

**М. Г. Ясовеев,
А. И. Калашникова**

**МЕТОДИКА
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**



Учреждение образования
«Международный государственный экологический
институт имени А. Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета

М. Г. Ясовеев, А. И. Калашникова

МЕТОДИКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по экологическому образованию
в качестве учебно-методического пособия для магистрантов
специальности 1-33 80 01 Экология*

Минск
«ИВЦ Минфина»
2018

УДК 574(075.8)
ББК 28.081 я7
Я83

Р е ц е н з е н т ы:

доктор геолого-минералогических наук, доцент,
заведующий кафедрой инженерной геологии
и геофизики БГУ *А. Ф. Санько*;
кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой
экологической химии и биохимии
МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ *А. Г. Сыса*

Под редакцией

доктора геолого-минералогических наук, профессора,
лауреата Государственной премии Республики Беларусь
М. Г. Ясовеева

Ясовеев, М. Г.

Я83 Методика экологических исследований: учебно-методическое
пособие / М. Г. Ясовеев, А. И. Калашникова. – Минск :
ИВЦ Минфина, 2018. – 232 с.
ISBN 978-985-7205-94-3.

В издании рассмотрены особенности и методика экологических исследований состояния природных комплексов и геосистем. На базе умения оценивать остроту и напряженность возникших экологических ситуаций можно получить навыки минимизации последствий воздействия техногенеза на составляющие природной среды: почву, литосферу, поверхностные и подземные воды, атмосферу и другие компоненты.

Для студентов и магистрантов направления 1-33 80 01 «Экология» географических, геологических и биологических специальностей вузов, аспирантов и преподавателей, специалистов в области общей и прикладной экологии, охраны окружающей среды и рационального природопользования.

**УДК 574(075.8)
ББК 28.081 я7**

ISBN 978-985-7205-94-3

© Ясовеев М. Г., Калашникова А. И., 2018
© МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ПРЕДМЕТ ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
1.1. Цели и задачи курса.....	6
1.2. Исторические этапы взаимодействия общества и природы	9
ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И ГЕОСИСТЕМЫ БЕЛАРУСИ.....	14
2.1. Климат	14
2.2. Поверхностная гидросфера.....	18
2.3. Ландшафты и рельеф.....	26
2.4. Геолого-гидрогеологические особенности.....	33
2.5. Опасные геологические процессы	42
ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	45
3.1. Геолого-экологические и гидроэкологические методы	45
3.2. Аналитические и геохимические методы.....	46
3.3. Инженерно-геологические и геофизические методы	50
3.4. Аэрокосмические методы	59
3.5. Геоморфологические и биолокационные методы	62
3.6. Радиационное обследование и оценка радоноопасности.....	64
ГЛАВА 4. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ	69
4.1. Картографирование экологических ситуаций.....	72
4.2. Структура и комплексный характер применения методов экологических исследований.....	85
4.3. Понятие о экологических ситуациях	89
ГЛАВА 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ И ЛИТОСФЕРЫ.....	96
5.1. Структура и почвы земельного фонда Беларуси	96
5.2. Почвы городских территорий.....	102
5.3. Литогенная основа территории Беларуси.....	108
5.4. Состояние геологической среды, влияние горнодобывающей деятельности на экологические условия.....	114
ГЛАВА 6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОСФЕРЫ ..	119
6.1. Состояние поверхностных и подземных вод	119
6.2. Использование природных вод	120
6.3. Показатели качества воды	123
6.4. Водоснабжение и питьевая вода.....	130
6.5. Мелиорация и сосредоточенный водоотбор	135
6.6. Загрязнение сточными водами	143
6.7. Радиоактивное загрязнение	145

ГЛАВА 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ..	149
7.1. Экологические функции и состав атмосферы	149
7.2. Характеристика загрязняющих атмосферу веществ и классификация источников загрязнения	150
7.3. Стандарты качества атмосферного воздуха.....	154
7.4. Формирование состава атмосферного воздуха в населенном пункте.....	158
7.5. Качество атмосферного воздуха в Беларуси.....	167
ГЛАВА 8. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛОРЫ И ФАУНЫ.....	178
8.1. Состояние растительности	178
8.2. Состояние ресурсов животного мира	194
ГЛАВА 9. ЭКОМОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	205
9.1 Общие положения	205
9.2 Особенности ведения разных видов мониторинга природной среды	215
9.3. Международное сотрудничество в области окружающей среды	222
ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ.....	226
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	230

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии со стандартом и учебным планом специальности направления «Экология» одним из основных курсов подготовки специалистов-экологов в высшем учебном заведении является дисциплина «Методика экологических исследований», основное содержание которой изложено в предлагаемом издании.

В работе последовательно освещаются главные принципы экологических исследований, которые заключаются в комплексном, системном подходе изучения последствий техногенного воздействия на компоненты окружающей среды: почвы, гидросферу (поверхностную и подземную), воздушную атмосферу, растительность и фауну.

Содержание пособия делится на две части. В первой (главы 1–4) излагаются основные понятия дисциплины (глава 1), дается описание природных комплексов и геосистем Беларуси, как основного объекта исследований (глава 2), анализируются конкретные методы геоэкологических исследований (глава 3), приводятся основы геоэкологического картографирования (глава 4).

Во второй части пособия излагаются особенности методики экологических исследований почв и литосферы (глава 5), гидросферы (глава 6), атмосферы (глава 7), флоры и фауны (глава 8). В заключительной, девятой главе даются основы экомониторинга компонентов природной среды.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов специальности 1-33 80 01 «Экология», а также географических, геологических, геоэкологических и биологических специальностей вузов, магистрантов, аспирантов и преподавателей вузов, специалистов в области геоэкологии, экологии и природопользования.

Считаем необходимым отметить, что учебное пособие по данной дисциплине подготовлено впервые и по этой причине не может быть лишено недостатков. Авторы проекта просят замечания, предложения и пожелания, которые могут способствовать улучшению издания, направлять по адресу: МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, кафедра общей экологии, биологии и экологической генетики.

ГЛАВА 1. ПРЕДМЕТ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели и задачи курса

Первые зачатки в современном понимании экологических идей появились ещё в античное время, развивались они и в средние века. Затем, в начале XIX в., А. Гумбольдт впервые дал развёрнутую систему связей органического мира с внешней средой. Он писал, что главным побуждением в научной работе должно быть стремление объять явления внешнего мира в их общей связи, природу как целое, движимое и оживляемое внутренними силами.

Понятие «*экология*» введено в практику немецким естествоиспытателем Эрнстом Геккелем. В работе «Всеобщая морфология организмов», изданной в 1866 г., и в последующих лекциях, прочитанных в Иенском университете в 1869 г., он дал определение экологии как науки об отношениях организма и окружающей среды. Э. Геккель не только ввёл в оборот новый необычный термин, но и создал научное направление, изучающее влияние окружающей среды на живые организмы.

Важный вклад в экологизацию естествознания сделан В. И. Вернадским, который ещё в 20-е гг. XX в. разработал основные положения учения о биосфере. Он писал, что «живые организмы являются функцией биосферы и материально и энергетически связаны с ней, они также являются огромной геологической силой, её определяющей. В результате обменных процессов изменяются не только сами организмы, но и окружающая их абиотическая среда». В свете учения о биосфере В. И. Вернадского стало возможным научное познание связей между живой и неживой природой, что, несомненно, оказало влияние на становление геоэкологической науки.

Поскольку составной частью окружающей среды является природная среда (геосферы, географическая оболочка, геологическая среда), естественным было выделение из «большой» экологии (всеобщей, глобальной, мегаэкологии) особого направления, рассматривающего экологические функции различных компонентов природной среды. За этим направлением укоренилось название «геоэкология».

Впервые понятие «*геоэкология*» введено в научный обиход немецким экологом К. Троллем в 1939 г., который под геоэкологией понимал раздел экологии, посвящённый ландшафтам Земли. Впоследствии понятие «геоэкология» стало термином свободного пользования, широко используемым в географических, геологических, социальных и других науках при решении проблем природоохранной деятельности.

Современные географы и биологи – сторонники новой науки, геоэкологии – трактуют ее содержание более широко. Во-первых, в отличие от К. Тролля, в объект исследования включаются не только природные,

но и антропогенные ландшафты. Во-вторых, четко обозначается целевая направленность науки – оптимизация природопользования.

В начале 80-х гг. XX в. в геологических публикациях стали появляться термины «геоэкология», «геология окружающей среды», а в последние годы и «экогеология», «экогидрогеология», «гидрогеоэкология» и др. Этот процесс стал началом формирования нового научного «экологизированного» направления в науках о Земле. Несмотря на отсутствие строго научного подхода к определению объекта и предмета появившегося направления, многие исследователи понимают под геоэкологией комплексную междисциплинарную науку, действующую на стыке наук о Земле. Другие исследователи обозначают «геоэкологию» как сумму самостоятельных составных частей (экогеохимия + гидроэкология + инженерная геология + экогеофизика и т. д.). Совершенно обоснованно многие геологи считают, что новое научное направление не должно быть простым объединением представлений и методов разных наук о Земле, а требует их целенаправленного синтеза и переработки.

В современной науке существует несколько различных *подходов* к рассмотрению экологической проблематики. А. И. Базилевич, О. С. Гребенщиков, А. А. Тишков, Д. А. Криволуцкий, А. Г. Воронин, Е. Т. Мяло и другие продолжают развитие традиционной экологии (биоэкологии) в рамках биогеографии. А. И. Базилевичем и другими формируется новое научное направление, определяемое как география природных экосистем. Суть последнего в выявлении географических закономерностей организации экосистем и их типологии как первичных структурных единиц биосферы. Акцент делается на изучение экосистем, относящихся к семействам, имеющим зональные ареалы.

Сторонники другого научного подхода (И. П. Герасимов, В. С. Преображенский, Т. Д. Александрова и др.) экологические исследования в географии связывают с понятием «геосистема». И. П. Герасимов писал, что «правильно толковать экологию как специфический общенаучный подход к изучению различных объектов природы и общества». «...Цель экологического подхода – выявление и исследование связей, существующих между изучаемым той или иной наукой объектом и окружающей средой». В. С. Преображенский, Т. Д. Александрова и другие считают, что экологический подход при изучении природных геосистем необходимо сочетать с подходом географическим. Последний предполагает исследование связей внутри геосистем как равнозначных.

В 1970 г. В. Б. Сочава на V съезде Географического общества СССР выступил с докладом на тему «География и экология», в котором отождествил географию, пользующуюся экологическими мерилami оценки, с наукой об окружающей среде. Человек и среда, по мнению автора, в равной степени являются объектом изучения географии, поскольку послед-

няя рассматривает территории с точки зрения её отношения к человеку. При этом подчёркивается, что биологические аспекты (влияние различных компонентов среды на организм и его психику) не затрагиваются.

Идеи В. Б. Сочавы созвучны представлениям Б. Г. Розанова, изложенным в монографии «Основы учения об окружающей среде». В рамках этого учения исследуются связи между социально-экономическим развитием и состоянием окружающей среды. Автор рассматривает окружающую среду (антропосферу) в составе социально-экономических и физических компонентов. Последние делятся на природные и созданные человеком.

В. Г. Морачевский и другие справедливо считают, что геоэкология – это «наука, изучающая необратимые процессы и явления в природной среде и биосфере, возникающие в результате интенсивного антропогенного воздействия, а также близкие и отдалённые во времени последствия этих воздействий».

С точки зрения Т. С. Комиссаровой и А. М. Макарского, геоэкология – «современное интегрированное направление науки, изучающее пространственно-временные изменения природных систем в результате антропогенной деятельности и их экологическое состояние, а также ландшафты как среду обитания человека».

