десятый тип инженерно-геологических обстановок характеризует территорию в восточной части Беларуси (рис. 3.1). В тектоническом отношении данная территория расположена в южной части Оршанской впадины, на стыке ее со Жлобинской седловиной и Воронежской антеклизой (Гарецкий, Айзберг, 1976); в неоструктурном плане она всецело располагается в пределах Воронежско-Тверской антеклизы (Гарецкий и др., 2001). В ложе четвертичной толщи залегают мергельно-меловые породы мела, по понижениям – юрские и девонские породы. В виде отдельных пятен встречаются палеогеновые и неогеновые пески и глины. Мощность четвертичного чехла преимущественно 20–40 м (Нечипоренко, 1989), по переуглублениям возрастает до 100–100 м (Матвеев и др., 2002). В его сложении преобладают образования припятского возраста, причем на моренные отложения приходится до 45% (табл. 3.1). Глубина залегания уровня грунтовых вод изменяется в широких пределах – от менее метра до 10 м и более, преобладают глубины 3–10 м. Мощность зоны пресных вод составляет 150–350 м (Кудельский и др., 1994). Земная поверхность соответствует водно-ледниково-моренным равнинам, на возвышенных участках развит краевой ледниковый рельеф. В восточной части территории широкое распространение получили лессовидные отложения на моренных, водно-ледниковых и краевых ледниковых образованиях. Преобладающая мощность лессовидных грунтов 5–6 м. Комплекс современных геологических процессов довольно многообразен. Это суффозия, карст, плоскостной смыв, овражная и речная эрозии, оползни, обвалы, осыпи, подтопление, заболачивание. Все они характеризуются весьма различной степенью своего проявления – от очень низкой до очень высокой (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Одиннадцатый тип инженерно-геологических обстановок выделен в крайней восточной части Беларуси (рис. 3.1). В тектоническом отношении территория распространения данного типа приурочена к склонам Воронежской антеклизы и Оршанской впадины (Гарецкий, Айзберг, 1976); в неоструктурном плане она полностью располагается в пределах Воронежско-Тверской антеклизы (Гарецкий и др., 2001). В основании четвертичных отложений залегают мергельно-меловые породы мела, по понижениям – юрские породы. Мощность четвертичного чехла изменяется в интервале 10–40 м, в среднем 20 м (Матвеев и др., 1988; Нечипоренко, 1989). В разрезе преобладают образования припятского возраста, причем на собственно моренные отложения приходится 20–30% (табл. 3.1). Глубина залегания уровня грунтовых вод изменяется в широких пределах – от менее метра до 10 м, преобладают глубины 3–5 м. Мощность зоны пресных вод составляет 300–350 м (Кудельский и др., 1994). Земная поверхность соответствует моренным и водно-ледниковым равнинам. Среди современных геологиче-

ских процессов здесь наибольшее развитие получил карст со средней степенью своего проявления (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Двенадцатый тип инженерно-геологических обстановок выделен на территории, которая протягивается в виде узкой полосы от западной границы страны на восток более чем на 300 км (рис. 3.1). На значительном расстоянии вдоль ее южного края проходит граница распространения краевых ледниковых образований сожского возраста (Матвеев и др., 1988). В структурном плане территория располагается на стыке Белорусской антеклизы с Подляско-Брестской впадиной, Полесской седловиной и Припятским прогибом (Гарецкий, Айзберг, 1976), в неотектоническом отношении – приурочена к Балтийско-Белорусской синеклизе (Гарецкий и др., 2001). В основании четвертичных отложений залегают палеогеновые и неогеновые пески и глины, меловые, реже верхнепротерозойские и девонские породы. Поверхность этих пород отличается значительной расчлененностью, множеством ледниковых ложбин и небольших по площади поднятий. Мощность четвертичного чехла варьирует от 10–20 до 100–120 м (средняя 70 м) (Нечипоренко, 1989). В строении этих отложений участвуют ледниковые комплексы наревского, березинского и припятского горизонтов (Матвеев и др., 2002). На долю моренных отложений приходится около 50% разреза (табл. 3.1). Уровни грунтовых вод устанавливаются на различных глубинах – от менее метра в долинах рек до 10 м и более в пределах краевых ледниковых образований. Мощность зоны пресных вод варьирует от 150 до 450 м (Кудельский и др., 1994). В геоморфологическом отношении территория рассматриваемого типа тяготеет к водно-ледниковым и моренно-водно-ледниковым равнинам с краевыми ледниковыми образованиями. Среди современных геологических процессов здесь наибольшего развития получили крип, плоскостной смыв, овражная эрозия, заболачивание с различной степенью своего проявления при преобладании низкой степени (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Тринадцатый тип инженерно-геологических обстановок характеризует территорию вдоль южной границы Беларуси на протяжении более чем 400 км (рис. 3.1). В структурном плане данная площадь в основном приурочена к Подляско-Брестской впадине, Полесской седловине и Припятскому прогибу (Гарецкий, Айзберг, 1976), в неотектоническом отношении большей своей частью располагается в пределах Припятской ступени и Березинского структурного залива Балтийско-Белорусской синеклизы (Гарецкий и др., 2001). Ложе четвертичной толщи образовано палеоген-неогеновыми песками и меловыми породами. Мощность четвертичных отложений достигает 60–90 м (Нечипоренко, 1989), составляя в среднем 35 м. В строении разреза более 50% приходится на озерно-аллювиальные верхнеплейстоценголоценовые аккумуляции и биогенные отложения, а на морены – лишь 15% разреза (Матвеев и др., 2002). Уровни грунтовых вод устанавливаются преимущественно на глубинах, не превышающих 3–5 м. Мощность зоны пресных вод составляет 100–300 м (Кудельский и др.,

1994). Рельеф плоский, в местах развития эоловых песчаных комплексов приобретает мелкогрядово-бугристый характер. Наиболее пониженные участки заболочены и заторфованы. В геоморфологическом плане этот тип инженерно-геологических обстановок развит в основном на территории озерно-аллювиальной и аллювиальной низин (Матвеев и др., 1988). Среди современных геологических процессов здесь наибольшего развития получили подтопление, заболачивание, торфонакопление, дефляция и эоловая аккумуляция с высокой степенью проявления (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002). На отдельных участках возможно проявление карста и речной эрозии.

Четырнадцатый тип инженерно-геологических обстановок выделен на двух участках в южной части Белорусского Полесья (рис. 3.1). В тектоническом отношении первый из них (западный) тяготеет в основном к Полесской седловине, второй (восточный) – к южной части Припятского прогиба (Гарецкий, Айзберг, 1976). В неоструктурном плане оба участка приурочены к Припятской ступени Балтийско-Белорусской синеклизы (Гарецкий и др., 2001). В основании четвертичных отложений залегают преимущественно пески и глины неогена. В ряде пунктов дочетвертичные породы выходят на поверхность или размещаются вблизи нее. Преобладающие мощности четвертичного чехла составляют 20–40 м (Нечипоренко, 1989), по углублениям субчетвертичной поверхности толща возрастает до 80 м. В разрезах доминируют среднеплейстоценовые водно-ледниковые отложения (Матвеев и др., 1988), а доля морен не превышает 20% (табл. 3.1). Уровни грунтовых вод устанавливаются в основном на глубинах, не превышающих 3–5 м. Мощность зоны пресных вод 200–300 м (Кудельский и др., 1994). В геоморфологическом отношении территория рассматриваемого типа тяготеет к водно-ледниковым равнинам, осложненным в ряде мест заболоченными понижениями и эоловыми грядами. Современные геологические процессы на участках распространения данного типа в основном представлены заболачиванием и торфонакоплением, дефляцией и эоловой аккумуляцией, характеризующимися различной степенью своего проявления – от низкой до высокой (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002). На некоторых участках рек возможно развитие эрозионных и гравитационных процессов.

Пятнадцатый тип инженерно-геологических обстановок характерен для двух участков в северной части Белорусского Полесья, которые прослеживаются от западной границы республики на восток (рис. 3.1). Первый из них (западный) приурочен к сочленению Подляско-Брестской впадины, Ивацевичского погребенного выступа и Полесской седловины, второй (восточный) – к северо-западной части Припятского прогиба (Гарецкий, Айзберг, 1976). В неоструктурном отношении оба участка приурочены к Балтийско-Белорусской синеклизе (Гарецкий и др., 2001). В ложе четвертичной толщи залегают преимущественно палеогеновые и неогеновые пески и глины и породы мела, в восточной части на небольших площадях вскрываются также девонские и юрские породы. Рельеф поверхности

этих пород характеризуется сильной расчлененностью из-за наличия многочисленных ложбин ледникового выпахивания и размыва и небольших поднятий. Средняя мощность четвертичных отложений составляет 45 м, по переуглублениям она увеличивается до 150–200 м и более (Нечипоренко, 1989). В разрезе заметно преобладают среднеледниковые ледниковые комплексы, а с поверхности – аллювиальные, озерно-аллювиальные и болотные отложения поозерско-голоценового этапа, на морены приходится около 40% разреза (табл. 3.1). Глубина залегания уровня грунтовых вод не превышает 3–5 м. Мощность зоны пресных вод весьма непостоянна, изменяется в пределах от 100 до 450 м (Кудельский и др., 1994). Земная поверхность на данной территории выровненная. Монотонность рельефа обусловлена преобладанием в течение длительного времени процессов речной и озерно-болотной аккумуляции (Матвеев и др., 2002). Основную площадь занимает озерно-аллювиальная низина. Современные геологические процессы на участках распространения рассматриваемого типа инженерно-геологических обстановок представлены подтоплением, заболачиванием и торфонакоплением, дефляцией и эоловой аккумуляцией с высокой степенью проявления (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Шестнадцатый тип инженерно-геологических обстановок выделен в юго-восточной части страны в междуречье Днепра, Березины и Припяти (рис. 3.1). В структурном плане тип приурочен к центральной и северо-восточной частям Припятского прогиба (Гарецкий, Айзберг, 1976), в неотектоническом отношении – располагается в пределах Березинского структурного залива Балтийско-Белорусской синеклизы (Гарецкий и др., 2001). Ложе четвертичных отложений сложено в основном песчано-глинистыми породами палеогена и неогена и лишь местами – по ледниковым ложбинам – меловыми и юрскими породами. Мощность четвертичного чехла изменяется от 15 до 200 м (Нечипоренко, 1989), в среднем составляя 45 м. Наибольшее распространение в четвертичном разрезе получили среднеледниковые ледниковые отложения, среди которых на моренные горизонты приходится около 25%. Уровни грунтовых вод устанавливаются преимущественно на глубинах, не превышающих 3–5 м. Мощность зоны пресных вод составляет 200–400 м (Кудельский и др., 1994). В геоморфологическом отношении данный тип инженерно-геологических обстановок приурочен к моренно-водно-ледниковой, а местами озерно-аллювиальной низинам. Среди современных геологических процессов здесь наибольшее развитие получили речная и овражная эрозии, заболачивание, гравитационные и эоловые процессы с различной степенью проявления – от низкой до очень высокой (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Семнадцатый тип инженерно-геологических обстановок характерен для территории развития краевых ледниковых комплексов Мозырской гряды. В структурном отношении занятая этим типом площадь тяготеет к центральной части Припятского прогиба (Гарецкий, Айзберг, 1976), в не-

оструктурном – к Березинскому структурному заливу Балтийско-Белорусской синеклизы (Гарецкий и др., 2001). В основании четвертичных отложений залегают преимущественно неогеновые пески и глины. Перекрываются они чехлом главным образом среднеплейстоценовых отложений мощностью от 20 до 160 м (Матвеев и др., 2002). Доля моренных и конечно-моренных грунтов в разрезе составляет до 70% (табл. 3.1). Глубина залегания уровня грунтовых вод часто превышает 10 м. Мощность зоны пресных вод составляет 250–300 м (Кудельский и др., 1994). Рельеф возвышенный, типичный для краевых ледниковых образований. Важную роль в строении рельефа играют лессовидные отложения. Преобладающая мощность лессовидной толщи до 5 м. Для данной территории характерно широкое распространение овражно-балочных систем, врезаемых почти до 50 м (Матвеев и др., 1988). Среди современных геологических процессов на территории рассматриваемого типа в наибольшей степени проявляют себя крип, плоскостной смыв, овражная эрозия и суффозия (Мацвеев, Нечыпаренка, 2002).

Восемнадцатый тип инженерно-геологических обстановок выделен на трех участках в западной и центральной частях Белорусского Полесья: к югу и северо-востоку от Бреста по правобережью Западного Буга и вдоль Мухавца, к западу и северу от Бобрика и Припяти, в междуречье Орессы, Птичи, Припяти и Бобрика (рис. 3.1). В структурном отношении они расположены на территории Подляско-Брестской впадины, Полесской седловины, Микашевичско-Житковичского выступа и Припятского прогиба (Гарецкий, Айзберг, 1976), в неоструктурном – в пределах Балтийско-Белорусской синеклизы (Гарецкий и др., 2001). Поверхность дочетвертичных пород на этих площадях неровная. Выделяется серия изометрических поднятий и ложбин ледникового выпаживания и размыва. Рассматриваемая поверхность сложена палеогеновыми и неогеновыми песками и песчано-глинистыми отложениями. В районе Микашевичско-Житковичского горста в ложе четвертичного чехла нередко залегают кристаллические породы фундамента. По переуглублениям вскрываются меловые породы (район Бреста), реже верхнепротерозойские пески, глины и алевролиты (в долине р. Бобрик). Средняя мощность четвертичной толщи составляет 50 м, по переуглублениям достигает 90–110 м, а в сводовой части поднятия кристаллических пород (Микашевичско-Житковичский горст) 10–20 м (Матвеев и др., 2002; Нечипоренко, 1989). В разрезе преобладают среднеплейстоценовые горизонты, причем собственно моренные отложения не превышают 20% (табл. 3.1). Уровни грунтовых вод устанавливаются на глубинах от менее метра до 10 м и более. При этом на большей части рассматриваемой территории грунтовые воды залегают на глубинах, редко превышающих 3 м. Мощность зоны интенсивного водообмена составляет 300–400 м (Кудельский и др., 1994). В геоморфологическом отношении данный тип инженерно-геологических обстановок приурочен к заболоченным озерно-аллювиальным низинам и водно-ледниковым рав-

нинам с фрагментами моренных равнин и краевых ледниковых форм рельефа. Современные геологические процессы представлены подтоплением, заболачиванием и торфонакоплением, дефляцией и эоловой аккумуляцией, карстом, характеризующимися различной степенью проявления – от низкой до высокой (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Девятнадцатый тип инженерно-геологических обстановок выделен на двух участках в западной части Белорусского Полесья (рис. 3.1). В структурном отношении приурочен к Подляско-Брестской впадине (крайний западный участок) и Полесской седловине (восточный участок) (Гарецкий, Айзберг, 1976), в неоструктурном плане располагается в пределах Балтийско-Белорусской синеклизы (Гарецкий и др., 2001). Для данного типа характерно сложное строение субчетвертичной поверхности. На западном участке рельеф этой поверхности сильно расчленен. Здесь выделяются ложбины, тальвеги которых опущены до 20–30 м. Они врезаны в породы меловой системы. Эти понижения разделяют изометричные возвышенные участки высотой до 120 м, которые построены палеогеновыми и неогеновыми отложениями. На восточном участке рельеф дочетвертичных пород относительно ровный, слагают его в основном палеогеновые и неогеновые отложения, реже меловые и верхнепротерозойские породы (Матвеев и др., 1988). На субчетвертичной поверхности залегает покров преимущественно среднелейстоценовых ледниковых образований, преобладающие значения мощности которых составляют 80–90 м (Нечипоренко, 1989), экстремальные находятся в пределах 30–160 м (Матвеев и др., 2002). Доля моренных горизонтов около 45% (табл. 3.1). Уровни грунтовых вод устанавливаются на глубинах от менее метра до 10 м и более. Мощность зоны пресных вод 300–450 м (Кудельский и др., 1994). В земной поверхности площадям данного типа инженерно-геологических обстановок соответствуют водно-ледниково-моренная равнина и водно-ледниковая равнина с краевыми ледниковыми образованиями (Матвеев и др., 1988). Среди современных геологических процессов здесь наибольшего развития достигли крип, плоскостной смыв и подтопление со степенью своего проявления не выше средней (Мацвеев, Нечыпарэнка, 2002).

Таким образом, приведенная типизация характеризует инженерно-геологические условия территории Беларуси как довольно специфичные и весьма неоднородные. В практическом приложении ее можно рассматривать как геологическую основу создания и эксплуатации литотехнических систем разного уровня организации и назначения.



Г Л А В А 4

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Инженерно-геологическое районирование является важнейшим методом региональных исследований. Оно рассматривается как один из способов систематизации знаний об инженерно-геологических условиях территории, оценки их сложности и неоднородности (Трофимов, 1985). В такой трактовке инженерно-геологическое районирование широко используется на разных стадиях инженерно-геологических исследований. Особенно велика его роль при средне- и мелкомасштабных работах, что позволяет рассматривать районирование в качестве важнейшего метода инженерно-геологических исследований. Еще в 1961 г. И.В. Попов, видный советский и российский инженер-геолог, основоположник региональной инженерной геологии отмечал, что инженерно-геологическое описание, «...чтобы быть систематичным и удобным для практического использования, всегда требует районирования территории. В данном случае для систематической региональной инженерно-геологической характеристики территории СССР необходимо разделять эту территорию на однородные по инженерно-геологическому характеру части и описать их, указывая сходство и различие, закономерности и обусловленность характерных инженерно-геологических черт» (Попов, 1961).

4.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

Научно-методические основы инженерно-геологического районирования были заложены в работах И.В. Попова, Н.И. Николаева, В.Л. Дмитриева, В.Л. Дубровкина, В.А. Апродова, В.П. Солоненко. Дальнейшее развитие они получили в трудах Л.В. Белого, Г.К. Бондарика, Г.А. Голодковской, С.Б. Ершовой, И.С. Комарова, Е.С. Мельникова, В.В. Пендина, Е.М. Сергеева, Г.А. Сулакшиной, В.Т. Трофимова и многих других.

Большинство исследователей трактуют инженерно-геологическое районирование как разделение территории на однородные в инженерно-геологическом отношении части (табл. 4.1). В то же время, по мнению В.Т. Трофимова (1977), районирование – это, прежде всего, выявление, а затем уже отграничение однородных территориальных инженерно-геологических элементов, причем именно отграничение, а не разделение. Первое понятие является более широким, поскольку подразумевает и разделение, и группировку сходных типов таксонов или районов.

Таблица 4.1

Некоторые определения понятия «инженерно-геологическое районирование»
(по В.Т. Трофимову, Т.И. Аверкиной, 2007)

Определение	Авторы
Разделение территории на однородные по инженерно-геологическому характеру части и описание их с указанием сходства и различия, закономерностей и обусловленности характерных инженерно-геологических черт	И.В. Попов, 1961
Подразделение территории на площади, сходные по характеру своего строения	Л.Д. Белый, 1964
Последовательное деление изучаемой территории на отдельные части (территориальные единицы), которые характеризуются все большей однородностью по инженерно-геологическим условиям	И.С. Комаров, 1966
Разделение исследуемой территории на соподчиненные таксономические элементы, характеризующиеся внутренней общностью и внешними различиями инженерно-геологических условий	А.А. Маккавеев, 1971
Разделение территории на части по степени сходства и различия инженерно-геологических условий	В.Д. Ломтадзе, 1978
Обособление территорий, характеризующихся общностью всех показателей, определяющих понятие «инженерно-геологические условия»	Г.А. Голодковская, Н.И. Лебедева, 1984
Формализованная, базирующаяся на системном анализе и основных положениях теории изменчивости процедура по выделению отдельных объемов литосферы, характеризующихся квазиоднородными эмерджентными свойствами	В.В. Пендин, 1987

Согласно В.Т. Трофимову (1986) *под инженерно-геологическим районированием следует понимать выявление в сложной и многосторонней геологической среде на основе совокупности теоретических и методических приемов системы территориальных элементов, обладающих какими-либо общими инженерно-геологическими признаками, отграничение их от территорий, не обладающих этими признаками, их систематику, картографирование и описание.* Данное определение не только формулирует содержание понятия, но и обозначает задачу инженерно-геологического районирования, а также включает краткое описание операций, которые осуществляются в процессе его выполнения.

При инженерно-геологических исследованиях используются различные типы районирования. Их специфика рассмотрена в работах И.С. Комарова (1966), В.Т. Трофимова (1977, 1979, 1985 и др.), Л.И. Оздоевой (1981).

В.Т. Трофимов предложил систематику, которая объединяет два типа, пять видов и две разновидности инженерно-геологического районирования (рис. 4.1). Первый тип – генетико-морфологическое (или естественно-историческое) районирование, при котором на основе определенных принципов и классификационных признаков выявляют, обособляют и классифицируют территориальные единицы разного порядка. Второй тип – оценочное районирование – предусматривает оценку сложности инженерно-геологических условий различных территориальных единиц на основе качественных или количественных показателей, в том числе экономических (Трофимов, 1985).

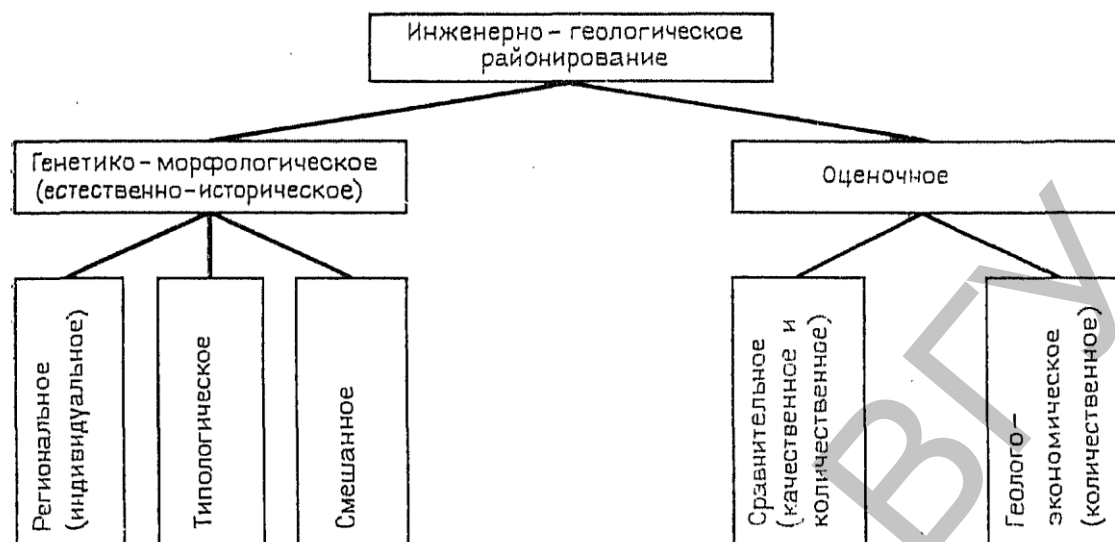


Рис. 4.1. Систематика типов инженерно-геологического районирования
(по В.Т. Трофимову, 1985)

Генетико-морфологическое районирование может выполняться в трех видах: региональное (или индивидуальное), типологическое и смешанное. В случае *регионального* районирования по определенным признакам проводят деление территории на части, на соподчиненные таксономические единицы. При этом любая таксономическая единица выделяется как целостный, непрерывный в пространстве элемент; она не может существовать в виде отдельных участков, разобренных другими единицами. Каждая выделенная таксономическая единица характеризуется ясно выраженной индивидуальностью, получает особую (персональную) характеристику и, как правило, собственное имя. Несмотря на указанные достоинства этого вида районирования, оно обладает и рядом недостатков. И.С. Комаров (1966) показал, что основной недостаток такого районирования заключается в трудности экстраполяции данных, полученных при изучении одной территориальной единицы (при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений), на другие территориальные единицы одного с ней ранга, так как остается неизвестным: а) где располагаются территориальные единицы, обладающие сходством по инженерно-геологическим условиям с изучаемой; б) в чем заключается и какова степень сходства и различия между сопоставляемыми единицами.

При *типологическом* районировании, в отличие от регионального, характеристика территориальных единиц относится не к каждому индивидуальному контуру карты, а к группе контуров данного типа. Типологические единицы могут существовать в виде разрозненных участков, расположенных

в различных частях изучаемой территории, на любом расстоянии друг от друга и перемежаться с единицами других типов.

Типологическое районирование можно выполнять двумя способами: путем деления территории в соответствии с принятой классификацией или путем группировки типологических или индивидуальных единиц. Типологическая группировка региональных единиц на практике чаще всего проводится применительно к одному таксономическому уровню. Выделяются либо типы регионов, либо типы областей, либо типы районов и т.д. Однако типологическую группировку, как и деление, можно выполнять и в иерархическом варианте (Трофимов, Аверкина, 2007).

Типологическое районирование, как отмечал И.С. Комаров (1966), позволяет: 1) экстраполировать данные, полученные при изучении одной территориальной единицы, на другие; 2) обобщать на этой основе результаты инженерно-геологических изысканий, опыт проектирования и строительства; 3) разрабатывать рекомендации по различным вопросам изысканий, проектирования и строительства. При этом типологическое районирование имеет один недостаток – в процессе типизации учитываются только самые общие, характерные особенности территорий, а специфические, нетипичные черты игнорируются. Этот недостаток можно уменьшить за счет увеличения числа выделяемых типов и даже исключить, если количество типов будет равно числу индивидуальных таксономических единиц. Однако в данном случае типологическое районирование превращается в индивидуальное и утрачивает свои достоинства.

Третий, *смешанный*, вид генетико-морфологического районирования представляет собой сочетание на различных этапах районирования операций, отвечающих региональному и типологическому видам. В практике инженерно-геологических работ он получил довольно широкое распространение. При смешанном районировании таксоны одного уровня выделяют как индивидуальные, а другого – как типологические. Это позволяет, сохраняя достоинства каждого из двух видов районирования, уменьшить присущие им недостатки.

Оценочное инженерно-геологическое районирование подразделяется на два вида – сравнительно-оценочное (качественное и количественное) и геолого-экономическое (количественное). Первый вид может широко применяться при всех видах инженерно-геологических исследований. Второй вид оценочного районирования используют преимущественно при крупномасштабных работах, связанных, к примеру, с оценкой стоимости строительства, нулевого цикла, инженерной подготовки или инженерной защиты территории и т.д.

Оценочное районирование, несомненно имеющее самостоятельное и весьма важное практическое значение, целесообразно в большинстве случаев применять на втором этапе работ по инженерно-геологическому районированию. Его предпочтительнее проводить на основе результатов генети-

ко-морфологического районирования (Трофимов, 1979). При такой последовательности оно должно заключаться в оценке сложности инженерно-геологических условий выделенных таксономических единиц. В этом случае оценочное районирование станет более содержательным, а формальные категории сложности получают материальное обоснование и содержание (например, одинаковые по сложности инженерно-геологические условия в одном случае могут быть обусловлены развитием сильной заболоченности, в другом – высокой сейсмичностью территории, в третьем – сложным, сильно расчлененным рельефом и т.д.).

В зависимости от цели все виды районирования подразделяются на две разновидности: специальное и общее. Инженерно-геологическое районирование, которое проводится в целях определенного вида инженерно-хозяйственной деятельности, считается *специальным*. *Общее* районирование осуществляется для изучения и анализа общих закономерностей распределения и изменения инженерно-геологических условий, без связи с конкретными видами хозяйственной деятельности или в целях массовых видов строительства. Подразделение районирования на общее и специальное получило признание и практическое подтверждение (Трофимов, Аверкина, 2007).

Инженерно-геологическое районирование должно выполняться по определенным принципам на основе выбранных исследователем классификационных признаков. Принципы и признаки районирования – понятия различные, их нельзя смешивать. Согласно В.Т. Трофимову (1977, 1985 и др.) под *принципами районирования* следует понимать *те логические правила, важнейшие методические положения, которые должны соблюдаться при проведении любого типа, вида и разновидности районирования*. При этом *признаки районирования* этот же автор определяет как *выбранные и обоснованные исследователем критерии или показатели разного содержания, на основе которых производятся выявление и отграничение совокупности индивидуальных территориальных элементов при региональном районировании, классификация (типизация) территориальных единиц определенного ранга при типологическом районировании или оценка сложности инженерно-геологических условий при оценочном районировании* (Трофимов, 1986). Другими словами, признаки районирования – это качественные или количественные показатели, на основе которых осуществляют выделение территориальных таксономических единиц.

Критический анализ имеющихся по этим вопросам предложений в инженерной геологии и смежных дисциплинах геолого-географического цикла позволил В.Т. Трофимову (1977, 1985) сформулировать следующие основные принципы инженерно-геологического районирования.

1. Районирование должно проводиться по вещественно-морфологическим глубоко инженерно-геологическим признакам, отражающим важнейшие закономерности пространственных изменений инже-

инженерно-геологических условий, обусловленных взаимодействием региональных и зональных геологических факторов.

2. Сумма выделенных при районировании территориальных единиц должна быть равна объему (площади) делимой территории при региональном виде районирования или объему классифицируемого (делимого) понятия в случае типологического и оценочного районирования.

3. При районировании должно соблюдаться требование соразмерности – территориальные комплексы, выделяемые на определенной ступени районирования, должны относиться к одному порядку (рангу).

4. Признаки, по которым проводится деление территории (или классифицируются территориальные единицы), должны выбираться так, чтобы каждая точка (территориальная единица) попадала только в одну из выделяемых категорий.

5. В пределах одной (любой) таксономической единицы все границы единиц следующего более высокого ранга должны проводиться по признакам одного порядка (должно использоваться одно основание деления по принятой в логике терминологии). Классификационный признак может изменяться от одной ступени районирования к другой.

6. Каждая граница между выделяемыми таксономическими единицами должна проводиться по одному вполне определенному классификационному признаку.

При любом виде районирования, в том числе и инженерно-геологическом, очень важным является вопрос о классификационных признаках, поскольку правильный выбор этих признаков по существу определяет содержание и глубину инженерно-геологического районирования. Этот вопрос имеет чрезвычайно принципиальное значение еще и потому, что выбор и систематизация классификационных признаков представляют собой первый этап районирования, предшествующий проведению на карте границ между выделенными таксономическими единицами в тех местах, где эти признаки изменяются (второй этап районирования).

Инженерно-геологические условия являются весьма сложной, многофакторной системой, обладающей большим количеством существенных и второстепенных признаков. Из всего этого многообразия необходимо выбрать те главные признаки, которые в наибольшей степени важны для инженерно-геологической оценки территории. К их числу относятся параметры, характеризующие горные породы, слагающие местность, рельеф, подземные воды, современные геологические процессы и явления. Главнейшими из них, по мнению большинства инженер-геологов, являются признаки, характеризующие распространение комплексов горных пород с присущими им однотипным строением, составом, состоянием и свойствами (Трофимов, 1977).

Классификационные признаки должны учитывать наиболее важные закономерности пространственных изменений инженерно-геологических условий. При установлении очередности признаков в случае использования

многоступенчатых схем районирования на первых его этапах приоритетом пользуются те признаки, которые коррелируют с наибольшим количеством отдельных компонент инженерно-геологических условий и изменение которых особенно резко сказывается на всей обстановке. При дальнейшем, более детальном делении последовательно используются все менее и менее существенные признаки. На каждом этапе районирования важно выбрать один ведущий классификационный признак и по нему проводить границы между территориальными единицами (Трофимов, 1985). При этом следует заметить, что классификационные признаки по своей природе должны быть вещественно-морфологическими, то есть такими, которые можно непосредственно увидеть, описать или измерить. Только на основе таких критериев можно давать инженерно-геологическую оценку территории и определять способы ее освоения (Трофимов, Аверкина, 2007).

Природа и качество классификационных признаков определяют «подход к районированию». Данное понятие было введено в теорию районирования В.Т. Трофимовым и Д.Г. Зилингом (1995). Подход к районированию – это подход к выбору классификационных признаков. Он определяет качество выбора признаков, его направленность и содержание, отражает концепцию, которой руководствуется исследователь для достижения поставленной цели. Кроме того, набор признаков устанавливается сложностью и неоднородностью инженерно-геологической обстановки, масштабом исследований и степенью изученности территории.

Существуют три принципиально разных подхода к районированию (Трофимов, Аверкина, 2007):

- 1) подход, основанный на учете региональных факторов инженерно-геологических условий;
- 2) подход, основанный на учете зональных геологических факторов инженерно-геологических условий;
- 3) подход, основанный на одновременном (сопряженном) учете региональных и зональных геологических факторов инженерно-геологических условий.

Первый из них обычно реализуется через использование геолого-структурных, морфогенетических или литолого-формационных признаков. Учет геоструктурных факторов осуществляется в соответствии с классификациями тектонических или неотектонических структур и в основном применяется при районировании крупных территорий или на первых этапах районирования отдельных регионов. Геолого-структурные признаки контролируют макроформы рельефа, распространение горных пород определенного состава, условия их залегания, строение гидрогеологических структур, характер и интенсивность проявления эндогенных и экзогенных геологических процессов.

Морфогенетические признаки используются при районировании отдельных регионов и более мелких территориальных единиц, причем на

разных этапах. По морфогенетическим признакам ограничиваются территории развития аккумулятивных, денудационно-аккумулятивных, денудационных, эрозионно-аккумулятивных, эрозионных и структурно-денудационных форм рельефа (Трофимов, Зилинг, 1995).

Использование данных признаков в инженерно-геологических целях объясняется тем, что они позволяют обособить территории, которые отличаются по степени дренированности, взаимосвязи грунтовых и более глубоких водоносных горизонтов и типам их режима, морфометрическим характеристикам рельефа, наборам и интенсивности современных экзогенных процессов.

Литолого-формационные (или вещественные) признаки обычно применяют на заключительных этапах районирования.

Второй подход предполагает выбор признаков, которые отражают различия в теплообеспеченности и увлажненности территорий. К числу таких признаков относятся современное состояние пород, их температура; глубина залегания, химический состав и агрессивность грунтовых вод; характер и интенсивность экзогенных геологических процессов. Изменение данных параметров носит зональный характер, т.е. они закономерно трансформируются с изменением широты местности в пределах равнинных и платообразных платформенных регионов и с изменением высоты в пределах горно-складчатых областей (Трофимов, 1986). Зональные факторы обычно учитывают при районировании крупных территорий, так как небольшие районы чаще всего оказываются в пределах одной широтной зоны (Трофимов, Аверкина, 2007).

Третий подход предполагает, как следует из его названия, учет на одной ступени районирования одновременно двух факторов: регионального и зонального. Именно такой подход позволяет учесть максимум инженерно-геологической информации, поскольку при использовании только региональных факторов теряется из виду современное состояние пород, а при зональном подходе пропадают сведения об их составе и строении. При последовательном использовании региональных и зональных факторов, конечно, на отдельных этапах районирования обособляются территории по их сочетанию, но при одновременном их учете инженерно-геологическая характеристика становится более полной (Трофимов, Аверкина, 2007).

С вопросом о классификационных признаках и подходах к их выбору тесно связан вопрос о системах районирования. При инженерно-геологических исследованиях обычно используются многоступенчатые схемы районирования, которые позволяют учесть при делении территории (при региональном виде районирования) или делении понятия (при типологическом виде) набор классификационных признаков, вводя их последовательно для единиц все более и более высоких рангов. Однако подходить к классификационным построениям при районировании можно разными спо-

собами, что позволяет выделить две различные системы районирования (Трофимов, 1985).

Наиболее широко используется система однорядного последовательного районирования, предложенная еще Н.И. Николаевым и И.В. Поповым. Правильнее ее следовало бы именовать системой районирования, при которой осуществляется однорядная последовательная классификация региональных или типологических таксономических единиц одного или нескольких уровней. При использовании этой системы районирования предусматривается, в соответствии с предложениями И.В. Попова (1961), выделение следующих соподчиненных таксономических единиц: регион (обособляется по структурно-тектоническому признаку); область (по геоморфологическому признаку); район (по литолого-генетическому признаку); участок (по проявлению экзогенных геологических процессов). В.Т. Трофимов (1977), развивая эти предложения и учитывая важнейшие закономерности зонального изменения инженерно-геологических условий крупных геолого-структурных зон земной коры, расширил гамму таксономических единиц районирования: регион – провинция – зона – подзона – область – район – участок. Согласно этому же автору под инженерно-геологической провинцией понимают крупную часть региона, в пределах которой развиты породы определенного инженерно-геологического класса или определенного по строению сочетания пород разных классов и отличающуюся поэтому от смежных частей всем комплексом инженерно-геологических условий. Среди них В.Т. Трофимовым (1979) выделены два типа: провинция распространения пород с жесткими и без жестких связей в пределах континентальной (наземной) части региона и провинция распространения пород и осадков без жестких связей в пределах морской (подводной) части региона. Первый тип включает три вида провинций: 1) преимущественного распространения пород с жесткими связями, локально перекрытых маломощным чехлом дисперсных грунтов; 2) распространения пород с жесткими связями, перекрытых породами без жестких связей; 3) преимущественного распространения пород без жестких связей. Второй тип провинций подразделяется на два вида: 1) преимущественного распространения осадков (без жестких связей) и 2) распространения пород с жесткими и без жестких связей, перекрытых чехлом молодых осадков. Типы инженерно-геологических провинций в процессе районирования целесообразно выделять в ранге провинций, а виды – в ранге подпровинций.