По мнению А. Н. Витченко, геоэкология – это область науки, изучающая географическую среду и слагающие её природные и природно-антропогенные геосистемы с использованием гуманитарно-экологического подхода в целях разработки теоретических основ, принципов и нормативов рационального природопользования, устойчивого развития общества и оптимизации его взаимодействия с окружающей средой. Гуманитарно-экологический подход – это совокупность взглядов и действий, выражающихся в уважении достоинства и прав человека, его ценности как личности, заботе о благе людей, их всестороннем развитии, создании благоприятных для человека условий среды жизнедеятельности с учётом экологических ограничений.

Один из аспектов учения об окружающей среде, а именно - изучение техногенных потоков рассеяния – давно и глубоко исследуются в рамках геохимии ландшафтов (А. И. Перельман, М. А. Глазовская и др.). А. И. Перельманом разработаны основы теории ландшафтно-геохимических барьеров, ряды биологического поглощения элементов и их подвижности в различных условиях. Эти положения развиты М. А. Глазовской и применены при региональных оценках состояния и прогнозе изменений ландшафтно-геохимических систем под действием техногенеза.

Методологической основой экологии является *системный подход*, при котором природная среда рассматривается как геосистема, состоящая

из атмосферы, гидросферы, биосферы и техносферы, и функциональными единицами являются системы более низкого ранга.

В 1993 г. опубликована работа В. И. Осипова, в которой геоэкология рассматривается как междисциплинарная наука экологических проблем геосфер. Объектами геоэкологии являются геосферные оболочки Земли (а не только литосфера или геологическая среда), а предметом – все знания о них, включая изменения под влиянием природных и техногенных факторов. К числу важнейших задач экологии автор относит: анализ изменения геосфер под влиянием природных и техногенных факторов; рациональное использования водных, земельных, минеральных и энергетических ресурсов Земли; снижение ущерба окружающей среде от природных и природно-техногенных катастроф и обеспечение безопасного проживания людей.

Критический анализ всех этих взглядов позволяет определить геоэкологию как междисциплинарную науку, изучающую состав, структуру, закономерности функционирования и эволюции естественных (природных) и техногенно преобразованных экосистем высоких уровней организации. Она интегрирует все знания об экологических проблемах Земли и представляет собой триумвират из географических, геологических и биологических наук, ставящих основной целью сохранение жизнеобеспечивающей среды и жизни на Земле.

Таким образом, термин «геоэкология» применяется как в биологии, так и в других науках при решении проблем природоохранной направленности. Наука представляет собой своеобразный комплекс из биологических, геологических и почвенно-географических наук, ставящих основной целью сохранение природной среды и жизни на Земле. Являясь наукой природного цикла, экология изучает экосистемы (геосистемы) высокого уровня организации.

1.2. Исторические этапы взаимодействия общества и природы

Характер взаимоотношений человека с природой в процессе развития общества изменялся под влиянием как биологической, так и социальной эволюции человечества.

Первый период в истории взаимоотношений человека с природой длился более 3 млн. лет. Это период каменного века и первобытнообщинного строя. Определяющую роль во взаимоотношениях человека и природы играл природный фактор, вследствие зависимости людей от особенностей природной среды. Люди занимались собирательством, охотой, рыболовством. Насколько активным тогда было влияние человека на растительный и животный мир, судить трудно.

Второй период продолжается с начала землепользования, т. е. от VIII–VII вв. до н. э. до становления промышленного производства в

XV в. н. э. Это период рабовладельческого и феодального общества, период активного развития земледелия и скотоводства. Следствием развития скотоводства является вытеснение домашними животными диких из их экологических ниш.

В это время развивается поливное земледелие в Средней и Малой Азии, в Индии, Китае, Южной и Центральной Америке. Для ирригации использовались как поверхностные, так и подземные воды. Орошаемые земли отличались высокой продуктивностью и обеспечивали население сельскохозяйственной продукцией. Поэтому плотность населения на этих землях достигала 80–90 человек на 1 км².

В это время происходит сокращение площади лесов. Древесина используется в качестве топлива и стройматериалов, а земли – для сельского хозяйства. Например, для строительства одного парусного корабля требовалось до 400 дубов. Происходит нарушение естественных круговоротов веществ в природе.

Третий период продолжался с XVI по XIX в. Это время становления и развития капитализма. Период характеризовался интенсивным освоением минерально-сырьевых ресурсов, развитием горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, что привело к перераспределению химических элементов между недрами Земли и ее поверхностью. По подсчетам В. И. Вернадского, только за XIX в. было извлечено из недр Земли более 54 тыс. т цветных и благородных металлов, а угля за вторую его половину – 15 млрд. т. Для извлечения указанного количества полезных ископаемых перерабатывался объем горной породы, превышающий вынос твердого материала реками мира с материков в океаны.

Развитие промышленности при отсутствии природоохранных мероприятий приводило к быстрому загрязнению воздушного бассейна, рек, местами – к деградации растительного покрова. Это характерно в первую очередь для горнопромышленных районов Великобритании, Центральной Европы (Рурская область, Силезия), Южного Урала (Россия) и США.

Четвертый период взаимодействия общества с природой – период империализма и социальных революций. Воздействие человека на природную среду приобретает не только региональный, но и глобальный характер: происходит химическое, физическое, биологическое загрязнение природных компонентов и коренное преобразование ландшафтов, изменение интенсивности, геологических процессов. Государства мира перерабатывают за год горной массы больше, чем естественные геологические процессы, протекающие на Земле.

Пятый период взаимодействия человека с природой соответствует современному этапу развития человечества. Это эпоха научно-гуманитарной революции. Перед человечеством неотвратимо встала задача разумного, рационального природопользования, позволяющего удо-

влетворять жизненные потребности людей в сочетании с охраной и воспроизводством окружающей среды.

С развитием общества, как уже отмечалось выше, степень антропогенного воздействия постоянно возрастает. Реальные сдвиги в нейтрализации этого влияния пока не очень велики, хотя ведутся значительные работы учеными разных специальностей. В этой связи возрастает необходимость более четкого теоретического обоснования, определения методологии изучения окружающей среды с целью оптимизации взаимодействия общества и природы. Сложность выполнения научных разработок в области природопользования, обусловленная необходимостью учета при их реализации целого ряда природных закономерностей и антропогенных факторов, вызывает необходимость вести широкие поисковые исследования, идти различными путями к их решению, используя для этой цели материалы и методы смежных с географией наук. Традиционные подходы к решению проблемы оптимизации взаимодействия общества и природы не могут удовлетворить постоянно возрастающие запросы практики и не всегда соответствуют современному уровню развития науки. Этими причинами и обусловлено появление в рамках наук естественного цикла нового научного направления.

В результате интенсивного техногенеза возникают экологические кризисы. Экологический кризис (по В. И. Данилову-Данильяну) – это состояние нарушения устойчивости глобальной биосферы, в результате которого происходят быстрые (за время жизни одного поколения людей) изменения характеристик окружающей среды. В более широком смысле экологический кризис – это критическая фаза в развитии биосферы, при которой происходит качественное обновление живого вещества (вымирание одних видов и возникновение других).

В предыстории и истории человечества выделяют несколько экологических кризисов (табл. 1.).

Общим для всех антропогенных кризисов является то, что выход из них сопровождался, как правило, уменьшением численности населения, его миграцией и социальными изменениями, в некоторых случаях сменой общественного строя. Так, первый антропогенный кризис вызвал расселение охотников. Переход к земледелию и скотоводству сопровождался возникновением рабовладельческого строя, которому сопутствовали опустынивание и истощение земельных ресурсов и переход к феодальному строю.

Таблица 1

Экологические кризисы в развитии биосферы и цивилизации

Название кризиса	Время	Причины кризиса	Пути выхода из кризиса
Предантропогенный (кризис аридизации)	3 млн. лет назад	Наступление засушливого периода (аридизация климата)	Возникновение прямоходящих антропоидов
Обеднение ресурсов собирательства и промысла для человека	30–50 тыс. лет назад	Недостаток доступных первобытному человеку ресурсов	Простейшие биотехнические мероприятия типа выжигания растительности для обновления экосистемы
Перепромысел крупных животных (кризис консументов)	10–50 тыс. лет назад	Уничтожение доступных крупных животных человеком-охотником	Переход к примитивному земледелию, скотоводству (неолит)
Примитивное поливное земледелие	1,5–2 тыс. лет назад	Примитивный полив, сопутствующее ему истощение и засоление почв	Переход к неполивному (богарному земледелию)
Недостаток растительных ресурсов и продовольствия	150–250 лет назад	Истощительное землепользование, отсталые технологии	Промышленная революция, новые технологии в сельском хозяйстве
Глобальное загрязнение среды и угроза истощения ресурсов	30–50 лет назад по настоящее время	Истощительное природопользование, многоотходные технологии	Энергосберегающие технологии, безотходное производство, поиск решений
Глобальный термодинамический (кризис теплового загрязнения)	Начала и прогнозируется	Выделение в среду большого количества тепла, особенно из внутренних источников, парниковый эффект	Ограничение использования энергии, предотвращение парникового эффекта, поиск решений
Глобальное истощение надежности экологических систем	Первые признаки и прогноз	Нарушение экологического равновесия в масштабах планеты	Приоритет экологических ценностей перед всеми другими, поиски решений

Основная особенность современного кризиса – глобальный характер: быстрые изменения окружающей среды происходят на глобальном, региональном, локальном уровнях, охватывают все природные компоненты и сферы Земли.

Проявления экологического кризиса многообразны: увеличение содержания парниковых газов и уменьшение мощности озонового слоя; рост эрозии почв и их засоление, а также закисление и загрязнение; расширение площади пустынь, в т. ч. техногенных; сокращение площади лесов и быстрое исчезновение видов живых организмов; рост заболеваемости населения; загрязнение окружающей среды и т. д.

Современный человек вовлекает в производство и потребление такое количество вещества и энергии, которое в десятки и сотни раз превышает его чисто биологические потребности.

ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И ГЕОСИСТЕМЫ БЕЛАРУСИ

Формирование экологических условий нашей страны происходит под влиянием природных и техногенных факторов. Воздействие и экологические следствия техногенеза будут рассмотрены в гл. 5–9, ниже приведем характеристику основных природных комплексов и геосистем, образующих и формирующих экологическую среду Беларуси.

2.1. Климат

Климат Беларуси – умеренно континентальный, определяется положением республики в переходной зоне между областями с морским и континентальным типами климатов умеренных широт.

Радиационный режим определяет количество тепла и света, получаемых данным районом, зависит от высоты и азимута солнца, а также от облачности и прозрачности атмосферы. К поверхности земли поступает прямая и рассеянная радиация.

Годовые суммы суммарной радиации изменяются от 4100 Мдж/м² на юге республики до 3500 Мдж/м² на севере. Общий приход радиации на юге на 16 % больше, чем на севере, и в среднем она увеличивается на 100 Мдж/м² на каждые 100 км продвижения к югу. Максимум тепла фиксируется в июне (590–630 Мдж/м²) и в 15 раз меньше в декабре (40–50 Мдж/м²). Суммарная радиация довольно равномерно распределяется по территории и ее колебания больше связаны с развитием облачности, чем с широтным положением в силу небольших размеров территории республики. Радиационный баланс равен 1570–1700 Мдж/м² в год. Четыре месяца в году (а на юго-востоке три месяца) он отрицательный с минимальными значениями в январе – 20–30 Мдж/м². В июне радиационный баланс достигает максимума 320–330 Мдж/м².

На три летних месяца приходится более 50 % всей годовой суммы прямой радиации, примерно 45 % рассеянной и суммарной. За три зимних месяца поступает не более 4 % прямой радиации, около 7 % – суммарной и 9 % – рассеянной. В связи с колебаниями месячных сумм радиации в отдельные годы экстремальные значения приходятся не на июнь и декабрь, а смещаются на другие месяцы: максимум – на август, июль или май, а минимум – на ноябрь, реже – на январь. Однако в различные годы количество тепла может существенно варьировать: среднее квадратическое отклонение сумм радиации, характеризующих их межгодовую изменчивость, достигает 200–230 Мдж/м².

Продолжительность солнечного сияния за год изменяется с севера на юг от 1750 до 1870 часов. В период с максимальной продолжительностью солнечного сияния в июне его величины варьируют от 265 до

288 часов, а наименьшая продолжительность солнечного сияния в декабре от 25 до 33 часов.

В различные годы продолжительность солнечного сияния, как по месяцам, так и за год в целом может существенно отклоняться от многолетней средней: среднее квадратическое отклонение составляет 150–180 часов в год. Число дней без солнца за год изменяется от 110 дней на севере до 95 дней на юге.

Время нахождения солнца над горизонтом (возможная продолжительность солнечного сияния) по территории Беларуси примерно одинаково и составляет 4495 ± 10 часов в год. Поэтому различия в действительной продолжительности солнечного сияния практически полностью определяются режимом облачности. Средняя годовая продолжительность солнечного сияния увеличивается с севера, северо-запада на юг, юго-восток на 7 % от 1750 до 1870 часов (в Минске – 1795). Это соответствует уменьшению в том же направлении общей среднегодовой облачности от 7,0–7,2 балла до 6,6–6,9 балла. Таким образом, в среднем солнечное сияние наблюдается, примерно, в течение 40 % времени, когда солнце находится над горизонтом. В остальное время оно закрыто облаками и к земле приходит только рассеянная радиация.

Циркуляционный режим имеет большое значение в формировании климата республики, т. к. циркуляция определяет тип погоды, смену и изменчивость метеорологических параметров. Беларусь находится под влиянием атлантических воздушных масс, действие которых в холодное и теплое время года различно: зимой они вызывают потепление, а летом обуславливают прохладную погоду. Характерной особенностью циркуляционного режима в стране является повышенная циклоничность. В течение всех сезонов года циклонические формы циркуляции преобладают над антициклоническими. Число дней с циклоническими формами составляет более 200, а с антициклоническими – около 150–160.

Влияние подстилающей поверхности в Беларуси сказывается в основном на создании различных микроклиматических условий отдельных районов. Холмисто-равнинная поверхность республики не оказывает существенного влияния на крупномасштабные циркуляционные процессы, но наличие многочисленных возвышенностей и низин, озер и болот определяет пестроту в пространственном распределении температуры и влажности, в ветровом режиме и режиме осадков.

Чередование морских и континентальных воздушных масс создает неустойчивость погодного режима. Преобладание атлантического воздуха обуславливает в течение всего года высокую относительную влажность (110–150 дней с относительной влажностью свыше 80 %), значительное развитие облачности (150–160 пасмурных дней, 90–110 дней без солнца), достаточное увлажнение (в среднем 600–700 мм за год).

Сезонные климатические характеристики. Годовой ход метеорологических элементов определяет деление на сезоны года. Границы сезонов устанавливаются по датам перехода средней суточной температуры воздуха через определенные пределы. Различия в сроках наступления сезонов в различных районах республики небольшие – 1–2 недели, в продолжительности сезонов от 2 до 5 недель.

Зима в климатологии – период с отрицательными средними суточными температурами воздуха. Зима начинается со второй декады ноября и продолжается в среднем до последней декады марта. Поскольку даты перехода через 0 °C изменяются из года в год и непостоянны даже в течение одной зимы, т. к. температура часто колеблется около 0 °C, то для характеристики зимних условий обычно используется период календарной зимы – декабрь–февраль. В зимние месяцы, когда приход солнечной радиации мал, основным климатообразующим фактором являются циркуляционные процессы. Господство то влажных и теплых воздушных масс с Атлантики, то холодных континентальных, приходящих с Азиатского материка, определяет неустойчивый характер белорусской зимы. На большей части территории зима наступает в середине ноября и продолжается до первой половины марта, продолжительность сезона 16 недель. На крайнем юге республики зима более короткая – 15 недель. Средняя температура января –7...–8 °C на севере и востоке республики и –5...–6 °C – на западе и юге. Частая смена теплых воздушных масс холодными континентальными или арктическими приводит к постоянной смене морозных периодов и оттепелей.

Оттепели – типичное явление белорусской зимы. Они отмечаются в каждом зимнем месяце. В среднем по республике наблюдается до 29 дней с оттепелью за зимние месяцы. За период инструментальных наблюдений в Беларуси не было ни одной зимы без оттепелей. Средняя непрерывная продолжительность оттепельного периода 4–6 дней. Для оттепельных периодов характерны пасмурная с осадками, ветрами и туманами погода. Морозные периоды, устанавливающиеся в основном при антициклонических условиях погоды, имеют среднюю продолжительность 5–7 дней. Максимальная за сезон продолжительность в большинстве лет достигает 11–20 дней. Для морозных дней, сменяющих оттепели, более характерны метели, изморозь, а временами – безоблачная погода с очень низкими температурами воздуха.

Весна начинается с устойчивого перехода дневных температур с положительным значением и разрушением устойчивого снежного покрова. На большей части территории это происходит в первой неделе марта. Продолжительность сезона от 7 недель на юге до 10 недель на севере. Весной резко возрастает приход тепла и света, суммарная солнечная ра-

диация быстро увеличивается, продолжительность солнечного сияния становится в 5 раз больше, чем зимой.

Весна в республике прохладная и умеренно теплая, средняя температура апреля 5,0–7,5 °С. Весна – сезон наибольших температурных контрастов. При активных южных вхождениях в условиях ясной погоды дневные температуры могут достигать +10 °С и более (абсолютный максимум температуры в апреле +26–31 °С). Вместе с тем для весны типичны и периоды, когда при северных и северо-восточных вторжениях арктического воздуха наблюдаются резкие похолодания до минусовых значений температуры (абсолютный минимум температуры в апреле –14) – –21 °С.

Лето начинается с перехода суточной температуры через +14 °С (средняя температура вегетационного периода) во второй – третьей декаде мая.

Белорусское лето теплое и достаточно солнечное. Лишь в среднем два дня в месяце бывает с плотными, низкими облаками, но летом относительно немного и абсолютно ясных дней. Как правило, преобладают дни с переменной облачностью, когда солнце светит 8–10 часов. Преобладающие в летний период ливневые дожди, даже с грозой, нередко лишь очищают и увлажняют воздух и почву.

Продолжается лето с конца апреля до первой половины октября (23–24 недели) на юге и с середины мая до конца сентября (19–20 недель) на западе, севере и в центре республики. На летний сезон приходится половина поступающей за год солнечной радиации – за июнь – август 1660–1740 МДж/м². Продолжительность солнечного сияния за тот же период 770–850 часов.

Лето в стране, как правило, влажное: средняя месячная относительная влажность в июле 70–75 %. Лето – сезон максимума осадков, за три месяца их выпадает 200–260 мм. Осадки преимущественно ливневые, обильные, но кратковременные, нередко сопровождаются грозами. Изредка при грозах возможен град. Вероятность туманов летом резко уменьшается. Ветровой режим летом резко изменяет направление – доминируют западные и северо-западные ветры; скорость ветра ослабевает – преобладают ветры со скоростью 2,5–3,3 м/с; сильные ветры наблюдаются редко. Лето – самый ясный сезон, число дней без солнца всего 2–5, вероятность ясного состояния неба – около 50 %.

Осень начинается с пониженной суточной температуры ниже +10 °С (окончание активной вегетации растений). В Беларуси этот переход происходит в последней декаде сентября – начале октября. В сентябре происходит резкое падение величины радиационного баланса – от августа к сентябрю он сокращается почти в два раза. Происходит перестройка барического поля атмосферы. Растет давление над охлаждающимся ма-

териком, усиливается роль Исландской депрессии в углублении циклонов, идущих из Северной Атлантики на Европейский континент. Смещается к югу и ослабляется Азорский максимум. Все более глубокие циклоны оказывают влияние на погоду в Беларуси. Чаше и длительнее периоды ухудшения погоды. Если в сентябре еще в среднем около трех-пяти пасмурных дней с низкой плотной облачностью, то в ноябре число увеличивается до 16–20 и почти на всем их протяжении не показывается солнце. Из месяца в месяц на 4–6 °С понижается температура воздуха.

2.2. Поверхностная гидросфера

Реки и каналы. Реки, протекающие на территории Беларуси, принадлежат бассейнам Балтийского и Черного морей. Наиболее крупными из них являются рр. Днепр, Западная Двина, Неман и Западный Буг.

По территории республики протекает 20,8 тыс. рек, общей протяженностью около 90,6 тыс. км. В целом средняя густота речной сети составляет 0,44 км/км²; наибольшая наблюдается в бассейне р. Неман – 0,47 км/км². Для бассейна р. Западная Двина она составляет 0,45 км/км² и приблизительно одинакова для бассейнов рр. Днепр и Припять – 0,39 км/км² и 0,4 (с учетом каналов) км/км² соответственно; наименьшая – в бассейне р. Западный Буг – 0,38 км/км².

Ведущая роль в формировании речного стока принадлежит подземному и снеговому питанию, на долю которых приходится 80–90 % годового стока.

Максимальная увлажненность речных бассейнов Беларуси приходится на северо-восточную ее часть, где модули годового стока достигают 8 л/с/км², а также на район Ошмянской гряды в бассейне р. Виляя, где модули достигают 8,5 м/с/км². Пониженная удельная водность (до 3,5 л/с/км²) относится к южной части Припятского гидрологического района.

В средний по водности год речной сток составляет 57,9 км³, в многоводные годы он увеличивается до 92,4 км³, а в маловодные снижается до 37,2 км³. В пределах республики формируется 34 км³ (59 %) речного стока. Приток воды с территории России и Украины составляет 23,9 км³. Очевидно, что ресурсы речного стока, формирующиеся в пределах республики распределены не равномерно. Самые значительные объемы поверхностных водных ресурсов формируются в пределах бассейна р. Днепр, минимальные приходятся на бассейн р. Западный Буг.

Бассейн р. Днепр

Природные условия в бассейне р. Днепр определяются направлением ее движения с севера на юг, когда река пересекает три природные зоны – лесную, лесостепную и степную. Днепр берет свое начало на Валдайской возвышенности и впадает в Днепровский лиман Черного моря.

Гидрографическая сеть в бассейне в основном представлена реками (рис. 1), а также значительным количеством искусственных водоемов – водохранилищ (47) и прудов (451).



Рис. 1. Бассейн р. Днепр

При общей длине р. Днепр 2145 км, в среднем течении на протяжении 700 км она протекает по территории Беларуси, где принимает свои основные притоки – рр. Припять, Сож и Березину. Долина реки в основном трапецевидной формы, ниже устья р. Сож слабовыраженная, шириной от 0,8–3 км (до г. Могилев) до 5–10 км (до устья р. Сож).

Гидрологический режим. Питание р. Днепр осуществляется за счет таяния снега (около 50 % в верхнем течении), грунтовых (27 %) и дождевых (23 %) вод.

Наибольший годовой сток (68 %) отмечается в верховье реки и приходится на весеннее половодье, на летне-осеннюю и зимнюю межень – 28 и 4 % соответственно. На территории Гомельской области доля весеннего стока несколько меньше (57 %), а летне-осеннего и зимнего больше – 30 и 13 %.

Бассейн р. Западная Двина

Природные условия на территории бассейна р. Западная Двина определяются географическим положением – простираением в северо-восточной части Восточно-Европейской равнины. Бассейн представляет собой неширокую (100–150 км) изогнутую полосу, вытянутую в широтном направлении и как бы открытую в сторону Балтийского моря. Он

границит с водосборами: на севере – оз. Чудское и Ильмень, на востоке и юго-востоке рр. Волга и Днепр, на юге и юго-западе – р. Неман. Водораздел бассейна проходит по Свенцянским грядам, восточным отрогам Белорусской гряды, Валдайской, Городокской и Латгальской (на юго-востоке Латвии, высоты до 289 м) возвышенностям.