Инженерно-геологическая зона – это крупная часть провинции, в пределах которой современное состояние пород в разрезе грунтовой толщи, обусловленное главным образом особенностями фазового состояния воды в них, является достаточно однотипным с инженерно-геологических позиций и регионально выдержанным. По В.Т. Трофимову (1979) выделяются три типа зон, каждый из которых объединяет два вида. Основными типами являются: 1) зона практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород,

2) зона совместного распространения многолетнемерзлых и талых пород, 3) зона распространения талых и немерзлых пород. Первый тип включает в качестве видов зону практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород и зону распространения ледников и многолетнемерзлых пород; второй – зону массивно-островного и островного распространения многолетнемерзлых пород и зону редкоостровного распространения многолетнемерзлых пород; третий – зону распространения сильноувлажненных пород и зону распространения слабо- и умеренноувлажненных пород. Типы зон при районировании обособляются в ранге инженерно-геологических зон, а виды – в ранге инженерно-геологических подзон. В качестве подзоны при таком подходе выделяется крупная часть инженерно-геологической зоны, в пределах которой состояние пород грунтовой толщи вполне определенно, отлично от смежных частей этой же зоны и регионально выдержано (Трофимов, 1985).

Рассмотренные выше единицы основные, но нередко используют дополнительные таксономические единицы, в качестве которых выступают регионы и области второго и более высоких порядков, подрайоны и т.д.

Каждая из названных таксономических единиц выделяется по одному определенному классификационному признаку. При этом общность выделенных единиц по этому признаку будет только относительная. Каждой из них свойственны особенности, которые на данной ступени можно рассматривать как несущественные, не подлежащие учету. Чем подробнее по рангу таксономические единицы, тем больше будет их однородность. В связи с этим наибольший диапазон изменения инженерно-геологических условий характерен для регионов, наименьший – для участков.

Степень дифференциации территории при районировании связана с характером ее изученности, сложностью структуры инженерно-геологических условий и масштабом исследований. При мелко- и среднемасштабных (1:100000 и мельче) исследованиях с целью использования рассматриваемой системы районирования выделяют все таксономические единицы до инженерно-геологического района включительно; на схемах районирования масштаба 1:50000–1:25000 обычно удается обособить области, районы и подрайоны, а на крупномасштабных схемах (1:10000 и крупнее) – районы, подрайоны и главное – участки (Трофимов, 1977).

С 1970-х годов в практике инженерно-геологических работ стала использоваться двухрядная перекрестная система районирования, при которой собственно инженерно-геологические территориальные единицы, обладающие однородностью по тем или иным признакам, представляют собой как бы клетки таблицы, по осям которой отложены классификационные признаки (по одной оси, как правило, региональные геологические, по другой – зонально-геологические факторы инженерно-геологических условий). Такая система особенно удобна для типологического районирования (Трофимов, 1985).

4.2. КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ И СХЕМА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Как было показано в главе 1, к настоящему времени создано несколько карт и схем общего инженерно-геологического районирования территории Беларуси, составленных до уровня районов и подрайонов (рис. 4.2–4.5). Анализ этих графических материалов позволяет говорить о том, что всем им свойственен ряд недостатков, в частности, отсутствуют четко сформулированные классификационные признаки и, главное, не соблюдены важнейшие методические положения (принципы), которые являются обязательными при проведении любого типа районирования. Кроме того, все схемы районирования основаны на учете изменчивости лишь региональных геологических факторов инженерно-геологических условий (геологического строения и геоморфологических условий). Зональные геологические факторы (гидрогеологические особенности, современные экзогенные геологические процессы и явления и т.п.) при районировании, как правило, учитывались косвенно, без анализа закономерностей их пространственной изменчивости.

Практически во всех схемах нарушены главные принципы полноты деления, целостности, однородности и взаимности таксономических единиц районирования. Например, одна инженерно-геологическая область, выделенная как единица индивидуальная, располагается в нескольких регионах (рис. 4.2, 4.3, 4.5), что противоречит формальной логике.

Резюмируя вышесказанное, можно отметить, что система подхода к инженерно-геологическому районированию территории страны требует совершенства, а это, на наш взгляд, является необходимым и достаточным условием для создания более объективной, учитывающей множество факторов, схематизации инженерно-геологических условий рассматриваемой территории (Галкин, 2006).

Инженерно-геологическое районирование территории Беларуси нами выполнено по схеме однорядного последовательного районирования до уровня инженерно-геологических районов и по своему содержанию является смешанным.

В качестве таксономической единицы наиболее высокого ранга нами рассматривается инженерно-геологический регион второго порядка. Таких регионов на схеме выделено два – Воронежско-Тверская антеклиза и Балтийско-Белорусская синеклиза (рис. 4.6), отвечающие крупным новейшим структурам западной части Восточно-Европейской платформы. При этом, выделяя инженерно-геологические регионы по неотектоническим структурам, мы руководствовались следующими обстоятельствами.

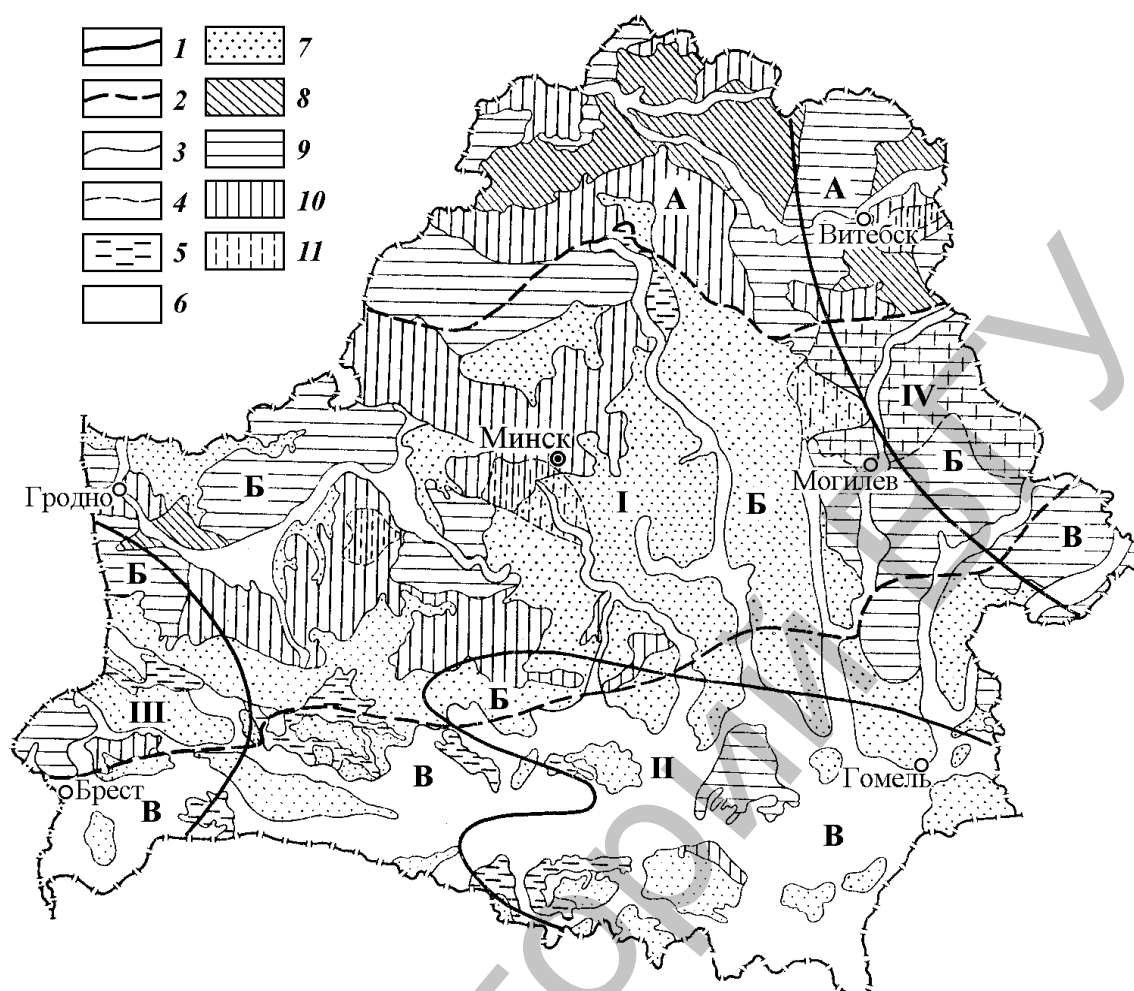


Рис. 4.2. Схема инженерно-геологического районирования Белорусской ССР (по Н.С. Юрцевой и С.П. Гудаку, 1977).

Границы: 1 – регионов; 2 – областей; 3 – районов; 4 – подрайонов. Районы преимущественного развития: 5 – 1-й – торфяно-илистых пород геолого-генетического комплекса озерно-болотных отложений; 6 – 2-й – песчаных пород геолого-генетического комплекса аллювиальных отложений долин рек; 7 – 3-й – песчаных пород геолого-генетического комплекса флювиогляциальных отложений; 8 – 4-й – ленточных глин и песчаных пород геолого-генетического комплекса озерно-ледниковых отложений; 9 – 5-й – суглинисто-обломочных пород геолого-генетического комплекса основной морены; 10 – 6-й – суглинисто-обломочных и песчано-глинистых пород геолого-генетического комплекса краевых образований. 11 – а – подрайон развития лессовидных пород.

Регионы: I – Белорусский массив и его склоны, II – Припятская впадина, III – Брестская впадина, IV – Оршанская впадина. Области: А – развития свежего, преимущественно ледниково-аккумулятивного рельефа валдайского оледенения, Б – развития заметно денудированного ледниково-аккумулятивного рельефа московского (сожского) оледенения, В – развития сильно денудированного останцового ледниково-аккумулятивного рельефа днепровского оледенения

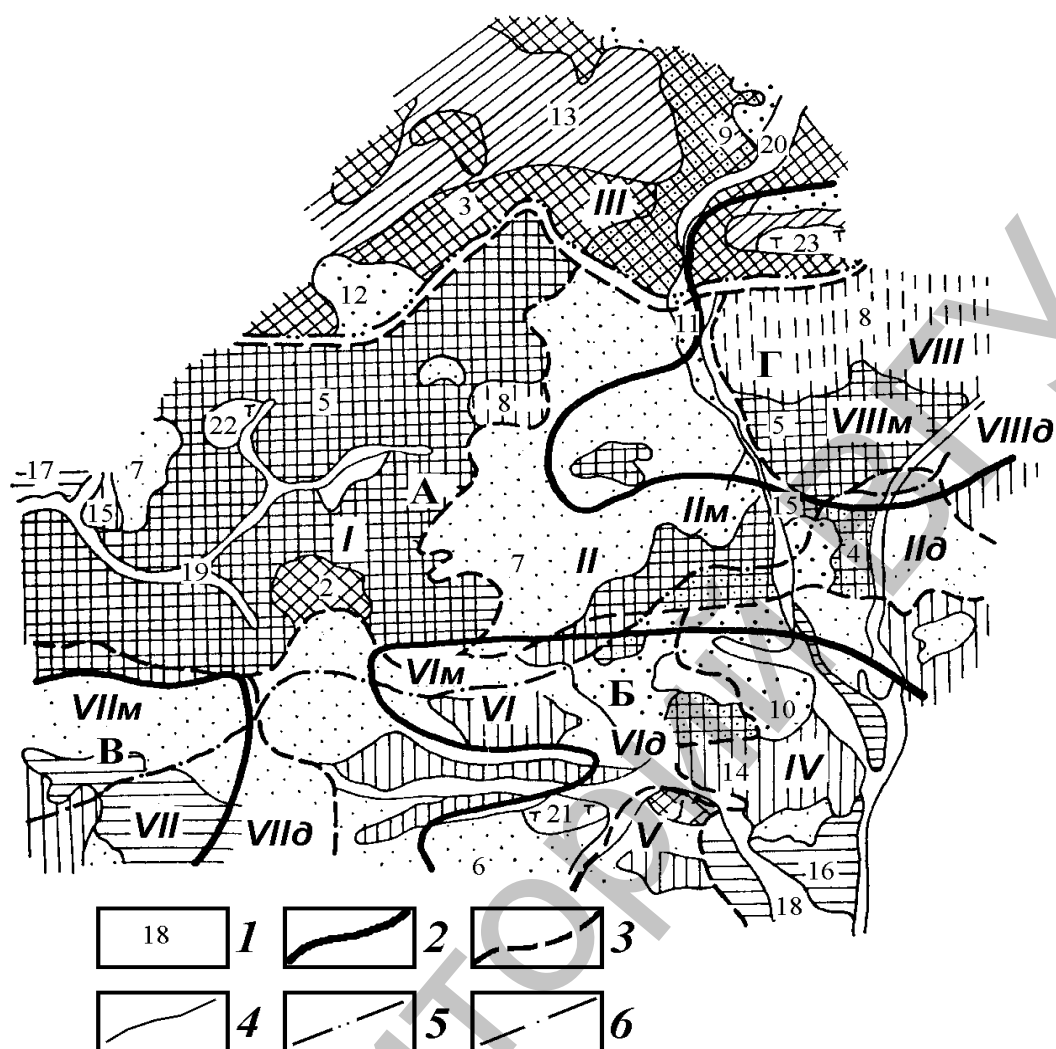
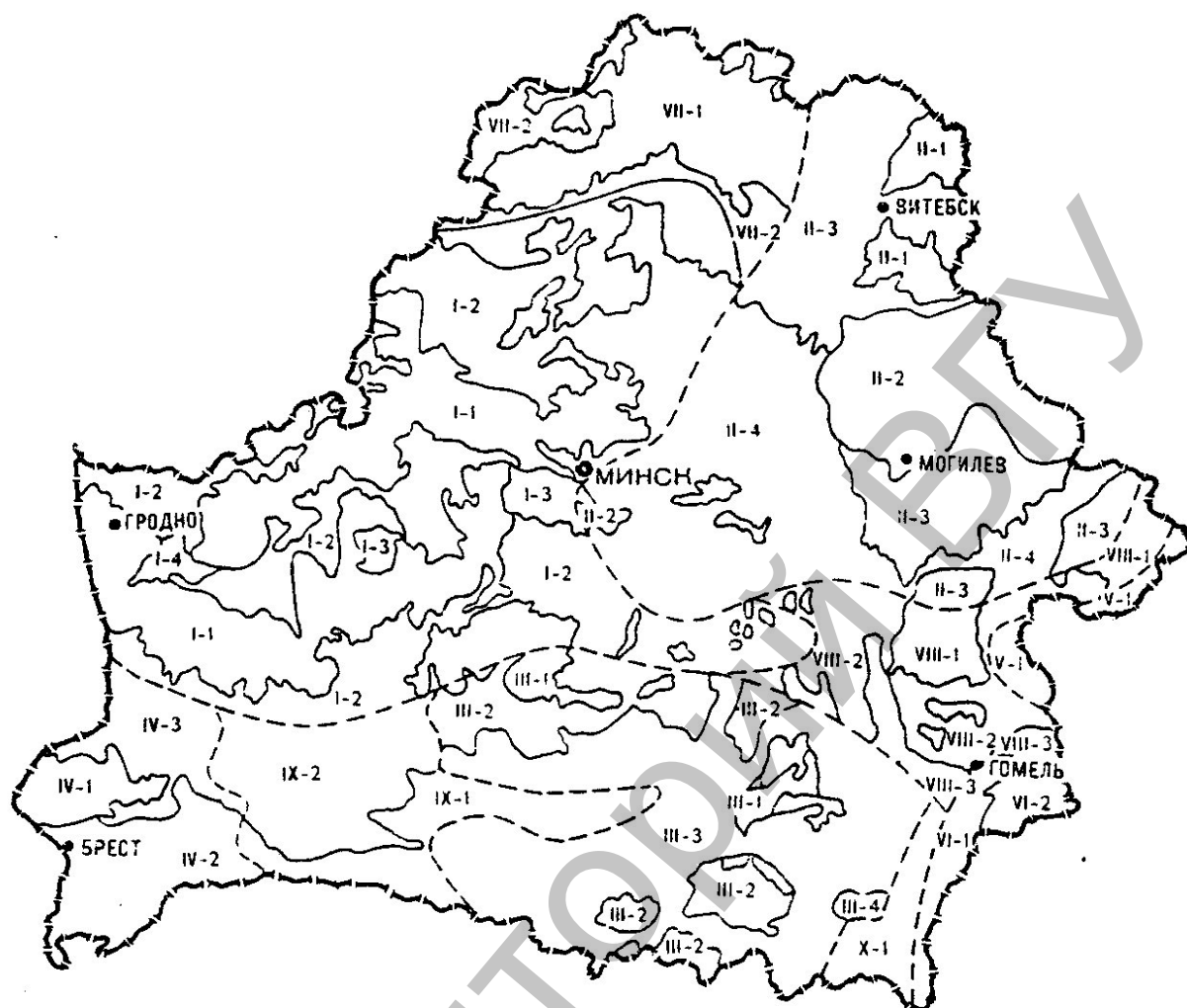


Рис. 4.3. Схема инженерно-геологического районирования территории Беларуси (по Г.А. Колпашникову, 1982).

Инженерно-геологические регионы, приуроченные к структурным элементам первого порядка: А – Центрально-Белорусский (Белорусская антеклиз и сопредельные с ней седловины – Латвийская, Жлобинская и Полесская); Б – Припятский (Припятская впадина); В – Брестский (восточная часть Подляско-Брестской впадины); Г – Оршанский (Оршанская впадина); инженерно-геологические провинции: I – Белорусская гряда; II – Центрально-Березинская равнина; III – Белорусское Поозерье; IV – Гомельское Полесье; V – Мозырское Полесье; VI – Припятское Полесье; VII – Брестское Полесье; VIII – Оршанско-Могилевское плато; инженерно-геологические зоны: IIм – Центрально-Березинская равнина в границах московского оледенения; IIд – то же в границах днепровского оледенения; VIм – Припятское Полесье в границах московского оледенения; VIд – то же в границах днепровского оледенения; VIIм – Брестское Полесье в границах московского оледенения; VIIд – то же в границах днепровского оледенения; VIIIм – Оршанско-Могилевское плато в границах московского оледенения; VIIIд – то же в границах днепровского оледенения; 1 – индекс инженерно-геологических областей распространения покровных отложений; 2 – границы инженерно-геологических регионов (структурных элементов первого порядка); 3 – границы инженерно-геологических провинций; 4 – границы инженерно-геологических областей; 5 – граница поозерского оледенения; 6 – граница сожского оледенения



Инженерно-геологическая область	Инженерно-геологический район	Тип разреза	Вид грунта	Нормативные значения показателей физических свойств и параметров зондирования							Нормативные значения показателей механических свойств		
				w	ρ	e	w_L	I_p	P_d	q_3	c	φ	E
I. Центральнo-Белорусский массив	1. Моренные глинистые грунты		а) супеси моренные верхней зоны	12,3	2,16	0,40	20,0	6,6	2,8	2,4	0,26	28	16
			б) супеси моренные нижней зоны	10,6	2,24	0,34	17,3	6,4	11,2	12,0	0,60	29	42
			в) пески межморенные	6,2	1,71	0,67	—	—	6,8	6,4	0,01	32	30
	2. Флювиогляциальные песчаные грунты		а) пески флювиогляциальные	5,1	1,75	0,62	—	—	6,1	8,6	0,01	32	33
			б) супеси моренные верхней зоны	12,0	2,17	0,42	19,3	6,4	29	1,5	0,24	28	13
			в) супеси моренные нижней зоны	11,2	2,22	0,35	18,2	6,8	12,5	11,0	0,67	29	46

Рис. 4.4. Схематическая карта типологического инженерно-геологического районирования отложений ледникового комплекса Беларуси и легенда к ней (по И.А. Буселу, 1989)

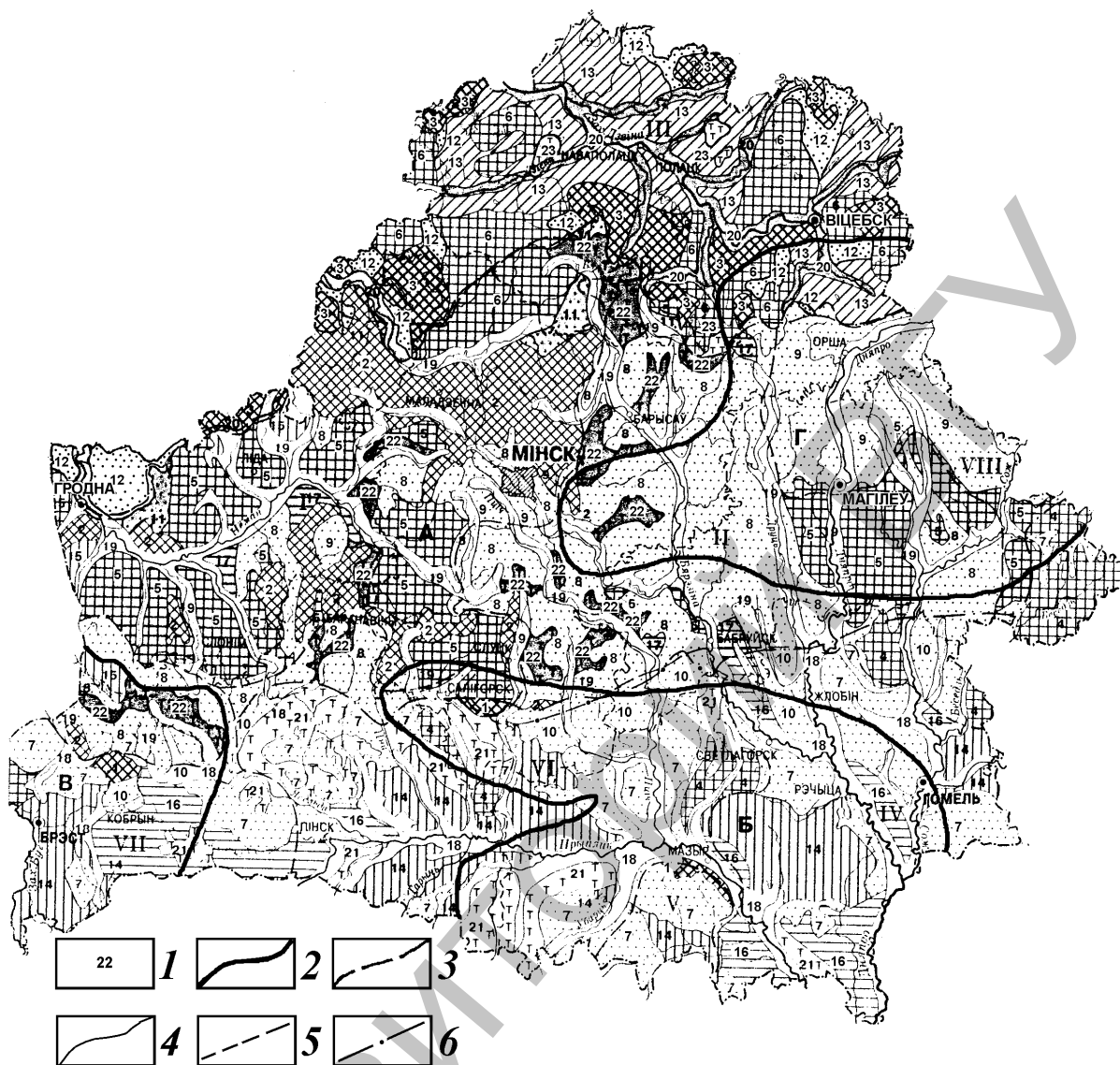


Рис. 4.5. Схема инженерно-геологического районирования территории Беларуси
(по Г.А. Калпашнікаву, 2002).

Инженерно-геологические регионы: А – Центрально-Белорусский (Белорусский массив и его склоны, Латвийская, Жлобинская и Полесская седловины); Б – Припятский (Припятский прогиб, Брагинско-Лоевская седловина); В – Брестский (Подляско-Брестская впадина); Г – Оршанский (Оршанская впадина); инженерно-геологические области: I – Белорусская гряда; II – Центральноберезинская равнина; III – Белорусское Поозерье; IV – Гомельское Полесье; V – Мозырское Полесье; VI – Припятское Полесье; VII – Брестское Полесье; VIII – Оршанско-Могилевская равнина; 1 – индекс инженерно-геологических районов распространения покровных отложений; 2 – границы инженерно-геологических регионов; 3 – границы инженерно-геологических областей; 4 – границы инженерно-геологических районов; 5 – граница поозерского оледенения; 6 – граница сожской стадии припятского оледенения

На неотектоническом этапе структурный план территории Беларуси, сформировавшийся в мезозое и начале кайнозоя, подвергся существенной перестройке (см. п. 2.1). Это выразилось, главным образом, в поднятии крупных неотектонических структур по периферии области древнематериковых оледенений плейстоцена (Украинской и Воронежско-Тверской антеклиз и др.) и заложении в среднеплейстоценовое время Балтийской системы грабенообразных понижений. Последнее привело к оформлению крупной новейшей структуры – Балтийско-Белорусской синеклизы, на юго-восточном крыле которой расположена значительная часть территории Беларуси (Гарецкий и др., 2001). Во многих случаях граница между указанными структурами хорошо фиксируется по поверхности коренных пород в виде уступов (Нечипоренко, 1989). Кроме того, неотектонические структуры довольно существенно отличаются друг от друга по характеру строения коренной основы, гидрогеологическим условиям, проявлению экзогенных геологических процессов. Так, например, в пределах Воронежско-Тверской антеклизы по сравнению с другими структурами наиболее активно проявляют себя суффозионные и карстовые (голоценовый карст) процессы, просадочные явления, менее выражены заболачивание, дефляция и др. В то же время в пределах Балтийско-Белорусской синеклизы обширные территории подвержены болотообразовательным и эоловым процессам.

Поэтому, принимая во внимание рассмотренные выше обстоятельства, выделение на территории Беларуси инженерно-геологических регионов второго порядка можно считать достаточно обоснованным, причем в данном случае понятие «инженерно-геологический регион» не противоречит его содержанию. По А.А. Маккавееву (1971), «инженерно-геологический регион – наиболее крупное подразделение при инженерно-геологическом районировании, охватывает территорию какой-либо структуры. Выделяется по общности основных признаков, характеризующих строение коренной основы, поверхностных отложений, гидрогеологические условия, геоморфологическую обстановку и геологические процессы».

В свою очередь в каждом регионе в зависимости от характера пород, активно вовлеченных в инженерно-хозяйственную деятельность, можно выделить провинции. В обоих регионах это провинция распространения пород и осадков без жестких связей (табл. 4.2).

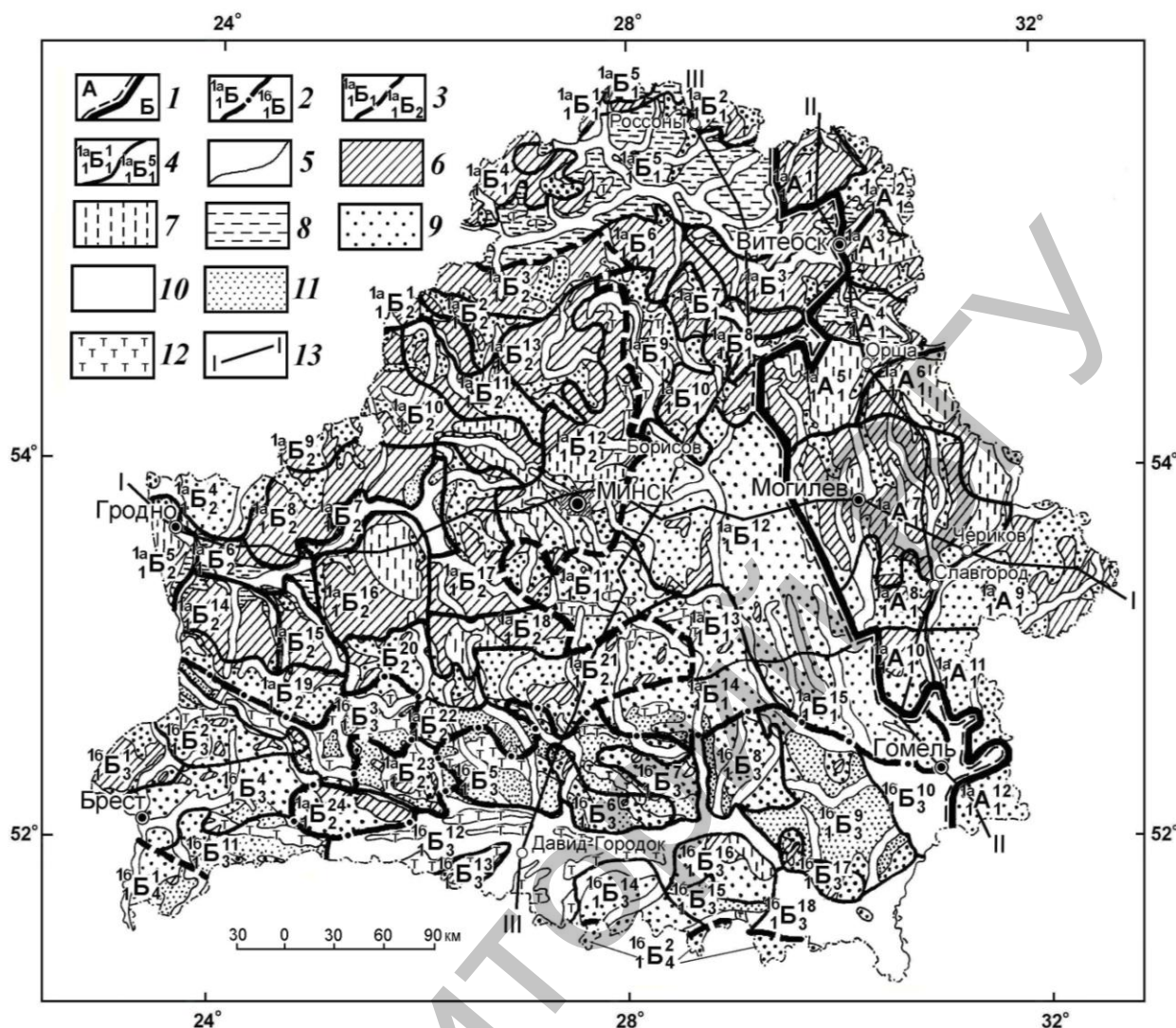


Рис. 4.6. Схематическая карта инженерно-геологического районирования территории Беларуси (по А.Н. Галкину, 2006, 2014).

1 – граница инженерно-геологических регионов второго порядка; 2 – границы и индексы инженерно-геологических подзон; 3 – границы и индексы инженерно-геологических областей первого порядка; 4 – границы и индексы инженерно-геологических областей второго порядка; 5 – границы инженерно-геологических районов. Районы развития отложений: 6 – моренных (суглинки, супеси валунные, пески, песчано-гравийные породы); 7 – лессовидных (супеси, суглинки); 8 – ледниково-озерных (ленточные глины, суглинки, пески); 9 – водно-ледниковых (пески, песчано-гравийные породы, супеси); 10 – аллювиальных (пески, песчано-гравийные породы, супеси, суглинки, илы); 11 – озерно-аллювиальных (пески, супеси, суглинки); 12 – болотных (торф, илы). 13 – линия геологического разреза

В каждой провинции по характеру современного состояния пород верхней части геологического разреза выделена зона распространения талых и немерзлых пород с подзонами, причем в пределах Балтийско-Белорусской синеклизы выделено две подзоны – развития слабо- и умеренноувлажненных пород и развития сильноувлажненных пород. Последняя расположена на юге региона и морфологически тяготеет к Полесской низменности, где 70% территории характеризуется высоким (менее 2 м от поверхности земли) положением уровня грунтовых вод. В пределах же Воронежско-Тверской антеклизы обособлена лишь одна подзона развития слабо- и умеренноувлажненных пород (рис. 4.6, табл. 4.2).

По геоморфологическому признаку в каждой подзоне выделены инженерно-геологические области первого и второго порядка. При обособлении первых ведущим признаком послужили морфогенетические и морфоструктурные особенности, а для областей второго порядка – морфологические и морфометрические показатели рельефа. Границы между областями разного порядка нами проведены в соответствии со схемой структурно-геоморфологического районирования (рис. 2.10).

Выделение инженерно-геологических районов внутри областей второго порядка было проведено по различию геологического строения, обусловленного наличием в кровле разреза четвертичных отложений пород разных геолого-генетических комплексов. Границы районов совпадают с границами распространения первых от поверхности геолого-генетических комплексов пород (рис. 4.6).

Следует заметить, что на приведенной схеме районирования с учетом масштаба картирования инженерно-геологические районы выделены, в основном, по генетическому признаку и носят несколько обобщенный характер. При картировании более крупного масштаба при их выделении предусматривается учитывать не только генетические особенности отложений, слагающих тот или иной геоморфологический элемент рельефа, но и их возрастную принадлежность, литологические особенности, а также возможные сочетания и соотношения толщ различного возраста, генезиса и состава (Галкин, 2007).

В заключение отметим, что новый вариант схематической карты районирования территории Беларуси в наибольшей степени, по сравнению с ранее опубликованными картами и схемами, отвечает как современному состоянию знаний об инженерно-геологических условиях страны, так и потребностям практики, в частности, для региональной оценки развития литотехнических систем и их типизации.

Таблица 4.2

Систематика таксономических единиц инженерно-геологического районирования территории Беларуси
(по А.Н. Галкину, 2009)

Инженерно-геологический регион второго порядка	Инженерно-геологическая провинция	Инженерно-геологическая зона/подзона	Инженерно-геологические области		Индекс области на карте	
			первого порядка	второго порядка		
1	2	3	4	5	6	
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	Область Городокской краевой ледниковой возвышенности	$1a_1A_1^1$
					Область Суражской озерно-ледниковой равнины	$1a_1A_1^2$
					Область Витебской краевой ледниковой возвышенности	$1a_1A_1^3$
					Область Лучосинской ледниково-озерной равнины	$1a_1A_1^4$
					Область Оршанской краевой ледниковой возвышенности	$1a_1A_1^5$
					Область Горецкой моренной равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$1a_1A_1^6$
					Область Могилевской водно-ледниково-моренной равнины	$1a_1A_1^7$
					Область Славгородской водно-ледниково-моренной равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$1a_1A_1^8$
					Область Костюковичской моренно-водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$1a_1A_1^9$
					Область Чечерской моренно-водно-ледниковой равнины	$1a_1A_1^{10}$
					Область Светиловичской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$1a_1A_1^{11}$
					Область Тереховской водно-ледниковой равнины	$1a_1A_1^{12}$

Продолжение табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
Б. Балтийско-Белорусская синеклиза	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 субгоризонтальных равнин	Область Освейской краевой ледниковой гряды	$1a_1B_1^1$
				Область Заборской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$1a_1B_1^2$
				Область Шумилинской моренной равнины	$1a_1B_1^3$
				Область Браславской краевой ледниковой возвышенности	$1a_1B_1^4$
				Область Полоцкой озерно-ледниковой низины	$1a_1B_1^5$
				Область Ушачской краевой ледниковой возвышенности	$1a_1B_1^6$
				Область Чашникской водно-ледниковой низины	$1a_1B_1^7$
				Область Сенненской моренной равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$1a_1B_1^8$
				Область Верхнеберезинской водно-ледниковой равнины	$1a_1B_1^9$
				Область Лукомльской краевой ледниковой возвышенности	$1a_1B_1^{10}$
				Область Пуховичской водно-ледниковой равнины	$1a_1B_1^{11}$
				Область Центральнoберезинской водно-ледниковой равнины	$1a_1B_1^{12}$
				Область Бобруйской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$1a_1B_1^{13}$
				Область Светлогорской моренно-водно-ледниковой низины	$1a_1B_1^{14}$
				Область Стрешинской водно-ледниковой низины	$1a_1B_1^{15}$

Продолжение табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
			2. Область структурно-денудационных равнин	Область Свирской краевой ледниковой гряды	$1a_1B_2^1$
				Область Нарочанской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$1a_1B_2^2$
				Область Свенцяньских краевых ледниковых гряд	$1a_1B_2^3$
				Область Озерской водно-ледниковой низины	$1a_1B_2^4$
				Область Гродненской краевой ледниковой возвышенности	$1a_1B_2^5$
				Область Скидельской озерно-ледниковой низины	$1a_1B_2^6$
				Область Любчанской водно-ледниковой низины	$1a_1B_2^7$
				Область Лидской моренной равнины	$1a_1B_2^8$
				Область Вороновской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$1a_1B_2^9$
				Область Ошмянских краевых ледниковых гряд	$1a_1B_2^{10}$
				Область Вилейской моренно-водно-ледниковой низины	$1a_1B_2^{11}$
				Область Минской краевой ледниковой возвышенности	$1a_1B_2^{12}$
				Область Кривичской моренной равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$1a_1B_2^{13}$
				Область Волковысской краевой ледниковой возвышенности	$1a_1B_2^{14}$
				Область Слонимской краевой ледниковой возвышенности	$1a_1B_2^{15}$
				Область Новогрудской краевой ледниковой возвышенности	$1a_1B_2^{16}$
				Область Столбцовой моренной равнины	$1a_1B_2^{17}$
				Область Копыльских краевых ледниковых гряд	$1a_1B_2^{18}$
				Область Коссовской водно-ледниковой равнины	$1a_1B_2^{19}$
				Область Барановичской водно-ледниковой равнины	$1a_1B_2^{20}$
				Область Солигорской моренно-водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$1a_1B_2^{21}$

Продолжение табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
				Область Люсиновской водно-ледниковой равнины	$1a_1B_2^{22}$
				Область Логишинской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$1a_1B_2^{23}$
				Область краевых ледниковых образований и водно-ледниковой равнины Загородья	$1a_1B_2^{24}$
		б. Подзона развития сильноувлажненных пород	3. Область пластово-аккумулятивных равнин и заболоченных аллювиальных и озерно-аллювиальных низин	Область Высоковской водно-ледниково-моренной равнины	$16_1B_3^1$
				Область Пружанской моренно-водно-ледниковой равнины	$16_1B_3^2$
				Область Наревско-Ясельдинской озерно-аллювиальной низины	$16_1B_3^3$
				Область Брестской водно-ледниковой равнины	$16_1B_3^4$
				Область Случско-Оресской озерно-аллювиальной низины	$16_1B_3^5$
				Область Житковичской водно-ледниковой низины	$16_1B_3^6$
				Область Ветчинской водно-ледниковой низины с краевыми ледниковыми образованиями	$16_1B_3^7$
				Область Озаричской моренно-водно-ледниковой низины	$16_1B_3^8$
				Область Василевичской водно-ледниковой и озерно-аллювиальной низины	$16_1B_3^9$
				Область Речицкой аллювиальной низины	$16_1B_3^{10}$
				Область Верхнеприпятской озерно-аллювиальной низины	$16_1B_3^{11}$

Окончание табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
				Область Лунинецкой аллювиальной низины	$^{16}_{1}B_3^{12}$
				Область Столинской водно-ледниковой равнины	$^{16}_{1}B_3^{13}$
				Область Лельчицкой водно-ледниковой равнины	$^{16}_{1}B_3^{14}$
				Область Уборть-Словечненской озерно-аллювиальной низины	$^{16}_{1}B_3^{15}$
				Область Мозырской краевой ледниковой возвышенности	$^{16}_{1}B_3^{16}$
				Область Хойникской водно-ледниковой низины с краевыми ледниковыми образованиями	$^{16}_{1}B_3^{17}$
				Область Комаринской аллювиальной низины	$^{16}_{1}B_3^{18}$
			4. Область цокольных равнин	Область Малоритской водно-ледниковой равнины	$^{16}_{1}B_4^1$
				Область водно-ледниковых равнин Украинского Полесья	$^{16}_{1}B_4^2$

ГЛАВА 5

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ БЕЛАРУСИ

Инженерная геология отличается от других геологических наук не только тем, что имеет свой подход к изучению традиционных геологических объектов, но и тем, что имеет дополнительный специфический предмет исследований – литотехнические системы, под которыми понимают *любые комбинации из технических устройств или технических продуктов их использования и литосферных блоков любой размерности, элементы которых взаимодействуют друг с другом и объединяются единством выполняемой социально-экономической функции*⁴.

В своей сущности ЛТС – это организованные, открытые, динамические и управляемые системы. Их пространственные границы совпадают с границами изменения компонентов инженерно-геологических условий: рельефа, горных пород, подземных вод, геологических процессов. При этом контуры зоны влияния технических объектов могут проходить внутри геологических границ или совпадать с ними.

По уровню организации, как известно, выделяют элементарные, локальные, региональные и глобальные ЛТС. Элементарные ЛТС включают единичное сооружение (или здание) и массив пород в зоне его влияния. Границы этой зоны нередко проходят внутри границ геологических тел и совпадают, например, с зоной уплотнения пород в основании сооружений.

Комплекс сооружений (например, город и т.п.) и объем литосферы в пределах его влияния образуют ЛТС локального уровня. Другими словами, локальные ЛТС представляют собой комплекс элементарных ЛТС, которые обычно граничат друг с другом или пересекаются. Благодаря этому, как отмечает Г.К. Бондарик (2004), в локальных ЛТС часть литосферы, взаимодействующая с комплексом сооружений, не имеет разрыва непрерывности и представляет собой связную область геологического пространства. Границы зоны влияния сооружений в локальных ЛТС, в отличие от элементарных, чаще всего контролируются геологическими границами.

Региональные ЛТС объединяют комплекс локальных ЛТС, приуроченных к какому-либо региону. Локальные составляющие в пределах региональной ЛТС могут граничить и пересекаться, но могут непосредственно между собой и не взаимодействовать. Локальные ЛТС иногда как бы «вкраплены» в природную подсистему региональной ЛТС, не представляют связную область пространства и объединяются не прямыми, а опосредованными связями.

⁴Более подробная информация о литотехнических системах и их структурно-функциональных особенностях приведена во второй части издания: Галкин, А.Н. Инженерная геология Беларуси: в 3 ч. / А.Н. Галкин и др. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2017. – Ч. 2: Инженерная геодинамика Беларуси / под науч. ред. В.А. Королева. – 452 с.

Региональные ЛТС являются, в свою очередь, составной частью глобальных ЛТС. Иногда выделяют ЛТС национального уровня, пространственные контуры которых проводятся по государственным границам (Трофимов, Аверкина, 2007).

Исходя из вышесказанного, территорию Беларуси можно представить как крупную литотехническую полисистему (или ЛТС национального уровня организации), дифференцируемую на системы низшего порядка, различающиеся пространственными и временными границами, структурой, функциями, свойствами и состоянием. Причем каждая из них претерпевает и способна вызывать как обратимые, так и необратимые изменения в геологической среде. Сами ЛТС тем или иным образом видоизменяются, развиваются и эволюционируют, достигая либо позитивного устойчивого, либо негативного неустойчивого состояния, чреватого опасными последствиями.

Указанные обстоятельства обуславливают разные особенности их изучения. С другой стороны, это вызывает необходимость их систематизации и классифицирования. К настоящему времени вопросы систематизации подобных систем несколько лучше разработаны в области географии и природопользования (Емельянов, 2004; Охрана ..., 1982). Однако из-за различных подходов к классифицированию общепринятой их классификации не существует (Галкин, 2014).

Нет единого подхода к типизации и классифицированию ЛТС и в инженерной геологии. Имеются лишь отдельные работы, посвященные в той или иной степени этому вопросу. Так, например, в книге Г.К. Бондарика и Л.А. Ярз (2008) приводится характеристика природно-технических систем (ПТС) для различных структурных уровней: элементарного, локального и регионального. В качестве показателей характеристики этих систем авторы предлагают рассматривать компоненты области геологической среды (литосферы), особенности взаимодействия природной и техногенной составляющих системы, экзогенные геологические процессы, границы, режим и методы прогноза функционирования ПТС, а также организационную структуру, в рамках которой осуществляются прогноз функционирования и управление ими.

Другим примером может послужить типизация литотехнических систем Л.А. Куркиной (2006), выполненная применительно к Каратаускому фосфоритовому бассейну (табл. 5.1). Данная типизация предполагает учитывать ряд факторов, среди которых основными являются условия (техногенный литогенез и/или техногенный гипергенез) и время (существующие или планируемые) функционирования ЛТС, а также характер (горно-рудничная и инженерно-хозяйственная деятельность) и виды (карьерный, подземно-рудничный, промышленный, селитебный, водный, дорожный, сельскохозяйственный и др.) хозяйственной деятельности человека.

Таблица 5.1

Типизация ЛТС Каратауского фосфоритового бассейна (по Л.А. Куркиной, 2006)

Наименования			Таксоны			
Первичные		Классы	Под-классы			
существующие, сформировавшие взаимодействия в непосредственной зоне	Под влиянием воздействий	ГР	Карьерные. Подземно-рудничные. Отвальные (твердые, жидкие). Осушительные. Карьерно-подземно-рудничные, осушительные.	I ₁ . I ₂ . I _{3, 4} . I ₅ . I _{1,5-2,5}		
			ИХ	Промышленные. Селитебные. Водные. Дорожные. Сельскохозяйственные.	I _п . I _с . I _в . I _д . I _{сх} .	
				совместно ГР и ИХ	Карьерно-промышленные. Подземно-руднично-селитебные. Отвальные твердые, дорожные; жидкие, водные. Осушительно-сельскохозяйственные. Карьерно-дорожные и др.	I _{1, п} I _{2, с} I _{3, д} . I _{4, в} . I _{5, сх} I _{1, д}
		опосредованной зоне	Под влиянием воздействий	ГР	Карьерные. Подземно-рудничные. Отвальные (твердые, жидкие). Осушительные. Карьерно-подземно-рудничные, осушительные.	0-I ₁ . 0-I ₂ . 0-I _{3, 4} . 0-I ₅ . 0- I _{1,5-2,5}
				ИХ	Промышленные. Селитебные. Водные. Дорожные. Сельскохозяйственные.	0-I _п . 0-I _с . 0-I _в . 0-I _д . 0-I _{сх} .
				совместно ГР и ИХ	Карьерно-подземно-рудничные, промышленные. Карьерно-подземно-рудничные, сельскохозяйственные. Отвальные твердые, дорожные. Отвальные жидкие, водные. Осушительно-сельскохозяйственные. Карьерно-дорожные и др.	0-I _{1, 2, п} 0-I _{1, 2, сх} 0-I _{3, д} 0-I _{4, в} 0-I _{5, сх} 0-I _{1, д}
с планируемыми взаимодействиями в зоне непосредственной	Подлежащие обновлению под влиянием последующих воздействий	ГР	Карьерные. Подземно-рудничные. Отвальные (твердые, жидкие). Осушительные.	П ₁ . П ₂ П ₃ . П ₄ . П ₅ .		
			ИХ	Промышленные. Селитебные. Водные. Дорожные. Сельскохозяйственные.	П _п . П _с . П _в П _д . П _{сх} .	
				совместно ГР и ИХ	Карьерно-промышленные. Карьерно-селитебные. Подземно-руднично-промышленные. Осушительно-сельскохозяйственные. Карьерно-дорожные и др.	П _{1, п} . П _{1, с} . П _{2, п} П _{5, сх} П _{1, д}
		опосредованной	Подлежащие обновлению под влиянием последующих воздействий	ГР	Карьерные. Подземно-рудничные. Отвальные (твердые, жидкие). Осушительные.	0-П ₁ . 0-П ₂ . 0-П ₃ , 0-П ₄ . 0-П ₅
				ИХ	Промышленные. Селитебные. Водные. Дорожные. Сельскохозяйственные.	0-П _п . 0-П _с . 0-П _в . 0-П _д . 0-П _{сх}
				совместно ГР и ИХ	Карьерно-промышленные. Карьерно-селитебные. Подземно-рудничные, промышленные. Осушительно-сельскохозяйственные. Карьерно-дорожные и др.	0-П _{1, п} . 0-П _{1, с} . 0-П _{2, п} 0-П _{5, сх} 0-П _{1, д}

Примечания: 1. Код классов и типов ЛТС в непосредственной (римские цифры I, II) и опосредованной (римские цифры 0-I, 0-II) зонах формируется под влиянием горно-рудничных – ГР (арабские цифры 1–5) и инженерно-хозяйственных – ИХ (прописные буквы п, с, в, д, сх) воздействий. 2. Арабскими цифрами обозначены карьерные (1), подземно-рудничные (2), отвальные жидкие (3) и твердые (4), осушительные (5) воздействия; прописными буквами – промышленные (п), селитебные (с), водные (в), дорожные (д), сельскохозяйственные (сх).

Заслуживает внимания классификация ПТС (ЛТС), выполненная для урбанизированных территорий (Справочник .., 1996). Классификация по-

строена на выделении классов, типов и видов ПТС (табл. 5.2), где в основу выделения первых положены функциональные особенности данных систем (промышленно-урбанистическая; сельскохозяйственно-урбанистическая; гидротехническо-урбанистическая), а признаками выделения вторых и третьих послужили характер хозяйственного использования территории (типы) и особенности воздействий на геологическую среду (виды).

Таблица 5.2

Классификация городских ПТС (по Справочник ..., 1996)

Класс	Тип	Вид
Промышленно-урбанистический	Транспортно-коммуникационный	автодорожный; железнодорожный; трамвайно-троллейбусный; авиационный; речной
	Селитебный	малозэтажной застройки; среднеэтажной застройки; высотной застройки
	Индустриально-промышленный	машиностроительный, литейный, приборостроительный; химический и нефтеперерабатывающий; смешанно-промышленный; строительный
	Утилизационный	полигонов ПБТО; мусороперерабатывающий
Сельскохозяйственно-урбанистический	Ирригационно-земледельческий	орошаемых сельскохозяйственных массивов; осушаемых сельскохозяйственных массивов; садово-дачный; фермерских хозяйств
Гидротехническо-урбанистический	Гидротехнический	искусственных водоемов

Определенный интерес представляют типизация литотехнических систем по степени экологической опасности и принципы ее построения, разработанные Т.И. Аверкиной (1997). На основе анализа активных проявлений экологически опасных прямых воздействий технических подсистем и изменений геологических подсистем ЛТС автором определены категории и проведена оценка степени экологической опасности локальных литотехнических систем при функционировании в проектном режиме и аварийных ситуациях.

Анализ всех известных классификаций и типизаций ЛТС (ПТС), рассмотрение возможности их применения для целей инженерной геологии (особенно на региональном уровне) 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, в том числе логические, несоот-

ветствия. В связи с этим нами выполнена типизация ЛТС, функционирующих на территории Беларуси, 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 выполнено классифицирование технических систем (ТС), отличающихся в условиях Беларуси широким многообразием и различной степенью развития. При построении данной классификации авторы руководствовались следующими базовыми положениями (принципами).

В качестве таксономической единицы высшего порядка в классификации технических систем принята *группа* (рис. 5.1, табл. 5.3). В основу ее выделения положен признак прямого или опосредованного воздействия технической системы на геологическую среду при функционировании ЛТС. По этому признаку все многообразие ТС целесообразно разделить на две группы: 1) *собственно техническая система* и 2) *квазитехническая система*. Вторая группа ТС выделяется нами впервые. Обоснованность такого подхода вызвана тем, что ЛТС следует рассматривать не только как комбинацию из технических устройств и геологических тел любой размерности, что присуще собственно технической системе, но и как комплекс, который состоит из технических продуктов, создаваемых различными техническими средствами или устройствами, и части взаимодействующей с ними литосферы. В связи с этим *квазитехническую систему в структуре ЛТС можно определить как систему, выполняющую функцию связующего звена во взаимодействии технического устройства с геологической средой и морфологически выраженную в виде антропогенных ландшафтов или антропизированных экогеосистем*. Под последними, согласно Б.В. Виноградову (1984), понимают порожденные деятельностью человека растительные сообщества, модификации почв, плантации агроценозов и другие антропогенные геосистемы. По структурному (иерархическому) уровню организации «группа ТС» соответствует национальному или региональному уровню.

Следующей таксономической единицей является *класс* технических систем. Состояние ТС первой группы определяется главным образом их инженерными особенностями (например, промышленная или селитебная технические системы), в то время как системы второй группы функционируют преимущественно за счет своей биотической и/или социальной составляющих (например, лесохозяйственная, рекреационная технические системы).

Таблица 5.3

Классификация технических систем (ТС), функционирующих на территории Беларуси (по А.Н. Галкину, 2014)

Группа ТС	Класс ТС	Тип ТС	Вид ТС	Разновидность ТС	Конструктивные элементы ТС	Время «жизни» ТС					Вероятные воздействия ТС на геологическую среду и их интенсивность *																				
						Сезонные, 1-3 мес.	Однолетние, до 1 года	Многолетние, 1-50 лет	Долгосрочные, 50-100 лет	Исторические, >100 лет	Уплотнение	Разуплотнение	Внутреннее разрушение массива	Аккумуляция рельефа	Планировка рельефа	Эрозия рельефа	Гидроаккумуляция рельефа	Гидроэрозия рельефа	Повышение напора	Снижение напора	Электромагнитное	Загрязнение				Гидратное	Кольматирование	Ионно-обменное			
																						тепловое	химическое	радиоактив.	биологич.						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
Собственно техническая система Инженерно-техническая система Горнопромышленная			I. Шахтно-отвальная	A. Наземная конструктивно-перераспределительная	ГОК, отвал, хвостохранилище, шламонакопитель, горная техника и др.			+	+		В			В	В	В	В		В				В								
				Б. Подземная деструктивно-перераспределительная	Шахта, штольня и др. выработки, насосная станция, горная техника и др.			+	+		В	В				В			В												
			II. Карьерно-отвальная	A. Наземная конструктивно-деструктивно-перераспределительная	По добываемому минеральному сырью: 1. Мел, мергель. 2. Глины кирпичные. 3. Глины цементные. 4. Песчано-гравийная смесь. 5. Песок строительный. 6. Песок стекловый, формовочный. 7. Доломит. 8. Камень строит. 9. Бурый уголь	ГОК, карьер, разрез, насосная станция, карьерная техника, отвал и др.			+	+	+	В	В	В	В		В			В				В							
							B. Подземная деструктивно-перераспределительная	Сооружение (буровая установка, компрессор, станция, разводящий трубопровод и т.п.), шламонакопитель, авто-тракторная техн. и др.		+	+		С			В		В		С			В								
			III. Нефтегазопромышленная	B. Подземная деструктивно-перераспределительная	Разведочная, эксплуатационная скважины, нагнетательная скважина (при заводнении), буровая техника и др.		+	+	+			В					В	В		С	В						В	С			
						A. Наземная деструктивно-перераспределительная	Карьер, разрез, карьерная техника		+	+				В	В			В			С										
			IV. Горнопромышленная			A. Наземная деструктивно-перераспределительная	Карьер, разрез, карьерная техника																								

* Интенсивность техногенных воздействий на геологическую среду: Н – низкая, С – средняя, В – высокая

Продолжение табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Промышленная	V. Производственная	А. Наземная деструктивно-конструктивная	1. Энергетическая	Здание ГЭС, ГРЭС, АЭС, ТЭЦ (парогазогенераторная), цехов ремонта энергетич., механич. оборуд., градирня, пруд-охладитель				+	+		В				В				В		В	В	С			В		
			2. Машиностроения и металлообработки	Здание, сооружение цехов: литейного, кузнеч., заготовки шпекты, механич. обработки и штамповки, сборки, окраски, термо-обработки, гальваники и др.				+	+		В				В				С			С	В			С		
			3. Metallургическая	Здание, сооружение цехов: сталеплавильного, прокатного, трубного, метизного, рем.-механ., градирня и др.				+	+		В				В				В			В	В			В		
			4. Химическая	Здание, сооружение цехов: экстракции, упарки, производства серной кислоты, воздушно-компрес. станция, градирня и др.				+	+		В				С				В			С	В			В		
			6. Легкая	Здание цехов: прядильного, ткацкого, пошивочного, ремонтно-механ. и др.				+	+		В				С				С			Н	Н			Н	С	
			7. Пищевая	Здание цехов: переработки, тары, готовой продукции, холодильная установка, печь и др.				+	+		С				С				С			С	Н			С	С	
			8. Деревообрабатывающая	Пилорама, здание цехов: выпуска заготовок, мебельно-сборочного, столярно-строительных изделий, ремонтно-механ. и др.				+	+		В				С				С			Н	Н			С		
			9. Целлюлозно-бумажная	Здание цехов: картонно-бумажного, фильтрокартона, ремонтно-механ., градирня, пруд-отстойник и др.				+	+		В				С				В			С	В			С	С	
			10. Стройматериалов	Здание цехов: сушильного, обжига, формовочного, ремонтно-механического и др., пруд				+	+		В				С				С			В	Н			С		
	VI. Складская	А. Наземная конструктивная	1. Склад, хранилище	Строение, сооружение (нефтеналивные емкости, ангар и др.)				+			Н				С								В					
			2. Технопарк	Здание, строение				+			Н				С													
			3. Свалка	Отвал ТПО, могильник радиационный, шламонакопитель, шламоотвал, очистной пруд, насосная станция				+			С			В		С	В		В			В	В	В	В			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
			XI Жилищно-коммунальная	А. Наземная деструктивно-конструктивная	1. Котельная	Здание, сооружение			+		С											В	С					
					2. Свалка	Отвал ТБО, очистной пруд, насосная станция			+		С		В	С		В					В	В		В				
			XII Автодорожная	А. Наземная деструктивно-конструктивно-перераспределительная		Путь, здание, сооружение, автотехника				+	+	В			В	В							В			В		
			XIII Железнодорожная	А. Наземная деструктивно-конструктивно-перераспределительная		Путь, здание, сооружение (депо), ж/д техника				+	+	В			В	В					С		С					
			XIV Авиационная	А. Наземная деструктивно-конструктивно-перераспределительная		Взлетно-посадочная полоса, здание, сооружение (ангар), авиатехника			+	+	В				В	В							С			В		
			XV Коммуникационная энергетическая	В. Комплексная деструктивно-конструктивно-перераспределительная		ЛЭП, здание, сооружение			+	+	Н										В							
			XVI Промышленно-производственная	В. Комплексная деструктивно-конструктивно-перераспределительная		Магистральный нефте- и газопровод, станция перекачки и др.			+	+			В		В								В					

Продолжение табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
		Водохозяйственная	XVII. Водная	А. Наземная деструктивно-конструктивно-перераспределительная	Речной, мелиоративный канал, пруд, водохранилище			+	+	+					С	В			В	В						С	В	С	
			XVIII. Гидротехническая	А. Наземная конструктивно-перераспределительная	Плотина, дамба			+	+	+	В			В		С		В											
				Б. Подземная деструктивно-конструктивно-перераспределительная	Водопровод, канализация, водозабор, скважина			+	+	+			В					В		В								С	
		Сельскохозяйственно-селитебная	XIX. Усадьбно-дачная	А. Наземная деструктивно-конструктивно-перераспределительная	Здание, строение	+	+	+			Н				С	С				Н				В		В			
		Сельскохозяйственная	XX. Тепличная	А. Наземная деструктивно-конструктивная	Сооружение	+	+	+								Н		С			В			С	С		С		
			XXI. Животно-водческая	А. Наземная деструктивно-конструктивная	Ферма, комплекс, строение			+				С												С			В		
			XXII. Складская	А. Наземная конструктивно-перераспределительная	1. Склад для ядохимикатов, удобрений	Здание, сооружение		+				Н												С	В		В		
					2. Свалка	Бытребная и сипосная ямы, навозохранилище, поля фильтрации и др.		+	+								С							С	В		В		
					3. Механизированный двор, МТС	Строение, сооружение, с/х техника и др.			+			С													В				

Продолжение табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
Квазитехническая система			Сельскохозяйственная			XXIII. Пахотная	А. Наземная деструктивно-репродуктивная перераспределительная			С/х техника, культуры, удобрения					В		В			В			В		В						
Биотехническая система						XXIV. Пахотно-культурно-сенокосная	А. Наземная деструктивно-репродуктивная перераспределительная			С/х техника, культуры, удобрения			+	+	+			С			Н			С			С				
						XXV. Лугово-пастбищная	А. Наземная адаптивно-репродуктивная			Выпас скота			+	+	+					С			Н								
						XXVI. Садовая	А. Наземная деструктивно-репродуктивная			Искусственные насаждения, удобрения, с/х техника					+				С		С			С			С			С	
Лесохозяйственная			XXVII. Лесная	А. Наземная адаптивно-репродуктивная			Искусственные насаждения, л/х техника					+	+	+		С				С			Н		Н						
			XXVIII. Пахотно-лесная	А. Наземная деструктивно-репродуктивная перераспределительная			С/х техника, культуры, удобрения					+	+	+					С			С			В						
			XXIX. Сенокосно-лесо-полевая	А. Наземная адаптивно-репродуктивная			С/х техника			+	+											С									

Окончание табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
Социотехническая система			Рекреационная																										
			XXXXIII. Культурно-мемориальная	В. Комплексная деструктивно-конструктивно-адаптивная	Кладбище, мемориальный комплекс	Захоронение, мемориальное сооружение					+	+	Н	В	В	Н	С									В			
			XXXXII. Заповедно-лесапарковая	А. Наземная конструктивно-адаптивная	Лесопитомник, парк, сквер	Искусственные насаждения, газон, клумба	+	+	+	+	+						С				С								
			XXXXI. Оздоровительная	А. Наземная конструктивно-адаптивная	Турбаза, дом отдыха, санаторий	Здание, сооружение			+	+		С					С						С						
			XXXX. Культурно-заповедная	В. Комплексная конструктивно-адаптивная	Археологический памятник и др.	Сооружение						+	+	Н			С	С	С										

Таким образом, по признаку *доминирующей роли* в функционировании ТС все множество систем в группе «собственно технические системы» составляет класс *«инженерно-техническая система»*, а в группе «квазитехнические системы» – классы *«биотехническая система»* и *«социотехническая система»*, по уровню организации соответствующие региональному уровню. Внутри класса обособляются *типы* технических систем, которые выделяются по выполняемым социально-экономическим функциям (горнопромышленные, селитебные и др.). В своем развитии все они подчиняются социально-экономическим закономерностям. По структурному уровню «тип ТС» может соответствовать как региональному, так и локальному уровню (рис. 5.1).

В зависимости от особенностей хозяйственной деятельности в каждом типе целесообразно выделить *виды* технических систем, различающиеся между собой спецификой функционирования, внутренней структурой или определенным сочетанием элементов ТС, обусловленных либо зональным (географическим) положением территории, либо социально-экономическими и/или социокультурными предпосылками (например, торфяно-промышленная, лесопарковая технические системы). По уровню организации виды ТС соответствуют локальному уровню.

В свою очередь, в видах технических систем предлагается выделять их *разновидности*. За основу обособления разновидностей могут быть приняты *пространственное положение технических объектов по отношению к геологической составляющей ЛТС и их функциональная роль в совокупности с признаками, отражающими индивидуальность* (например, архитектурно-планировочная организация, однородность внутренней структуры и др.). По пространственному положению технические системы могут быть *наземными (А), подземными (Б) и комплексными (В)*; по функциональной роли – *деструктивные, конструктивные, перераспределительные, адаптивные и репродуктивные*, как в отдельности, так и в сочетании (рис. 5.1, табл. 5.3).

Первые три функции технических систем заключаются в извлечении, накоплении и перераспределении вещества и энергии в определенном объеме литосферы или от одного объема к другому. Эти функции присущи всем техническим системам. Адаптивные и репродуктивные же функции характерны лишь для квазитехнических систем и заключаются либо в приспособлении к новому качеству техногенно-преобразованных природных условий, либо в способности в циклическом режиме создавать искусственные антропогенные условия для существования ЛТС. В отличие от видов, разновидности технических систем могут соответствовать как локальному, так и элементарному уровню организации. Наряду с выделенными таксономическими единицами в классификации отражены структурные элементы, время «жизни» ТС, а также их вероятные воздействия на геологическую среду и интенсивность (табл. 5.3).

Приведенная классификация является наиболее полной и информативной. Она учитывает как генетический подход к изучению технических систем, так и высокую степень детализации их структуры, уровни организации и функционирования систем. Кроме того, в процессе своего существования различные технические системы воздействуют на геологическую среду, 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 технических систем позволяет осуществить инженерно-геологическую типизацию ЛТС территории Беларуси.

Типизация литотехнических систем выполнена в виде таблицы-решетки (табл. 5.4), где по горизонтали показаны технические системы, функционирующие на территории страны, а по вертикали отражена систематизация инженерно-геологических условий исследуемого региона. При этом в клетках таблицы на пересечении осей обозначены литотехнические системы (как отношение технических объектов ЛТС согласно их классификации к геологической составляющей этих систем – типовому полю инженерно-геологических обстановок). Следует отметить, что в данной типизации отражены ЛТС как регионального, так и локального уровня; их названия соответствуют названиям технических систем в зависимости от иерархического положения.

Типизация позволяет проследить пространственное распределение разных по функциональному назначению литотехнических систем, степень их развития и в результате охарактеризовать территориальную специфику проявления техногенеза, являющегося следствием сочетания ЛТС (табл. 5.4, карта-вклейка). Например, данные типизации свидетельствуют о том, что различным инженерно-геологическим структурам свойственно определенное размещение разных по назначению и степени развития ЛТС. В то же время особенности такого распределения ЛТС послужили условиями для крайне неравномерной техногенной трансформации геологической среды (рис. 5.2). В частности, нами установлено, что наибольшему преобразованию геологической среды подверглись территории инженерно-геологических областей, на которых размещены крупные населенные пункты и промышленные предприятия, а в геологическом отношении широко распространены краевые ледниковые образования, участки неглубокого залегания глинистых и карбонатных отложений, пород кристаллического фундамента, подземных вод, а также долины крупных рек и торфяники. Нередко на таких участках геологическая среда приобрела качественно новые состояние и свойства.

Таблица 5.4

Инженерно-геологическая типизация литотехнических систем территории Беларуси (по А.Н. Галкину, 2014)

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 галых 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	VA _{2,7,8} / 1 VI A _{1,2} / 1	IX A _{1,2} / 1 XA _{1,4,6,7} / 1 XI A _{1,2} / 1	XII A / 1 XIII A / 1 XV B / 1
				2. Область Суражской озерно-ледниковой равнины	II A ₇ / 2	VA ₁₀ / 2 VI A _{1,2} / 2	IX A ₁ / 2 XA _{1,4,6} / 2 XI A _{1,2} / 2	XII A / 2 XV B / 2
				3. Область Витебской краевой ледниковой возвышенности	II A _{4,2} / 1	VA _{1,4,6,7,10} / 1 VI A _{1,3} / 1	IX A _{2,1} / 1 XA _{1,7} / 1 XI A _{1,2} / 1	XII A / 1 XIII A / 1 XIV A / 1 XV B / 1
				4. Область Лучо-синской озерно-ледниковой равнины	IV A / 2	VA ₇ / 2 VI A _{1,2} / 2	IX A _{1,2} / 2 XA _{1,4,6,7} / 2 XI A _{1,2} / 2	XII A / 2 XIII A / 2 XV B / 2 XVI B / 2
				5. Область Оршанской краевой ледниковой возвышенности	II A _{4,2} / 8	VA _{2,4,6,7,10} / 8 VI A _{1,3} / 8	IX A _{2,1} / 8 XA _{1,7} / 8 XI A _{1,2} / 8	XII A / 8 XIII A / 8 XV B / 8 XVI B / 8
				6. Область Горечкой моренной равнины с краевыми ледниковыми образованиями	II A ₂ / 10	VA _{1,2,6,7} / 10 VI A _{1,2} / 10	IX A _{1,2} / 10 XA _{1,4,6,7} / 10 XI A _{1,2} / 10	XII A / 10 XIII A / 10 XV B / 10 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: темно-серый – высокая, серый – средняя, белый – низкая. Степень развития ЛТС определена по картам Национального атласа Беларуси (2002), отражающим размещение промышленных и горнопромышленных предприятий, сельского и лесного хозяйств, плотности городского и сельского населений и ряд других.

Типы технических систем					
Водохозяйственная	Сельскохозяйственно-селитебная	Сельскохозяйственная	Лесохозяйственная	Сельско-лесохозяйственная	Рекреационная
10	11	12	13	14	15
XVII A / 1 XVIII B / 1	XIX A / 1	XXI A / 1 XXII A ₁₃ / 1 XXIII A / 1 XXIV A / 1 XXVI A / 1	XXVII A / 1	XXVIII A / 1 XXIX A / 1	XXX B / 1 XXXI A / 1 XXXII A / 1 XXXIII B / 1
XVIII B / 2	XIX A / 2	XXI A / 2 XXII A ₁₃ / 2 XXIII A / 2 XXIV A / 2 XXVI A / 2	XXVII A / 2	XXVIII A / 2 XXIX A / 2	XXX B / 2 XXXI A / 2 XXXII A / 2 XXXIII B / 2
XVII A / 1 XVIII B / 1	XIX A / 1	XX A / 1 XXI A / 1 XXII A ₁₃ / 1 XXIII A / 1 XXIV A / 1 XXVI A / 1	XXVII A / 1	XXVIII A / 1 XXIX A / 1	XXX B / 1 XXXI A / 1 XXXII A / 1 XXXIII B / 1
XVII A / 2 XVIII B / 2	XIX A / 2	XXI A / 2 XXII A ₁₃ / 2 XXIII A / 2 XXIV A / 2 XXVI A / 2	XXVII A / 2	XXVIII A / 2 XXIX A / 2	XXX B / 2 XXXI A / 2 XXXII A / 2 XXXIII B / 2
XVII A / 8 XVIII B / 8	XIX A / 8	XX A / 8 XXI A / 8 XXII A ₁₃ / 8 XXIII A / 8 XXIV A / 8 XXVI A / 8	XXVII A / 8	XXVIII A / 8 XXIX A / 8	XXX B / 8 XXXI A / 8 XXXII A / 8 XXXIII B / 8
XVII A / 10 XVIII B / 10	XIX A / 10	XXI A / 10 XXII A ₁₃ / 10 XXIII A / 10 XXIV A / 10 XXVI A / 10	XXVII A / 10	XXVIII A / 10 XXIX A / 10	XXX B / 10 XXXI A / 10 XXXII A / 10 XXXIII B / 10

Продолжение табл. 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
				7. Область Могилевской водно-ледниково-моренной равнины	II A_{5,4} / 10	VA_{1-4,6,7} / 10 VI A_{1,3} / 10	IX A_{1,2} / 10 XA_{1-4,6,7} / 10 XI A_{1,2} / 10	XII A / 10 XIII A / 10 XIV A / 10 XV B / 10 XVI B / 10
				8. Область Славгородской водно-ледниково-моренной равнины с краевыми ледниковыми образованиями	II A₄ / 10 IV A / 10	VA₇ / 10 VI A_{1,2} / 10	IX A₁ / 10 XA_{1-4,6} / 10 XI A_{1,2} / 10	XII A / 10 XV B / 10 XVI B / 10
				9. Область Костюковичской моренно-водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	II A_{1,5} / 10,11	VA_{2,7} / 10,11 VI A_{1,2} / 10,11	IX A_{2,1} / 10,11 XA_{1,7} / 10,11 XI A_{1,2} / 10,11	XII A / 10,11 XIII A / 10,11 XV B / 10,11 XVI B / 10,11
				10. Область Чечерской моренно-водно-ледниковой равнины	II A₂ / 9 IV A / 9	VA_{2,6,7} / 9 VI A_{1,2} / 9	IX A_{1,2} / 9 XA_{1-4,6,7} / 9 XI A_{1,2} / 9	XII A / 9 XV B / 9 XVI B / 9
				11. Область Светловичской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	II A_{1,2} / 9	VA_{2,7,8} / 9 VI A_{1,2} / 9	IX A_{2,1} / 9 XA_{1,7} / 9 XI A_{1,2} / 9	XII A / 9 XV B / 9
				12. Область Тереховской водно-ледниковой равнины	II A_{6,2} / 9	VA₇ / 9 VI A_{1,2} / 9	IX A_{1,2} / 9 XA_{1-4,6,7} / 9 XI A_{1,2} / 9	XII A / 9 XIII A / 9 XV B / 9 XVI B / 9

Продолжение табл. 5.4

10	11	12	13	14	15
XVII A / 10 XVIII B / 10	XIX A / 10	XX A / 10 XXI A / 10 XXII A₁₋₃ / 10 XXIII A / 10 XXIV A / 10 XXVI A / 10	XXVII A / 10	XXVIII A / 10 XXIX A / 10	XXX B / 10 XXXI A / 10 XXXII A / 10 XXXIII B / 10
XVIII B / 10	XIX A / 10	XXI A / 10 XXII A₁₋₃ / 10 XXIII A / 10 XXIV A / 10 XXVI A / 10	XXVII A / 10	XXVIII A / 10 XXIX A / 10	XXX B / 10 XXXI A / 10 XXXII A / 10 XXXIII B / 10
XVII A / 10,11 XVIII B / 10,11	XIX A / 10,11	XXI A / 10,11 XXII A₁₋₃ / 10,11 XXIII A / 10,11 XXIV A / 10,11 XXVI A / 10,11	XXVII A / 10,11	XXVIII A / 10,11 XXIX A / 10,11	XXX B / 10,11 XXXI A / 10,11 XXXII A / 10,11 XXXIII B / 10,11
XVII A / 9 XVIII B / 9	XIX A / 9	XXI A / 9 XXII A₁₋₃ / 9 XXIII A / 9 XXIV A / 9 XXVI A / 9	XXVII A / 9	XXVIII A / 9 XXIX A / 9	XXX B / 9 XXXI A / 9 XXXII A / 9 XXXIII B / 9
XVIII B / 9	XIX A / 9	XXI A / 9 XXII A₁₋₃ / 9 XXIII A / 9 XXIV A / 9 XXVI A / 9	XXVII A / 9	XXVIII A / 9 XXIX A / 9	XXX B / 9 XXXI A / 9 XXXII A / 9 XXXIII B / 9
XVIII B / 9	XIX A / 9	XXI A / 9 XXII A₁₋₃ / 9 XXIII A / 9 XXIV A / 9 XXVI A / 9	XXVII A / 9	XXVIII A / 9 XXIX A / 9	XXX B / 9 XXXI A / 9 XXXII A / 9 XXXIII B / 9