Гидрографическая сеть в бассейне р. Западная Двина представлена значительным количеством озер (около 3 % всего водосбора), многочисленными реками (12 тыс.) и болотами (рис. 2).



Рис. 2. Бассейн р. Западная Двина

Западная Двина вытекает из оз. Корякино (Калининская область) и впадает в Рижский залив Балтийского моря. Исток и устье находятся примерно на одной широте, но по мере протекания река отклоняется сначала на юг, а затем опять возвращается к северу. У г.п. Бешенковичи находится самая южная точка бассейна. В 326 км от истока р. Западная Двина входит в пределы Беларуси, где принимает притоки: рр. Каспля, Лучёса, Оболь, Дисна, Дрыса. Все они берут начало из озёр или проходят через озёрные системы – Браславскую, Ушачскую.

Русло р. Западная Двина шириной 120–300 м и берегами высотой 10–40 м характеризуется большим количеством песчаных островов, перекатов и порогов. Долина имеет трапециевидную форму, у д. Руба (Витебский район) – каньонообразную. Ширина, в основном, составляет 3–4 км, местами до 10–15 км. В строении долины выделяются пойма и две надпойменные террасы. Ширина поймы обычно до 300–500 м.

Гидрологический режим. Годовой сток р. Западная Двина формируется за счет таяния снега (50 %), подземного (30 %) и дождевого (20 %) питания.

Особенностью режима является высокое весеннее половодье, низкая летняя межень с частыми дождевыми паводками и устойчивая зимняя межень. На период весеннего половодья приходится 56 % годового стока, на летне-весеннюю и зимнюю межень – 33 и 11 % соответственно.

Бассейн р. Неман

Природные условия. Бассейн р. Неман расположен в северо-западной части республики. Река Неман берет начало на южных склонах Минской возвышенности, в 45 км к юго-западу от г. Минск, где на протяжении 25 км носит название Неманец. По территории республики он течет на протяжении 459 км в пределах Неманской низины и впадает в Куршский залив Балтийского моря.

Гидрографическая сеть наиболее развита на левобережье. В целом для бассейна р. Неман характерна густая речная сеть (рис. 3). От истока до устья река принимает около 180 притоков. Основными являются: Уса, Березина, Котра, Дитва, Вилия, Уша, Молчадь, Щара, Зельвянка, Россь, Свислочь. Распределение озер (свыше 1000) по бассейну неравномерное. Озерность водосбора незначительная (менее 1 %). Наиболее крупными озерами являются Нарочь, Выгонощанское (Выгоновское), Мясро, Свирь. Широко известны небольшие озера – Кромань, Свитязь, достаточно много в бассейне прудов.

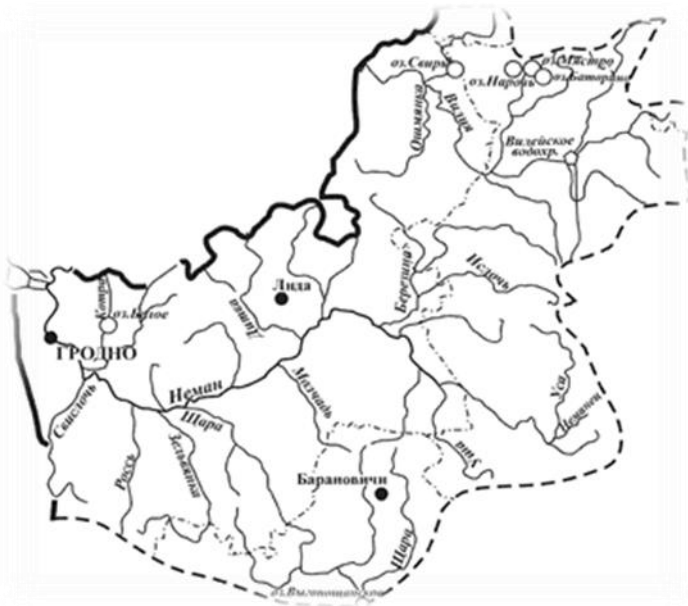


Рис. 3. Бассейн р. Неман

Гидрологический режим. Питание рек в бассейне р. Неман смешанное, преимущественно снеговое. На период весеннего половодья приходится 41 %, на летне-осеннюю межень – 38 %, на зимнюю – 21 % годового стока.

Бассейн р. Западный Буг

Бассейн р. Западный Буг расположен на территории трех государств. Южная часть находится на Подольской возвышенности (Украина), западная – в пределах Люблинской возвышенности (Польша), восточная – Брестском Полесье и Прибугской равнине, северная – Мазовецко-Подлясской низине. Исток реки находится в пределах западных склонов Подольской возвышенности, а впадает она в Загжинское водохранилище на территории Польши.

Гидрографическая сеть характеризуется значительным количеством рек и озер. Основные притоки реки на территории республики рр. Копаевка, Мухавец, Лесная, Пульва. Наиболее крупные озера – Ореховское и Олтушское (рис. 4).



Рис. 4. Бассейн р. Западный Буг

Режим реки складывается из летне-осеннего (45–50 %) и весеннего (30–35 %) годового стока. Среднегодовой расход при выходе реки за пределы республики составляет $100 \text{ м}^3/\text{с}$.

В бассейне реки сооружена сеть каналов, самым значительным из которых является Днепровско-Бугский, а также комплекс мелиоративных каналов.

Бассейн р. Припять

Природные условия бассейна р. Припять определяются тем, что значительная часть его водосбора приходится на территорию Припятского Полесья. Эта территория характеризуется равнинным рельефом, широкими заболоченными речными долинами, положительным балансом влаги. Исток р. Припять находится на северо-западе Украины у ее границы с Республикой Беларусь и Польшей. Имея общее широтное направление течения – с запада на восток, в верховьях – на северо-восток, а в низовьях – на юго-восток, на территории Украины она впадает в р. Днепр и является его наибольшим притоком.

Гидрографическая сеть бассейна представлена многочисленными реками, значительная часть из которых спрямлена, различными водоемами и болотами (рис. 5).

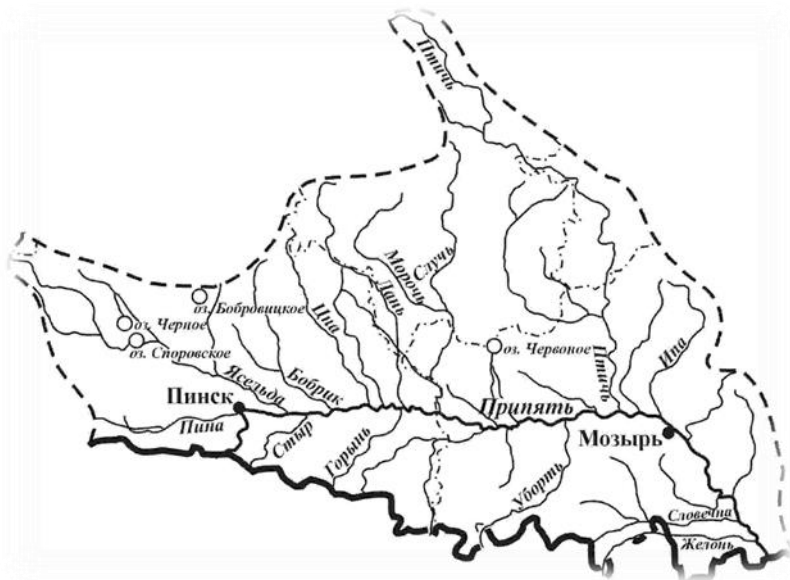


Рис. 5. Бассейн р. Припять

Русло р. Припять на всем протяжении извилистое, во многих местах разветвленное, меандрирует. Лишь ниже г. Мозырь в пределах конечно-моренной гряды русло прямое без рукавов и староречий. На участке до впадения р. Пина ширина русла составляет 40–60 м. После впадения р. Горынь русло расширяется до 160 м, а еще ниже – до 200–300 м. Долина реки большей частью сливается с прилегающей местностью и лишь в области моренных гряд она выражена четко. Выделяются пойма и две надпойменные террасы. Пойма широкая от 1–2 до 16–18 км, низкая.

Гидрологический режим. Питание рек и водоемов бассейна осуществляется за счет поверхностной и подземной (30–40 %) составляющей. Особенностью режима р. Припять является затяжное весеннее половодье, кратковременная летняя межень, которая нарушается дождевыми паводками и почти ежегодными осенними подъемами уровня воды. На период весеннего половодья приходится 60 %, летне-осеннюю межень – 24 %, зимнюю – 16 % годового стока.

Бассейн р. Сож

Природные условия. Исток р. Сож начинается в 12 км южнее г. Смоленска, большую часть реки протекает по территории Беларуси и впадает в р. Днепр у г. Лоев. Река Сож второй по величине и водности приток р. Днепр.

Гидрографическая сеть в бассейне р. Сож развита равномерно. Общая длина речной системы (3410 рек) – 16 220 км. Основные притоки: рр. Проня, Уза, Беседь, Ипуть, Уть.

Гидрологический режим. Основная масса годового стока – (62 %) приходится на весну, 26 % составляет летне-осенний сток и 12 % – зимний. Среднегодовая летняя температура воды +20–21 °С, максимум (до 28°С) характерен для июля. Среднегодовой расход воды у г. Гомеля составляет 205 м³/с, в устье – 219 м³/с.

Бассейн р. Березина

Природные условия. Бассейн р. Березина расположен на юго-восточном склоне Белорусской гряды. Березина берет начало в 1 км юго-западнее г. Докшицы Витебской области, далее протекает по территории Минской, Могилевской и Гомельской областей и впадает в р. Днепр на участке между гг. Жлобин и Речица, в 5 км юго-восточнее д. Горваль.

Гидрографическая сеть бассейна р. Березина представлена 425 реками длиной более 1 км и общей протяженностью 8490 км, 830 озерами общей площадью 64.2 км² (самое крупное оз. Палик), 18 водохранилищами (70 км²) и 100 прудами (15 км²).

Долина р. Березина в верхнем течении сливается с прилегающей заболоченной и лесистой местностью Верхнеберезинской низины. Склоны ее неясно выражены, пологие и невысокие (до 10 м). В среднем течении долина прослеживается хорошо, имеет ширину 2–3 км, у г. Березино суживается до 1 км. Умеренно крутые, местами обрывистые склоны высотой 10–35 м расчленены оврагами и долинами притоков. В нижнем течении в пределах Гомельского Полесья долина реки местами неясно выраженная, расширяется до 8 км, местами сужается до 0.3–0.5 км. Склоны здесь крутые, высотой 6–15 м, местами 20–25 м.

Гидрологический режим. Годовой сток р. Березина формируется за счет подземного (52 %), снегового (38 %) и дождевого питания (10 %) [30]. В силу воздействия климатических факторов ресурсы речного стока

бассейна испытывают колебания по месяцам и годам. Речной сток бассейна в весенний период равен в среднем 46% годового объема стока, в летне-осенний – 38 %, зимний – 16 %.

Около 90% территории Беларуси занимают водосборы малых рек. К ним относятся реки с площадью водосбора до 250 км^2 и длиной до 100 км, в практике природоохранной деятельности иногда к этой категории относят реки – длиной до 200 км. Малые реки играют важную роль в формировании местного поверхностного стока, для которого характерна относительно высокая водность во время таяния снега или ливневых и затяжных дождей и низкая в другие периоды года. При сезонном уменьшении запасов подземных вод некоторые малые реки могут пересыхать или перемерзать.

Изначально строительство *каналов* предусматривалось в качестве транспортных путей сообщения. Наиболее крупными из них являются: Днепровско-Бугский, Березинский, Огинский, Августовский.

Озера. Основу озерного фонда республики составляют озера с площадью более $0,1 \text{ км}^2$, которых насчитывается 1072 с общей площадью 1500 км^2 и суммарным объемом $6\text{--}7 \text{ км}^3$. Около 11 % суммарной площади принадлежит озерам с площадью $0,11\text{--}0,25$ и $0,26\text{--}0,5 \text{ км}^2$. Более 41 % общей площади озер составляет 22 водоема с площадью зеркала более 10 км^2 каждый. Однако большинство озер имеет площадь менее $0,1 \text{ км}^2$ и относится к категории малых.

Глубина озер изменяется от 0,3 м, достигая максимального значения 53,6 м в оз. Долгое Глубокского района. Около 40 % озер относится к числу мелководных, с максимальной глубиной менее 5 м, доля озер с глубинами 5–10 м составляет 30 % и 6 % приходится на водоемы с глубинами более 25 м.

На территории Белорусского Поозерья наибольшее количество озер расположено в пределах моренных возвышенностей и равнин, самые крупные из них занимают межгрядовые понижения. Полоцкая, Суражская и Лучесинская низины почти лишены озер, исключения составляют остаточные водоемы.

На территории Белорусского Поозерья расположены крупнейшие озерные системы – Браславская, Нарочанская, Ушачская (рис. 6).

Водохранилища. В Беларуси созданы в основном низконапорные, сравнительно небольшие водохранилища, морфометрические показатели и морфологические особенности которых предопределены равнинным рельефом территории, наличием озерных котловин и геоморфологией речных долин.

По объему и площади зеркала водохранилища Беларуси делятся на три группы: средние (объем $0,5\text{--}0,1 \text{ км}^3$, площадь зеркала $100\text{--}25 \text{ км}^2$), небольшие (объем $0,1\text{--}0,01 \text{ км}^3$, площадь зеркала $25\text{--}3 \text{ км}^2$) и малые (объ-

ем менее $0,01 \text{ км}^3$, площадь зеркала менее 3 км^2). В основном преобладают малые водохранилища (76,2 %), небольшие и средние составляют соответственно 19,2 и 4,6 %. Более половины малых водохранилищ (53 %) имеют объем 1–2 млн. м^3 и относятся к очень малым.



Рис. 6. Схема расположения крупнейших озерных групп и водохранилищ Беларуси

Озерные группы: А. – Нарочанская, В. – Браславская, С. – Ушачская. Водохранилища с объемом воды более 50 млн. м^3 : 1. – Селявское, 2. – Лукомское, 3. – Лепельское, 4. – Езерищенское, 5. – Дружба Народов, 6. – Освейское, 7. – Хоробровка, 8. – Браславское, 9. – Вилейское, 10. – Чигиринское, 11. – Заславское, 12. – Светлогорское, 13. – Селец, 14. – Погост, 15. – Солигорское, 16. – Краснослободское, 17. – Локтыши

2.3. Ландшафты и рельеф

Ландшафты. Беларусь входит в равнинную зону умеренно континентальных лесных ландшафтов. Территория страны разделена на две подзоны: бореальных подтаежных (смешанно-лесных) ландшафтов на севере и суббореальных Полесских (широколиственно-лесных) ландшафтов на юге.

Бореальная подтаежная подзона охватывает большую часть территории республики (от 53° с.ш. до 56° с.ш.) и состоит из 4-х провинций:

- Поозерская – занимает север республики;
- Белорусская – проходит через центральные районы с юго-запада на северо-восток (от Волковыска до Лепеля);
- Предполесская – охватывает южную часть центральных районов от западных границ республики до восточных с максимальным расширением в центре (от Жлобина до Борисова);
- Восточно-Белорусская – расположена на востоке страны.

Полесская подзона состоит из одной ландшафтной провинции. Ландшафты Беларуси подразделяются на возвышенные, средневысотные и низинные, в каждом из которых выделяется определенный набор ландшафтных родов.

Подтаежная бореальная подзона ландшафтов характеризуется наибольшим разнообразием ландшафтов, т. к. в ней представлены все выделенные в Беларуси роды ландшафтов.

Возвышенные ландшафты в пределах подтаежной подзоны занимают 22 % территории, представлены 5 родами ландшафтов.

Холмисто-моренно-озерный ландшафт разной степени дренированности, с еловыми, вторичными мелколиственными лесами, лугами на дерново-подзолистых, реже заболоченных почвах распространен на севере республики, занимает 4,7 % территории подтаежной подзоны ландшафтов.

Типичен грядово-холмистый и холмисто-моренный рельеф с обилием озер, котловин, термокарстовых западин, слабо-затронутый процессами эрозии и денудации. Доминирующие высоты 180–220 м. Высшая точка – гора Горшева расположена на Витебской возвышенности – 295 м над уровнем моря.

Леса произрастают небольшими массивами. Моренные холмы покрыты еловыми насаждениями, к которым примешивается сосна обыкновенная, береза бородавчатая, осина, дуб. Этот род ландшафта характерен для Браславской, Свенцянской, Ушачско-Лепельской, Городокской и Витебской возвышенностей.

Каменно-моренно-озерный ландшафт разной степени дренированности с сосновыми, широколиственно-еловыми, вторичными мелколиственными лесами на дерново-подзолистых почвах и верховыми болотами небольшими участками встречается на севере Беларуси среди холмисто-моренно-озерных ландшафтов на Браславской и Свенцянской грядах, Ушачско-Лепельской и Нещердовской возвышенностях. Ландшафты этого рода занимают всего 1,9 % территории подтаежной подзоны.

Холмисто-моренно-эрозионный ландшафт, дренированный, с широколиственно-еловыми лесами на дерново-подзолистых, реже дерново-палево-подзолистых почвах, распространен в западной и центральной частях республики, занимает 11,3 % площади подзоны.

Ландшафт охватывает самую высокую часть Беларуси: абсолютные отметки 200–340 м (на Ошмянской, Волковысской и Новогрудской возвышенностях – до 320 м, Минской – до 330–340 м). Высшая точка республики – гора Дзержинская (Святая) – 346 м над уровнем моря находится на Минской возвышенности.

В этом роде ландшафта значительно возрастает распаханность территории (30–50 %) и сокращается лесистость до 15 %. Максимальная лесистость составляет 35 %. Преобладают широколиственно-еловые леса.

Площадь сосновых лесов в этом ландшафте сокращена, реже встречаются и мелколиственные (сероольховые и осиновые) леса.

Луга развиты в основном низинные, их площадь уменьшилась до 10 %.

Камово-моренно-эрозионный ландшафт, дренированный, с сосновыми лесами на дерново-подзолистых почвах распространен участками на Гродненской, Ошмянской и Минской возвышенностях, а также на Борисовской гряде, занимает 1,7 % площади подзоны.

Абсолютные высоты 200–300 м над уровнем моря, глубина расчленения от 10 до 25 м. Рельеф – камовые и моренные денудационные холмы и гряды, понижения заняты долинами рек и ручьев и ложбинами стока.

Этот ландшафт отличается высокой степенью лесистости (от 40 % площади и более). Преобладают сосновые кустарничково-зеленомошные леса, образующие компактные массивы. Ландшафт выборочно распахан (10–30 %). Верховые кустарничково-пушицево-сфагновые болота занимают около 3 % площади.

Лёссовый ландшафт, дренированный, с широколиственно-еловыми и вторичными мелколиственными лесами на дерново-палево-подзолистых почвах занимает 2,4 % площади подзоны, распространен на востоке центральной части Беларуси (восток Оршанской и западные отроги Смоленско-Московской возвышенностей).

Абсолютные высоты – 190–230 м, глубина расчленения – 2–5 м. Рельеф – слабоволнистая платообразующая поверхность с развитой овражно-балочной сетью вдоль склонов долин крупных рек (Днепра, Прони). В долинах рек глубина расчленения возрастает до 5–8 м (местами до 20 м). На водоразделах встречаются западины (блюдца), возникшие в результате выщелачивания лёссовидных пород дождевыми и тальными водами.

Ландшафты сильно распаханы (до 60 %). Лесистость их низкая (15 %).

Средневысотные ландшафты – самые распространенные в Беларуси, составляют 54,1 % подтаежной подзоны и состоят из 5 родов ландшафтов.

Моренно-озерный ландшафт, разной степени дренированности с еловыми, широколиственно-еловыми, вторичными мелколиственными лесами, лугами на дерново-подзолистых заболоченных почвах. Распространен наряду с возвышенными родами ландшафтов на севере республики на окраинах Городокской и Витебской возвышенностей, Свенцянской и Браславской гряд, занимает 5,9 % площади подтаежной подзоны.

Распаханность территории – 25–35 %. Лесистость ландшафта – 20–30 % (коренные еловые и широколиственные леса, а также сероольховые, березовые и осиновые насаждения на небольших участках).

Вторично-моренный ландшафт, умеренно дренированный, с широколиственно-еловыми и сосновыми лесами на дерново-подзолистых, реже заболоченных почвах – считается самым распространенным в Беларуси. Занимает 18,5 % площади подзоны, сосредоточен в основном в полосе равнин, протянувшихся с запада на восток в средней части республики. Наиболее крупными равнинами с такими ландшафтами являются: Лидская, Барановичская, Столбцовская, Оршанско-Могилевская и другие. Абсолютные высоты – 150–180 м, глубина расчленения в основном 3–5 м, однако в придолинных участках крупных рек Немана, Днепра и их притоков расчлененность возрастает до 15–20 м.

Моренно-зандровый ландшафт, слабодренированный, с широколиственно-еловыми, сосновыми, дубовыми лесами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах распространен в основном в Предполесье, где наиболее компактные массивы представлены в пределах Центральнoбeрeзинской равнины, занимает 7,4 % площади подтаежной подзоны.

Леса произрастают крупными массивами и отличаются богатством пород. Доминирует сосна, к которой примешивается ель, дуб черешчатый, граб. В подлеске распространены можжевельник, дрок красильный, ракитник, лещина, рябина, бересклет.

Распаханность небольшая – 20 %. По долинам малых рек и западинам распространены злаковые и мелкоосоковые луга.

Водно-ледниковый с озерами ландшафт разной степени дренированности, с сосновыми и вторичными мелколиственными лесами на дерново-подзолистых почвах распространен небольшими участками по северу и северо-западу Беларуси в Нарочано-Вилейской, Суражской и Средненеманских низинах. Занимает 4,3 % площади подзоны. Абсолютные высоты – 150–175 м, глубина расчленения – 3–5 м, густота расчленения 1–3 км. Рельеф волнистый, с камнями, моренными холмами и дюнами, в понижениях заболоченные котловины и озера.

Леса покрывают свыше 50 % территории. Распространены сосновые и вторичные березовые и сероольховые леса. Распаханность низкая (до 10 % площади). Низины заняты лугами и болотами. Луга и болота больше распространены на севере, где залуженность достигает 15–25 %, а заболоченность 10–15 %.

Вторичный водно-ледниковый ландшафт умеренно дренированный, с сосновыми, вторичными мелколиственными лесами на дерново-подзолистых почвах широко распространен на водоразделах рек Днепра, Березины, Птичи и др., занимает 18 % площади подзоны.

Абсолютные высоты – 150–190 м, глубина расчленения – 2–3 м, местами до 30 м, густота расчленения 0,8–1,5 км. Рельеф волнистый и плосковолнистый с дюнами, моренными холмами и камами. Ландшафты отличаются высокой залесенностью (до 50 %). Доминируют сосновые, кустарничково-зеленомошные леса. На влажных почвах распространены широколиственно-сосновые леса, в которых соседствуют сосна, ель, дуб, липа, граб. В подлеске присутствуют лещина, бересклет, ракитник, в напочвенном покрове – черника, кислица, орляк и мхи. Отдельные участки заняты дубравами и вторичными березняками. Распаханность небольшая (20 %). Залуженность (мелкоосоковые луга по низинам) – 13 %, заболоченность – 15 % (низинные разнотравно-злаково и гипноосоковые болота).

Низменные ландшафты занимают 23,9 % площади подтаежной подзоны и представлены 3 родами ландшафтов.