Продолжение табл. 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Б. БАЛТИЙСКО-БЕЛОРУССКАЯ СТЕПЕКЛИЗА	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 субгоризонтальных равнин	1. Область Освейской краевой ледниковой гряды	IV A / 1	VI A _{1,2} / 1	IX A ₁ / 1 X A _{1-4,6} / 1 XI A _{1,2} / 1	XII A / 1 XV B / 1
				2. Область Заборской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	II A ₃ / 1	V A _{2,6,7,8,10} / 1 VI A _{1,2} / 1	IX A _{1,2} / 1 X A ₁₋₇ / 1 XI A _{1,2} / 1	XII A / 1 XV B / 1
				3. Область Шумлинской моренной равнины	II A _{4,5} / 3	V A _{2,6,7,8} / 3 VI A _{1,2} / 3	IX A _{1,2} / 3 X A ₁₋₇ / 3 XI A _{1,2} / 3	XII A / 3 XIII A / 3 XV B / 3 XVI B / 3
				4. Область Браславской краевой ледниковой возвышенности	II A ₄ / 1	V A _{6,7} / 1 VI A _{1,2} / 1	IX A _{1,2} / 1 X A ₁₋₇ / 1 XI A _{1,2} / 1	XII A / 1 XV B / 1
				5. Область Полоцкой озерно-ледниковой низины	II A _{2,5} / 2 IV A / 2	V A _{1,2,4-8,10} / 2 VI A _{1,3} / 2	IX A _{1,2} / 2 X A ₁₋₇ / 2 XI A _{1,2} / 2	XII A / 2 XIII A / 2 XV B / 2 XVI B / 2
				6. Область Ушачской краевой ледниковой возвышенности	II A _{2,5} / 1 IV A / 1	V A _{2,6,7,8} / 1 VI A _{1,2} / 1	IX A _{1,2} / 1 X A _{1-4,6} / 1 XI A _{1,2} / 1	XII A / 1 XIII A / 1 XV B / 1 XVI B / 1
				7. Область Чашникской водно-ледниковой низины	II A _{2,4} / 3	V A _{2,6-10} / 3 VI A _{1,2} / 3	IX A _{1,2} / 3 X A ₁₋₆ / 3 XI A _{1,2} / 3	XII A / 3 XIII A / 3 XV B / 3 XVI B / 3

10	11	12	13	14	15
XVIII Б / 1	XIX А / 1	XXI А / 1 XXII А ₁₃ / 1 XXIII А / 1 XXIV А / 1 XXVI А / 1	XXVII А / 1	XXVIII А / 1 XXIX А / 1	XXX В / 1 XXXI А / 1 XXXII А / 1 XXXIII В / 1
XVII А / 1 XVIII Б / 1	XIX А / 1	XXI А / 1 XXII А ₁₃ / 1 XXIII А / 1 XXIV А / 1 XXVI А / 1	XXVII А / 1	XXVIII А / 1 XXIX А / 1	XXX В / 1 XXXI А / 1 XXXII А / 1 XXXIII В / 1
XVII А / 3 XVIII Б / 3	XIX А / 3	XXI А / 3 XXII А ₁₃ / 3 XXIII А / 3 XXIV А / 3 XXVI А / 3	XXVII А / 3	XXVIII А / 3 XXIX А / 3	XXX В / 3 XXXI А / 3 XXXII А / 3 XXXIII В / 3
XVIII Б / 1	XIX А / 1	XXI А / 1 XXII А ₁₃ / 1 XXIII А / 1 XXIV А / 1 XXVI А / 1	XXVII А / 1	XXVIII А / 1 XXIX А / 1	XXX В / 1 XXXI А / 1 XXXII А / 1 XXXIII В / 1
XVII А / 2 XVIII Б / 2	XIX А / 2	XX А / 2 XXI А / 2 XXII А ₁₃ / 2 XXIII А / 2 XXIV А / 2 XXVI А / 2	XXVII А / 2	XXVIII А / 2 XXIX А / 2	XXX В / 2 XXXI А / 2 XXXII А / 2 XXXIII В / 2
XVII А / 1 XVIII Б / 1	XIX А / 1	XXI А / 1 XXII А ₁₃ / 1 XXIII А / 1 XXIV А / 1 XXVI А / 1	XXVII А / 1	XXVIII А / 1 XXIX А / 1	XXX В / 1 XXXI А / 1 XXXII А / 1 XXXIII В / 1
XVII А / 3 XVIII Б / 3	XIX А / 3	XXI А / 3 XXII А ₁₃ / 3 XXIII А / 3 XXIV А / 3 XXVI А / 3	XXVII А / 3	XXVIII А / 3 XXIX А / 3	XXX В / 3 XXXI А / 3 XXXII А / 3 XXXIII В / 3

Продолжение табл. 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
				8. Область Сенненской моренной равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$\Pi A_{2,3,4} / 3$	$V A_{1,7,10} / 3$ $VI A_{1,2} / 3$	$IX A_{1,2} / 3$ $X A_{1,6} / 3$ $XI A_{1,2} / 3$	$XII A / 3$ $XIII A / 3$ $XV B / 3$ $XVI B / 3$
				9. Область Верхнеберезинской водно-ледниковой равнины	$\Pi A_4 / 7$	$V A_7 / 7$ $VI A_{1,2} / 7$	$IX A_1 / 7$ $X A_{1,6} / 7$ $XI A_{1,2} / 7$	$XII A / 7$ $XV B / 7$
				10. Область Лукомльской краевой ледниковой возвышенности	$\Pi A_2 / 8$	$V A_{2,6,9} / 8$ $VI A_{1,2} / 8$	$IX A_{1,2} / 8$ $X A_{1,7} / 8$ $XI A_{1,2} / 8$	$XII A / 8$ $XIII A / 8$ $XV B / 8$
				11. Область Пуховичской водно-ледниковой равнины	$\Pi A_{4,5} / 9$ $IV A / 9$	$V A_{2,4,6,8,10} / 9$ $VI A_{1,2} / 9$	$IX A_{1,2} / 9$ $X A_{1,6} / 9$ $XI A_{1,2} / 9$	$XII A / 9$ $XIII A / 9$ $XV B / 9$
				12. Область Центральнoберезинской водно-ледниковой равнины	$\Pi A_{2,4,5} / 9$ $IV A / 9$	$V A_{1,2,4,6-10} / 9$ $VI A_{1,2} / 9$	$IX A_{1,2} / 9$ $X A_{1,6} / 9$ $XI A_{1,2} / 9$	$XII A / 9$ $XIII A / 9$ $XV B / 9$ $XVI B / 9$
				13. Область Бобруйской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	$\Pi A_{2,5} / 9$ $IV A / 9$	$V A_{1,2,4,6-8,10} / 9$ $VI A_{1,3} / 9$	$IX A_{1,2} / 9$ $X A_{1,7} / 9$ $XI A_{1,2} / 9$	$XII A / 9$ $XIII A / 9$ $XV B / 9$ $XVI B / 9$
				14. Область Светлогорской моренно-водно-ледниковой низины	$\Pi A_4 / 12$ $III B / 12$	$V A_{2,6-8,10} / 12$ $VI A_{1,2} / 12$	$IX A_{1,2} / 12$ $X A_{1,6} / 12$ $XI A_{1,2} / 12$	$XII A / 12$ $XIII A / 12$ $XV B / 12$
				15. Область Стрешинской водно-ледниковой низины	$\Pi A_{2,6} / 9$ $III B / 9$ $IV A / 9$	$V A_{2,3,6-8,10} / 9$ $VI A_{1,2,3} / 9$	$IX A_{1,2} / 9$ $X A_{1,6} / 9$ $XI A_{1,2} / 9$	$XII A / 9$ $XIII A / 9$ $XV B / 9$ $XVI B / 9$

Продолжение табл. 5.4

10	11	12	13	14	15
XVII A / 3 XVIII B / 3	XIX A / 3	XXI A / 3 XXII A ₁₃ / 3 XXIII A / 3 XXIV A / 3 XXVI A / 3	XXVII A / 3	XXVIII A / 3 XXIX A / 3	XXX B / 3 XXXI A / 3 XXXII A / 3 XXXIII B / 3
XVIII B / 7	XIX A / 7	XXI A / 7 XXII A ₁₃ / 7 XXIII A / 7 XXIV A / 7 XXVI A / 7	XXVII A / 7	XXVIII A / 7 XXIX A / 7	XXX B / 7 XXXI A / 7 XXXII A / 7 XXXIII B / 7
XVII A / 8 XVIII B / 8	XIX A / 8	XXI A / 8 XXII A ₁₃ / 8 XXIII A / 8 XXIV A / 8 XXVI A / 8	XXVII A / 8	XXVIII A / 8 XXIX A / 8	XXX B / 8 XXXI A / 8 XXXII A / 8 XXXIII B / 8
XVII A / 9 XVIII B / 9	XIX A / 9	XXI A / 9 XXII A ₁₃ / 9 XXIII A / 9 XXIV A / 9 XXVI A / 9	XXVII A / 9	XXVIII A / 9 XXIX A / 9	XXX B / 9 XXXI A / 9 XXXII A / 9 XXXIII B / 9
XVII A / 9 XVIII B / 9	XIX A / 9	XXI A / 9 XXII A ₁₃ / 9 XXIII A / 9 XXIV A / 9 XXVI A / 9	XXVII A / 9	XXVIII A / 9 XXIX A / 9	XXX B / 9 XXXI A / 9 XXXII A / 9 XXXIII B / 9
XVII A / 9 XVIII B / 9	XIX A / 9	XXI A / 9 XXII A ₁₃ / 9 XXIII A / 9 XXIV A / 9 XXVI A / 9	XXVII A / 9	XXVIII A / 9 XXIX A / 9	XXX B / 9 XXXI A / 9 XXXII A / 9 XXXIII B / 9
XVII A / 12 XVIII B / 12	XIX A / 12	XXI A / 12 XXII A ₁₃ / 12 XXIII A / 12 XXIV A / 12 XXVI A / 12	XXVII A / 12	XXVIII A / 12 XXIX A / 12	XXX B / 12 XXXI A / 12 XXXII A / 12 XXXIII B / 12
XVII A / 9 XVIII B / 9	XIX A / 9	XX A / 9 XXI A / 9 XXII A ₁₃ / 9 XXIII A / 9 XXIV A / 9 XXVI A / 9	XXVII A / 9	XXVIII A / 9 XXIX A / 9	XXX B / 9 XXXI A / 9 XXXII A / 9 XXXIII B / 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
			2. Область структурно-денудационных равнин	1. Область Свирской краевой ледниковой гряды	II A ₂ / 1	V A ₉ / 1 VI A _{1,2} / 1	IX A ₁ / 1 X A _{1-4,6} / 1 XI A _{1,2} / 1	XII A / 1 XV B / 1
				2. Область Нарочанской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	II A _{2,4} / 3	V A _{2,7} / 3 VI A _{1,2} / 3	IX A _{1,2} / 3 X A ₁₋₆ / 3 XI A _{1,2} / 3	XII A / 3 XV B / 3
				3. Область Свенцяных краевых ледниковых гряд	II A _{2,3,4} / 1	V A _{2,6,7,8} / 1 VI A _{1,2} / 1	IX A _{1,2} / 1 X A ₁₋₇ / 1 XI A _{1,2} / 1	XII A / 1 XIII A / 1 XV B / 1
				4. Область Озерской водно-ледниковой низины	II A _{2,3,4} / 3	V A ₇ / 3 VI A _{1,2} / 3	IX A _{1,2} / 3 X A ₁₋₇ / 3 XI A _{1,2} / 3	XII A / 3 XIII A / 3 XV B / 3
				5. Область Гродненской краевой ледниковой возвышенности	II A _{1,2,4,5} / 4	V A _{1,2,4,6-8,10} / 4 VI A _{1,3} / 4	IX A _{1,2} / 4 X A ₁₋₇ / 4 XI A _{1,2} / 4	XII A / 4 XIII A / 4 XIV A / 4 XV B / 4 XVI B / 4
				6. Область Скидельской озерно-ледниковой низины	II A _{1,2,4} / 7	V A _{2,4,6-8,10} / 7 VI A _{1,2} / 7	IX A _{1,2} / 7 X A ₁₋₇ / 7 XI A _{1,2} / 7	XII A / 7 XIII A / 7 XV B / 7

Продолжение табл. 5.4

10	11	12	13	14	15
XVII A / 1 XVIII B / 1	XIX A / 1	XXI A / 1 XXII A ₁₃ / 1 XXIII A / 1 XXIV A / 1 XXVI A / 1	XXVII A / 1	XXVIII A / 1 XXIX A / 1	XXX B / 1 XXXI A / 1 XXXII A / 1 XXXIII B / 1
XVIII B / 3	XIX A / 3	XXI A / 3 XXII A ₁₃ / 3 XXIII A / 3 XXIV A / 3 XXVI A / 3	XXVII A / 3	XXVIII A / 3 XXIX A / 3	XXX B / 3 XXXI A / 3 XXXII A / 3 XXXIII B / 3
XVII A / 1 XVIII B / 1	XIX A / 1	XXI A / 1 XXII A ₁₃ / 1 XXIII A / 1 XXIV A / 1 XXVI A / 1	XXVII A / 1	XXVIII A / 1 XXIX A / 1	XXX B / 1 XXXI A / 1 XXXII A / 1 XXXIII B / 1
XVII A / 3 XVIII B / 3	XIX A / 3	XXI A / 3 XXII A ₁₃ / 3 XXIII A / 3 XXIV A / 3 XXVI A / 3	XXVII A / 3	XXVIII A / 3 XXIX A / 3	XXX B / 3 XXXI A / 3 XXXII A / 3 XXXIII B / 3
XVII A / 4 XVIII B / 4	XIX A / 4	XX A / 4 XXI A / 4 XXII A ₁₃ / 4 XXIII A / 4 XXIV A / 4 XXVI A / 4	XXVII A / 4	XXVIII A / 4 XXIX A / 4	XXX B / 4 XXXI A / 4 XXXII A / 4 XXXIII B / 4
XVII A / 7 XVIII B / 7	XIX A / 7	XXI A / 7 XXII A ₁₃ / 7 XXIII A / 7 XXIV A / 7 XXVI A / 7	XXVII A / 7	XXVIII A / 7 XXIX A / 7	XXX B / 7 XXXI A / 7 XXXII A / 7 XXXIII B / 7

Продолжение табл. 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
				7. Область Любчанской водно-ледниковой низины	II A₄ / 7	V A ₂ / 7 VI A _{1,2,3} / 7	IX A _{1,2} / 7 X A _{1-4,7} / 7 XI A _{1,2} / 7	XII A / 7 XIII A / 7 XV B / 7
				8. Область Лидской моренной равнины	II A ₁₋₄ / 6 IV A / 6	V A _{1,2,4,6-8,10} / 6 VI A _{1,2} / 6	IX A _{1,2} / 6 X A ₁₋₇ / 6 XI A _{1,2} / 6	XII A / 6 XIII A / 6 XV B / 6 XVI B / 6
				9. Область Вороновской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	II A ₄ / 5	V A _{2,7,8} / 5 VI A _{1,2} / 5	IX A ₁ / 5 X A _{1-4,7} / 5 XI A _{1,2} / 5	XII A / 5 XIII A / 5 XV B / 5 XVI B / 5
				10. Область Ошмянских краевых ледниковых гряд	II A _{2,4,4} / 6 IV A / 6	V A _{2-4,6-8,10} / 6 VI A _{1,2} / 6	IX A _{1,2} / 6 X A ₁₋₇ / 6 XI A _{1,2} / 6	XII A / 6 XIII A / 6 XV B / 6 XVI B / 6
				11. Область Вилейской моренно-водно-ледниковой низины	II A _{2,4,5} / 5	V A _{1-3,6-8,10} / 5 VI A _{1,2} / 5	IX A _{1,2} / 5 X A ₁₋₆ / 5 XI A _{1,2} / 5	XII A / 5 XIII A / 5 XV B / 5
				12. Область Минской краевой ледниковой возвышенности	II A _{2,3,4} / 6	V A _{1-4,6-10} / 6 VI A _{1,3} / 6	IX A _{1,2} / 6 X A ₁₋₇ / 6 XI A _{1,2} / 6	XII A / 6 XIII A / 6 XIV A / 6 XV B / 6 XVI B / 6
				13. Область Кривичской моренной равнины с краевыми ледниковыми образованиями	II A ₄ / 6	V A _{7,8} / 6 VI A _{1,2} / 6	IX A _{1,2} / 6 X A ₁₋₆ / 6 XI A _{1,2} / 6	XII A / 6 XIII A / 6 XV B / 6

Продолжение табл. 5.4

10	11	12	13	14	15
XVIII Б / 7	XIX А / 7	XXI А / 7 XXII А ₁₋₃ / 7 XXIII А / 7 XXIV А / 7 XXVI А / 7	XXVII А / 7	XXVIII А / 7 XXIX А / 7	XXX В / 7 XXXI А / 7 XXXII А / 7 XXXIII В / 7
XVII А / 6 XVIII Б / 6	XIX А / 6	XXI А / 6 XXII А ₁₋₃ / 6 XXIII А / 6 XXIV А / 6 XXVI А / 6	XXVII А / 6	XXVIII А / 6 XXIX А / 6	XXX В / 6 XXXI А / 6 XXXII А / 6 XXXIII В / 6
XVIII Б / 5	XIX А / 5	XXI А / 5 XXII А ₁₋₃ / 5 XXIII А / 5 XXIV А / 5 XXVI А / 5	XXVII А / 5	XXVIII А / 5 XXIX А / 5	XXX В / 5 XXXI А / 5 XXXII А / 5 XXXIII В / 5
XVIII Б / 6	XIX А / 6	XXI А / 6 XXII А ₁₋₃ / 6 XXIII А / 6 XXIV А / 6 XXVI А / 6	XXVII А / 6	XXVIII А / 6 XXIX А / 6	XXX В / 6 XXXI А / 6 XXXII А / 6 XXXIII В / 6
XVII А / 5 XVIII Б / 5	XIX А / 5	XXI А / 5 XXII А ₁₋₃ / 5 XXIII А / 5 XXIV А / 5 XXVI А / 5	XXVII А / 5	XXVIII А / 5 XXIX А / 5	XXX В / 5 XXXI А / 5 XXXII А / 5 XXXIII В / 5
XVII А / 6 XVIII Б / 6	XIX А / 6	XX А / 6 XXI А / 6 XXII А ₁₋₃ / 6 XXIII А / 6 XXIV А / 6 XXVI А / 6	XXVII А / 6	XXVIII А / 6 XXIX А / 6	XXX В / 6 XXXI А / 6 XXXII А / 6 XXXIII В / 6
XVII А / 6 XVIII Б / 6	XIX А / 6	XXI А / 6 XXII А ₁₋₃ / 6 XXIII А / 6 XXIV А / 6 XXVI А / 6	XXVII А / 6	XXVIII А / 6 XXIX А / 6	XXX В / 6 XXXI А / 6 XXXII А / 6 XXXIII В / 6

Продолжение табл. 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
				14. Область Волковской краевой ледниковой возвышенности	II A_{1,3,4} / 4	V A_{2,7,8,10} / 4 VI A_{1,2} / 4	IX A_{1,2} / 4 X A_{1,7} / 4 XI A_{1,2} / 4	XII A / 4 XIII A / 4 XV B / 4 XVI B / 4
				15. Область Слонимской краевой ледниковой возвышенности	II A_{2,4} / 4	V A_{2,6-10} / 4 VI A_{1,2,3} / 4	IX A_{1,2} / 4 X A_{1,4,7} / 4 XI A_{1,2} / 4	XII A / 4 XIII A / 4 XV B / 4 XVI B / 4
				16. Область Новгородской краевой ледниковой возвышенности	II A_{4,5} / 4 IV A / 4	V A_{2,3,6-8} / 4 VI A_{1,2} / 4	IX A_{1,2} / 4 X A_{1,7} / 4 XI A_{1,2} / 4	XII A / 4 XIII A / 4 XV B / 4 XVI B / 4
				17. Область Столбовской моренной равнины	II A_{2,3,4} / 6	V A_{2,4,6-8,10} / 6 VI A_{1,2} / 6	IX A₁ / 6 X A_{1,7} / 6 XI A_{1,2} / 6	XII A / 6 XIII A / 6 XV B / 6 XVI B / 6
				18. Область Копытских краевых ледниковых гряд	II A₄ / 4	V A_{2,4,6-8,10} / 4 VI A_{1,2} / 4	IX A_{1,2} / 4 X A_{1,7} / 4 XI A_{1,2} / 4	XII A / 4 XIII A / 4 XV B / 4
				19. Область Коссовской водно-ледниковой равнины	II A_{2,3,4} / 13	V A_{2,4,7,8,10} / 13 VI A_{1,2} / 13	IX A_{1,2} / 13 X A_{1,4,6} / 13 XI A_{1,2} / 13	XII A / 13 XIII A / 13 XV B / 13 XVI B / 13
				20. Область Барановичской водно-ледниковой равнины	II A₄ / 13	V A_{1,2,4,6-8,10} / 13 VI A_{1,2} / 13	IX A_{1,2} / 13 X A_{1,7} / 13 XI A_{1,2} / 13	XII A / 13 XIII A / 13 XV B / 13 XVI B / 13

Продолжение табл. 5.4

10	11	12	13	14	15
XVII A / 4 XVIII B / 4	XIX A / 4	XXI A / 4 XXII A ₁₋₃ / 4 XXIII A / 4 XXIV A / 4 XXVI A / 4	XXVII A / 4	XXVIII A / 4 XXIX A / 4	XXX B / 4 XXXI A / 4 XXXII A / 4 XXXIII B / 4
XVII A / 4 XVIII B / 4	XIX A / 4	XXI A / 4 XXII A ₁₋₃ / 4 XXIII A / 4 XXIV A / 4 XXVI A / 4	XXVII A / 4	XXVIII A / 4 XXIX A / 4	XXX B / 4 XXXI A / 4 XXXII A / 4 XXXIII B / 4
XVII A / 4 XVIII B / 4	XIX A / 4	XXI A / 4 XXII A ₁₋₃ / 4 XXIII A / 4 XXIV A / 4 XXVI A / 4	XXVII A / 4	XXVIII A / 4 XXIX A / 4	XXX B / 4 XXXI A / 4 XXXII A / 4 XXXIII B / 4
XVIII B / 6	XIX A / 6	XXI A / 6 XXII A ₁₋₃ / 6 XXIII A / 6 XXIV A / 6 XXVI A / 6	XXVII A / 6	XXVIII A / 6 XXIX A / 6	XXX B / 6 XXXI A / 6 XXXII A / 6 XXXIII B / 6
XVIII B / 4	XIX A / 4	XXI A / 4 XXII A ₁₋₃ / 4 XXIII A / 4 XXIV A / 4 XXVI A / 4	XXVII A / 4	XXVIII A / 4 XXIX A / 4	XXX B / 4 XXXI A / 4 XXXII A / 4 XXXIII B / 4
XVII A / 13 XVIII B / 13	XIX A / 13	XXI A / 13 XXII A ₁₋₃ / 13 XXIII A / 13 XXIV A / 13 XXVI A / 13	XXVII A / 13	XXVIII A / 13 XXIX A / 13	XXX B / 13 XXXI A / 13 XXXII A / 13 XXXIII B / 13
XVIII B / 13	XIX A / 13	XXI A / 13 XXII A ₁₋₃ / 13 XXIII A / 13 XXIV A / 13 XXVI A / 13	XXVII A / 13	XXVIII A / 13 XXIX A / 13	XXX B / 13 XXXI A / 11 XXXII A / 13 XXXIII B / 13

1	2	3	4	5	6	7	8	9
				21. Область Солигорской моренно-водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	IA, Б II A_{1,4}	V A_{2,4-3,10} / 12 VI A_{1,3} / 12	IX A_{1,2} / 12 X A₁₋₇ / 12 XI A_{1,2} / 12	XII A / 12 XIII A / 12 XV B / 12
				22. Область Люсиновской водно-ледниковой равнины	IV A / 18	V A_{2,4-3,10} / 18 VI A_{1,2} / 18	IX A_{1,2} / 18 X A_{1-4,6} / 18 XI A_{1,2} / 18	XII A / 18 XIII A / 18 XV B / 18
				23. Область Логишинской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями	II A₂ / 18	V A_{7,8} / 18 VI A_{1,2} / 18	IX A_{1,2} / 18 X A_{1-4,7} / 18 XI A_{1,2} / 18	XII A / 18 XV B / 18
				24. Область краевых ледниковых образований и водно-ледниковой равнины Загорьдья	II A_{2,5} / 19	V A_{1,2,4,6-8,10} / 19 VI A_{1,2} / 19	IX A_{1,2} / 19 X A₁₋₇ / 19 XI A_{1,2} / 19	XII A / 19 XIII A / 19 XV B / 19 XVI B / 19
		1. Зона распространения талых и немерзлых пород / б. Подзона развития сильно-увлажненных пород	3. Область шласто-аккумулятивных равнин и заболоченных аллювиальных и озерно-аллювиальных низин	1. Область Высоковской водно-ледниково-моренной равнины	II A_{2,4} / 19	V A_{2,7,8,10} / 19 VI A_{1,2} / 19	IX A_{1,2} / 19 X A₁₋₇ / 19 XI A_{1,2} / 19	XII A / 19 XIII A / 19 XV B / 19
				2. Область Пружанской моренно-водно-ледниковой равнины	II A_{1,2} / 12	V A_{1,2,4,6-8,10} / 12 VI A_{1,2} / 12	IX A_{1,2} / 12 X A₁₋₇ / 12 XI A_{1,2} / 12	XII A / 12 XIII A / 12 XV B / 12

Продолжение табл. 5.4

10	11	12	13	14	15
XVII A / 12 XVIII Б / 12	XIX A / 12	XXI A / 12 XXII A_{1,3} / 12 XXIII A / 12 XXIV A / 12 XXVI A / 12	XXVII A / 12	XXVIII A / 12 XXIX A / 12	XXX B / 12 XXXI A / 12 XXXII A / 12 XXXIII Б / 12
XVII A / 18 XVIII Б / 18	XIX A / 18	XXI A / 18 XXII A_{1,3} / 18 XXIII A / 18 XXIV A / 18 XXVI A / 18	XXVII A / 18	XXVIII A / 18 XXIX A / 18	XXX B / 18 XXXI A / 18 XXXII A / 18 XXXIII Б / 18
XVII A / 18 XVIII Б / 18	XIX A / 18	XXI A / 18 XXII A_{1,3} / 18 XXIII A / 18 XXIV A / 18 XXVI A / 18	XXVII A / 18	XXVIII A / 18 XXIX A / 18	XXX B / 18 XXXI A / 18 XXXII A / 18 XXXIII Б / 18
XVII A / 19 XVIII Б / 19	XIX A / 19	XXI A / 19 XXII A_{1,3} / 19 XXIII A / 19 XXIV A / 19 XXVI A / 19	XXVII A / 19	XXVIII A / 19 XXIX A / 19	XXX B / 19 XXXI A / 19 XXXII A / 19 XXXIII Б / 19
XVIII Б / 19	XIX A / 19	XXI A / 19 XXII A_{1,3} / 19 XXIII A / 19 XXIV A / 19 XXVI A / 19	XXVII A / 19	XXVIII A / 19 XXIX A / 19	XXX B / 19 XXXI A / 19 XXXII A / 19 XXXIII Б / 19
XVII A / 12 XVIII Б / 12	XIX A / 12	XXI A / 12 XXII A_{1,3} / 12 XXIII A / 12 XXIV A / 12 XXVI A / 12	XXVII A / 12	XXVIII A / 12 XXIX A / 12	XXX B / 12 XXXI A / 12 XXXII A / 12 XXXIII Б / 12

Продолжение табл. 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
				3. Область Наревско-Ясельдинской озерно-аллювиальной низины	II A ₅ / 15 IV A / 15	V A ₅ / 15 VI A _{1,2} / 15	IX A _{1,2} / 15 X A _{1,7} / 15 XI A _{1,2} / 15	XII A / 15 XIII A / 15 XV B / 15
				4. Область Брестской водно-ледниковой равнины	II A _{1,5} / 18	V A _{1,4,6,10} / 18 VI A _{1,2} / 18	IX A _{1,2} / 18 X A _{1,7} / 18 XI A _{1,2} / 18	XII A / 18 XIII A / 18 XIV A / 18 XV B / 18 XVI B / 18
				5. Область Случско-Оресской озерно-аллювиальной равнины	IV A / 15		IX A _{1,2} / 15 X A _{1,4,6} / 15 XI A _{1,2} / 15	XII A / 15 XIII A / 15 XV B / 15
				6. Область Житковичской водно-ледниковой низины	II A ₅ / 18	V A _{2,7,8,10} / 18 VI A _{1,2} / 18	IX A _{1,2} / 18 X A _{1,6} / 18 XI A _{1,2} / 18	XII A / 18 XIII A / 18 XV B / 18
				7. Область Ветчинской водно-ледниковой низины с краевыми ледниковыми образованиями	II A _{2,5} / 18		IX A _{1,2} / 18 X A _{1,6} / 18 XI A _{1,2} / 18	XII A / 18 XV B / 18
				8. Область Озаричской моренно-водно-ледниковой низины	II A ₅ / 16 III A, Б / 16	V A _{2,7,8} / 16 VI A _{1,2} / 16	IX A _{1,2} / 16 X A _{1,7} / 16 XI A _{1,2} / 16	XII A / 16 XIII A / 16 XV B / 16
				9. Область Василевичской водно-ледниковой и озерно-аллювиальной низины	II A ₅ / 16 III A, Б / 16	V A _{1,4,6,10} / 16 VI A _{1,3} / 16	IX A _{1,2} / 16 X A _{1,7} / 16 XI A _{1,2} / 16	XII A / 16 XIII A / 16 XV B / 16 XVI B / 16

Продолжение табл. 5.4

10	11	12	13	14	15
XVII A / 15 XVIII Б / 15	XIX A / 15	XXI A / 15 XXII A ₁₃ / 15 XXIII A / 15 XXIV A / 15 XXVI A / 15	XXVII A / 15	XXVIII A / 15 XXIX A / 15	XXX B / 15 XXXI A / 15 XXXII A / 15 XXXIII Б / 15
XVII A / 18 XVIII Б / 18	XIX A / 18	XX A / 18 XXI A / 18 XXII A ₁₃ / 18 XXIII A / 18 XXIV A / 18 XXVI A / 18	XXVII A / 18	XXVIII A / 18 XXIX A / 18	XXX B / 18 XXXI A / 18 XXXII A / 18 XXXIII Б / 18
XVII A / 15 XVIII Б / 15	XIX A / 15	XXI A / 15 XXII A ₁₃ / 15 XXIII A / 15 XXIV A / 15 XXVI A / 15	XXVII A / 15	XXVIII A / 15 XXIX A / 15	XXX B / 15 XXXI A / 15 XXXII A / 15 XXXIII Б / 15
XVIII Б / 18	XIX A / 18	XXI A / 18 XXII A ₁₃ / 18 XXIII A / 18 XXIV A / 18 XXVI A / 18	XXVII A / 18	XXVIII A / 18 XXIX A / 18	XXX B / 18 XXXI A / 18 XXXII A / 18 XXXIII Б / 18
XVIII Б / 18	XIX A / 18	XXI A / 18 XXII A ₁₃ / 18 XXIII A / 18 XXIV A / 18 XXVI A / 18	XXVII A / 18	XXVIII A / 18 XXIX A / 18	XXX B / 18 XXXI A / 18 XXXII A / 18 XXXIII Б / 18
XVII A / 16 XVIII Б / 16	XIX A / 16	XXI A / 16 XXII A ₁₃ / 16 XXIII A / 16 XXIV A / 16 XXVI A / 16	XXVII A / 16	XXVIII A / 16 XXIX A / 16	XXX B / 16 XXXI A / 16 XXXII A / 16 XXXIII Б / 16
XVII A / 16 XVIII Б / 16	XIX A / 16	XX A / 16 XXI A / 16 XXII A ₁₃ / 16 XXIII A / 16 XXIV A / 16 XXVI A / 16	XXVII A / 16	XXVIII A / 16 XXIX A / 16	XXX B / 16 XXXI A / 16 XXXII A / 16 XXXIII Б / 16

Продолжение табл. 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
				10. Область Речицкой аллювиальной низины	II A ₅ / 13 III A / 13 III B / 13	V A _{1,4,6,10} / 13 VI A _{1,3} / 13	IX A _{1,2} / 13 X A _{1,7} / 13 XI A _{1,2} / 13	XII A / 13 XIII A / 13 XIV A / 13 XV B / 13 XVI B / 13
				11. Область Верхне-припятской озерно-аллювиальной низины	II A ₂ / 13	V A ₇ / 13 VI A _{1,2} / 13	IX A _{1,2} / 13 X A _{1,4,6} / 13 XI A _{1,2} / 13	XII A / 13 XVI B / 13
				12. Область Лунинецкой аллювиальной низины	II A _{2,3,5,9} / 13	V A _{2,4,7,8,10} / 13 VI A _{1,2} / 13	IX A _{1,2} / 13 X A _{1,7} / 13 XI A _{1,2} / 13	XII A / 13 XIII A / 13 XV B / 13 XVI B / 13
				13. Область Столинской водно-ледниковой равнины	II A _{2,3} / 14 IV A / 14	V A _{2,7,8,10} / 14 VI A _{1,2} / 14	IX A _{1,2} / 14 X A _{1,7} / 14 XI A _{1,2} / 14	XII A / 14 XIII A / 14 XV B / 14 XVI B / 14
				14. Область Лельчицкой водно-ледниковой равнины	II A _{2,8} / 14	V A _{2,7,8,10} / 14 VI A _{1,2} / 14	IX A _{1,2} / 14 X A _{1,4,6,7} / 14 XI A _{1,2} / 14	XII A / 14 XV B / 14
				15. Область Уборть-Словечненской озерно-аллювиальной низины	II A ₃ / 14		IX A _{1,2} / 14 X A _{1,4,6,7} / 14 XI A _{1,2} / 14	XII A / 14 XIII A / 14 XV B / 14
				16. Область Мозырской краевой ледниковой возвышенности	II A _{2,5} / 14, 17	V A _{1,8,10} / 14, 17 VI A _{1,2} / 14, 17	IX A _{1,2} / 14, 17 X A _{1,7} / 14, 17 XI A _{1,2} / 14, 17	XII A / 14, 17 XIII A / 14, 17 XV B / 14, 17 XVI B / 14, 17

10	11	12	13	14	15
XVII A / 13 XVIII Б / 13	XIX A / 13	XX A / 13 XXI A / 13 XXII A ₁₋₃ / 13 XXIII A / 13 XXIV A / 13 XXVI A / 13	XXVII A / 13	XXVIII A / 13 XXIX A / 13	XXX B / 13 XXXI A / 13 XXXII A / 13 XXXIII Б / 13
XVII A / 13 XVIII Б / 13	XIX A / 13	XXI A / 13 XXII A ₁₋₃ / 13 XXIII A / 13 XXIV A / 13 XXVI A / 13	XXVII A / 13	XXVIII A / 13 XXIX A / 13	XXX B / 13 XXXI A / 13 XXXII A / 13 XXXIII Б / 13
XVII A / 13 XVIII Б / 13	XIX A / 13	XXI A / 13 XXII A ₁₋₃ / 13 XXIII A / 13 XXIV A / 13 XXVI A / 13	XXVII A / 13	XXVIII A / 13 XXIX A / 13	XXX B / 13 XXXI A / 13 XXXII A / 13 XXXIII Б / 13
XVII A / 14 XVIII Б / 14	XIX A / 14	XXI A / 14 XXII A ₁₋₃ / 14 XXIII A / 14 XXIV A / 14 XXVI A / 14	XXVII A / 14	XXVIII A / 14 XXIX A / 14	XXX B / 14 XXXI A / 14 XXXII A / 14 XXXIII Б / 14
XVIII Б / 14	XIX A / 14	XXI A / 14 XXII A ₁₋₃ / 14 XXIII A / 14 XXIV A / 14 XXVI A / 14	XXVII A / 14	XXVIII A / 14 XXIX A / 14	XXX B / 14 XXXI A / 14 XXXII A / 14 XXXIII Б / 14
XVII A / 14 XVIII Б / 14	XIX A / 14	XXI A / 14 XXII A ₁₋₃ / 14 XXIII A / 14 XXIV A / 14 XXVI A / 14	XXVII A / 14	XXVIII A / 14 XXIX A / 14	XXX B / 14 XXXI A / 14 XXXII A / 14 XXXIII Б / 14
XVII A / 14, 17 XVIII Б / 14, 17	XIX A / 14, 17	XX A / 14, 17 XXI A / 14, 17 XXII A ₁₋₃ / 14, 17 XXIII A / 14, 17 XXIV A / 14, 17 XXVI A / 14, 17	XXVII A / 14, 17	XXVIII A / 14, 17 XXIX A / 14, 17	XXX B / 14, 17 XXXI A / 14, 17 XXXII A / 14, 17 XXXIII Б / 14, 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9
			4. Область цокольных равнин	17. Область Хойникской водно-ледниковой низины с краевыми ледниковыми образованиями	II A ₅ / 16	V A _{2,4-3,10} / 16 VI A _{1,2} / 16	IX A _{1,2} / 16 X A ₁₋₇ / 16 XI A _{1,2} / 16	XII A / 16 XV B / 16
				18. Область Комаринской аллювиальной низины	II A ₃ / 13	V A _{2,7,8} / 13 VI A _{1,2} / 13	IX A _{1,2} / 13 X A _{1-4,6,7} / 13 XI A _{1,2} / 13	XII A / 13 XV B / 13
				1. Область Малоритской водно-ледниковой равнины	II A ₅ / 18	V A _{2,7} / 18 VI A _{1,2} / 18	IX A _{1,2} / 18 X A _{1-4,6,7} / 18 XI A _{1,2} / 18	XII A / 18 XIII A / 18 XV B / 18
				2. Область водно-ледниковых равнин Украинского Полесья	II A ₃ / 14		IX A _{1,2} / 14 X A _{1-4,6} / 14 XI A _{1,2} / 14	XII A / 14 XV B / 14