Озерно-ледниковый ландшафт, слабодренированный с вторичными мелколиственными, реже еловыми лесами на дерново-подзолистых заболоченных и сосновыми лесами на дерново-подзолистых почвах распространен участками на севере и крайнем западе республики, занимает 6,8 % площади подзоны. Этот ландшафт свойственен Дисненской, Полоцкой, Суражской, Лучёсской и Неманской низинам.

Ландшафт отличается неравномерностью в распределении пахотных и лесных угодий, площади которых колеблются от 20 до 40 % территории. Леса местами занимают свыше 50 % площади. Лес преимущественно вторичный мелколиственный, возникший на месте широколиственно-еловых и еловых лесов.

Аллювиально-террасированный ландшафт, слабодренированный, с сосновыми лесами на дерново-подзолистых почвах и вторичными мелколиственными лесами на дерново-подзолистых заболоченных почвах, распространен узкими полосами вдоль пойм рек Немана, Березины, Днепра и их притоков, занимает 2,9 % площади подзоны.

Полесская широколиственно-лесная подзона ландшафтов отличается однообразием ландшафтов, образование которых связано с аккумулятивной деятельностью рек и талых ледниковых вод припятского оледенения. Размещение ландшафтов по территории азонально: молодые аллювиально-террасированные и пойменные ландшафты перемежаются более зрелыми холмисто-моренно-эрозионными, вторично моренными и моренно-зандровыми. Размеры контуров видов ландшафтов наибольшие в республике – 500–620 км². Полесская подзона расположена в наиболее низменной части республики с преобладанием абсолютных отметок 140–160 м над уровнем моря. В Полесской подзоне выделяются возвышенные, средневысотные и низменные группы родов ландшафтов.

Средневысотные ландшафты составляют 30,6 % площади подзоны, включают в свой состав 3 рода ландшафтов.

Вторичный водно-ледниковый ландшафт, умеренно дренированный с сосновыми, широколиственно-сосновыми, дубовыми лесами на дерново-подзолистых, реже заболоченных почвах, распространен на западе и юго-востоке Полесья. Абсолютные высоты 140–155 м, глубина расчленения – 2–3 м (местами до 20 м), густота расчленения – 1–3 км. Рельеф волнистый, часто плоский. На участках развития эоловых процессов встречаются дюны, а на повышениях междуречий моренные гряды и камы.

Распаханность составляет 20–30 %. Залесенность высокая – 30–50 %, местами до 70 % площади. На песчаных дюнах, камах и водоразделах произрастают сосновые леса, на остальной территории – широколиственно-сосновые и дубовые. Подлесок состоит из дрока красильного, ракитника и граба, свидина. В напочвенном покрове лесов доминируют черника, орляк, кислица, дубравное разнотравье, зеленые мхи.

Ложбины стока заняты низинными лугами (10 %) и болотами (5–10 %).

Вторично-моренный ландшафт, умеренно дренированный, с широколиственно-сосновыми лесами на дерново-подзолистых почвах распространен в западных районах подзоны и занимает 5,1 % площади. Распространены сосновые кустарничково-зеленомошные и широколиственно-сосновые орляково-зеленомошно-кисличные леса.

Моренно-зандровый ландшафт, слабодренированный с сосновыми и широколиственно-сосновыми лесами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах занимает 8,7 % площади подзоны, проявляясь небольшими участками в междуречьях Пины и Ясельды, Березины и Припяти и на правобережье Днепра. Рельеф волнисто-холмистый. Большая часть ландшафта выборочно распахана. Преобладают сосновые лишайниково-кустарничковые леса и дубравы грабово-орляково-черничные.

Низменные ландшафты охватывают более половины подзоны, к ним относятся 2 рода ландшафтов.

Аллювиально-террасированный ландшафт, слабо дренированный, с сосновыми лесами на дерново-подзолистых, широколиственно-сосновыми, дубовыми, мелколиственными лесами на дерново-подзолистых заболоченных почвах, мелколиственными лесами на низинных болотах типичен для террас рек Днепра, Припяти, Березины, Сожа, Западного Буга и Мухавца, занимает 42 % площади подзоны.

Распаханность незначительная (не более 15 %). Леса занимают 55 % территории, среди них доминируют широколиственно-сосновые леса и дубравы, вторичные березняки и коренные черноольховые леса на низинных болотах. Среди широколиственных пород распространены помимо дуба граб, ясень, клен, липа.

Пойменные ландшафты разной степени дренированности с лугами, дубравами, на дерновых заболоченных почвах, болотами, характерны для пойменной части долин рек Днепра, Березины, Сожа, Припяти, Горыни, Птичи и Западного Буга, занимают 9,2 % площади подзоны. Абсолютные высоты 100–130 м, глубина расчленения 0,5–3,0 м.

Нерасчлененные ландшафты объединяют ландшафты с преобладанием болот и речных долин, обнаружены в обеих ландшафтных подзонах, их общая площадь для всей республики – 14,1 %.

Ландшафт с преобладанием болот с коренными мелколиственными лесами на торфяно-болотных почвах и сосновыми лесами на дерново-подзолистых почвах встречается по всей Беларуси. Наиболее распространен в Белорусском Полесье на юге, в Центрально-Березинской, Березинской и Верхненеманской низинах – в центре, в Дисненской и Полоцкой низинах на севере республики. Занимает 8,4 % площади нерасчлененных ландшафтов.

Ландшафты образовались на месте заполнившихся осадками и заросших ранее бывших проточными озера. Среди обширных болотных массивов сохранились остаточные озера (Червоное, Выгоновское и др.).

Ландшафт речных долин, разной степени дренированности с сосновыми лесами на дерново-подзолистых почвах, лугами на дерновых заболоченных почвах, болотами присутствует по долинам рек с неширокими поймами (до 1 км) и узкими прерывистыми надпойменными террасами, занимает 5,7 % площади. Этот род ландшафта типичен для молодой речной сети, а потому на севере он приурочен к молодым долинам крупных рек (Западной Двине, Дисне и Вилии) в центральных районах вдоль большинства рек, кроме Немана, Днепра и Березины, в Полесье – к долинам рек третьего и четвертого порядков (Случь, Лань, Оресса и др.).

Рельеф. Беларусь – преимущественно равнинная страна, для которой характерно чередование плоско-волнистых участков с холмистыми возвышенностями. Абсолютные отметки высот поверхности колеблются от 80 до 346 м. В пределах государства выделены крупные геоморфологические области: Белорусское Поозерье, Белорусская гряда, Центрально-Белорусская равнина, Восточно-Белорусское плато и Полесская низменность.

Северная часть республики – Белорусское Поозерье – обширная территория с перемежающимися возвышенностями, озерами и речными долинами. В пределах геоморфологической области располагаются Свенцянская, Браславская, Освейская, Невельско-Городокская и Витебская возвышенности. Крупнейшая низина Поозерья-Полоцкая, почти полностью выполнена речной долиной Западной Двины с притоками. Другие низины: Чашникская, Суражская, Нарочано-Вилейская и Верхненеманская обладают существенно меньшими размерами. К холмисто-

моренным и волнистым моренным равнинам относятся Мядельская, Витебская, Невельско-Городокская, Ушачско-Лепельская, Браславская и Нещердовская гряды и возвышенности.

Белорусская гряда протянулась в широтном направлении через всю территорию республики и представляет собой ряд последовательно расположенных возвышенностей. В пределах гряды замерены наивысшие отметки поверхности республики, так называемые «горы»: Дзержинская (Святая) – 346 м, Лысяя – 342 м, Маяк – 335 м. Юго-западная ветвь геоморфологической области представлена Слонимской, Волковысской и Гродненской возвышенностями. В юго-восточном направлении простирается Копыльская гряда, на запад – Ошмянская возвышенность, на восток – Оршанская возвышенность.

Центрально-Белорусская (Центрально-Березинская) равнина расположена южнее Белорусской гряды, в ней доминируют водноледниковые (задровые) и вторичные моренные формы рельефа.

Вторичные моренные равнины занимают широкую полосу в междуречьях Птичи и Волмы; Волмы, Свислочи и Березины; Бобра и Березины; Березины и Друти; Друти и Днепра; Днепра и Сожа. Поверхность равнин плоская, реже плоско-волнистая, изобилует термокарстовыми западинами. Центрально-Белорусская равнина пересекается долинами крупнейших в Беларуси рек: Днепра, Березины, Сожа и их притоков. Наиболее протяжённой является долина Березины, ширина её в районе г.п. Паричи составляет около 15 км.

Восточно-Белорусское плато (Оршано-Могилевская платообразная равнина) занимает восточные районы республики, абсолютные отметки земной поверхности колеблются в пределах 150–200 м. Речная сеть хорошо выражена, глубина вреза речных долин достигает 30–50 м. Поверхность плато испещрена большим количеством западин. В районах неглубокого залегания мергельно-меловых пород часто встречаются карстовые воронки диаметром до 10 м и глубиной до 5 м.

Южная часть территории республики занята низинами Белорусского Полесья, особой формой рельефа, присущей югу Беларуси и северным областям Украины. Здесь преобладает плоская, слабо дренированная (до мелиоративного освоения) поверхность с большим количеством заболоченных участков и мелколесьем. В пределах белорусской части Полесья выделяются геоморфологические районы: Припятское Полесье, Гомельское Полесье, Мозырское Полесье, Загородье и Брестское Полесье.

2.4. Геолого-гидрогеологические особенности

Геология. Территория Беларуси расположена на западе Восточно-Европейской платформы, где на кристаллическом фундаменте архейско-раннепротерозойского возраста залегает платформенный чехол различ-

ной мощности, в составе которого выделяются отложения от верхнего протерозоя до антропогена. Глубина залегания поверхности фундамента колеблется от нескольких десятков до 5000–6000 м. Обнажен фундамент только в самой южной части – в д. Глушкевичи Лельчицкого района Гомельской области и вскрыт карьером в поселке Микашевичи Брестской области. По глубине залегания кристаллического фундамента на территории Беларуси и смежных районов выделяются следующие структуры первого порядка: Белорусская и Воронежская антеклизы, Украинский щит, Балтийская и Московская синеклизы, Оршанская и Подляско-Брестская впадины, Припятский прогиб, Латвийская, Полесская, Жлобинская и Брагинско-Лоевская седловины.

В геологическом строении территории Беларуси принимают участие отложения от архей-нижнепротерозойского до антропогенного возраста.

Ниже приведено краткое описание отложений осадочного чехла.

Фанерозой

Кембрийская система. Отложения распространены на юго-западе и северо-западе республики, представлены балтийской и высоковской сериями, а также орлинской свитой.

Ордовикская система. Отложения ордовика встречены на юго-западе (Подляско-Брестская впадина) и северо-западе (склон Белорусско-Мазурской антеклизы) республики. Глубина залегания их от 70 до 940 м. Представлены они преимущественно карбонатными породами: мергелями, известняками, глинистыми известняками общей мощностью до 160 м.

Силурийская система. Отложения распространены там же, где и подстилающие их образования ордовика. Глубина залегания кровли пород силура колеблется в пределах 50–520 м. Представлены они преимущественно глинами, мергелями и известняками общей мощностью до 630 м. Наиболее полный разрез силурийских отложений изучен на юго-западе Беларуси в Подляско-Брестской впадине, где в составе нижнего и верхнего отделов выделяются несколько ярусов.

Девонская система. Отложения девона распространены на большей части территории Беларуси. Глубина вскрытия кровли девонских пород варьирует от 2–20 м в окрестностях г. Орши до 1000–2750 м на остальной площади развития. Мощность отложений увеличивается от 10–20 м в своде Белорусско-Мазурской антеклизы до 2–3 км в Припятском прогибе. В составе системы присутствуют отложения всех трёх отделов, в ограниченном объёме присутствует нижний отдел, более широко распространены образования среднего и верхнего отделов.