10	11	12	13	14	15
XVII A / 16 XVIII B / 16	XIX A / 16	XXI A / 16 XXII A ₁₋₃ / 16 XXIII A / 16 XXIV A / 16 XXVI A / 16	XXVII A / 16	XXVIII A / 16 XXIX A / 16	XXX B / 16 XXXI A / 16 XXXII A / 16 XXXIII B / 16
XVII A / 13 XVIII B / 13	XIX A / 13	XXI A / 13 XXII A ₁₋₃ / 13 XXIII A / 13 XXIV A / 13 XXVI A / 13	XXVII A / 13	XXVIII A / 13 XXIX A / 13	XXX B / 13 XXXI A / 13 XXXII A / 13 XXXIII B / 13
XVII A / 18 XVIII B / 18	XIX A / 18	XXI A / 18 XXII A ₁₋₃ / 18 XXIII A / 18 XXIV A / 18 XXVI A / 18	XXVII A / 18	XXVIII A / 18 XXIX A / 18	XXX B / 18 XXXI A / 18 XXXII A / 18 XXXIII B / 18
XVIII B / 14	XIX A / 14	XXI A / 14 XXII A ₁₋₃ / 14 XXIII A / 14 XXIV A / 14 XXVI A / 14	XXVII A / 14	XXVIII A / 14 XXIX A / 14	XXX B / 14 XXXI A / 14 XXXII A / 14 XXXIII B / 14

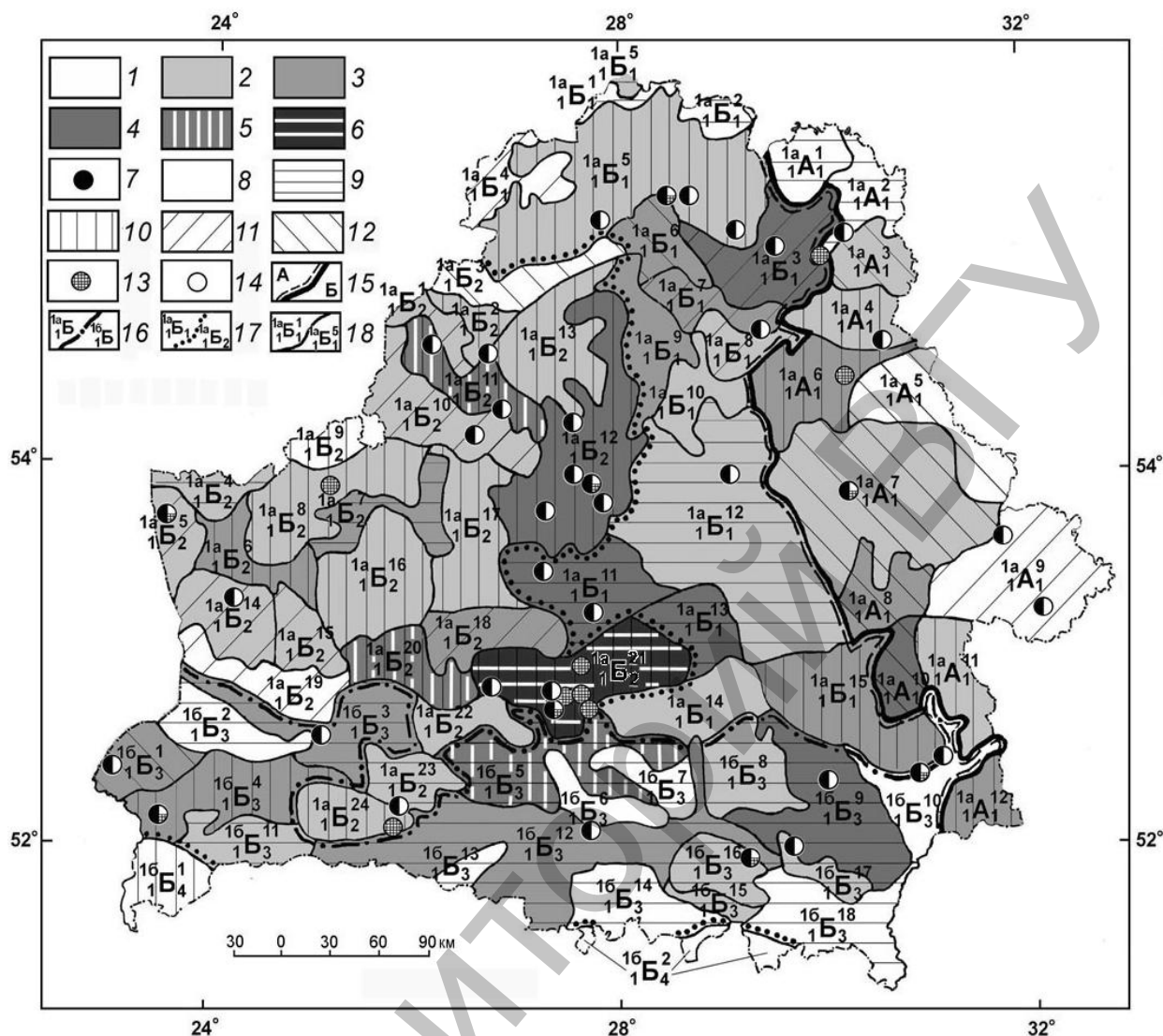


Рис. 5.2. Карта техногенной трансформации компонентов геологической среды территории Беларуси (по А.Н. Галкину, 2014).

Интенсивность техногенной трансформации грунтовых массивов, тыс. $\text{м}^3/\text{км}^2$ 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 второго порядка; 16 – инженерно-геологических подзон; 17 – инженерно-геологических областей первого порядка; 18 – инженерно-геологических областей второго порядка

ГЛАВА 6

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГИОНАЛЬНЫХ ЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ БЕЛАРУСИ

Каждый тип региональных литотехнических систем характеризуется определенным набором технических объектов и комплексом воздействий, которые они оказывают на геологическую составляющую ЛТС. Реакция на эти воздействия в разных инженерно-геологических обстановках может быть различной, следовательно, у каждой конкретной ЛТС свои особенности и свои условия оптимального функционирования (Трофимов и др., 2006). Учитывая все это, охарактеризуем существующие на территории Беларуси типы региональных ЛТС и их отдельные виды.

Горнопромышленная ЛТС на территории страны не занимает сколько-нибудь значительных площадей. Формирование ее связано с разработкой полезных ископаемых, общее количество месторождений которых в республике насчитывает около 5 тыс (Основы ..., 2004). Выявлено и разведано около 30 видов полезных ископаемых, среди которых наиболее важными являются *верхнедевонские* калийные и каменные соли, нефть и газ; строительные материалы, представленные породами различного возраста (от $AR-PR_1$ до Q), сапропель, торф преимущественно *голоцена* и др.

Техническая подсистема горнопромышленной ЛТС представляет собой комплекс карьерных, шахтных, нефтепромысловых и других хозяйств, объединенных в единую инфраструктуру. Практически вокруг каждой крупной горной выработки формируется локальное хозяйство, а на нефтепромыслах даже комплексы локальных хозяйств, связанных широкой сетью дорог и трубопроводов.

Функционирование глубоких карьеров и шахт обычно требует складирования в отвалы больших объемов пустой породы, создания мощных и сложных дренажных систем. Нередко в районах добычи осуществляется первичная переработка полезных ископаемых, работают горно-обоганительные фабрики и комбинаты, значительные площади отводятся под хвостохранилища и шламонакопители.

Особенностью горнопромышленной ЛТС является то, что в ней, как в никакой другой, характер технической подсистемы в значительной степени зависит от особенностей подсистемы геологической. Прежде всего, потому, что от вида полезного ископаемого и его условий залегания напрямую зависят выбор способа разработки (открытый или подземный) и пространственные параметры выработок. В соответствии с этим в горнопромышленной ЛТС выделяют шахтно-отвальный, карьерно-отвальный, нефтегазопромысловый и торфяно-промышленный ее виды (табл. 5.4).

Шахтно-отвальная ЛТС формируется в местах добычи и переработки калийных солей. На базе Старобинского месторождения Солигорского горнопромышленного района (ГПР) созданы и работают четыре рудоуправления ОАО «Беларуськалий» (Основы ..., 2004), каждое из которых состоит из рудника и обогатительной фабрики. Добыча руды производится шахтным способом (максимальная глубина разработки 900 м), отходы производства складировались на поверхности земли: твердые – в отвалах, жидкие – в шламохранилищах (рис. 6.1). По состоянию на конец 2015 г. объем накопленных отходов на объектах хранения составил 932,72 млн т (Состояние ..., 2016). Под эти отходы отчуждены тысячи га сельскохозяйственных земель.

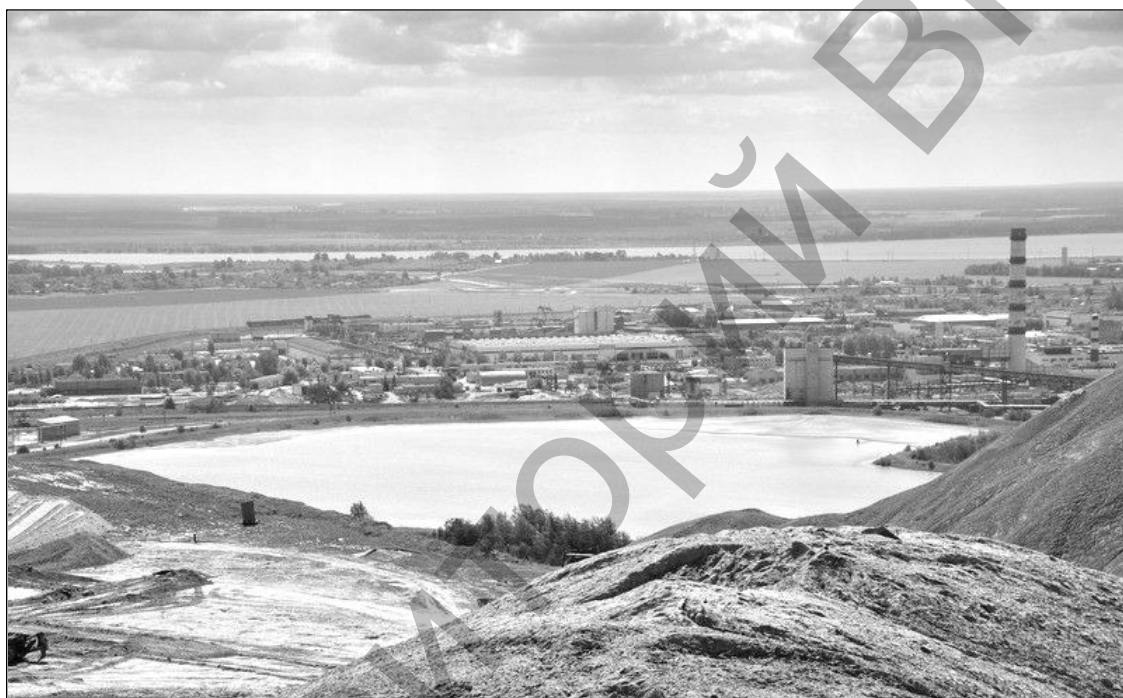


Рис. 6.1. Рудоуправление № 1 ОАО «Беларуськалий» с прилегающими к нему (на переднем плане) шламонакопителями и солеотвалами; на заднем плане Солигорское водохранилище (<http://vandrouka.by>, 2011)

По уровню техногенного преобразования геологической подсистемы шахтно-отвальная ЛТС относится к числу наиболее трансформированных в Беларуси (Климентьев, 2000). Если оценивать уровень такой трансформации лишь объемами горных пород, перемещенных на единицу площади, то соответствующий коэффициент для данной ЛТС в Солигорском ГПР может превысить $10 \text{ млн м}^3/\text{км}^2$ при среднем значении этого показателя для республики $120\text{--}170 \text{ тыс. м}^3/\text{км}^2$ (Матвеев, 1990).

Однако воздействие калийных производств на геологическую подсистему шахтно-отвальной ЛТС не ограничивается изъятием и преобразованием грунтовых толщ. К негативным последствиям техногенеза на территории размещения указанной ЛТС необходимо отнести также деформации земной поверхности с образованием мульд оседания

или провальных воронок, подтопление территории, интенсивное загрязнение грунтов и подземных вод (рис. 6.2). Так, например, в районах солеотвалов и шламохранилищ на площади более 15 км² сформировалась зона хлоридно-натриевого засоления, охватившая грунтовые и межпластовые воды до глубины более 100 м. Минерализация грунтовых вод достигла 80–160 г/дм³, в некоторых случаях 200 г/дм³. Имеет место тенденция расширения ореола загрязнения, скорость которого оценивается от нескольких метров до 50–85 м в год. По причине засоления подземных вод в конце 1970-х годов была прекращена эксплуатация ряда водозаборных скважин 1-го и 3-го рудоправлений (Природная ..., 2002).

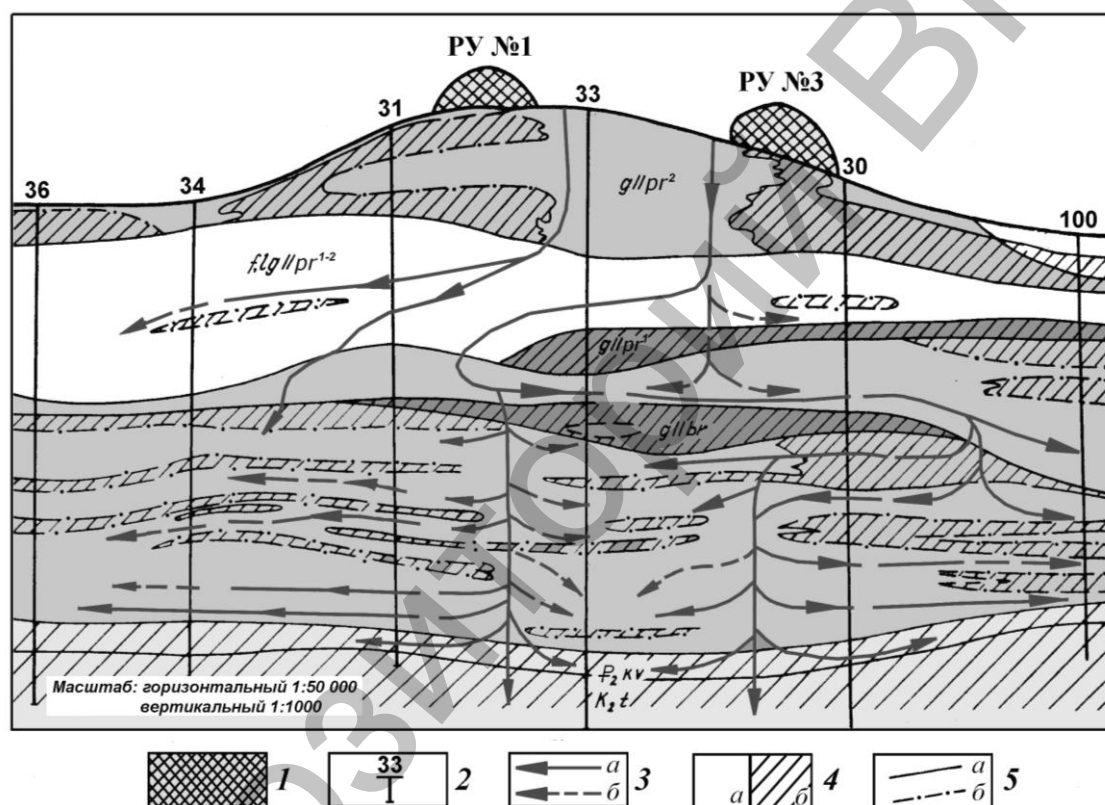


Рис. 6.2. Схема движения загрязненных подземных вод на участках размещения рудоправлений № 1, 3 ОАО «Беларуськалий» (по В.Н. Губину и др., 2002, с изменениями).

1 – солеотвалы; 2 – наблюдательная скважина и ее номер; 3 – направление потока загрязненных вод: а) выявленное, б) предполагаемое; 4 – а) водопроницаемые пески, б) слабопроницаемые породы (супеси, суглинки, глины); 5 – границы: а) геологических подразделений, б) между проницаемыми и непроницаемыми породами

Широким распространением на территории республики пользуется карьерно-отвальная ЛТС, формирующаяся в местах разработки открытым способом сырья для строительных материалов. Это легкоплавкие глины и суглинки (около 500 месторождений), песчано-гравийно-галечные материалы (100), силикатные и строительные пески (20), цементное (13), из-

вестковое (50) сырье, строительный камень (4 месторождения) (Основы ..., 2004). Сырье такого типа содержится главным образом в четвертичной толще и связано с ресурсами природных ландшафтов. Особенно много их в пределах краевых ледниковых гряд и возвышенностей, моренных, озерно-ледниковых и водно-ледниковых равнин.

Создание и функционирование карьерно-отвальной ЛТС приводит к существенному изменению ее геологической подсистемы. Эти изменения проявляются уже во внешнем облике территории размещения ЛТС, в ее рельефе. Создаются глубокие карьеры, формируются большие объемы техногенных грунтов – отвалы вскрышных пород. В бортах карьеров и на отвалах часто возникают гравитационные процессы, порой значительных масштабов. Примером тому является карьер «Гралево» по добыче верхнедевонских доломитов в Витебской области. Вскрышные породы здесь представлены моренными супесями, суглинками поозерского и припятского горизонтов и аллювиальными песками общей мощностью 10–20 м. Приуроченность к вскрышным породам грунтового водоносного горизонта, выветрелость моренных отложений, значительная крутизна склонов (до 50°) обусловили широкое развитие обвалов и оползней (Галкин и др., 2006), объем которых составляет от нескольких сотен до тысяч м³ перемещенных масс грунта (рис. 6.3).



Рис. 6.3. Южный борт карьера «Гралево» по добыче доломита с многочисленными обвально-оползневыми участками (по А.Н. Галкину, В.А. Королеву, 2014)

Оползни часто возникают и на отвалах вскрышных пород этого карьера, размещенных на площади 39 га и достигших в высоту 20–25 м. Здесь оползни имеют небольшие размеры и объемы, но иногда они спо-

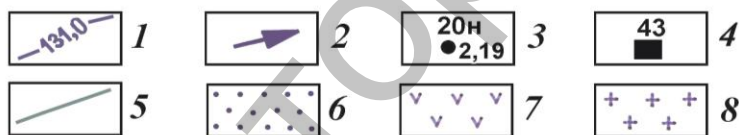
собны захватывать обширные участки. Так, в ноябре 1998 г. из-за продолжительных дождей сполз обширный массив грунта, имевший в поперечнике около 70 м при высоте смещения до 10 м. Этим оползнем было перемещено порядка 20 тыс. м³ грунтовых масс. В результате были уничтожены частные строения, расположенные вблизи отвалов (Галкин и др., 2006). Другим примером активизации обвально-оползневых процессов является карьер по добыче строительного камня (граниты, диориты, габбро, гнейсы AR-PR₁) у Микашевичей в Брестской области – самый глубокий (свыше 100 м) в Беларуси. Следует отметить, что гравитационные процессы могут проявляться практически во всех карьерах, как незначительных по размерам, так и глубоких, охватывающих площади в сотни гектаров. Однако они, как правило, будут отличаться объемом, формой и видом смещающихся масс (Галкин, 2006).

Как уже отмечалось, открытая разработка месторождений полезных ископаемых нередко сопровождается сосредоточенным водоотбором. При этом водоотливы из карьеров создают общее снижение уровней взаимосвязанных водоносных горизонтов, образующих депрессионные воронки с радиусами, исчисляемыми километрами. В результате иссякают источники, колодцы, скважины, пересыхают малые реки и водоемы, заболоченные участки. Становятся источниками питания подземных вод крупные речные водотоки, дренирующие их в естественных условиях. Так, например, практика эксплуатации карьера «Микашевичи» свидетельствует о том, что постоянный водоотлив, нередко превышающий 60 тыс. м³/сут, из-за значительных водоприток в карьер из подземных вод (в среднем 43,4 тыс. м³/сут, а в периоды ливневых осадков до 420 тыс. м³/сут и более) существенным образом изменил гидродинамические параметры всех водоносных горизонтов, повлек за собой преобразования химического состава подземных и карьерных вод, нарушил гидрологический режим на прилегающих территориях. Образовавшаяся в результате водоотлива воронка депрессии снизила уровень грунтовых вод на расстоянии 1050 м от карьера на 3,5 м (1981 г.). В 1998 г. на расстоянии 2 км от выработки УГВ понизился на 11 м, а на расстоянии 3 км – на 2 м (Ясовеев, Гледко, 2001). Это привело к исчезновению (пересыханию) двух малых рек на территории месторождения. Аналогичная ситуация сложилась и на месторождении доломитов «Гралево». Мощный, порядка 370 тыс. м³/сут, водоотлив подземных вод, заключенных в кавернозных и сильнотрещиноватых верхнедевонских доломитах, привел к снижению пьезометрических уровней на расстоянии 10–12 км. Это повлекло за собой исчезновение меженного стока р. Витьба на десятикилометровом участке и выход из строя ряда водозаборных скважин вблизи расположенных сельских населенных пунктов, создав тем самым проблему обеспечения населения питьевой водой (Галкин и др., 2006). Следовательно, по масштабам нарушения гидрогеологических условий можно реально устанавливать границы любой карьерно-отвальной ЛТС.

Нефтегазопромысловая ЛТС возникла в местах добычи нефти и путного газа на юге Беларуси в пределах Припятского прогиба. В настоящее время открыто 77 месторождений нефти, из них 52 находятся в разработке. Глубина залегания продуктивных пластов, приуроченных, главным образом, к верхнедевонским породам, составляет от 1900 м (Речицкое месторождение) до 3800 м (Южно-Осташковичское) (Основы ..., 2004). Особенностью функционирования нефтегазопромысловой ЛТС являются масштабные техногенные изменения ее геологической подсистемы. Установлено, что к настоящему времени на территории страны в процессе разведки и эксплуатации нефтяных месторождений в различной степени нарушено и загрязнено более 600 га земель. Здесь сформировались ореолы загрязнения грунтов и подземных вод по Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Fe^{2+} , поверхностно-активным веществам, нефтепродуктам и другим компонентам (рис. 6.4). При этом размеры загрязненных участков на отдельно взятой скважине могут составлять от 0,1 до 4,0 га, а глубина миграции загрязненных веществ за несколько лет может достигать 35–40 м (Прогноз ..., 2004). В качестве основных источников загрязнения компонентов геологической подсистемы при функционировании данной ЛТС часто выступают отработанные буровые растворы, сточные воды, буровой шлам и другие отходы бурения, складированные в амбарах, нефтяные проливы. Нередко с добычей нефти связана осадка земной поверхности, что способствует развитию процессов заболачивания.

Типична для территории республики *торфяно-промышленная ЛТС*, тяготеющая преимущественно к Полесской низменности. Добыча торфа производится на промышленной основе с применением большого количества техники. За последние 50 лет в Беларуси торфоразработками нарушено более 1,3 тыс. месторождений торфа общей площадью около 300 тыс. га. После отработки торфяные площади почти повсеместно рекультивируются, в отличие от карьерно-отвалных, и передаются в сельскохозяйственное использование (Марцинкевич и др., 1989).

Промышленная ЛТС, еще не так давно тяготевшая к урбанизированным территориям, теперь все чаще выводится за их пределы. Все больше встречается крупных заводских комплексов, в которых управленческие службы, складские и вспомогательные хозяйства сосредоточены вокруг базового производства. В зависимости от особенностей хозяйственной деятельности в рассматриваемом типе целесообразно выделить производственный и складской виды ЛТС (табл. 5.4). Из них наибольшим распространением на территории страны пользуется *производственная ЛТС*, отличающаяся многообразием технических объектов, каждый из которых имеет определенное функциональное назначение и свой набор инженерных сооружений (Галкин, 2009).



(по А.Н. Галкину, В.А. Королеву, 2014).

1 – гидроизогипсы; 2 – направление движения грунтовых вод; 3 – наблюдательная скважина: вверху – ее номер, справа – содержание нефтепродуктов, мг/дм³; 4 – колодец и его номер; 5 – изолинии содержания нефтепродуктов. Содержание нефтепродуктов, мг/дм³: 6 – 0,5–1,0; 7 – 1,0–25,0; 8 – более 25,0

Среди подобных объектов можно выделить предприятия машиностроения и металлообработки, строительных материалов, энергетической, металлургической, химической, нефтехимической, легкой, пищевой, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной и других видов промышленности (табл. 5.4). Такое многообразие предприятий (технических подсистем) в некоторой степени определяет характер строения геологической составляющей данной ЛТС. Это обусловлено тем, что многие объекты производства способны оказывать воздействия не только на толщу четвертичных грунтов, имеющих повсеместное распространение и служащих основанием фундаментов большинства производственных зданий и со-

оружений, но и на более древние породы, которые залегают под четвертичной толщей, причем нередко на значительной глубине. Эти воздействия часто приводят к существенным изменениям состояния геологической подсистемы. В частности, в основании зданий и сооружений происходит уплотнение грунтов, иногда они искусственно упрочняются методами технической мелиорации. Действие динамических нагрузок нередко, напротив, вызывает разуплотнение пород. В местах размещения горячих цехов ряда производств в той или иной степени фиксируется разогрев грунтов. В результате утечек технологических и сточных вод повышается уровень грунтовых вод, происходит засоление грунтов и загрязнение подземных вод. Так, например, анализ подземных вод на территории 29 предприятий страны (Природная .., 2002) показал, что на всех объектах подземные воды подверглись загрязнению, преимущественно азотистыми соединениями и фенолами, в зоне влияния отдельных предприятий высоких концентраций в воде достигали ртути, кадмий и свинец. Следует отметить, что состав загрязнения подземных вод весьма разнообразен и определяется, главным образом, характером производства и перечнем веществ, применяемых или образующихся в технологических процессах, например, на предприятиях машиностроения и металлообработки – это нефтепродукты, тяжелые металлы; на предприятиях пищевой промышленности – органические вещества, хлориды и т.д. (Национальная .., 2011).

Зона техногенного влияния в производственной ЛТС распространяется на глубину в десятки метров и часто совпадает с глубиной залегания эксплуатируемых водоносных горизонтов (Жогло и др., 1995). Границы ЛТС в плане чаще всего также контролируются границами нарушения естественных гидрогеологических условий.

Изменения, происходящие в различных компонентах геологической составляющей рассматриваемой ЛТС, нередко приводят к активизации геологических и возникновению инженерно-геологических процессов, среди которых можно отметить подтопление, заболачивание, суффозию, карст и др. (Жогло и др., 2009).

Складская ЛТС объединяет различного рода складские, технопарковые сооружения, крупные промышленные шламонакопители и шламотвалы, а также полигоны и свалки твердых промышленных отходов (ТПО) (табл. 5.4). Наиболее остро в республике стоит проблема создания и эксплуатации полигонов для захоронения ТПО и осадков промышленных сточных вод (ОПСВ). Ежегодно в стране образуется более 20 млн т твердых отходов производства и потребления. Из них основная масса – около 88% – приходится на долю ТПО, 2% – на долю ОПСВ, остальные 10% составляют коммунально-бытовые отходы. Складирование же ТПО осуществляется на 80 полигонах, занимающих площадь около 740 га (Кудельский и др., 2001; Природная .., 2002; Состояние .., 2010).

Промышленные твердые отходы весьма разнообразны по составу и происхождению. Номенклатура промышленных отходов включает около 800 наименований. Высокий удельный вес имеют отходы минерального происхождения: формовочная горелая земля литейных производств, фосфогипс, а также органические отходы производства вкусовых и пищевых продуктов, гидролизный лигнин и промышленный мусор (Состояние ..., 2010). На долю других видов промышленных отходов, наиболее разнообразных по составу, приходится 6% общего объема образования. Эта группа объединяет отходы, содержащие вещества всех классов опасности, образующиеся в относительно небольших количествах на предприятиях различных отраслей, что затрудняет возможность их селективного сбора и переработки. На предприятиях машиностроительного и химического профилей образуется большое количество шламов, в том числе гальванических – одного из наиболее опасных видов отходов. В процессе производства лакокрасочных, швейно-трикотажных, электротехнических изделий накапливаются отходы красок, лаков, эмалей, отработанных растворителей. Среди отходов легкой промышленности выделяются отходы кожевенного производства.

Уровень использования (утилизации) промышленных отходов в Беларуси относительно невысок – около 16%. Однако этот показатель значительно различается для разных видов отходов. Практически не используется промышленный мусор (0,1%). Гидролизный лигнин утилизируется на 50,3%. Высокий уровень применения имеют отходы производства вкусовых и пищевых продуктов (84,2%). В последние годы несколько увеличился уровень утилизации токсичных отходов 1–4 классов опасности. Большая часть неиспользованных промышленных отходов удаляется на ведомственные полигоны и шламонакопители (94%), остальные вывозятся на полигоны твердых коммунально-бытовых отходов (4,7%) либо накапливаются на территории предприятий (0,7%) (Природная ..., 2002). Общий объем неиспользованных накопленных на земной поверхности промышленных отходов ежегодно увеличивается. По состоянию на конец 2015 г. он составил около 32 млн т (Состояние ..., 2016).

Как и для производственной ЛТС, многообразие технических объектов складской литотехнической системы в значительной степени определяет характер строения и состояния ее геологической составляющей. Причем изменение последнего нередко сопровождается формированием литохимических и гидрогеохимических полиэлементных аномалий, характеризующихся широкой ассоциацией элементов-загрязнителей, в составе которой преобладают наиболее опасные технофильные элементы (Природная ..., 2002). К примеру, на участке размещения шламонакопителей и полей фильтрации Гродненского ОАО «Азот» грунтовые воды загрязнены сульфатами (1700 мг/дм^3), нитратами (182 мг/дм^3), нитритами ($3,0 \text{ мг/дм}^3$), аммонием (60 мг/дм^3) (Прогноз ..., 2004). Под отвалами фосфогипса и шламонакопителем на Гомельском химическом заводе (ГХЗ)

подземные воды загрязнены фосфатами (до 7 ПДК), фтором (до 48 ПДК), сульфатами (до 14 ПДК) и другими компонентами. Причем загрязнение отмечено и в глубокозалегающем (30–35 м) палеогеновом водоносном горизонте (Галкин, 2004). На полигоне ТПО Бобруйского гидролизного завода, где ежегодно складировается более 46 тыс. т отходов, в подземных водах на глубине 45 м обнаружено высокое содержание Mg^{2+} – 77 мг/дм³, Pb^{2+} – 0,11 мг/дм³, Fe^{2+} – 3,6 мг/дм³, Zn^{2+} – 12,5 мг/дм³ (Логинов и др., 1999).

Такая же ситуация наблюдается и в отношении грунтов. Перечень основных веществ, загрязняющих грунты, включает тяжелые металлы, нефтепродукты, водорастворимые соединения – нитраты, сульфаты, хлориды и др. (рис. 6.5). По обобщенным данным только в зонах влияния полигонов ТПО в стране площадь территорий с опасным уровнем загрязнения почв и других грунтов зоны аэрации оценивается в 1,02 тыс. га (Природная ..., 2002; Состояние ..., 2010).

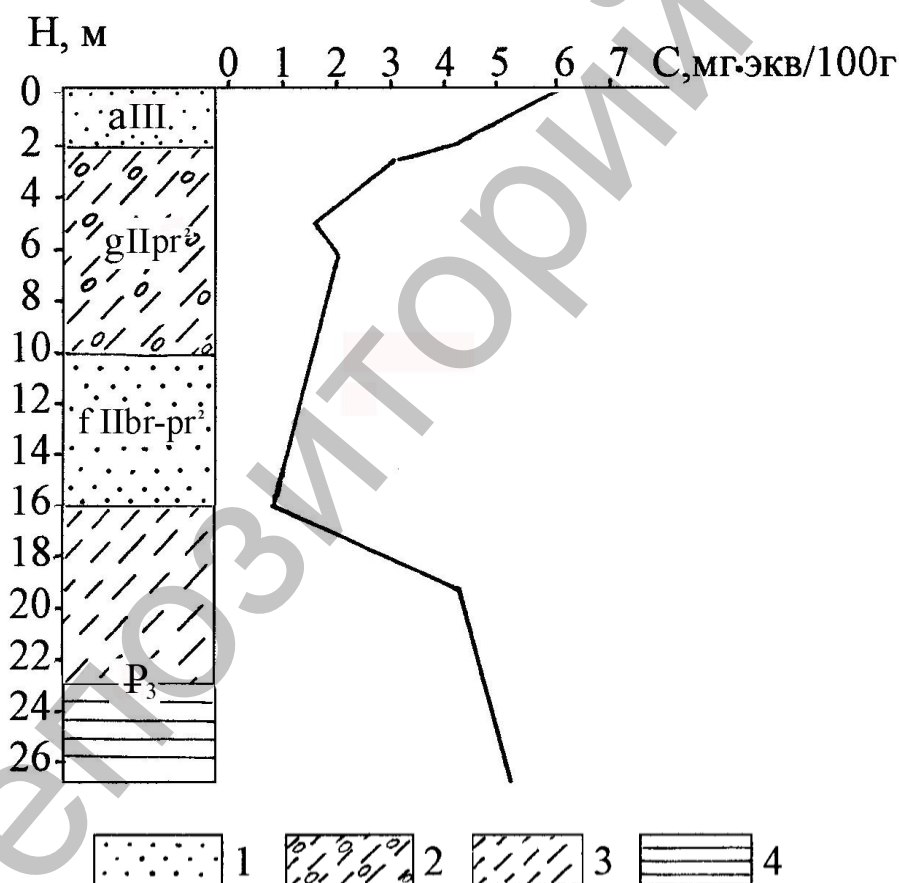


Рис. 6.5. Распределение концентрации иона SO_4^{2-} в разрезе поверхностных отложений на участке размещения отвалов фосфогипса Гомельского химзавода (по А.Н. Галкину, 2004).

1 – песок; 2 – супесь моренная; 3 – супесь пылеватая; 4 – глина

Кроме загрязнения компонентов геологической подсистемы при функционировании складской ЛТС часто происходят уплотнение и разогрев грунтов, повышается уровень грунтовых вод, что нередко приводит к

подтоплению и заболачиванию самих участков размещения системы и прилегающих к ним территорий (Галкин, Королев, 2014).

Зона техногенного влияния в складской ЛТС, как и в производственном виде, может распространяться на глубину в несколько десятков метров и совпадать с глубиной залегания эксплуатируемых водоносных горизонтов.

Оборонно-промышленная ЛТС занимает довольно обширную территорию Беларуси – 4,6 млн га или свыше 16,75% всей площади страны (Кудельский и др., 1997), отличается весьма широким разнообразием ее технических объектов (табл. 5.4). Основными среди этих объектов являются военные городки с присущими им жилищно-коммунальными службами, системой связи и службами обеспечения; взлетно-посадочные полосы и (или) стартовые ракетные комплексы; авиакапониры и площадки для размещения авто- и бронетехники; склады горюче-смазочных материалов, ракетных топлив и окислителей; погрузочно-разгрузочные платформы на авто- и железнодорожных коммуникациях; склады взрывчатых и отравляющих веществ; полигоны различного назначения (танкодромы, стрельбища, бомбометания и пр.); площадки для очистки и мытья военной техники и вооружений; военные промышленные комплексы и предприятия; места захоронения радиоактивных и других высокотоксичных отходов; специальные свалки; очистные сооружения (Кудельский и др., 1997). Такое разнообразие технических объектов в значительной степени определяет особенности строения геологической подсистемы рассматриваемой ЛТС – в функционирование вовлекаются не только четвертичные грунтовые массивы, но и более древние породы, залегающие под четвертичной толщей, причем нередко на значительной глубине.

Следует отметить, что, несмотря на широкое многообразие объектов технической и геологической подсистем, в данной ЛТС обособляются всего лишь два ее вида – *производственная* и *складская* (табл. 5.4). Часто эти виды сочетаются друг с другом и образуют так называемые военные базы.