Каменноугольная система. Отложения развиты преимущественно на территории Припятского прогиба и на крайнем юго-западе республики (Волынская моноклираль).

Пермская система. Отложения вскрыты в Припятском прогибе и Подляско-Брестской впадине. Глубина залегания кровли пород изменяется от 160 до 1280 м.

Триасовая система. Отложения распространены практически в тех же местах, где и подстилающие их пермские. В Припятском прогибе вскрыты образования всех отделов, в Подляско-Брестской впадине присутствует только нижний отдел. Мощность отложений достигает 320 м.

Юрская система. Образования юрского возраста в составе среднего и верхнего отделов встречены на западе и востоке Беларуси. Среднеюрские отложения вскрыты в Припятском прогибе и Жлобинской седловине, представлены отложениями байосского и батского ярусов.

Верхнеюрские отложения имеют несколько большее распространение, представлены породами келловейского и оксфордского ярусов. Отложения залегают на глубине от 90 до 450 м, представлены, преимущественно, известняками с прослоями мергелей и глин общей мощностью до 100 м.

Меловая система. Отложения распространены в центральной и южной частях Беларуси. Валанжинский ярус вскрыт на юго-востоке Припятского прогиба. Отложения готеривского яруса распространены на юго-востоке республики, сложены песчанистыми и слюдистыми глинами. Осадочные образования барремского яруса сложены алевроитистыми глинами мощностью до 20 м.

Аптский ярус вскрыт в восточной части Припятского прогиба. Представлен глинами, алевролитами, алевроитами и песчаниками мощностью 30–45 м. Альбский ярус широко распространён на территории республики, представлен глауконито-кварцевыми песками. Мощность отложений достигает 45–75 м. Сеноманский ярус вскрывается почти на всей территории юга республики. Кампанский ярус сложен мелом, участками окремнелым, мощностью пород 100 м.

Палеогеновая система. Отложения развиты в основном на юге республики, в их разрезе выделяется несколько свит. Сумская вскрыта в восточной и юго-восточной частях страны, сложена глинами и опоками с прослоями песков и песчаников мощностью до 40 м. Каневская – представлена песками с прослоями алевроитов и песчаников мощностью до 28 м. Бучакская свита зафиксирована на территории Припятского прогиба и Брагинско-Лоевской седловины, сложена песками, мощностью до 15 м. Киевская свита широко распространена на юге территории Беларуси, сложена песками, алевроитами, глинами суммарной мощностью до 50 м. Харьковская свита перекрывает киевские отложения и распространена в тех же районах. В её объёме преобладают кварцево-глауконитовые пески мощностью до 25 м. Страдубская и крупнейская свиты завершают разрез палеогена.

Неогеновая система. Отложения представлены двумя отделами (миоцен и плиоцен) и вскрыты в Подляско-Брестской впадине, Полесской и Брагинско-Лоевской седловинах, в Припятском прогибе и на большей части Белорусско-Мазурской антеклизы.

Миоценовые отложения разделяются на бринёвский и антопольский горизонты. Бринёвский горизонт распространён на юге Беларуси. В его составе преобладают углистые и кварцевые пески с прослойками и пластами бурого угля общей мощностью до 50 м. Антопольский горизонт сложен глинами с прослоями песков и алевролитов. Мощность достигает 30 м.

Плиоценовые образования на большей части республики состоят из пяти свит: лозская – залегает в основании плиоцена, представляет собой толщу озёрно-старичных отложений с преобладанием алевроитов и глин общей мощностью 12 м; детомлинская – сложена озёрно-аллювиальными алевроитами и глинами мощностью 12 м; асокская – представлена толщей алевроитов и песков мощностью до 11 м; вселюбская – сложена алевроитами и озёрными глинами мощностью 8–11 м; наконец, сморгонская свита завершает разрез серии (алевроиты озёрного происхождения и аллювиальные пески), мощность их около 20 м.

Антропогенная система. Четвертичные отложения сплошным чехлом покрывают всю территорию республики. Мощность их в среднем составляет около 80 м, варьируя от нескольких до 300 и более метров. В составе антропогена выделен ряд горизонтов от брестского до голоценового.

Брестский горизонт открывает разрез антропогена Беларуси. В его составе преобладают озёрно-аллювиальные и озёрные отложения, представленные супесями, суглинками, глинами и песками. Мощность – от 3 до 10 м, максимальная – 34 м. Наревский горизонт – это образования древнейшей четвертичной морены, сохранившейся на территории республики. Наиболее полный разрез наревских отложений достигает 60 м. Беловежский горизонт распространён в пределах Белорусской гряды и Белорусского Полесья. Максимальная мощность озёрных, болотных, аллювиальных и других межледниковых образований около 35 м. Березинский горизонт распространён на всей территории республики. Максимальная мощность березинской морены зафиксирована в пределах Минской возвышенности (около 70 м), средняя – около 10 м. Александрыйский горизонт развит в пределах Пра-Днепра и его притоков. Мощность отложений в пределах 20–30 м. Днепровский горизонт широко распространён на территории Беларуси. Мощность днепровских моренных отложений достигает 160 м, при средней 20–30 м. Шкловский горизонт соответствует межледниковью между днепровской и сожской моренами. Преобладающая мощность отложений около 10 м, максимальная – 47 м.

Сожский горизонт распространён до северной границы Полесья и представляет собой моренные отложения общей мощностью до 136 м. Муравинский горизонт объединяет образования одноимённого межледникового. Суммарная мощность озёрных и болотных отложений около 20 м. Поозёрский горизонт делится на три подгоризонта: нижний, средний и верхний. Нижне- и среднепоозёрский подгоризонты представлены озёрными, болотными, аллювиальными, лёссовидными и другими отложениями. Моренная толща образовалась в позднепоозёрское время. Мощность морены может достигать 70 м. Голоценовый горизонт представлен аллювием пойм, а также первых и вторых надпойменных террас долин Западной Двины, Немана, других крупных рек и их притоков. Максимальная мощность голоцена около 20 м.

Гидрогеология

В пределах территории Беларуси выделены: Белорусский, Воронежский и Украинский гидрогеологические массивы; Оршанский, Припятский, Брестский, Днепровско-Донецкий, Волынский и Балтийский гидрогеологические бассейны; Городокско-Хатецкий, Бобруйский, Микашевичско-Житковичский, Луковско-Ратновский, Латвийский, Жлобинский, Полесский и Брагинско-Лоевский гидрогеологические районы.

Гидрогеологи насчитывают около сорока водоносных горизонтов и комплексов, которые отличаются литологическим содержанием, пространственной структурой и распространением, а также характером и параметрами подземных вод, содержащихся во вмещающих горных породах.

Водоносный горизонт грунтовых вод приурочен к разновозрастным отложениям антропогена. Водовмещающими служат флювиогляциальные отложения поозёрского, сожского и днепровского оледенений, верхнечетвертичные и современные аллювиальные, озёрно-аллювиальные и озёрно-болотные образования. Мощность горизонта грунтовых вод составляет в среднем 5–15 м.

Сожско-поозёрский водоносный комплекс распространён в северной части республики. Его южная граница совпадает с границей поозёрского оледенения. Глубина залегания кровли комплекса колеблется от нескольких до 90 м, а мощность водовмещающих отложений – от 3 до 50 м, составляя в среднем 10–20 м.

Днепровско-сожский водоносный комплекс распространён на большей части республики за исключением Полесья. Южная граница распространения комплекса близка к границе сожского оледенения. Глубина залегания кровли водоносных пород колеблется от 2–40 м в долинах рек до 100–195 м на водоразделах. Мощность водовмещающих отложений изменяется от 2 до 74 м.

Березинско-днепровский водоносный комплекс распространён почти на всей территории, отсутствует лишь в пределах небольших участков на севере республики. Глубина залегания водовмещающих пород колеблется от нескольких до 170 м, а мощность их – от 210 до 100–170 м и более в разрезе древних погребённых долин.

Водоносный комплекс неоген-палеогеновых отложений широко распространён на территории южных районов Беларуси: в Брестском и Припятском бассейнах, а также в пределах гидрогеологического района Полесской седловины.

Водовмещающими служат пески различного гранулометрического состава, реже песчаники с прослоями глин, алевроитов, мергелей, углей. Глубина залегания кровли водоносного комплекса изменяется от 1,6–50 м на юге республики до 70–200 м в центральной части. Водоносный комплекс содержит напорные воды.

Воды пресные, гидрокарбонатные кальциевые, с минерализацией 0,06–0,6 г/дм³ (преобладающая 0,2–0,4 г/дм³).

Водоносный комплекс верхнемеловых отложений развит на большей части территории Беларуси, отсутствует лишь на участках глубоких эрозионных врезов древних долин крупных рек и в белорусском Поозёрье.

Водовмещающими породами служат трещиноватые и закарстованные мела, мергели и известняки с редкими прослоями глин и песков маастрихтского, кампанского, сантонского, туронского ярусов и мергельно-меловая толща среднего и верхнего подъярусов сеноманского яруса. Глубина залегания кровли комплекса изменяется от 0–60 на востоке до 70–150 м в Припятском бассейне и 110–240 м на западе и юго-западе республики. Общая мощность мергельно-меловой толщи в северной и юго-западной частях распространения составляет 40–60 м, в Брестском и Припятском бассейнах достигает 200–290 м.

Минерализация вод редко превышает 0,5 г/дм³, состав гидрокарбонатный кальциевый. В Припятском бассейне в поймах Припяти и Днепра отдельными скважинами вскрыты воды повышенной минерализации (4,2–6,4 г/дм³).

Водоносный горизонт альб-сеноманских отложений распространён повсеместно на территории южной Беларуси. Водовмещающие отложения представлены нижней частью сеноманского и альбским ярусами. Водоносными породами служат кварцево-глауконитовые пески, карбонатные песчаники и опесчаненный мел.

Глубина залегания кровли горизонта варьирует от 5–100 м на востоке республики до 170–280 м в Брестском и 315–375 м в Припятском гидрогеологических бассейнах, мощность водовмещающих пород изменяется от 0,3–5,0 до 30–50 м.

Воды пресные, минерализация их редко превышает $0,5 \text{ г/дм}^3$, состав – гидрокарбонатный натриево-кальциевый, натриевый, кальциевый и магниевый-кальциевый.

Водоносный комплекс нижнемеловых (валанжин-аптских) отложений распространён преимущественно на юго-востоке республики.

Водовмещающие породы представлены преимущественно разнотекстурными песками. Глубина залегания кровли комплекса варьирует от 120 до 420 м, мощность отложений до 40–70 м в Припятском бассейне.

Водоносный комплекс верхнеюрских отложений распространён в Припятском бассейне, Жлобинском гидрогеологическом районе, на западе Брестского бассейна и на Белорусском массиве. Водовмещающими породами служат кавернозные и трещиноватые известняки и мергели, а также песчаники и пески келловейского и оксфордского ярусов.

Глубина залегания кровли комплекса изменяется от 140–300 м на востоке и западе республики до 450 м на Жлобинской седловине и в Припятском бассейне. Мощность водоносных пород достигает 104 м. Воды напорные. Подземные воды пресные, их минерализация не более $0,5–0,9 \text{ г/дм}^3$, химический состав – гидрокарбонатный кальциевый.

Водоносный комплекс средне-верхнеюрских отложений развит в Брестском и Припятском гидрогеологических бассейнах, западной части Белорусского массива, Оршанском бассейне и Жлобинской седловине. Представлен двумя водосодержащими толщами: верхней известняково-мергелистой (оксфордский ярус верхней юры) и нижней – песчано-глинистой (келловейский ярус верхнего, батский и байосский ярусы среднего отделов юрской системы). Глубина залегания кровли комплекса изменяется от 30–100 м на востоке республики до 350–470 м в Припятском и Оршанском бассейнах, мощность водоносных пород не более 20 м на западе Беларуси и существенно больше в Припятском прогибе (до 195 м).