В пределах оборонно-промышленной ЛТС наблюдаются весьма существенные изменения геологической подсистемы. Нарушается природный рельеф, на значительных территориях трансформируются покровные отложения (происходит формирование больших объемов техногенных грунтов), изменяется гидродинамический режим. Действие динамических нагрузок вызывает разуплотнение пород и, как следствие, повышается интенсивность эрозионных процессов. Повсеместно отмечается загрязнение компонентов геологической среды. Примером тому служат результаты исследований, проведенных в середине 1990-х годов сотрудниками Института геохимии и геофизики НАН Беларуси, геофизической экспедиции РУП «ПО «Белгеология»» и БелНИЦ «Экология» в зонах размещения бывших военных баз и формирований на территории Беларуси (Кудельский и др., 1997). Установлено, что наибольший вклад в загрязнение грунтов и подземных вод вносят ракетные топлива и компоненты к этому топливу (меланж,

гептил, салин, Т-185, изонит, амидол), нефтепродукты, тяжелые металлы, полугетучие органические соединения. Так, например, количество нефтепродуктов в почвах и подпочвенных грунтах территорий бывших военных баз, особенно в пределах складов горючих топлив, погрузочно-разгрузочных терминалов, пусковых ракетных комплексов и взлетно-посадочных полос, изменяется от 20 мг/кг (фоновое содержание) до сотен граммов на 1 кг грунта, при этом глубина проникновения в грунтовую толщу достигает 5 и даже 8–10 м (табл. 6.1), что соответствует глубине залегания грунтового водоносного горизонта.

Таблица 6.1

**Загрязнение почв и грунтов зоны аэрации нефтепродуктами (мг/кг)
на территории некоторых бывших военных баз Беларуси
(по А.В. Кудельскому и др., 1997)**

База или элементы базы	Интервал глубин, м		
	0–0,2	0,2–1,5	5,0–10,0
Речица Ракетный полк	до 8000,0		до 200,0
Калинковичи Инженерно-саперный батальон	до 12000,0		до 200,0
Ситня (Калинковичи) Узел связи дивизии	до 30000,0		
Красница-1	до 8000,0– 30000,0		до 1000,0
Красница-2	до 100,0	до 10000,0	до 500,0
Ружаны Ракетная база	от 0,89–72,0 до 102880,0		

Высоких концентраций в почвах и грунтах до глубины 5,0 м достигают тяжелые металлы (табл. 6.2). В наибольшей степени это характерно для участков размещения складов горюче-смазочных материалов, автогазажей, стартовых площадок и жилых комплексов.

Почти повсеместно грунтовые массивы загрязнены полугетучими высокотоксичными органическими веществами, среди которых идентифицированы нафталин (до 0,85 мг/кг), аценафтилен (до 2,23 мг/кг), аценафтен (до 30,87 мг/кг), флуорен (до 4,56 мг/кг), фенантрен (до 4,35 мг/кг), антрацен (до 2,40 мг/кг), флуорантен (до 16,70 мг/кг), пирен (до 21,07 мг/кг), бензо(а)-антрацен (до 2,05 мг/кг), хризен (до 9,45 мг/кг), бензо(б)-флуорантен (до 5,70 мг/кг), бензо(к)-флуорантен (до 0,67 мг/кг), бензо(а)-пирен (до 1,68 мг/кг), дибензо(А, Н)-антрацен (до 16,95 мг/кг), бензо(Г,Н,І)-перилен (до 48,21 мг/кг), индено(1,2,3-сд)-пирен пирен (до 5,76 мг/кг). Следует отметить, что все перечисленные органические загрязнители обнаружены и в грунтовых водах, причем в концентрациях, в десятки и сотни раз превы-

шающих ПДК, что свидетельствует об их высокой миграционной способности (Кудельский и др., 1997).

Таблица 6.2

Загрязнение почв тяжелыми металлами (мг/кг) в пределах некоторых бывших военных баз Беларуси (по А.В. Кудельскому и др., 1997)

База или элементы базы	Металлы, максимальные концентрации						
	Mn	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Pb
Речица Ракетный полк				1050			
Калинковичи Инженерно-саперный батальон		40	90	1050	0,75		1950
Ситня Узел связи дивизии				280			350
Красница-2	750			1500	350	350	30
Минойты				135	3,75		90
Гезгалы-1				115	4,50		120
Гезгалы-2				225	7,50		1800
Ружаны Ракетная база				105	7,50		450
Фоновые значения	210	3,7	4,2	21,0		0,15	5,4
ПДК/ОДК	1500						32,0

Как и в других типах и видах литотехнических систем, в оборонно-промышленной ЛТС пространственные границы чаще всего проводятся по границе нарушения гидрогеологических условий.

Селитебная ЛТС объединяет сеть населенных пунктов (технических систем), которая представлена в Беларуси 112 городами, 94 поселками городского типа и 23375 сельскими поселениями (Национальный ..., 2011).

В целом территория страны заселена относительно равномерно. При небольшой по сравнению с другими странами Европы средней плотности населения 50 чел./км² имеющиеся колебания в количестве населения, приходящегося на единицу площади, объясняются контрастами в концентрации городских жителей и оттоком населения из ряда радиоактивно загрязненных районов (Беларусь ..., 1996).

Густота сети населенных мест, которая влияет на уровень хозяйственного освоения территории, составляет в среднем 120 единиц на 1000 км², в том числе 1 городское поселение. При этом наблюдается снижение густоты сельских поселений по мере продвижения с севера на юг при одновременном увеличении их средних размеров. Это объясняется как историческими условиями, так и различием природной среды. Наличие пересеченной местности, озер и рек на севере страны обуславливает более густую и мелкоселенную сеть деревень, а заболоченность территории с отдельными пригодными для жизни местами на юге в Белорусском Полесье предопределила там редкую, но более крупную сеть сельских населенных пунктов.

В целом же две трети сел имеют менее 50 дворов. Почти треть сельского населения из общей численности 3,2 млн человек (31%) проживает в 11% сельских поселений. Но даже в этих самых многолюдных поселениях средняя численность жителей составляет около 600 чел. (Беларусь ..., 1996).

Весьма неоднородно распределено по территории Беларуси городское население. Часть его равномерно рассредоточена по территории страны. Проживает оно преимущественно в малых городских поселениях с числом жителей до 20 тысяч. Таких поселений преобладающее количество (171, или 80%), однако живет в них всего лишь 17,1% городского населения (Национальный ..., 2011).

Равномерная сеть малых городских поселений благоприятствует формированию системы центров обслуживания сельских жителей. Однако эти городские населенные пункты не в состоянии полноценно выполнять свою роль из-за низкого уровня социального и экономического развития.

На другом полюсе находится городское население, проживающее в городах с числом жителей более 100 тыс. Таких городов, включая столицу, 14, и проживает там 66% городского населения, или 45% всего населения страны. В шести областных центрах сосредоточена половина, в том числе в Минске – 24% городского населения (Беларусь ..., 1996).

Следует отметить, что на протяжении нескольких десятилетий наблюдается тенденция расширения границ городских поселений. Многие города и поселки фактически слились. Их административные границы пришли со временем в несоответствие с фактической застройкой или с географическими границами городов. В сельской местности все чаще можно встретить многоэтажные дома городского типа, и даже архитектура некоторых сельских поселений все больше тяготеет к поквартальной городской застройке.

Геологическая подсистема этой ЛТС представлена в основном толщей четвертичных отложений, служащих в большинстве случаев основанием фундаментов зданий и сооружений, нередко в сферу влияния технической подсистемы попадают дочетвертичные породы мезо-кайнозоя (особенно в местах распространения маломощной четвертичной толщи).

По функциональному назначению в селитебной ЛТС можно выделить три ее вида (табл. 5.4): *литотехнические системы жилой и общественной застроек* и *коммунальная ЛТС* (котельные, свалки твердых коммунально-бытовых отходов, очистные сооружения) (Галкин, 2009). Технические подсистемы этих видов ЛТС по-разному оказывают воздействие на геологическую составляющую данных систем, что является причиной возникновения различных инженерно-геологических процессов. Например, распространенным видом воздействия в городах республики являются статические нагрузки на толщу пород основания от веса зданий и сооружений. С развитием массового строительства многоэтажных зданий, что особенно наблюдается в последние десятилетия в областных и районных центрах

Беларуси, они значительно возрастают. Статические давления от многоэтажных зданий могут достигать 0,5 МПа, а от отдельных сооружений до 2 МПа, в связи с чем в зоне активного сжатия глубиной до 30 м и более происходят уплотнение грунтов и уменьшение их влажности. Это в свою очередь вызывает линейные неоднородные по величине деформации осадки сооружений, местами значительные и продолжительные во времени (Галкин, 2006; Торбенко и др., 2007).

Неуклонно возрастают темпы накопления техногенных грунтов, в том числе культурного слоя. Во всех городах в различной степени фиксируется нарушение естественного температурного режима грунтовых толщ. Так, например, проводимые И.А. Красовской на территории Гомеля исследования позволили установить в пределах города ряд устойчивых аномалий повышенных значений температуры грунтов на 2–5°C выше фоновых значений (Красовская, 2005).

Значительно изменены гидрогеологические условия: в эксплуатируемых горизонтах снижаются напоры, а уровень грунтовых вод, наоборот, повышается. Последнее часто приводит к подтоплению жилых и административных зданий и сооружений. В большинстве случаев подтопление в условиях города носит локальный характер и довольно быстро ликвидируется. Но известно немало случаев, когда подтопление приводило к созданию постоянных или временных, с достаточно длительным сроком существования, водоносных горизонтов. Такие инженерно-гидрогеологические горизонты, наряду со спорадическим обводнением, получили развитие во многих городах и поселках городского типа страны (Галкин, Королев, 2014).

Инженерно-геологические процессы, к которым относится подтопление, отличается разнообразие форм и масштабов проявления, характеристик режима и состава вод, их гидравлических связей, что объясняется и неоднородностью инженерно-геологических условий, и множественностью причин возникновения и развития этих процессов⁵.

Фильтрация, подъемы и снижения уровней вод новообразованных горизонтов создают условия для развития суффозии, увеличивают вероятность плоскостного смыва, овражной эрозии и оползневых явлений. В отличие от естественных грунтовых вод, режим которых довольно устойчив и обусловлен климатическими факторами, подтопление связано с деятельностью человека и нередко подчиняется технологическим или функциональным циклам городского хозяйства. Процесс подтопления, как правило, быстротечен, и за несколько дней может быть образована обширная зона подтопления городских строений (Голодковская, Елисеев, 1989). И еще одна особенность подтопления городских территорий – с ним зачастую

⁵ Подробная характеристика процессов приведена во второй части издания: Галкин, А.Н. Инженерная геология Беларуси: в 3 ч. / А.Н. Галкин и др. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2017. – Ч. 2: Инженерная геодинамика Беларуси / под науч. ред. В.А. Королева. – 452 с.

связаны химическое и бактериальное загрязнения, рост температуры и агрессивности подземных вод и грунтов зоны аэрации.

Загрязнение подземных вод в населенных пунктах страны является одной из острых экологических проблем. Исследованиями (Прогноз ..., 2004) установлено, что наиболее высокие уровни загрязнения подземных вод формируются в пределах сельских населенных пунктов и в городских районах частной застройки. Наибольшей интенсивностью на этих участках отличается нитратное загрязнение. В водах колодцев и неглубоких скважин содержание нитратов часто возрастает до 300–600 мг/дм³, достигая в отдельных случаях 1200–2492 мг/дм³. По данным РУП «Белгеология», в настоящее время 82% колодцев, которыми пользуется подавляющая часть сельского населения, имеют воду, не удовлетворяющую санитарным нормам по нитратам. Часто эти воды неблагоприятны и по ряду других химических и микробиологических показателей (Природная ..., 2002).

Нельзя не отметить загрязнение подземных вод, наблюдаемое и в крупных городах, где в водах групповых водозаборов нередко в повышенных концентрациях содержатся хлориды, сульфаты, соединения азота и ряд других компонентов. Например, в застроенной части Гомеля на глубине 40–60 м в напорных водах эксплуатационного палеогенового водоносного горизонта зафиксировано возрастание содержания хлоридов (до 656 мг/дм³), нитратов (до 90 мг/дм³) и сульфатов (до 577 мг/дм³) (Жогло, Галкин, 2012).

Значительное влияние на загрязнение подземных вод оказывают объекты коммунальных служб – свалки твердых коммунальных и бытовых отходов (ТКБО), очистные сооружения и т.д. В настоящее время на территории Беларуси действует 166 полигонов ТКБО, занимающих площадь более 900 га (Состояние ..., 2016). Химический состав грунтовых вод на участках их размещения глубоко трансформирован. Характерными компонентами загрязнения здесь являются NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, K⁺, Na⁺. Концентрации нитратов достигают нередко 300–600 мг/дм³ и более (до 1000–1400 мг/дм³), содержание хлоридов возрастает до 2500 мг/дм³ и калия – до 800 мг/дм³ (Природная ..., 2002). Так, например, в районе свалки ТКБО и очистных сооружений Гомеля в грунтовых водах отмечено высокое содержание щелочных металлов (Na⁺ – 1500 мг/дм³, K⁺ – 800 мг/дм³), хлоридов (2750 мг/дм³), железа (23,5 мг/дм³), а также присутствие нефтепродуктов (до 0,71 мг/дм³), аммония и тяжелых металлов в концентрациях, во много раз превышающих ПДК (Лебедева, Волкова, 2003; Природная ..., 2002). На полигоне ТКБО «Бабино» Бобруйского района обнаружено высокое содержание меди, цинка, свинца и других элементов, многократно превышающее ПДК (Логинов и др., 1999).

Часто воды неблагоприятны и по содержанию органических соединений. Так, в окрестностях городских свалок ТКБО в подземных водах фиксируются производные масляной кислоты (до 0,15 мг/дм³) и ди-*n*-бутилфталат

(до 0,13 мг/дм³), при этом общее количество полуплетучих веществ может достигать 0,18–0,30 мг/дм³. Как следствие дальнейшей миграции органических соединений, некоторые из них зафиксированы в отдельных скважинах городских водозаборов Минска: «Новинки» (трихлорэтилен и 1,2-дихлорэтилен), «Петровщина» (ксилолы) и «Зеленовка» (трихлорэтилен и 1,2-дихлорэтилен; 1,1-дихлорэтилен, 1,1-дихлорэтан, 1,1,1-трихлорэтан) (Кудельский и др., 2001).

Аналогичная ситуация наблюдается и с загрязнением грунтов зоны аэрации, главным образом почв (табл. 6.3). По оценкам специалистов (Состояние ..., 2010) в Беларуси площадь территорий с опасным уровнем загрязнения почв в городах и в зонах влияния полигонов ТКБО оценивается в 78,6 и 1,44 тыс га соответственно. При этом следует отметить, что пространственные границы селитебной ЛТС контролируются, главным образом, границами нарушения естественных гидрогеологических условий.

Транспортно-коммуникационная ЛТС отличается большим разнообразием технических объектов (авто- и железные дороги, продуктопроводы, линии электропередач, взлетно-посадочные полосы аэродромов, АЗС, вокзалы, депо, ангары, парки, различная техника и др.) и их пространственным размещением. Они могут формироваться как на больших территориях, так и на локальных участках. Это позволяет выделить в данном типе ЛТС пять ее видов (табл. 5.4): *автодорожная, железнодорожная, авиационная, коммуникационно-энергетическая и промышленно-продуктопроводная ЛТС*. Геологическая подсистема этих ЛТС в основном представлена толщей четвертичных грунтов, служащих основанием зданий и сооружений.

Создание и функционирование транспортно-коммуникационной ЛТС, как правило, приводят к изменению всех компонентов инженерно-геологических условий. Существенно нарушается естественный рельеф: проводятся планировка земной поверхности, засыпка овражно-балочных систем, создаются дорожные насыпи и выемки. Формируются большие объемы техногенных насыпных грунтов. В основании сооружений происходит уплотнение грунтов, а динамические нагрузки, наоборот, способствуют разуплотнению грунтов. Последнее часто является причиной возникновения обвально-оползневых процессов на откосах выемок вдоль авто- и железных дорог (Галкин, Королев, 2014).

Таблица 6.3

Содержание химических веществ в почвах городов Беларуси в 2015 г., мг/кг (по Состояние ..., 2016)

Объект наблюдений	pH	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Нефте-продукты	Бензо(а)пирен	Тяжелые металлы (общее содержание), мг/кг				
						Cd	Zn	Pb	Cu	Ni
Бобруйск	<u>5,59–7,76</u> 6,75	<u>0,4–150,6</u> 94,5	<u>2,8–40,7</u> 5,2	<u>10,8–1206,4</u> 111,3	–	<u>0,23–0,76</u> 0,43	<u>15,2–469,3</u> 63,0	<u>3,3–107,1</u> 15,5	<u>1,0–38,2</u> 8,0	<u>2,2–14,3</u> 4,9
Жодино	<u>6,34–7,76</u> 7,13	<u>23,5–76,2</u> 48,6	<u>23,4–81,3</u> 45,2	<u>17,2–140,0</u> 58,1	–	<u>0,16–0,41</u> 0,30	<u>12,0–31,0</u> 19,7	<u>2,2–13,0</u> 6,1	<u>2,5–17,5</u> 7,2	<u>4,0–7,1</u> 5,5
Кричев	<u>7,54–8,85</u> 8,14	<u>66,1–124,9</u> 96,1	<u>2,8–10,2</u> 3,8	<u>14,1–103,2</u> 43,1	–	<u>0,25–2,25</u> 0,63	<u>29,1–222,4</u> 88,8	<u>6,4–156,3</u> 23,6	<u>4,6–38,1</u> 11,6	<u>4,0–18,0</u> 6,4
Минск	<u>6,91–8,51</u> 8,16	<u>28,8–141,4</u> 55,1	<u>5,1–39,8</u> 19,2	<u>43,7–494,5</u> 104,6	<u>0,0010–0,0140</u> 0,005	<u>0,13–0,48</u> 0,26	<u>21,7–102,1</u> 44,7	<u>3,1–34,7</u> 7,3	<u>10,7–83,8</u> 33,3	<u>4,4–12,9</u> 6,5
Орша	<u>7,00–8,21</u> 7,67	<u>38,8–116,3</u> 75,7	<u>2,4–63,1</u> 25,6	<u>18,8–298,0</u> 61,4	<u>0,0000–0,0070</u> 0,003	<u>0,10–0,23</u> 0,16	<u>19,4–100,1</u> 39,5	<u>5,6–12,4</u> 7,4	<u>5,7–7,4</u> 6,6	<u>4,2–7,3</u> 5,5
Рогачев	<u>6,18–7,80</u> 7,02	<u>24,9–89,7</u> 56,0	<u>7,9–41,7</u> 25,8	<u>56,8–168,7</u> 103,3	–	<u>0,08–0,32</u> 0,12	<u>23,0–103,4</u> 52,0	<u>3,6–42,3</u> 12,4	<u>4,8–19,9</u> 9,2	<u>2,2–6,3</u> 4,0
Слоним	<u>5,98–7,26</u> 6,76	<u>45,6–139,7</u> 77,5	<u>23,4–105,0</u> 40,0	<u>23,0–192,6</u> 65,0	–	<u>0,10–0,29</u> 0,17	<u>10,8–57,0</u> 39,2	<u>2,9–34,0</u> 17,5	<u>4,8–33,0</u> 13,8	<u>2,1–8,0</u> 5,3
Слуцк	<u>6,78–7,50</u> 7,11	<u>53,8–164,4</u> 96,6	<u>19,1–77,6</u> 50,6	<u>25,3–112,7</u> 46,6	–	<u>0,25–0,48</u> 0,35	<u>28,0–63,0</u> 45,3	<u>5,2–46,5</u> 15,3	<u>5,3–23,7</u> 10,4	<u>3,9–10,0</u> 6,1
Фоновые значения**		57,0	35,2	–		0,15	21,0	5,4	4,2	3,7
ПДК/ОДК		160,0	130,0	50,0				32,0		
почвы песчаные и супесчаные						0,5	55,0		33,0	20,0
почвы суглинистые и глини- стые, pH<5,5						1,0	110,0		66,0	40,0
почвы суглинистые и глини- стые, pH>5,5						2,0	220,0		132,0	80,0

*В числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее значение. **Фоновые значения получены на фоновых участках в 2015 г.

Загрязняются грунты и подземные воды. Весьма большие проблемы связаны с эксплуатацией линейных сооружений, особенно автомобильных дорог, вдоль которых часто возникают литохимические (педохимические) и гидрогеохимические полиэлементные аномалии с широкой ассоциацией элементов-загрязнителей (Галкин и др. ..., 2017).

Серьезные проблемы загрязнения компонентов геологической подсистемы связаны и с эксплуатацией магистральных продуктопроводов, общая протяженность которых на территории Беларуси составляет более 10,5 тыс км. Возникающие аварийные ситуации при их эксплуатации являются главной причиной загрязнения грунтов и подземных вод нефтепродуктами. В частности, из-за разрыва трубы нефтепровода «Дружба», случившегося 13 мая 2009 г. в Дрогичинском районе Брестской области, произошла утечка 100 м³ сырой нефти. В результате 5 тыс. м² почвенного слоя было подвергнуто загрязнению. Помимо этого нефть попала в мелиоративный канал примерно в 180 м от места аварии. Это стало причиной локального нефтяного загрязнения грунтовых вод.

23 марта 2007 г. в Бешенковичском районе Витебской области из-за прорыва магистрального нефтепровода «Унеча–Вентспилс» произошла утечка 243,5 тонн нефтепродуктов. В результате 110 тыс. м² прилегающей к трубопроводу территории подверглось нефтяному загрязнению, часть нефтепродуктов попала в приток Западной Двины – реку Улла, которая была загрязнена на протяжении 15 км. Следует отметить, что в мае этого же года аварийная ситуация на данном участке нефтепровода повторилась.

Можно привести еще не один такой пример. Достаточно сказать, что только с 2000 г. крупных аварий на продуктопроводах в разных районах страны произошло около двух десятков. Кроме того, имелись случаи умышленного повреждения трубопроводов с целью хищения топлива, которые также сопровождались загрязнением компонентов геологической подсистемы.

Как и во многих других типах и видах литотехнических систем, в транспортно-коммуникационной ЛТС пространственные границы будут устанавливаться по границам литохимических и гидрогеохимических аномалий (Галкин, Королев, 2014).

Водохозяйственная ЛТС включает два вида – *водную* и *гидротехническую* (табл. 5.4). Соответственно их техническими составляющими будут являться водные объекты (водохранилища, пруды, каналы и др.) и гидротехнические сооружения (плотины, дамбы, водозаборные скважины, водопроводы и др.). Они издавна служили транспортными путями, источниками энергии, водоснабжения, использовались для орошения, лесосплава, рыболовства. Из всего многообразия технических систем этой ЛТС следует отметить, в первую очередь, водохранилища, пруды, каналы и зарегулированные отрезки рек.

Вообще речную сеть страны следует рассматривать как две сложные полисистемы, разделенные региональным водоразделом. Это системы Черноморского и Балтийского бассейнов. Всего в Беларуси насчитывается более 20 тыс. рек общей протяженностью свыше 90 тыс. км. Основная часть этого показателя (93%) приходится на малые реки длиной до 10 км. В границах страны средняя густота речной сети составляет $0,44 \text{ км/км}^2$, причем в северной, более возвышенной, части для отдельных водосборов она увеличивается до $0,60\text{--}0,80 \text{ км/км}^2$, а в южной снижается до $0,23\text{--}0,30 \text{ км/км}^2$. Характерны, особенно для севера Беларуси, высокий процент канализированных рек и наличие осушительной сети, которая составляет $0,77 \text{ км/км}^2$ в среднем по республике. Общий объем речного стока в среднем $57,9 \text{ км}^3/\text{год}$, за счет чего и обеспечивается все основное водопотребление и водопользование (Нацыянальны ..., 2002). В то же время, несмотря на то, что в целом ресурсы речных вод вполне достаточны для удовлетворения потребностей в воде, неравномерность распределения речного стока по сезонам и из года в год, а также по территории страны приводит к необходимости создания водохранилищ и прудов различного типа и назначения.

На территории Беларуси насчитывается около 160 водохранилищ. Наиболее крупные из них: Освейское (104 млн м^3), Лукомское (243 млн м^3), Вилейское (260 млн м^3), Заславское ($108,5 \text{ млн м}^3$). Основное предназначение водохранилищ: орошение, водообеспечение, рыбоводство, рекреация, использование в качестве прудов-охладителей. По происхождению водохранилища подразделяются на озерные, речные и наливные.

На реках страны действует 17 малых ГЭС общей мощностью 9 МВт с выработкой электроэнергии 27 млн кВт/час в год. При обосновании целесообразности более широкого привлечения в энергобаланс страны ее гидроэнергopotенциала проведены исследования по эколого-экономической оценке возможностей создания на притоках основных рек ряда новых эффективных ГЭС установленной мощностью каждой от 0,1 до 12 МВт со сроком окупаемости от 2 до 12,5 лет (Нацыянальны ..., 2002).

Особую группу составляют водохранилища озерного типа, которые используются в качестве водоемов-охладителей при ГРЭС (озера Белое, Лукомское), отличающихся особым термическим режимом.

Водохранилища и пруды как регулируемые системы нуждаются в постоянном контроле и уходе. Игнорирование этого может привести к их заилению и зарастанию, усилению процессов заболачивания на прилегающих территориях, ухудшению санитарного состояния водной массы, разрушению берегов и в итоге к гибели самого водоема.

По характеру геологической составляющей большинство объектов водохозяйственной ЛТС располагается в регионах с широким распростра-

нением четвертичных песчано-глинистых и торфяных грунтов с различной глубиной залегания уровня грунтовых вод.

Отдельно нужно остановиться на водозаборных сооружениях. На территории республики действует большое число групповых водозаборов и одиночных скважин, отбирающих не один миллион кубических метров воды в сутки, объемы отбора подземных вод заметно растут. Так, по состоянию на 01.01.2016 г. на территории Беларуси водоотбор осуществлялся на 242 водозаборах 156 городов и поселков городского типа, промышленных центров и других населенных пунктов суммарным объемом свыше 845 млн м³ при степени использования разведанных эксплуатационных запасов подземных вод в среднем порядка 20% (Состояние .., 2016). Эксплуатируются в основном неглубоко залегающие (50–200 м) водоносные горизонты, имеющие тесную гидравлическую связь с вышележащими горизонтами подземных вод и поверхностными водотоками.

При создании и эксплуатации разных видов водохозяйственной ЛТС отмечается целый ряд изменений инженерно-геологических условий, порой региональных по масштабу. Прежде всего, это касается гидрогеологических условий. Фильтрация воды из водохранилищ и каналов вызывает подъем уровня грунтовых вод, способствует проявлению по берегам водоемов набухания глинистых грунтов и, как следствие, обвальных и оползневых процессов. Интенсивный отбор пресных подземных вод водозаборными сооружениями приводит, как правило, к изменениям условий питания водоносных горизонтов, формированию крупных депрессионных воронок, что нередко является причиной осушения смежных водоносных горизонтов и оседания земной поверхности.

Наиболее обстоятельные исследования по влиянию водозаборных сооружений на гидрогеологические условия Беларуси были проведены М.В. Фадеевой и В.И. Бучуриным (1982). В частности, ими было установлено, что в зависимости от режима фильтрации и граничных условий эксплуатируемого водоносного горизонта будут определяться размеры, форма и характер развития депрессионных воронок. Так, например, на участках водозаборов в долинах рек (города Орша, Витебск, Минск) при наличии хорошей гидравлической связи эксплуатируемого горизонта с поверхностными водами обычно формируется установившийся режим фильтрации. При этом от 50 до 90% получаемой на водозаборе воды обеспечивается за счет реки. Влияние водозабора проявляется в уменьшении расхода реки и снижении уровня грунтовых вод в сторону водораздела на расстоянии 1–2 км.

При эксплуатации неглубоко залегающих водоносных горизонтов (водозаборы Минска, Борисова, Калинковичей и др.) перетекание является решающим фактором формирования режима подземных вод. Проявление этого процесса влечет за собой изменение граничных условий и, собственно, расчетных гидрогеологических параметров. Радиус влияния таких водозаборов обычно распространяется на 2–6 км.

Для глубоко залегающих пластов характерен при эксплуатации неустановившийся режим фильтрации. Здесь получаемые дебиты обеспечиваются ресурсами собственно пласта. При этом радиус депрессии пьезометрической поверхности горизонта достигает 10–15 км (водозаборы Молодечно, Минска, Гродно и др.). По мере увеличения разницы в напорах эксплуатируемого и смежных с ним горизонтов из последних формируются перетоки, служащие дополнительными источниками питания эксплуатационных запасов, что нередко приводит к изменению химического состава подземных вод (Фадеева, Бучурин, 1982).

Как и на водозаборах, в зоне действия мелиоративных систем происходит переформирование баланса грунтовых вод, изменяются его основные элементы. Так, например, питание грунтовых вод может возрасти за счет более интенсивного подтока (в результате увеличения разности напоров) вод нижележащих напорных водоносных горизонтов, гидравлически взаимосвязанных с ними. Это в одних случаях может вызвать сработку запасов напорных вод, а в других – потребовать устройства вертикального дренажа. Кроме того, значительное снижение уровня грунтовых вод в пределах мелиорированных земель, особенно торфяных массивов, вызывает дефляцию почвенного покрова (Галкин и др., 2006).

С осушительной мелиорацией связана также и химическая трансформация подземных вод, причем, изменяется их как микро-, так и макрокомпонентный состав.

Поскольку все трансформации геологической подсистемы в водохозяйственной ЛТС так или иначе связаны с подземными водами, очевидно, что их пространственные границы проводятся по границе нарушения гидрогеологических условий (Галкин, Королев, 2014).

Сельскохозяйственная ЛТС охватывает обширные территории страны (более 40% всей площади республики) и отличается неоднородностью состава ее технической подсистемы (табл. 5.4), в которой по признаку прямого или опосредованного воздействия на геологическую составляющую ЛТС можно выделить собственно технические (животноводческие фермы, комплексы, механизированные хозяйства обслуживания аграрной техники – машинно-тракторные станции, мастерские и др.; тепличные строения, кормохранилища, склады для хранения минеральных удобрений и ядохимикатов, выгребные ямы, навозохранилища и др.) и квазитехнические (пахотные земли, возделанные сельскохозяйственной техникой, удобренные и засеянные различными культурами; луга для заготовки кормов и выпаса скота; садовые участки с искусственными насаждениями и др.) объекты (или системы). Последнее позволяет выделить несколько видов сельскохозяйственной ЛТС. Это *животноводческая, тепличная, складская, пахотная (в том числе пахотно-культурно-сенокосная), лугово-пастбищная, садовая ЛТС* (Галкин, 2008, 2009). При этом геологическая составляющая данных видов ЛТС, несмотря на их многообразие, пред-

ставлена исключительно толщей четвертичных грунтов, служащих основанием различных сооружений, либо субстрата квазитехнических систем.

В пределах сельскохозяйственной ЛТС наблюдаются весьма заметные изменения геологической подсистемы. Нарушается природный рельеф, на больших территориях трансформируются покровные отложения, гидродинамический и гидрогеохимический режимы. Весьма остро стоит проблема водной (84%) и ветровой (16%) эрозии сельскохозяйственных земель (Состояние ..., 2010), когда в эрозионный процесс помимо почвы вовлекаются грунты почвенного основания.

Согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь общая площадь сельскохозяйственных земель, подверженных деградации в результате эрозионных процессов, составляет около 556,5 тыс. га или 6,3% сельхозземель страны, из них на долю пашни приходится 479,5 тыс. га или 8,7% всех пахотных земель (Состояние ..., 2011).

Районы наиболее интенсивного проявления линейной и плоскостной эрозии приурочены, главным образом, к краевым ледниковым возвышенностям – Минской, Новогрудской, Оршанской, Мозырской, и Могилевской водно-ледниково-моренной равнине. Для этих территорий характерны сложный пересеченный рельеф, значительная длина склонов, пылеватые-суглинистые почвы, развивающиеся на мощных лессовидных суглинках и супесях, характеризующихся малой водопроницаемостью и легко поддающихся размыву дождевыми и талыми водами.

Районы распространения сильной плоскостной эрозии приурочены к Городокской и Витебской возвышенностям, Свенцянской гряде, для которых характерен холмистый, расчлененный рельеф, крутые и короткие склоны, пестрый механический состав почв.

Средние по интенсивности проявления плоскостной эрозии наблюдаются в пределах Ошмянской, средней части Минской, а также Гродненской и Волковысской возвышенностей, Копыльской гряды и большей части Могилевской моренно-водно-ледниковой равнины, характеризующихся более спокойным сглаженным слабохолмистым и волнистым рельефом. Однако здесь преобладают почвы с малой водопроницаемостью, поэтому наряду с плоскостным смывом может возникать и линейная эрозия.

На остальной части территории Беларуси водно-эрозионные процессы проявляются в меньшей степени или не проявляются вовсе.

Для юга страны – Белорусского Полесья – характерно преобладание дефляционных процессов, что обусловлено особенностями рельефа (наличие плоских низин и равнин) и почвенно-климатическими условиями (преимущественное распространение песчаных и торфяных почв и неустойчивое их увлажнение) (Галкин и др., 2006).

Актуальна также проблема химического и микробиологического загрязнения компонентов геологической подсистемы, которая в настоящее время приобрела масштабный региональный характер. Так, например, ин-

тенсивное применение известковых и фосфорных удобрений в отдельных хозяйствах Гомельской области привело к переизвесткованию и зафосфачиванию почв на площадях, занимающих 40–80% пашни (Галкин, 2004). По результатам агрохимического картирования, проводимого Институтом почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, в республике (главным образом в Гомельской, Минской и Могилевской областях) 260,3 тыс. га сельскохозяйственных земель содержат в избытке медь, 179,3 тыс. га – цинк, 100 тыс. га – свинец, 45 тыс. га – кадмий (Макарова и др., 2002).

Загрязнение компонентов геологической подсистемы происходит практически на всех пахотных землях, где применяются органические и минеральные удобрения, на территориях животноводческих ферм и комплексов, полях орошения животноводческими стоками. На таких участках в почвенном горизонте и грунтовых водах наблюдается значительный рост (в десятки раз) содержания органических веществ, ионов NO_2^- , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} и некоторых других компонентов. К примеру, проводимые в 1987–1998 гг. режимные наблюдения на полях орошения животноводческими стоками в Лельчицком районе Гомельской области позволили проследить рост содержания в верхней зоне грунтовых вод: Cl^- – с 5–8 до 100–180 мг/дм³; NO_3^- – с 2–5 до 50–90 мг/дм³ и NH_4^+ – с 0,1–0,5 до 5–18 мг/дм³ (Природная .., 2002).

Проникновение компонентов сельскохозяйственного загрязнения прослеживается на глубину залегания эксплуатируемых напорных водоносных горизонтов, а вниз по потоку грунтовых вод – до 1,5 км от зоны загрязнения (Природная .., 2002). Следовательно, границы нарушения естественных гидрогеологических условий будут определять пространственные границы сельскохозяйственной ЛТС.

Подводя итог характеристике сельскохозяйственной ЛТС, следует отметить, что если учесть значительные площади сельскохозяйственных земель и длительность этапа их освоения, то суммарное их воздействие на геологическую составляющую окажется во много раз сильнее, чем влияние всех остальных ЛТС страны (Галкин, Королев, 2014).

Сельскохозяйственно-селитебная ЛТС рассредоточена, в основном, вблизи городских поселений. Формирование данного типа ЛТС связано с обустройством приусадебных хозяйств и созданием садово-дачных кооперативов, включающих в себя жилые и нежилые постройки, сады, огороды и пр. (табл. 5.4). При этом следует заметить, что количество подобных объектов за последние 20 лет возросло более чем в 4 раза (по состоянию на 01.01.2011 г. в стране имелось 4727 садоводческих товариществ общей площадью 50,5 тыс. га) (Национальная .., 2011). Территории, занятые ими, нередко соизмеримы с населенными пунктами, иногда даже превосходят их по площади.

Влияние технических объектов сельскохозяйственно-селитебной ЛТС на ее геологическую подсистему не столь велико, как сельскохозяй-

ственной и селитебной ЛТС в отдельности. Поскольку это влияние ограничивается сравнительно небольшой глубиной проникновения в сферу взаимодействия геологической и технической составляющих ЛТС и носит преимущественно сезонный характер (Галкин, Королев, 2014).

Лесохозяйственная ЛТС в региональном плане занимает около 1/5 территории Беларуси (Нацыянальны ..., 2002). Ее техническая подсистема представляет собой комплекс хозяйств, обеспечивающих выращивание и заготовку леса. Сюда входят различная техника для проведения лесоустроительных и лесозаготовительных работ (собственно технические объекты), а также лесные массивы, вырубки, гари, прогалины, площади, занятые не сомкнувшимися лесными культурами и др. (квазитехнические объекты) (табл. 5.4). Геологическая составляющая данной ЛТС представлена исключительно толщей четвертичных грунтов.

Больше всего лесов во вторично водно-ледниковых, аллювиально-террасированных, озерно-ледниковых и камово-моренно-эрозионных ландшафтах (Марцинкевич и др., 1989). Это преимущественно коренные насаждения, типичные формации лесной зоны: широколиственно-еловые на севере, грабово-дубово-темнохвойные в центральной части страны и широколиственно-сосновые (полесские) на юге. В составе всех лесов преобладают сосновые – более 50% лесопокрытой площади.

На значительной территории произрастают мелколиственные березовые, черноольховые, осиновые леса, сформированные на месте коренных хвойных и хвойно-широколиственных лесов в результате пожаров, рубок и других воздействий техногенного характера. Около 9,5% лесов – ельники, примерно 4% – дубравы (Марцинкевич и др., 1989).

Леса интенсивно вырубаются – объемы заготовки древесины в стране составляют порядка 8 млн м³/год, так что можно говорить об истощении лесных ресурсов. Это приводит не только к зарастанию площадей низкокачественными лесными породами, но и к активизации геологических и инженерно-геологических процессов. Так, например, сопоставление карты динамики лесов северо-запада Беларуси за 190 лет (1800–1990 гг.) с картой современных экзогенных геологических процессов этого же региона (рис. 6.6, 6.7) показало, что на площадях, измененных вырубкой леса, в настоящее время активно протекают плоскостная и линейная эрозии, гравитационные и болотообразовательные процессы. В то время как на территориях, занятых старыми лесными массивами или измененных лесопосадкой, указанные процессы характеризуются весьма слабой активностью или вовсе не проявляют себя.

Анализируя особенности функционирования лесохозяйственной ЛТС, нельзя не отметить роль лесов в загрязнении компонентов геологической подсистемы. Некоторые загрязняющие вещества, переносимые поверхностными водами или воздушными потоками, способны накапливаться в фитомассе и в лесных почвах. Последующая их миграция в подпочвенное

пространство создает реальные предпосылки загрязнения грунтовых вод. Примером тому служат грунтовые воды в одной из наблюдательных скважин, расположенной в более чем полувекового возраста лесном массиве в 1,5 км от Гомельского химзавода. По данным А.Ф. Акулевича (2012) в воде обнаружено повышенное содержание сульфат-иона ($50,3\text{--}73,5 \text{ мг/дм}^3$) по отношению к фоновой его концентрации (38 мг/дм^3).

Границы лесохозяйственной ЛТС в плане в большинстве случаев совпадают с контурами ее технической составляющей (преимущественно контурами квазитехнических объектов), а в глубину – будут определяться нижней границей почвенного горизонта, в отдельных случаях уровневой поверхностью грунтовых вод (Галкин, Королев, 2014).

Сельско-лесохозяйственная ЛТС является довольно распространенным типом литотехнических систем. Формируется она в зоне смешанных лесов, в общей площади страны занимает около 1/3 ее территории, приурочена к центральным, восточным и южным частям Беларуси (Нацыянальны ..., 2002).

Данная ЛТС рассматривается нами как переходный тип, включающий в себя признаки и сельско-хозяйственной ЛТС, и лесохозяйственной литотехнической системы. Ее отличительной особенностью является совместное присутствие в структуре технической составляющей ЛТС пашни, лугов и лесных угодий в разных их сочетаниях (Галкин, 2008, 2009). Геологическая составляющая этой ЛТС представлена, как и у большинства литотехнических систем, толщей четвертичных грунтов.

В пределах сельско-лесохозяйственной ЛТС наблюдаются, в основном, слабые изменения ее геологической подсистемы. Здесь в наименьшей степени выражены эрозионные процессы. Почвы, как правило, закреплены растительностью и более устойчивы к техногенному воздействию. Загрязнение грунтов зоны аэрации и подземных вод при функционировании рассматриваемой ЛТС по масштабам и интенсивности сопоставимо с загрязнением компонентов геологической подсистемы в пределах лесохозяйственной ЛТС.

Границы сельско-лесохозяйственной ЛТС в плане преимущественно совпадают с контурами ее технической составляющей (контурами квазитехнических объектов), а в вертикальном разрезе будут ограничиваться либо нижней границей почвенного горизонта, либо уровневой поверхностью грунтовых вод (Галкин, Королев, 2014).

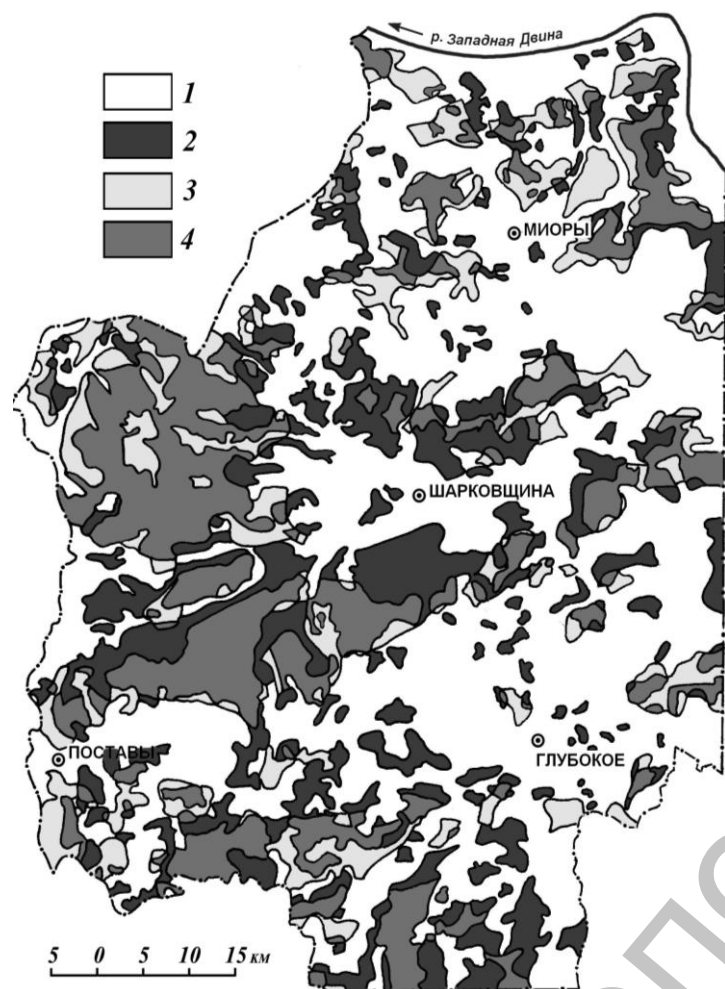


Рис. 6.6. Схематическая карта динамики лесов северо-запада Беларуси за период с 1800 г. по 1990 г.
(по А.Н. Галкину, 2014)

Территории: 1 – не занятые лесом, 2 – измененные вырубкой леса, 3 – измененные посадкой леса; 4 – лесные массивы

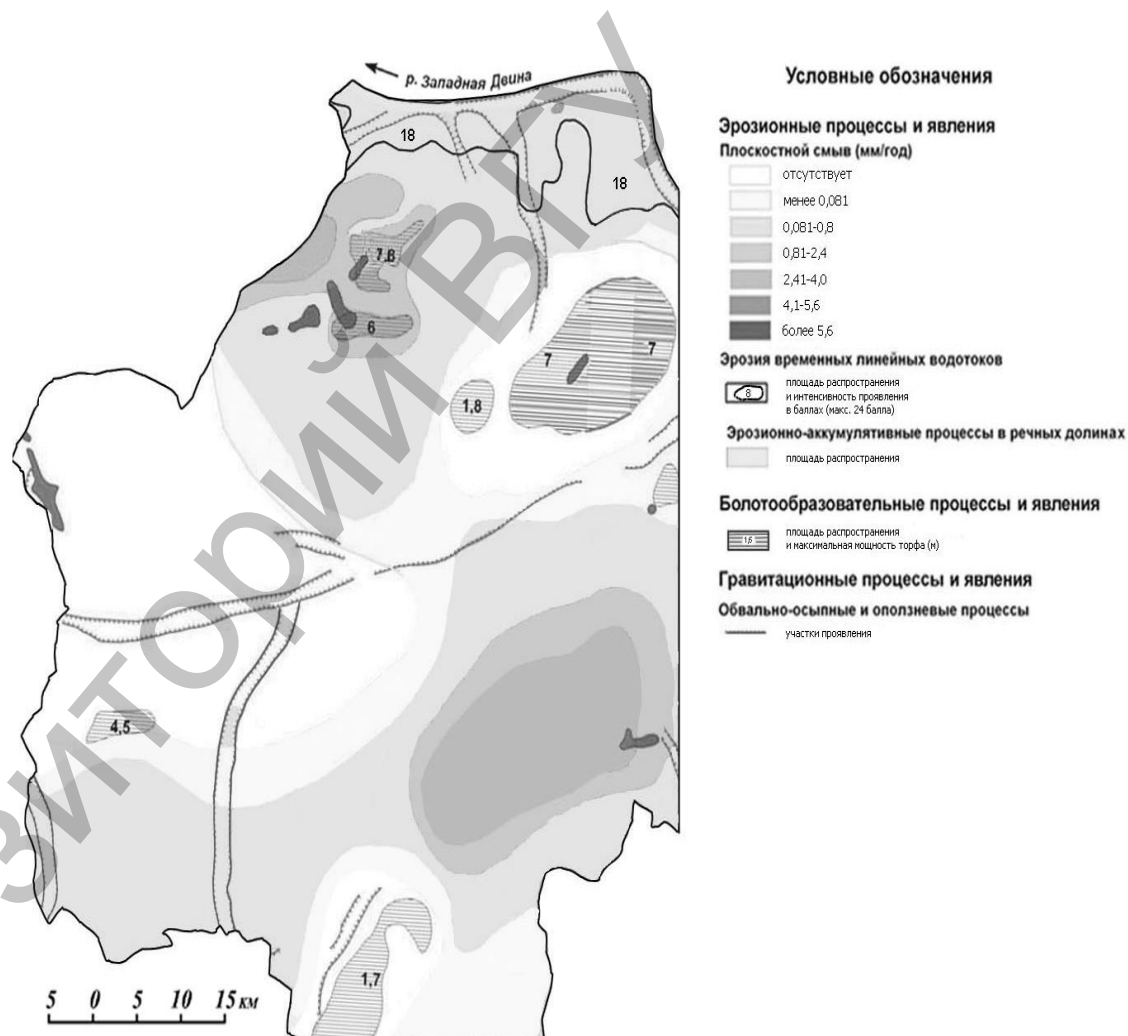


Рис. 6.7. Схематическая карта развития современных экзогенных геологических процессов на территории северо-запада Беларуси
(по А.В. Матвееву и др., 1988)

Рекреационная ЛТС в региональном плане занимает более 11% территории страны (Нацыянальны ..., 2002). Как и многие другие литотехнические системы, отличается большим разнообразием составляющих ее технических объектов, среди которых по признаку прямого или опосредованного воздействия на геологическую составляющую ЛТС можно выделить собственно технические – туристические базы, дома отдыха, санатории с присущей им инфраструктурой, археологические и другие памятники, братские могилы, мемориальные комплексы, кладбища, и квазитехнические объекты (или системы) – заповедники, лесопарки, заказники и др. (Галкин, 2008). В то время как ее геологическая подсистема представлена преимущественно толщей четвертичных грунтов, служащих основанием различных сооружений, либо субстрата квазитехнических систем.

Многообразие объектов технической подсистемы рекреационной ЛТС позволяет выделить несколько ее видов: *культурно-заповедная, оздоровительная, заповедно-лесопарковая и культурно-мемориальная ЛТС* (Галкин, 2009). Эти виды ЛТС отличаются друг от друга не только своим хозяйственным назначением, но и уровнем воздействия на геологическую подсистему при их функционировании. Если первые три вида рекреационной ЛТС слабо оказывают воздействие на геологическую среду, то с функционированием культурно-мемориальной ЛТС связаны весьма заметные изменения в составляющей ее геологической подсистеме. Прежде всего, нарушается природный рельеф, формируются значительные объемы техногенных грунтов, но, главное, кладбища и другие людские захоронения являются опасным источником биологического загрязнения грунтов и подземных вод. Основными загрязнителями здесь выступают органические компоненты (белки), соединения азота, фосфаты, сероводород, микроорганизмы, среди которых преобладают сапрофиты. Глубина распространения загрязняющих веществ, в том числе микроорганизмов, может составлять 50–70 м и более, в зависимости от периода функционирования кладбища (Дашко, 2000). Это создает не только экологические, но и инженерно-геологические проблемы, поскольку загрязнение грунтовых массивов органическими соединениями и микроорганизмами существенно снижает их деформационно-прочностные и фильтрационные свойства и резко повышает коррозионную активность грунтов (Панкратова, Черемхина, 2011).

Границы рекреационной ЛТС в плане чаще всего будут совпадать с контурами ее технической составляющей, а в глубину – обуславливаться либо нижней границей почвенного горизонта, либо границей нарушения естественных гидрогеологических условий (Галкин, Королев, 2014).

В заключение отметим, что приведенная функционально-территориальная характеристика деятельности региональных ЛТС на территории Беларуси свидетельствует о масштабных техногенных изменениях состояния и свойств геологической составляющей этих систем, выраженных различными инженерно-геологическими процессами. Однако для установления тенденций развития этих процессов с целью управления ими необходим мониторинг, система которого является одним из компонентов функционирования ЛТС.



ГЛАВА 7

КОНЦЕПЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Опыт показывает, что создание и эксплуатация литотехнических систем различного назначения и уровня организации часто сопряжены с возникновением новых или активизацией ранее проявивших себя геологических и инженерно-геологических процессов, которые нередко приводят к масштабным техногенным изменениям состава и свойств геологической составляющей этих систем. Территория Беларуси в этом отношении не является исключением. Примером тому служат исследования авторов с привлечением фондовых материалов геологических и изыскательских организаций по условиям создания и функционирования ряда типов литотехнических систем (селитебной, горнопромышленной, промышленной, транспортно-коммуникационной, сельскохозяйственной, сельскохозяйственно-селитебной и др.). В частности, проведенная работа по изучению негативного влияния геологических и инженерно-геологических процессов (ГиИГП) на условия строительства и эксплуатации различных технических объектов девятино шести ЛТС селитебного, сельскохозяйственно-селитебного, горнопромышленного и промышленного типов позволила оценить степень воздействия данных процессов на состояние литотехнических систем и на основе этого выделить соответствующие категории (Галкин, 2009). Так, например, к первой категории нами отнесены ЛТС, полностью подверженные активному площадному воздействию ГиИГП и требующие принятия мер инженерной защиты. Таких ЛТС было выявлено две. Здесь, в результате интенсивной эрозии и сопутствующих ей обвально-осыпных процессов, возникла реальная угроза разрушению жилых и хозяйственных строений, сельхозугодий. Ко второй категории отнесены ЛТС, находящиеся в зоне вероятного площадного воздействия ГиИГП и требующие принятия конструктивных мер безопасности (перенос, защита). Из общего количества обследованных литотехнических систем таких выявлено двадцать. Здесь среди комплекса ГиИГП своей масштабностью и интенсивностью обращают внимание эрозионные и гравитационные процессы, переработка берегов, подтопление, суффозия, загрязнение грунтов и подземных вод. Восемнадцать ЛТС из девятино шести отнесены нами к третьей категории. Это литотехнические системы, находящиеся в зоне локального воздействия ГиИГП и требующие проведения мероприятий профилактического характера. Среди ГиИГП, оказывающих неблагоприятные воздействия на состояние данных ЛТС, выделяются овражная и речная эрозия, гравитационные процессы, подтопление, загрязнение грунтов и

подземных вод, характеризующиеся преимущественно средней степенью проявления и незначительным потенциалом своего развития. Значительную часть исследуемых литотехнических систем (56) составили ЛТС, где для выявления неблагоприятного воздействия ГИИП на их состояние необходимо проведение детальных инженерно-геологических изысканий. Эти системы отнесены нами к четвертой категории. Здесь возможно проявление всех вышеуказанных процессов, однако, в целом, они будут отличаться слабым своим проявлением и низким потенциалом развития (Галкин, 2009).

Следует заметить, что, несмотря на полученные результаты, характер проявления и степень воздействия указанных процессов на состояние ЛТС региона остаются до сих пор слабоизученными. Это объясняется не только отсутствием государственной системы мониторинга литотехнических систем (СМ ЛТС), которая должна производить информацию о геологических и инженерно-геологических процессах как основном показателе взаимодействий, обуславливающих функционирование литотехнических систем, но и отсутствием в стране вообще каких-либо наблюдений за развитием данных процессов – даже в существующей Национальной системе мониторинга окружающей среды мониторинг геологических процессов не предусмотрен (рис. 7.1).



Рис. 7.1. Структура Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (по Национальная ..., 2011)

мониторинга ЛТС ее разработка выступает как актуальная научно-практическая задача, имеющая важное инженерно-геологическое значение (Галкин, 2013).

Предлагаемая нами **концепция** определяет цель, задачи, функции, состав, структуру, основные направления работ в области создания, использования и развития системы мониторинга ЛТС на территории Беларуси. Ее суть полностью отвечает требованиям новых строительных норм и

Только располагая мониторингом можно получить необходимую информацию о процессах, происходящих в сфере или области взаимодействия литосферы (СВЛ или ОВЛ) и технической составляющей литотехнических систем, выполнить на ее основе прогнозную оценку развития этих процессов и, в конечном итоге, разработать геологически обоснованные управленческие решения для оптимизации функционирования ЛТС в целом. В условиях отсутствия системы мо-

правил в отношении цели и задач инженерно-геологических изысканий. Она должна быть составной частью действующей на территории страны Национальной системы мониторинга окружающей среды (далее НСМОС)⁶ и базироваться на единой информационной и методической основе, обеспечивающей сопоставимость результатов наблюдений и совместимость с другими системами мониторинга (Галкин, 2013; Создание ..., 1996).

Цели и задачи работ по созданию системы мониторинга ЛТС. Целью создания системы мониторинга 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 основные 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 (Галкин, 2013).

Законодательные, нормативные и регламентирующие документы. Законодательной и нормативной базой создания системы мониторинга ЛТС являются: Закон Республики Беларусь (РБ) от 26.11.1992 г. «Об охране окружающей среды» в редакции Закона РБ от 17.07.2002 г.; Кодекс РБ о недрах от 14.07.2008 г. № 406–З в редакциях Законов РБ от 04.01.2010 г. № 109–З, от 14.07.2011 г. № 293–З; Водный кодекс РБ от 15.07.1998 г. № 191–З в редакциях Законов РБ от 10.11.2008 г. № 444–З, от 02.07.2009 г. № 32–З, от 04.01.2010 г. № 109–З, от 17.05.2011 г. № 266–З, от 14.07.2011 г. № 293–З; постановления Совета Министров (Совмин) РБ от 20.04.1993 г. № 247 «О создании Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС РБ)», от 28.04.2004 г. № 482 «Об утверждении положений о порядке проведения в составе НСМОС РБ мониторинга поверхностных вод, подземных вод, атмосферного воздуха, локального мониторинга окружающей среды и использовании данных этих мониторингов», от 28.03.2007 г. № 386 «Об утверждении положения о порядке проведения в составе НСМОС РБ мониторинга земель и использования его данных», от 15.08.2007 г. № 1036 «Об утверждении положения о порядке проведения в составе НСМОС РБ мониторинга лесов и использования его данных», от 29.05.2001 г. № 784 «О Перечне информационных ресурсов, имеющих государственное значение»; положение о НСМОС РБ, утвержденное постанов-

⁶ Организована согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 20.04.1993 г. № 247 «О создании Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь».

лением Совмина РБ от 14.07.2003 г. № 949; положение о Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды (Минприроды) РБ, утвержденное постановлением Совмина РБ от 31.10.2001 г. № 1586 «О некоторых вопросах Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь»; положения об информационно-аналитическом центре мониторинга подземных вод НСМОС РБ в редакции постановления Минприроды РБ от 29.04.2008 г. № 42, об информационно-аналитическом центре локального мониторинга окружающей среды НСМОС РБ в редакции постановления Минприроды РБ от 10.07.2008 г. № 64; инструкции о порядке проведения мониторинга подземных вод в редакции постановления Минприроды РБ от 29.04.2008 г. № 42, о порядке проведения локального мониторинга окружающей среды юридическими лицами, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность, которая оказывает вредное воздействие на окружающую среду, в том числе экологически опасную деятельность в редакции постановления Минприроды РБ от 15.12.2011 г. № 49, о порядке ведения государственного реестра пунктов наблюдений НСМОС РБ в редакции постановления Минприроды РБ от 17.12.2008 г. № 119; СанПиН «2.1.4. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарные правила и нормы СанПиН 10-124 РБ 99», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача РБ от 19.10.1999 г. № 46, с изменениями, утвержденными постановлением Глав. гос. санврача РБ от 26.03.2002 г. № 16; СанПиН «2.1.4. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения». Санитарные правила и нормы СанПиН-10-113 РБ 99», утвержденные постановлением Глав. гос. санврача РБ от 06.01.1999 г. № 1; СТБ 1164.0-99 «Основания и фундаменты зданий и сооружений. Контроль качества и приемка работ. Параметры контроля и состав контролируемых показателей», утвержденные приказом Министерства архитектуры и строительства (Минстройархитектуры) РБ от 29.06.1999 г. № 185; СНБ 5.01.01-99 «Основания и фундаменты зданий и сооружений», утвержденные приказом Минстройархитектуры РБ от 21.01.1999 г. № 7; СНБ 1.02.01-96 «Инженерные изыскания для строительства», утвержденные приказом Минстройархитектуры РБ от 17.01.1996 г. № 9.

Международный опыт в создании систем мониторинга ЛТС.
В большинстве стран мира подобные исследования проводятся, главным образом, в рамках экологического мониторинга. Соответствующие программы и инициативы, находящиеся на разных стадиях осуществления, реализуются в настоящее время США, Канадой, странами Евросоюза, государствами Южной и Юго-Восточной Азии, Российской Федерацией и другими странами СНГ. Активно развиваются как национальные, так и региональные системы экологического мониторинга. Так, например, в США для контроля за строи-

тельством и эксплуатацией технических объектов созданы организации федерального правительства и правительство штата Аляска, в которых геологическая служба (USGS) является главным координатором всех проектов. Основные задачи геологической службы – разведка полезных ископаемых, изучение геологической активности Земли, мониторинг природных и природно-техногенных процессов и явлений, возникающих при взаимодействии технических объектов с окружающей средой и оказывающих влияние на условия создания и эксплуатации этих объектов (About ..., 2011). В России с 1994 г. и в Казахстане с 1997 г. функционируют системы государственного мониторинга состояния недр (ГМСН), входящие в состав Единых государственных систем экологического мониторинга (Положение ..., 2001; Постановление ..., 1997). ГМСН представляет собой систему регулярных наблюдений, сбора, накопления, обработки и анализа информации, оценки состояния геологической среды и прогноза ее изменений под влиянием естественных природных факторов, недропользования и других видов хозяйственной деятельности. Его цель – информационное обеспечение управления государственным фондом недр и рационального недропользования, в т.ч. повышение эффективности геологического изучения недр. В задачи мониторинга входят получение, обработка и анализ данных о состоянии недр; оценка состояния недр и прогнозирование его изменений; своевременное выявление и прогнозирование развития геологических и инженерно-геологических процессов, влияющих на состояние недр; учет состояния недр по объектам недропользования, запасов подземных вод и их движения; разработка, обеспечение реализации и анализ эффективности мероприятий по обеспечению экологически безопасного недропользования и охраны недр, а также по предотвращению или снижению негативного воздействия опасных геологических процессов; регулярное информирование органов государственной власти, организаций, недропользователей и других субъектов хозяйственной деятельности об изменениях состояния недр в установленном порядке; межведомственное взаимодействие и международное сотрудничество в сфере экологически безопасного природопользования (Язвин, Боровский, 2001).

Ведение мониторинга состояния недр основывается на объектном принципе. При этом *под объектом ГМСН понимается участок недр, в пределах которого оценивается состояние геологической среды и прогнозируется его изменение* (Положение ..., 2001).

Государственный мониторинг состояния недр включает в себя ряд подсистем, выделенных как по различиям в составе изучаемых объектов, так и по объектам обобщения: 1) мониторинг подземных вод; 2) мониторинг опасных экзогенных геологических процессов; 3) мониторинг опасных эндогенных геологических процессов; 4) мониторинг месторождений углеводородов; 5) мониторинг месторождений твердых полезных ископаемых; 6) мониторинг участков недр, используемых для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых; 7) мониторинг участков недр, испытывающих воз-

действие хозяйственной деятельности, не связанной с недропользованием; 8) мониторинг геологической среды континентального шельфа.

ГМСН осуществляется на локальном (объектном), территориальном (административно-территориальном), региональном и федеральном уровнях в соответствии с существующим порядком его организации (Язвин, Боровский, 2001). При этом объектами мониторинга локального уровня являются простые природно-технические системы (ПТС); территориального и регионального уровней – природные системы и сложные ПТС, расположенные на территории какого-либо субъекта РФ или региона; федерального уровня – природные системы, расположенные на территории нескольких субъектов РФ, и отдельные сложные ПТС, имеющие важное государственное значение (участки недр континентального шельфа; участки недр, на которых осуществляется захоронение радиоактивных и токсичных отходов; курорты федерального значения и др.) (Положение ..., 2001). Содержание ГМСН составляют результаты геологического изучения недр, в том числе систематических наблюдений, характеризующих изменение состояния геологической среды и ее отдельных компонентов. Оценка состояния недр проводится по комплексу количественных и качественных показателей, устанавливаемых для изучаемых объектов и протекающих в геологической среде геологических и инженерно-геологических процессов.

Информационной основой ведения ГМСН являются сведения о состоянии недр, полученные при выполнении геологоразведочных, горнодобывающих и всех других видов работ, связанных с государственным геологическим изучением и освоением недр, и данные наблюдательных сетей, включающих государственную опорную, муниципальные и локальные сети наблюдений. Информационный фонд ГМСН включает данные: о геологическом строении, общих гидрогеологических и инженерно-геологических условиях территории; государственного учета вод и ведения государственного водного кадастра о прогнозных ресурсах подземных вод и их качестве; о глубине залегания и режиме уровня подземных вод в среднем за 30–40 лет (по некоторым объектам наблюдения – более чем за 100 лет); о химическом и газовом составе, бактериологическом состоянии подземных вод; о параметрических характеристиках эксплуатационных скважин на подземные воды и скважин, пробуренных при геологическом изучении недр; о результатах исследований влияния источников техногенного воздействия на состояние недр; о загрязнении и очагах загрязнения подземных вод; о проявлениях экзогенных геологических процессов и факторах их активизации; о воздействиях экзогенных геологических процессов на населенные пункты и хозяйственные объекты и последствиях этих воздействий; о проявлениях эндогенных процессов, динамике их развития (современной геодинамической активности платформ и горно-складчатых областей); о взаимосвязи современной геодинамической активности с активизацией экзогенных процессов, воздействия

опасных эндогенных процессов на инженерные сооружения и хозяйственные объекты (Язвин, Боровский, 2001).

Стратегия развития ГМСН основывается на единой технологии получения, систематизации и обработки фактографической информации с использованием компьютерных информационно-справочных баз и банков данных и геоинформационных систем (ГИС).

Активно развивается в странах Западной Европы, России, США, Японии и других государствах мира геотехнический мониторинг, нацеленный на обнаружение и предотвращение необратимых процессов в грунтовых основаниях, а также деформаций зданий и сооружений. Его основными задачами являются: а) систематическая фиксация изменений контролируемых параметров конструкций сооружений и геологической среды; б) своевременное выявление отклонений контролируемых параметров (в т.ч. их изменений, нарушающих ожидаемые тенденции) конструкций строящегося (реконструируемого) объекта и его основания от заданных проектных значений, параметров грунтового массива и окружающей застройки; в) анализ степени опасности выявленных отклонений контролируемых параметров и установление причин их возникновения; г) разработка инженерных (технических) мероприятий, предупреждающих и устраняющих выявленные негативные процессы (Галкин, 2013).

Несмотря на множество положительных эффектов, которые получают при функционировании рассмотренных выше систем мониторинга, сами системы имеют определенные недостатки. Это касается, главным образом, содержательной их части. Все они ориентированы либо на фиксирование изменений параметров взаимодействий геологической среды с техническими объектами, либо на выявление изменений контролируемых параметров технических объектов (конструкций зданий и сооружений) при взаимодействии с геологической средой и выработку инженерных мероприятий по обеспечению сохранности их (объектов) эксплуатационных качеств. В то время как мониторинг ЛТС нацелен, главным образом, на оценку изменений контролируемых параметров области взаимодействия литосферы с техническими объектами и, как результат, инженерно-геологическое обоснование мероприятий по предотвращению этих изменений в целях оптимизации работы ЛТС в целом.

Основные организационные положения. В организационном аспекте мониторинг ЛТС территории Беларуси целесообразно осуществлять на двух уровнях: локальном и региональном (как это принято в Национальной системе мониторинга окружающей среды).

Мониторинг ЛТС локального уровня – *это система постоянных наблюдений за СВЛ отдельных (крупных) элементарного уровня литотехнических объектов или совокупностей элементарных литотехнических систем, оценки ее состояния, прогноза развития и инженерно-геологического обоснования управления с целью оптимизации функционирования ЛТС.*

Мониторинг ЛТС регионального уровня – это система постоянных наблюдений за ОВЛ отдельных региональных литотехнических объектов или совокупностей локальных литотехнических систем, расположенных в пределах какого-либо отдельно взятого региона (административного, инженерно-геологического) или территории всей страны, оценки ее состояния, прогноза развития и инженерно-геологического обоснования управления с целью оптимизации функционирования ЛТС и природопользования в целом.

Порядок организационного и финансового обеспечения работ по ведению СМ ЛТС на региональном уровне должно определять Минприроды РБ при участии его территориальных (областных) подразделений. Ведение локального мониторинга ЛТС осуществляют субъекты хозяйственной деятельности (природопользователи), оказывающие влияние на геологическую среду. При этом локальный мониторинг ЛТС целесообразно проводить не как на региональном уровне – в системе «заказчик–исполнитель», что отражено в нормативно-законодательной базе НСМОС, а в системе «заказчик–исполнитель–эксперт», поскольку не каждый природопользователь способен выполнить мониторинговые исследования необходимого объема и качества. В данном случае «заказчиком» будет выступать эксплуатирующая или проектная организация (природопользователь), финансирующая работы и принимающая их результаты, «исполнителем» – специализированная производственная геологическая организация, выполняющая работу по устройству мониторинга, а «экспертом» – научная организация (или коллектив научных работников), осуществляющая научно-методическое обоснование работ по мониторингу, включая разработку их программы, проведение прогнозного моделирования и выработку геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования ЛТС, а также выполняющая наблюдения и специализированные научно-исследовательские и опытно-методические работы. При этом вся получаемая информация, с одной стороны, используется природопользователем для собственных целей, а с другой – представляется в территориальные центры локального мониторинга в установленном законодательством порядке.

Данный подход успешно зарекомендовал себя при организации и ведении мониторинга локальной ЛТС «Гомельский химзавод» и региональной ЛТС «Водозаборы подземных вод Гомеля», где в роли «исполнителя» выступали Белорусская гидрогеологическая экспедиция (БГГЭ) РУП «Белгеология» и Белорусский государственный институт инженерных изысканий (ныне РУП «Геосервис»), а в роли «эксперта» – коллектив научных сотрудников лаборатории «Моделирование гидрогеологических процессов» ГГУ им. Ф. Скорины (Галкин, 2013).

Основу мониторинга ЛТС организует сеть наблюдательных участков, тип и структура которых будут определяться, главным образом, инженерно-геологическими условиями в пространственных границах ЛТС (в

зависимости от иерархического уровня). 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 области взаимодействия литосферы и не требовало бы открытия чрезмерного количества постов, связанного с неоправданными затратами людских и материальных ресурсов.

Учитывая, что система мониторинга ЛТС территории Беларуси в настоящее время находится в стадии разработки, организацию ее наблюдательной сети следует проводить поэтапно (Галкин, 2013).

На *первом этапе*, по мнению авторов, необходимо разработать концептуальную модель наблюдательной сети мониторинга с учетом местоположения и содержательных (технических и инженерно-геологических) особенностей литотехнических систем страны. В основу этой модели могут быть положены разработанные нами инженерно-геологическая типизация литотехнических систем, карты пространственного размещения ЛТС и техногенной трансформации компонентов геологической среды территории Беларуси. Эти источники информации позволяют выделить отдельные территории с различной степенью техногенного преобразования геологической среды и ее компонентов и, тем самым, 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 локальная 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, инженерно-геологическими условиями участка размещения ЛТС и др., и должны устанавливаться индивидуально в каждом конкретном случае.

С 2000 г. в составе НСМОС Беларуси осуществляется локальный мониторинг окружающей среды, объектами которого наряду с атмосферным воздухом и поверхностными водами являются подземные воды и почвы (Создание ..., 1996). По состоянию на начало 2011 г. в проведение локального мониторинга окружающей среды было вовлечено более 300 объектов хозяйствования (различные виды горнопромышленной, промышленной, сельскохозяйственной, сельско-лесохозяйственной, селитебной ЛТС), из них на 254 объектах осуществлялся локальный мониторинг подземных вод и на 46 объектах – локальный мониторинг земель (почв) (Национальная ..., 2011). Организованная для этих видов мониторинга сеть наблюдательных пунктов и ее нормативно-методическое сопровождение, по существу, могут стать основой для создания наблюдательной сети локального мониторинга ЛТС. В то же время в этой сети на участках размещения локальных ЛТС, при функционировании которых происходят или могут происходить глубокие

изменения параметров грунтов (минерального и гранулометрического состава, водопроницаемости, плотности, агрессивности, деформационных показателей и др.) и связанные с ними процессы, следует предусмотреть организацию пунктов (точек) наблюдений за состоянием грунтовых толщ. Такими точками целесообразно снабдить участки размещения шахтно-отвальной, карьерно-отвальной, производственной (химической, металлургической, энергетической, нефтехимической), железнодорожной литотехнических систем, а также всех видов селитебной ЛТС. Кроме того, на всех участках размещения локальных ЛТС, задействованных в мониторинге, необходимо осуществлять наблюдения за проявлениями различных геологических и инженерно-геологических процессов.

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

В НСМОС Беларуси с 1993 г. действуют подсистемы мониторинга подземных вод (ПВ) и земельного мониторинга (Национальная ..., 2011), режимные наблюдательные сети которых вполне могут быть задействованы в региональных мониторинговых исследованиях функционирования ЛТС⁷. Их использование в СМ ЛТС позволяет без каких-либо дополнительных материально-финансовых затрат получать информацию о параметрах состояния ПВ и почв, происходящих в этих компонентах геологической среды негативных процессах (главным образом загрязнение), оценки и прогнозирования их изменения. В то же время для изучения современных ГиИГП, оказывающих влияние на условия создания и эксплуатации ЛТС или возникающих в процессе функционирования этих систем, на территории Беларуси необходима организация собственной режимной наблюдательной сети. Такую сеть следует выбирать на основе анализа специальных инженерно-геологических карт районирования по условиям развития и интенсивности проявления ГиИГП, созданных по результатам анализа материалов инженерно-геологических съемок с использованием данных дистанционного зондирования Земли (Галкин, 2013). Применение последнего обусловлено тем, что этот метод дает более информативные материалы, характеризующие состояние объекта исследования, или, другими словами, в результате зондирования

⁷Сегодня это 156 пунктов наблюдений за состоянием подземных вод (546 наблюдательных скважин, расположенных в районах с естественными и слабонарушенными природными условиями, и 686 наблюдательных скважин, расположенных в районах с нарушенными природными условиями), 182 пункта наблюдений за химическим загрязнением почв на сельскохозяйственных и городских землях и в зоне влияния автомобильных дорог, 20 пунктов наблюдений за дефляционными и эрозийными процессами на сельскохозяйственных угодьях.

получают продукцию, характеризующую количественно без пробелов и разрывов целые обследуемые площади как совокупность множества отдельных точек. В качестве критериев выбора наблюдательных участков здесь должны выступать требования представительности, т.е. отражения наиболее типичных условий развития процессов, их активности или обобщенных комплексных показателей, практической значимости участков с учетом возможности их совмещения с наблюдательными пунктами, оборудованными для проведения других видов мониторинга, размещения действующих и проектируемых ЛТС, а также располагаемых материальных и финансовых ресурсов (Королев, 2007).

В заключение отметим, что при разработке локальной и региональной сетей пунктов наблюдения следует предусмотреть меры по соблюдению оптимального соотношения между видами наблюдательных сетей, включая: наблюдения на стационарных пунктах локальной и региональной сетей, действующих длительное время по определенной относительно неизменной программе; территориальные краткосрочные обследования для выявления пространственных аспектов изменений состояния СВЛ или ОВЛ локальных и региональных ЛТС; интенсивные локальные наблюдения за изменениями состояния ОВЛ в местах с наибольшей вероятностью и опасностью проявления различных процессов при функционировании локальных и региональных ЛТС.

Основные методологические принципы мониторинга ЛТС. В основу создания системы мониторинга ЛТС должны быть положены ранее обоснованные базовые методологические принципы (Королев, 2007), дополненные нами с учетом специфики рассматриваемой системы мониторинга: целенаправленности, системности, комплексности, репрезентативности и экономичности, структурно-организационный, нормативности, временной, сочетания непрерывности и периодичности, рациональности, объективности, оперативности и развития. Содержание этих принципов отражено в табл. 7.1.

Объекты наблюдений. С позиций инженерной геологии СМ ЛТС должна быть нацелена, прежде всего, на комплексную оценку естественных и техногенных изменений состояния инженерно-геологических условий (ИГУ) в пространственных границах ЛТС и управление этими изменениями. Следовательно, в качестве объекта наблюдений в мониторинге ЛТС будут выступать источники изменений состояния ИГУ (или источники воздействий на ИГУ) и компоненты, формирующие эти условия: рельеф, грунты, подземные воды, современные экзогенные и эндогенные геологические и инженерно-геологические процессы, причем не в отдельности, а в совокупности.

Таблица 7.1

Принципы мониторинга ЛТС (по А.Н. Галкину, 2013)

Название принципа	Содержание
Целенаправленности	Предполагает, что система мониторинга ЛТС должна быть «настроена» на достижение его конечной цели – разработку инженерно-геологического обоснования управления литотехническими системами для оптимизации их функционирования. Следование этому принципу позволит не заниматься сбором и обработкой «случайной» информации, предохранит от ненужной информационной избыточности, 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 проследиваться все стороны развития ОВЛ, включая и прогнозирование его хода. Важно определить место каждого свойства (или 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 система мониторинга 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 и решаемых задач. Другими словами, при реализации этого принципа предполагается обеспечить взаимосвязанность информации по системе показателей и по организационной вертикали (по уровням мониторинга)
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 составляющую ЛТС. На его основе осуществляется разработка методики наблюдений в данной системе мониторинга, проводятся режимные наблюдения, подбирается и создается соответствующая аппаратура для сбора первичной информации с определенной периодичностью
Сочетания непрерывности и периодичности	Предусматривает постоянное и регулярное наблюдение за развитием состояния литотехнических систем 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, технического оснащения, состава параметров с целью обеспечения синхронизации с переменами в объекте исследования и условиях его функционирования 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

При этом надо заметить, что рассматриваемая совокупность компонентов ИГУ, по своей сути, есть не что иное, как характеристика геологического тела (литосферного блока любой размерности), базирующаяся на понятии поля геологических параметров⁸ (по Г.К. Бондарiku, области пространства, для которой существует пространственная или пространственно-временная композиция значений геологических параметров). Таким образом, объектом наблюдений в мониторинге ЛТС следует считать источник(и) воздействий на ОВЛ и поле геологических параметров или геологическое поле в пределах этой области. 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 воздействий; 2) количественные характеристики геологического, 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 физических, физико-механических и физико-химических свойств грунтов; 6) активность или геодинамический потенциал геологических и инженерно-геологических процессов, оказывающих влияние на условия создания и эксплуатации ЛТС или возникающих в процессе функционирования этих систем (Галкин, 2013).

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

⁸Под геологическим параметром, согласно Г.К. Бондарiku и Л.А. Ярг (2008), понимают количественную меру любого качества или набора качеств какого угодно компонента литосферы (ее части – геологического тела), вероятность или меру отношений качеств, характеризующих структуру геологического тела.

методы могут регламентироваться в зависимости от условий их использования (пространственно-временных, инженерно-геологических, экономических и др.). В связи с этим важной проблемой выступают 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, чтобы при минимальных затратах времени, труда и средств можно было получить максимальный объем информации. При региональных мониторинговых исследованиях приоритет необходимо отдавать дистанционным методам, особенно для наблюдений за функционированием лесохозяйственной, сельско-лесохозяйственной, сельскохозяйственной, отдельных видов горнопромышленной, транспортно-коммуникационной, водохозяйственной, рекреационной ЛТС, занимающих значительное пространственное положение, а также селитебной ЛТС, где из-за сложной инфраструктуры применение наземных методов весьма ограничено. Дистанционные наблюдения с использованием аэрокосмических методов могут осуществляться как путем проведения различных видов съемок в оптическом режиме и радиодиапазонах, так и путем инструментально-визуальных наблюдений. Они позволяют решать комплекс задач инвентаризационного, оценочного, динамического и прогнозного характера: изучать состояние ЛТС, исследовать техногенные воздействия, развитие различных неблагоприятных процессов, оценивать их интенсивность, изучать динамику изменений, происходящих в области взаимодействия литосферы и технической составляющей ЛТС, выполнять прогнозы на базе моделирования, выявлять тенденции, темпы и динамику развития тех или иных геологических и инженерно-геологических процессов. Чтобы обеспечить эффективное функционирование мониторинга ЛТС, нужен комплекс данных дистанционного зондирования Земли, существенно различающихся по пространственному разрешению и спектральным каналам (данные фотосъемки, многозональной, инфракрасной, радиотепловой и других съемок) (Королев, 1995, 2007). При определении объема потребности в аэрокосмической съемочной информации при расчетах нужно учитывать, что одни и те же съемочные материалы могут быть и должны использоваться параллельно для решения задач других видов мониторинга.

В тех случаях, когда при региональных мониторинговых исследованиях аэрокосмические методы не решают проблему получения необходимой информации об изменениях параметров области взаимодействия литосферы с техническими объектами ЛТС или решают частично, они должны дополняться или полностью замещаться наземными наблюдениями и измерениями, в том числе и дистанционными геофизическими. В первую очередь это касается наблюдений за интенсивно протекающими ГИИГП, изменениями гидрохимических и гидродинамических параметров ПВ,

особенно глубоко залегающих водоносных горизонтов, физических, физико-механических и физико-химических свойств грунтов ОВЛ, а также сбора фоновой информации о состоянии верхних горизонтов литосферы, не подверженных техногенным воздействиям. Для этого используются различные наземные инженерно-геологические, геодезические, гидрогеологические, геофизические (сейсмоакустические, электроразведочные, радиоизотопные) методы исследований на региональных наблюдательных полигонах или традиционные инженерно-геологические маршрутные обследования с необходимым комплексом полевых работ (бурение скважин, проходка шурфов, опробование грунтов и подземных вод, статическое и динамическое зондирование и др.) (Галкин, 2013).

При ведении локального мониторинга ЛТС приоритет необходимо отдавать наземным методам исследований. Особенно на участках размещения локальных ЛТС, функционирование которых сопряжено с высокой степенью вероятности проявления таких процессов и явлений, как деформации земной поверхности, химическое и микробиологическое загрязнение элементов ОВЛ, либо относящихся к категориям ответственных и особо опасных объектов (например, АЭС). В этих случаях оборудуются специальные наблюдательные полигоны с экспериментальными площадками, скважинами, реперами и другими точками, где с помощью инженерно-геологических, геодезических, гидрогеологических и геофизических наземных и скважинных методов можно получить значения параметров ОВЛ необходимого качества. Эти значения впоследствии будут определять как объективность прогнозных оценок изменений состояния ОВЛ и связанных с ними процессов, так и качество выработки инженерно-геологического обоснования управления ЛТС с целью оптимизации их функционирования.

Основу технической базы наземных наблюдений в системе мониторинга ЛТС составляет соответствующая метрологически обеспеченная измерительная и регистрирующая аппаратура. Основными принципами аппаратурного оснащения являются их адаптивность и способность реагировать на изменения состояния элементов ОВЛ, а также обеспечение оперативности передачи информации. При этом следует отметить, что автоматизированные измерения параметров ОВЛ необходимо организовывать на тех участках размещения ЛТС, где элементы области взаимодействия литосферы с техническими объектами могут испытывать частые и наибольшие изменения, а опасные ГиИГП будут характеризоваться высокой степенью вероятности их проявления. Количество автоматизированных постов мониторинга ЛТС следует регулировать посредством применения методов математического моделирования (Галкин, 2013).

Отечественный и мировой опыт определяет уровень аппаратурного обеспечения, который достигается созданием систем различной степени автоматизации. В настоящее время к числу современных измерительных

средств, адаптированных к технологиям мониторинга подземных вод, Ги-ИГП, напряженного состояния грунтов, относятся автоматизированные комплексы типа «Логгер», системы «Кедр» и «Земля», в том числе ряд нетрадиционных приборов, таких как вибрационное просвечивание геологической среды, измерительные средства контроля содержания газов радиоактивного ряда (радон, гелий и т.д.). Наиболее приспособленными для решения широкого круга задач мониторинга ЛТС регионального и локального уровней можно считать измерительные комплексы типа «Логгер», которые способны обеспечить качественное и оперативное измерение с необходимой точностью, быстротой и достоверностью таких параметров ОВЛ, как температура, химизм и уровень подземных вод. На базе комплексов «Логгер» возможно также совмещение периферийных датчиковых сетей измерений пластового давления, химического состава подземных вод, напряжений и деформаций грунтов, зданий и сооружений (Королев, 2007). Технические характеристики и программное обеспечение этих измерительных комплексов вполне удовлетворяют потребности технологий мониторинга ЛТС, а экономические показатели делают их наиболее привлекательными.

Основные требования к аналитической информации. Основопологающим 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 (табл. 7.2). Следует заметить, что первые два параметра качества информации – полнота и оптимальность – целиком определяются на методическом уровне разработки системы мониторинга ЛТС. Остальные параметры обуславливаются в большей степени также на методическом уровне, однако на их величину существенно влияет и характер функционирования ЛТС.

Одним из важнейших требований к аналитической информации в мониторинге ЛТС является ее унификация, предусматривающая составление унифицированного перечня качественных и количественных 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 (выходные документы) должны быть максимально близки к традиционному геологическому представлению результатов исследований (таблицы, разрезы, колонки по скважинам и т.д.).

Элементы качества информации мониторинга ЛТС (по А.Н. Галкину, 2013)

Название элемента	Характеристика элемента
Полнота	Определяется применительно к прогнозным и управленческим функциям мониторинга ЛТС. Информация может быть неполной как по количеству, так и по объему сведений. В любом случае дефицит информации приводит к невозможности выполнения функций прогноза и управления в нужное время в соответствующем виде
Оптимальность	Определяется минимально-нормативным уровнем объема информации (набора параметров и их значений), необходимым и достаточным для выполнения прогнозных и управленческих функций мониторинга ЛТС
Точность	Определяется степенью близости отображаемого информацией значения и истинного значения данного параметра. Другими словами, это степень приближения получаемой в ходе мониторинга информации к реальному состоянию ОВЛ и протекающих в ней процессов
Актуальность	Определяется степенью сохранения ценности информации в момент ее использования и зависит от динамики изменения ее характеристик и от интервала времени, прошедшего с момента получения данной информации. Актуальность чрезвычайно важна в условиях высокой вероятности и опасности проявления различных процессов при функционировании ЛТС
Достоверность	Является вероятностной оценкой точности (безошибочности) информации. Определяет допустимый уровень искажения информации, при которой сохраняется эффективность прогнозных и управленческих функций мониторинга ЛТС
Своевременность	Характеризует временной интервал между возникновением потребности в информации и реализацией этой потребности
Оперативность	Выражает «скорость» получения информации, отражает актуальность информации для выполнения прогнозных и управленческих функций мониторинга ЛТС в изменившихся условиях

Прогнозные задачи мониторинга ЛТС. К основным прогнозным задачам мониторинга ЛТС относятся: 1) выбор методов прогнозирования и периодов упреждения прогнозов; 2) вероятностное (качественное и количественное) 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 геологических и инженерно-геологических процессов в определенном месте и в определенное время, а также оценка возможных последствий их проявлений; 4) составление регулярных краткосрочных и долгосрочных прогнозов изменения состояния ОВЛ; 5) разработка вероятностных моделей (сценариев) критических ситуаций в отношении ОВЛ и оказываемых на нее воздействий различного характера, оценка возможных последствий этих ситуаций; 6) корректировка пространственного размещения и организационно-технического обеспечения пунктов наблюдательной сети мониторинга ЛТС; 7) обоснование инженерно-геологических мероприятий (их ком-

плекса) по предотвращению или снижению уровня негативных изменений состояния ОВЛ и связанных с ними процессов с целью оптимизации функционирования ЛТС (Галкин, 2013).

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 практическая 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, предполагающих: а) полноту учета компонентов ЛТС и существующих между ними связей; б) рассмотрение каждой проблемы изменений состояния компонентов литотехнических систем или возникающих при эксплуатации ЛТС процессов как части более общей, каждого единичного фактора – во взаимосвязи с другими факторами, так или иначе трансформирующими его действие; в) одновременный учет техногенных изменений ОВЛ и наносимого ими социально-экономического ущерба; г) конкретное четкое определение основных целей мониторинга ЛТС, выделение промежуточных и конечных результатов; д) выдачу рекомендаций и управляющих решений на предмет, каким должен быть объект мониторинга ЛТС и какие действия нужно осуществить, чтобы его параметры соответствовали принятой норме.

2. Целевая программа должна содержать ряд важнейших научно-методических обоснований, главными из которых являются: а) обоснование пространственных границ изучения, которые как минимум должны включать всю зону ожидаемого техногенного воздействия на все компоненты ЛТС; б) обоснование и выбор системы мониторинга, в основе которой лежит анализ и выявление тех компонентов области взаимодействия литосферы с техническими объектами, на которые оказывается или ожидается техногенное воздействие и обеспечение прогнозирования изменений данной области. Это достигается сопряженным учетом компонентов ОВЛ и вида источника техногенного воздействия; в) обоснование расположения наблюдательной сети мониторинга (разбивка системы пунктов получения информации – СППИНФ); г) обоснование периода наблюдений в системе мониторинга (определяется временем строительства, эксплуатации, а в ряде случаев и временем консервации или рекультивации технических объектов, режимом функционирования ЛТС); д) обоснование режима наблюдений за каждым компонентом ОВЛ или соответствующим геологическим или инженерно-геологическим процессом. Здесь следует использовать в полной мере имеющиеся ведомственные методические разработки, в том числе и по проведению режимных наблюдений.

3. В целевую программу следует включать наблюдения за теми параметрами или элементами ЛТС, которые являются ведущими для данной системы, определяющими ее характерные свойства и функционирование, 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 программу также должны 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 Беларуси. Реализация системы мониторинга ЛТС территории Беларуси 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 инженерно-геологические условия территорий размещения литотехнических систем путем соответствующей обработки данных наблюдений, создания и периодического уточнения (калибровки) постоянно-действующих моделей ЛТС; корректировать региональную инженерно-геологическую типизацию ЛТС.

3. Выполнять регулярное долгосрочное и краткосрочное прогнозирование состояния области взаимодействия геологической и технической подсистем ЛТС, а также режима функционирования литотехнических систем.

4. Обеспечивать построение и ведение информационной базы данных.

5. Управлять функционированием литотехнических систем в рациональном режиме путем решения задач оптимизации инженерно-геологических условий на участках размещения ЛТС.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, приведенный в настоящей монографии материал свидетельствует о том, что территория Беларуси, относящаяся к числу сравнительно детально изученных участков Восточно-Европейской платформы, прошла достаточно сложный и длительный путь своего инженерно-геологического развития.

Изучение региональных и зональных геологических факторов на территории Беларуси позволило оценить основные особенности инженерно-геологических условий и их пространственные изменения, определяющие условия создания и эксплуатации литотехнических систем 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 четвертичным отложениям горизонта грунтовых вод с весьма изменчивыми глубиной залегания, мощностью, водообильностью, минерализацией и агрессивностью; г) развитие разнообразных современных геологических процессов, характеризующихся различным распространением и интенсивностью и в разной степени осложняющих условия создания и функционирования литотехнических систем. Сочетание данных особенностей определяет весьма специфичные и в целом неоднородные инженерно-геологические условия территории страны, что обусловлено как геологическими причинами, так и современной климатической обстановкой. На основе анализа закономерностей пространственных изменений инженерно-геологических условий республики созданы принципиально новые типизация инженерно-геологических обстановок и карта инженерно-геологического районирования, которая наиболее полно отражает особенности инженерно-геологических условий различных регионов страны.

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. Анализ типизации позволил установить, что различным инженерно-геологическим структурам свойственно определенное размещение разных по назначению и степени развития ЛТС. В то же время особенности такого распределения

ЛТС послужили условиями для крайне неравномерной техногенной трансформации геологической среды. Выявлено, что наибольшей трансформации геосреда подверглась в инженерно-геологических областях, где в техническом плане размещены крупные города и промышленные центры, 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.

Разработана новая концепция системы мониторинга литотехнических систем страны в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды, способной обеспечить выход на принципиально новый уровень компетентности получения информации о состоянии ЛТС локального и регионального уровней с целью прогнозных оценок его изменений и разработки инженерно-геологического обоснования управления этими системами.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов – инженер-геологов, гидрогеологов, геоэкологов, почвоведов, географов, строителей, а также студентов и аспирантов различных специальностей, связанных с изучением истории становления и развития отечественной инженерной геологии, особенностей формирования инженерно-геологических условий территории страны, а также закономерностей их пространственных изменений.

Авторы надеются, что приведенный в монографии анализ и впервые сделанные обобщения дадут новый импульс для дальнейшего развития всех трех научных направлений инженерной геологии в Беларуси, создадут основу для активизации инженерно-геологических исследований и изысканий на территории страны, послужат стимулом для повышения их качества и значимости в ходе дальнейшего хозяйственного освоения республики.



ЛИТЕРАТУРА

Аверкина Т.И. Литотехнические системы как результат взаимодействия природных и технических объектов в приповерхностной части литосферы // Теория и методология экологической геологии / под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – С. 213–236.

Бахирева Л.В., Жигалин А.Д., Карагодина М.В., Сергеев Е.М. Рациональное использование и охрана окружающей среды городов. – М.: Наука, 1989. – 91 с.

Беларусь: среда для человека. Национальный отчет о человеческом развитии (региональный проект ПРООН RER/95/02С). – Минск: ООН / ПРООН, 1996. – 216 с.

Бондарик Г.К. Экологические проблемы и природно-технические системы. – М.: Икар, 2004. – 152 с.

Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерно-геологические изыскания: учебник. – 2-е изд. – М.: КДУ, 2008. – 424 с.

Бусел И.А. Прогнозирование строительных свойств грунтов. – Минск: Наука и техника, 1989. – 246 с.

Бучурин В.И., Фадеева М.В., Ярошевич Н.Р. Районирование территории Белоруссии по условиям формирования режима грунтовых вод // Особенности формирования гидрогеологических и инженерно-геологических условий Белоруссии: сб. науч. тр. / БелНИГРИ; редкол.: С.П. Гудак (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 1979. – С. 9–17.

Величkevич Ф.Ю., Санько А.Ф., Рылова Т.Б. и др. Стратиграфическая схема четвертичных (антропогенных) отложений Беларуси // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 1996. – Т. 4, № 6. – С. 75–87.

Всеволожский В.А. Подземный сток и водный баланс платформенных структур. – М.: Недра, 1983. – 167 с.

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

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

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

Галкин А.Н. Литотехнические системы Белоруссии: закономерности функционирования, мониторинг и инженерно-геологическое обоснование управления: автореф. дис. ... д-ра геолог.-минер. наук: 25.00.08 / МГУ им. М.В. Ломоносова. – М., 2014. – 37 с.

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

Галкин А.Н. О новом подходе к инженерно-геологической типизации литотехнических систем территории Белоруссии // Инженерная геология. – 2014. – № 3. – С. 46–59.

Галкин А.Н. Особенности строения и пространственной изменчивости рельефа Беларуси как фактора формирования инженерно-геологических условий // Весн. Вісб. дзярж. ун-та. – 2005. – № 4 (38). – С. 140–148.

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

Галкин А.Н. Подверженность населенных пунктов территории Белоруссии воздействию экзогенных геологических процессов // Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка: тр. междунар. науч. конф., Москва, 29–30 янв. 2009 г. / МГУ им. М.В. Ломоносова; под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. – М., 2009. – С. 161–162.

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

Галкин А.Н. Типизация инженерно-геологических обстановок территории Беларуси // Літасфера. – 2014. – № 2 (41). – С. 87–99.

Галкин А.Н. Типизация литотехнических систем: состояние проблемы и пути ее решения // Инженерная геология. – 2009. – № 3. – С. 30–33.

Галкин А.Н., Королев В.А. Особенности функционирования литотехнических систем территории Белоруссии // Инженерная геология. – 2014. – № 4. – С. 28–44.

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

Галкин А.Н., Матвеев А.В., Павловский А.И., Санько А.Ф. Инженерная геология Беларуси: монография: в 3 ч. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2017. – Ч. 2: Инженерная геодинамика Беларуси / под науч. ред. В.А. Королева. – 456 с.

Гарецкий Р.Г., Айзберг Р.Е. Схема основных структурных элементов платформенного чехла территории Белоруссии и смежных областей // Тектоника Белоруссии / под ред. Р.Г. Гарецкого. – Минск: Наука и техника, 1976. – С. 8.

Гарецкий Р.Г., Карабанов А.К., Айзберг Р.Е. Карта неотектонического районирования запада Восточно-Европейской платформы и смежных областей // Геология Беларуси / под ред. А.С. Махнач [и др.]. – Минск: Ин-т геолог. наук НАН Беларуси, 2001. – С. 575.

Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б. Геологическая среда промышленных регионов. – М.: Недра, 1989. – 220 с.

Губин В.Н., Ковалев А.А., Сладкопевцев С.А., Ясовеев М.Г. Экология геологической среды: учеб. пособие. – Минск: БГУ, 2002. – 120 с.

Дашко Р.Э. Микробиота в геологической среде: ее роль и последствия // Сергеевские чтения. Вып. 2: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Москва, 23–24 марта 2000 г. / РАН, Ин-т геоэкологии РАН; редкол.: В.И. Осипов (отв. ред.) [и др.]. – М.: ГЕОС, 2000. – С. 72–77.

Емельянов А.Г. Основы природопользования: учеб. пособие. – М.: Академия, 2004. – 304 с.

Ершова С.Б. Неотектоно-геоморфологические факторы, их роль в формировании инженерно-геологических условий / С.Б. Ершова // Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы / под ред. Е.М. Сергеева. – М.: Недра, 1985. – С. 252–255.

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.

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

Инженерная геология России. Т. 3: Инженерно-геологические структуры России / В.Т. Трофимов, Т.И. Аверкина, Т.В. Андреева [и др.] / под ред. В.Т. Трофимова, Т.И. Аверкиной. – М.: КДУ, 2015. – 710 с.

Карабанов А.К., Левков Э.А. Неотектонические структуры // Геология Беларуси / под ред. А.С. Махнача [и др.]. – Минск: Ин-т геолог. наук НАН Беларуси, 2001. – С. 574.

Карабанов А.К. Неотектоника Беларуси: автореф. дис. ... д-ра геолог.-минер. наук: 25.00.03 / А.К. Карабанов; НАН Беларуси, Ин-т геолог. наук. – Минск, 2002. – 44 с.

Калташнікаў Г.А. Інжынерна-геалагічнае раянаванне. Масштаб 1:3000000 // Нацыянальны атлас Беларусі / гал. рэдкал.: М.У. Мясніковіч [і інш.]. – Мінск: Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Саўеце Міністраў Рэсп. Беларусь, 2002. – С. 50.

Колташников Г.А. Инженерная геология: учеб. пособие. – Минск: Технопринт, 2005. – 132 с.

Колташников Г.А. О системном подходе в инженерно-геологических исследованиях // Геология и география: межвед. сб. / Гом. гос. ун-т; редкол.: Г.А. Кузнецов (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 1982. – Вып. 4. – С. 65–75.

Колташников Г.А. Пространственно-временные закономерности формирования инженерно-геологических условий Беларуси и их изменений под влиянием техногенных воздействий: автореф. дис. ... д-ра геолог.-минер. наук: 04.00.07 / МГУ. – М., 1992. – 57 с.

Комаров И.С. Основы комплексного метода инженерно- геологического изучения равнинных территорий, покрытых чехлом четвертичных отложений: автореф. дис. ... д-ра геолог.-минер. наук: 04.00.07 / Моск. геолог.-развед. ин-т им. С. Орджоникидзе. – М., 1966. – 65 с.

Королев В.А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем: учеб. пособие / В.А. Королев; под ред. В.Т. Трофимова. – М.: КДУ, 2007. – 416 с.

Королев В.А. Мониторинг геологической среды: учебник / В.А. Королев; под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 272 с.

Королев В.А. Основные принципы организации мониторинга геологических, литотехнических и эколого-геологических систем / В.А. Королев // Инженерная геология. – 2007. – № 4. – С. 24–29.

Красовская И.А. Оценка состояния эколого-геологических условий территории г. Гомеля: автореф. дис. ... канд. геолог.-минер. наук: 25.00.36 / МГУ им. М.В. Ломоносова. – М., 2005. – 29 с.

Кудельский А.В., Пашкевич В.И. Качество питьевых подземных вод в сельских населенных пунктах Беларуси: информ. бюллетень / Бел. науч.-исслед. центр «Экология». – Минск, 1997. – № 5 (12). – 22 с.

Кудельский А.В., Пашкевич В.И., Ясовеев М.Г. Подземные воды Беларуси. – Минск: Ин-т геолог. наук НАН Беларуси, 1998. – 260 с.

Кудельский А.В., Пашкевич В.И., Ясовеев М.Г., Шпаков О.Н., Коркин В.Д. Пресные подземные воды Беларуси (ресурсы и качество) // Літасфера. – 1994. – № 1. – С. 160–167.

Кудельский А.В., Поткин В.И., Лебедева Л.Д., Волкова Н.П. Вещественный состав и экотоксикологическая опасность свалок городских отходов // Докл. НАН Беларуси. – 2001. – Т. 45, № 6. – С. 91–97.

Кудельский А.В., Стародубова А.В., Феденя В.М., Бурак В.М. Экология территории бывших военных баз // Літасфера. – 1997. – № 7. – С. 153–166.

Куркина Л.А. Каратауский фосфоритовый бассейн (теория и практика инженерно-геологических и геоэкологических исследований). – Алматы: КазНТУ, 2006. – 568 с.

Логинов В.Ф., Калинин М.Ю., Иконников В.Ф. Антропогенные воздействия на водные ресурсы Беларуси // Природные ресурсы. – 1999. – № 3. – С. 23–38.

Макарова В.Г., Цыганов А.Р., Кирюшин В.А., Коновалов О.В., Вильдфлуш И.Р., Можайский Ю.А., Персикова Т.Ф., Желязко В.И. Экологические и медико-социальные аспекты охраны природной среды и здоровья населения. – Минск: БИТ «Хата», 2002. – 285 с.

Маккавеев А.А. Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии. – М.: Недра, 1971. – С. 85.

Марцинкевич Г.И., Клицунова Н.К., Логинова Л.В., Хараничева Г.Т. Ландшафты Белоруссии. – Минск: Университетское, 1989. – 206 с.

Матвеев А.В. История формирования рельефа Белоруссии. – Минск: Навука і тэхніка, 1990. – 144 с.

Матвеев А.В. Ледниковая формация антропогена Белоруссии. – Минск: Наука и техника, 1976. – 160 с.

Матвеев А.В., Гурский Б.Н., Левицкая Р.И. Рельеф Белоруссии. – Минск: Университетское, 1988. – 320 с.

Матвеев А.В., Нечипоренко Л.А., Бордон В.Е. Районирование территории Беларуси по типам разрезов четвертичных отложений // Літасфера. – 2002. – № 2 (17). – С. 9–26.

Мацвееў А.В. Геамарфалагічнае раянаванне. Маштаб 1:5750000 // Беларуская энцыклапедыя: у 18 т. / рэдкал.: Г.П. Пашкоў [і інш.]. – Мінск: БелЭн, 2004. – Т. 18. – Кн. II. – С. 38.

Мацвееў А.В., Нечыпарэнка Л.А. Раянаванне па праяўленню экстрэмальных геамарфалагічных працэсаў. Маштаб 1:3000000 // Нацыянальны атлас Беларусі / гал. рэдкал.: М.У. Мясніковіч [і інш.]. – Мінск: Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэсп. Беларусь, 2002. – С. 69.

Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2010 / М-во природ. ресур. и охр. окруж. среды Респ. Беларусь, Гл. информ.-аналит. центр НСМОС Респ. Беларусь, БелНИЦ «Экология»; под общ. ред. С.И. Кузьмина, В.В. Савченко. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2011. – 308 с.

Нацыянальны атлас Беларусі / гал. рэдкал.: М.У. Мясніковіч [і інш.]. – Мінск: Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэсп. Беларусь, 2002. – 292 с.

Нечипоренко Л.А. Условия залегания и тектоническая предопределенность антропогенного покрова Белоруссии. – Минск: Наука и техника, 1989. – 114 с.

Оздоева Л.И. Разработка методики крупномасштабного инженерно-геологического районирования городских территорий (на примере г. Грозного): автореф. дис. ... канд. геолог.-минер. наук: 04.00.07 / Моск. геолог.-развед. ин-т им. С. Орджоникидзе. – М., 1981. – 16 с.

Основы геологии Беларуси / под общ. ред. А.С. Махнач. – Минск, 2004. – 391 с.

Охрана ландшафтов. Толковый словарь / под ред. В.С. Преображенского. – М.: Прогресс, 1982. – 272 с.

Палеотектоника Белоруссии / под ред. Р.Г. Гарецкого. – Минск: Наука и техника, 1983. – 181 с.

Палеогеография кайнозоя Беларуси / под общ. ред. А.В. Матвеева. – Минск: Ин-т геолог. наук НАН Беларуси, 2002. – 164 с.

Панкратова К.В., Черемхина А.П. Некоторые негативные последствия контаминации подземного пространства Санкт-Петербурга при решении проблемы его освоения // Современные проблемы освоения недр:

материалы I Всерос. заоч. с междунар. участ. науч.-практ. конф. молод. ученых, аспирантов и студентов, Белгород, 5–20 мая 2011 г. / Нац. исслед. ун-т «БелГУ», Бел. рег. отд. РОМГТИФ. – Белгород, 2011. – С. 33–37.

Попов И.В. Инженерная геология СССР. Ч. 1: Общие основы региональной инженерной геологии: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1961. – 177 с.

Природная среда Беларуси / НАН Беларуси, Ин-т проблем использования природ. ресурсов и эколог.; под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: НООО «БИП-С», 2002. – 424 с.

Прогноз изменения окружающей среды Беларуси на 2010–2020 гг. / НАН Бел., Ин-т проблем использования природ. ресурсов и эколог.; под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: Минсктиппроект, 2004. – 180 с.

Сачок Р.І., Шышонак М.А. Морфометричныя карты. Вертыкальнае расчліненне рэльефу. Маштаб 1:3000000 // Нацыянальны атлас Беларусі / гал. рэдкал.: М.У. Мясніковіч [і інш.]. – Мінск: Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Саўеце Міністраў Рэсп. Беларусь, 2002. – С. 64.

Сачок Р.І., Шышонак М.А. Морфометричныя карты. Стромкасць схілаў рэльефу. Маштаб 1:3000000 // Нацыянальны атлас Беларусі / гал. рэдкал.: М.У. Мясніковіч [і інш.]. – Мінск: Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Саўеце Міністраў Рэсп. Беларусь, 2002. – С. 65.

Создание национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь / сост. И.В. Войтов [и др.]. – Минск: БелНИЦ «Экология», 1996. – № 8. – 16 с. – (Информ. бюллетень / Белорус. науч.-исслед. центр «Экология»).

Состояние окружающей среды Республики Беларусь: нац. докл. / М-во природ. ресур. и охр. окруж. среды Респ. Беларусь, Ин-т природопольз. НАН Беларуси; редкол.: М.Л. Амбражевич [и др.]. – Минск: Белтаможсервис, 2010. – 150 с.

Состояние природной среды Беларуси: ежегод. эколог. бюллетень 2010 г. / М-во природ. ресур. и охр. окруж. среды Респ. Беларусь, Ин-т природопольз. НАН Беларуси; под общ. ред. В.Ф. Логинова. – Минск: Минсктиппроект, 2011. – 395 с.

Состояние природной среды Беларуси: эколог. бюллетень 2015 г. / БелНИЦ «Экология», М-во природ. ресур. и охр. окруж. среды Респ. Беларусь; под общ. ред. С.Б. Мильнова. – Минск, 2016. – 323 с.

Справочник по охране геологической среды: в 2 т. / под ред. Г.В. Войткевича. – Ростов н/Д: Феникс, 1996. – Т. 1. – 448 с.

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.

Трофимов В.Т. Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты. – М.: Изд-во МГУ, 1977. – 280 с.

Трофимов В.Т. О путях учета закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий при районировании крупных территорий // Инженерная геология. – 1979. – № 1. – С. 38–46.

Трофимов В.Т. Районирование в инженерной геологии // Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы / под ред. Е.М. Сергеева. – М.: Недра, 1985. – С. 299–304.

Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Теоретические основы региональной инженерной геологии. – М.: ГЕОС, 2007. – 464 с.

Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. О роли подхода при инженерно-геологическом районировании // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 1995. – № 1. – С. 86–95.

Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А., Жигалин А.Д., Харьковина М.А. Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза. – М.: Ноосфера, 2006. – 720 с.

Фадеева М.В., Бучурин В.И. Влияние хозяйственной деятельности на гидрогеологические условия Белоруссии // Подземные воды Белоруссии, их использование и охрана / БелНИГРИ; редкол.: С.П. Гудак (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 1982. – С. 151–159.

Юрцева Н.С., Гудак С.П. Инженерно-геологическое районирование территории Белоруссии // Геология СССР. Т. 3: Белорусская ССР. Полезные ископаемые / гл. ред. А.В. Сидоренко. – М.: Недра, 1977. – С. 226–236.

Язвин Л.С., Боровский Б.В. Концепция государственного мониторинга состояния недр Российской Федерации // II конференция пользователей и партнеров «Геолинк Консалтинг» (доклады и сообщения). – М., 2001. – С. 15–19.

Якубовская Т.В., Назаров В.И. Стратиграфическая схема отложений эоплейстоцена Беларуси // Докл. АН Беларуси. – 1993. – Т. 37, № 4. – С. 100–104.

Якушко О.Ф., Марьина Л.В., Емельянов Ю.Н. Геоморфология Беларуси: учеб. пособие для вузов. – Минск: Университетское, 2000. – 172 с.

Ясовеев М.Г., Гледко Ю.А. Геоэкологические проблемы разработки Микашевичского месторождения строительного камня // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. – 2001. – № 2. – С. 71–76.

About USGS // U.S. Geological Survey. – 2011. – Mode of access: <http://www.usgs.gov/aboutusgs/default.asp>. – Date of access: 23.11.2012.



ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Виды районирования 67, 68, 69
- геолого-экономическое 69
 - региональное 68
 - смешанное 68
 - сравнительно-оценочное 69
 - типологическое 68
- Геотехнический мониторинг 161
- Государственный мониторинг состояния недр 159
- Инженерно-геологические
- зона 74, 83
 - район 74, 83
 - регион 74, 76
 - область 74, 83
 - подзона 75, 83
 - провинция 74, 81
 - условия 4, 18, 65, 71, 165
 - участок 74
- Инженерно-геологическое районирование 66
- История формирования ИГУ 20, 30
- Карта
- инженерно-геологического районирования 10
 - структурно-геоморфологического районирования 38
- Классифицирование технических систем 93
- Литотехнические системы (ЛТС) 5, 17, 89
- Методы наблюдений 167
- Морфоструктуры 37
- Мониторинг литотехнических систем 156, 161
- локального уровня 161
 - регионального уровня 162
- Национальная система мониторинга окружающей среды 157
- Объект наблюдений в мониторинге 166
- Подземные воды 41
- Подход к районированию 72
- Признаки
- геолого-структурные 72
 - литолого-формационные 73
 - морфогенетические 72
 - районирования 70
 - типизации 49
- Принципы 93
- мониторинга 165
 - районирования 70
- Разновидности районирования 67, 70
- специальное 70
 - общее 70
- Сеть наблюдательных участков 162
- Системы районирования 73
- однорядная последовательная 74
 - двухрядная перекрестная 79
- Схемы инженерно-геологического районирования 10
- Типизация
- инженерно-геологических обстановок 49
 - литотехнических систем 90, 103
- Типы районирования 67
- генетико-морфологическое 67
 - оценочное 67
- Типы региональных ЛТС 126
- Факторы 18
- зональные геологические 4, 76
 - региональные геологические 4, 76
- Целевая программа 172
- Элементы качества информации 170

Научное издание

ГАЛКИН Александр Николаевич

МАТВЕЕВ Алексей Васильевич

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ БЕЛАРУСИ

Монография

В 3 частях

Часть 3

РЕГИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Технический редактор

Г.В. Разбоева

Корректор

А.Н. Фенченко

Компьютерный дизайн

Л.Р. Жигунова

Подписано в печать 23.01.2018. Формат 60х84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 10,70. Уч.-изд. л. 10,15. Тираж 100 экз. Заказ 3.

Издатель и полиграфическое исполнение – учреждение образования

«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

Свидетельство о государственной регистрации в качестве издателя,

изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/255 от 31.03.2014 г.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

210038, г. Витебск, Московский проспект, 33.