Водо- и рассолоносный комплекс пермских и триасовых отложений развит преимущественно в пределах Припятского и, фрагментарно, Брестского гидрогеологических бассейнов.

В Припятском бассейне триас представлен песчано-глинистыми породами, водосодержащими из них являются пески и песчаники с прослоями конгломератов и известняков индского яруса. Кровля водоносных песчаных пород вскрыта на глубине от 120 до 600–700 м.

Подземные воды напорные, статические уровни устанавливаются на глубинах 15–100 м от поверхности земли. Минерализация вод варьирует от 10 до 78 г/дм^3 , состав минерализованных вод и рассолов – хлоридный натриевый.

Водо- и рассолоносный комплекс каменноугольных отложений развит в Припятском гидрогеологическом бассейне и фрагментарно в пре-

делах Волынской моноклинали. Подземные воды связаны с маломощными, невыдержанными прослоями песков, песчаников и известняков.

Глубина залегания кровли водоносных отложений изменяется от 60–80 м в западной и северо-западной частях Припятского бассейна до 1000 м и более на остальной территории. Соответственно с увеличением минерализации изменяется ионный состав – от гидрокарбонатно-хлоридных натриевых до хлоридных натриевых (при минерализации выше 5 г/дм³).

Водо- и рассолоносный надкомплекс фаменских отложений широко распространён на юго-востоке Беларуси, ограниченно – на крайнем северо-востоке республики и отдельными участками на склонах Жлобинской и Полесской седловин. В Припятском бассейне подземные воды, входящие в надкомплекс, не образуют выдержанных по простиранию и мощности водоносных горизонтов.

Надсолевой девонский водо- и рассолоносный комплекс связан с верхней частью стрешинского и практически всем объёмом полесского горизонта. Глубина залегания кровли вмещающих карбонатно-глинистых и терригенных пород варьирует от 70–150 до 700–2000 м. Общая мощность девонских надсолевых пород может составлять 1000 м и более. Минерализация подземных вод и рассолов изменяется от 0,3–2,0 г/дм³ (глубина 300–400 м) на северо-западе до 132–367 г/дм³ на юго-востоке бассейна.

Рассолоносная толща, приуроченная к внутрисолевым породам верхнего солевого литологического комплекса (лебединский, оресский и нижняя часть стрешинского горизонта). Глубина залегания кровли рассолоносных песчано-глинистых и карбонатных отложений изменяется от 300 (Солигорск, Старобин) до 3000 м и более в центральной части бассейна. Минерализация рассолов варьирует от 100 до 390 г/дм³, в разрезе Старобинского месторождения калийных солей отмечена капель с минерализацией 484 г/дм³, состав – хлоридный натриевый и кальциевый.

Межсолевой водо- и рассолоносный комплекс по своему объёму соответствует задонскому, елецкому и петриковскому литолого-стратиграфическим горизонтам. Водо- и рассоловмещающие отложения представлены карбонатными, песчано-глинистыми и вулканогенными образованиями нижнефаменского возраста. Кровля пород комплекса залегает на глубинах от 236 до 3870 м, общая мощность варьирует от 300 до 950 м, а в районах развития вулканогенных отложений достигает 1820 м. Минерализация рассолов увеличивается с глубиной от 115 до 390 г/дм³, состав – хлоридный натриевый и кальциевый.

Водо- и рассолоносный надкомплекс франских отложений распространён в Припятском и Оршанском гидрогеологических бассейнах, а также в пределах Жлобинской седловины и склонов Белорусского масси-

ва. В состав надкомплекса входят водоносный комплекс франских отложений, развитых на северо-востоке республики, водо- и рассолоносный комплекс преимущественно карбонатных отложений также франского возраста, но распространённый в Припятском бассейне, и имеющий более широкое площадное развитие водо- и рассолоносный комплекс старооскольских и ланских отложений.

Водоносный комплекс франских отложений северо-восточных районов. Глубина залегания кровли франских отложений (семилуцкий, саргаевский и ланский горизонты) варьирует от 5 до 180 м. Вмещающими породами служат трещиноватые и закарстованные известняки и доломиты, а также песчаники и алевролиты, общей мощностью от 15 до 137 м, водонасыщенная часть комплекса в среднем составляет 50–75 м.

Воды пресные, минерализация не превышает $0,1\text{--}0,5 \text{ г/дм}^3$; состав – гидрокарбонатный кальциевый и магниевый–кальциевый.

Водо- и рассолоносный комплекс франских отложений юго-восточных районов. Здесь франские отложения представлены евлановско-ливенской соленосной толщей, а также преимущественно карбонатными образованиями ланского, саргаевского, семилуцкого, речицкого, воронежского и евлановского горизонтов. К водоносным отложениям, образующим подсолевую рассоловмещающую толщу, относятся преимущественно карбонатные породы общей мощностью 60–250 м. Минерализация рассолов достигает 453 г/дм^3 , состав – хлоридный кальциевый и натриевый.

Водо- и рассолоносный комплекс старооскольских и ланских отложений вскрыт в Припятском и Оршанском гидрогеологических бассейнах и на периферии Белорусского массива. Водовмещающие породы представлены преимущественно песками и песчаниками мощностью до 200 м. Глубина залегания кровли водоносных отложений изменяется от 15–156 м на северо-востоке республики до 1200–3000 м и более в Припятском бассейне.

С погружением вмещающих пород в северо-восточном направлении минерализация достигает $2,5\text{--}3,0 \text{ г/дм}^3$ на глубине 200–300 м, состав изменяется на хлоридно-сульфатный магниевый–кальциевый и сульфатно-гидрокарбонатный натриевый или сульфатный натриевый.

Водо- и рассолоносный комплекс витебских, пярнуских и наровских отложений эйфельского яруса распространён в пределах Белорусского массива, Припятском и Оршанском бассейнах. Водовмещающие отложения представлены преимущественно песчаниками витебского горизонта, а также доломитами и известняками, реже мергелями пярнуского и наровского горизонтов. Глубина залегания кровли вмещающих пород колеблется от 70–300 м на Белорусском массиве до 60–3500 м в Припятском бассейне. Общая мощность водо- и рассолосодержащей части от-

ложений 7–200 м. Минерализация изменяется в широких пределах. В северной части республики она не превышает $0,3\text{--}0,6\text{ г/дм}^3$, с глубиной пресные воды сменяются минерализованными ($1,4\text{--}5,2\text{ г/дм}^3$) водами сульфатного магниево-кальциевого и хлоридно-сульфатного кальциевого состава. В погруженных частях комплекса появляются солёные воды и рассолы ($15\text{--}65\text{ г/дм}^3$). В Припятском бассейне минерализация рассолов колеблется от $110\text{--}200\text{ г/дм}^3$ на периферии структуры до $260\text{--}450\text{ г/дм}^3$ в центральной его части.

Водоносный комплекс ордовикских и силурийских отложений развит в северо-западном и юго-западном районах Беларуси. Водовмещающими служат трещиноватые известняки и доломиты с подчинёнными прослоями мергелей. Глубина залегания кровли водоносных отложений 70–340 м на северо-западе и 200–450 м на юго-западе республики, мощность варьирует от 5–160 до 85–630 м.

Водоносный комплекс ниже-среднекембрийских отложений присутствует на северо-западе и юго-западе республики. Водовмещающими породами являются песчаники и реже пески, глубина залегания кровли, которых варьирует в пределах от 160–190 до 620–730 м и более, мощность – от 3–30 до 50–130 м. Минерализация вод колеблется от ультрапресных гидрокарбонатных кальциевых ($0,15\text{ г/дм}^3$) до хлоридных натриевых ($6,3\text{ г/дм}^3$ и более).

Водо- и рассолоносный комплекс верхнепротерозойских отложений широко распространён на территории республики. Глубина залегания кровли вмещающих пород изменяется от 10–100 м на Микашевичско-Житковичском выступе до 1000–4500 м в Припятском бассейне. Мощность водо- и рассолоносных отложений изменяется в широких пределах от 10–100 до 500–1000 м.

2.5. Опасные геологические процессы

Среди геологических процессов по объёму перемещаемых отложений и общему морфологическому эффекту, прежде всего, выделяются деятельность: текучих вод (плоскостной смыв, склоновая аккумуляция, линейная эрозия и аккумуляция, суффозия и карст и др.), несколько меньшее значение имеет проявление гравитационного, биогенного, эолового и других факторов.

Плоскостной смыв. Формирование плоскостного смыва зависит от ряда природных и хозяйственных факторов, к числу которых относятся климатические особенности, рельеф, почвенно-растительный покров, хозяйственная деятельность и т. д. Причем их влияние на процесс плоскостного смыва может быть неоднозначным в различных районах.

Склоновая аккумуляция. В процессе последнекикового развития склонов у их подножий накопились шлейфы солифлюкционно-

делювиальных отложений перигляциальной и термогенной формаций. Размеры этих аккумуляций обусловлены различными причинами, среди которых главную роль играют литологические особенности покровных отложений, морфология и возраст наклонных поверхностей.

Обращает на себя внимание то, что на всей территории Беларуси поозерско-голоценовые шлейфы являются более мощными, чем соответствующие образования допоозерского времени. Этот факт объясняется тем, что толща голоценовых аккумуляций в значительной мере складывается из переработанных более ранних склоновых накоплений.

Линейная эрозия временных водотоков. В Беларуси, земли, подверженные рассматриваемому типу линейной эрозии, занимают около 14 тыс. км² (примерно 6,7 % территории). В результате этого процесса сформировалась густая сеть оврагов и балок общим числом более 32 тыс., из которых примерно 13 % активно развивается в настоящее время. Особенно широко линейная эрозия проявляется в пределах краевых ледниковых возвышенностей – Минской, Новогрудской, Ошмянской, Гродненской, Оршанской, Витебской, Волковысской и др., а также на значительных участках Могилевской и Горецкой равнин и в прибортовых частях речных долин Днепра, Зап. Двины, Березины, Вихры и др. Широко морфологическое разнообразие проявлений линейной эрозии. По этому принципу выделяются промоины, овраги, балки и овражно-балочные системы.

Эрозионная и аккумулятивная деятельность рек. По грандиозности создания форм рельефа деятельность постоянных линейных водотоков не имеет себе равных среди современных геологических (рельефообразующих) процессов на территории Беларуси. Итогом этой деятельности является густая сеть речных долин, имеющих общую протяженность около 90,6 тыс. км.

Эрозия и аккумуляция в береговой зоне водохранилищ. При создании искусственных водоемов (водохранилищ) в береговой зоне происходит ряд изменений, в том числе активизация различных видов геоморфологических процессов, в частности абразии берегов, плоскостная и линейная эрозия, дефляция, термоэрозия и ледовая эрозия. Наряду с этим в процессе эксплуатации водохранилищ получают развитие аккумулятивные процессы, которые создают различные формы рельефа (косы, пересяпы, валы и т. д.).

По современным оценкам из 120 водохранилищ Беларуси, находящихся в эксплуатации и имеющих береговую линию суммарной длиной около 1300 км, от 30 до 40 %, а в некоторых случаях, до 70 % составляют берега абразионного типа, 20 % – аккумулятивные, 3 % – эрозионные.

Суффозия и карст. Суффозия и карст – сложные физико-химические процессы, сочетающие химическое растворение, механический

вынос и эрозионный размыв. Все эти механизмы действуют одновременно, хотя один из них, как правило, преобладает. В результате проявления суффозии образуются разнообразные формы поверхностного (просадки, западины, провалы, колодцы и др.) и подземного (тоннели и др.) рельефа.

На территории Беларуси суффозия – один из довольно распространенных экзогенных геологических процессов. Благоприятные условия для ее развития складываются в пределах равнин и низин (Лучосинской, Горецкой, Могилевской, Костюковичской, Чечерской, Стрешинской, Оршанской, Копыльской, Мозырской и др.) с покровом лессовидных отложений. Наиболее типичной суффозионной формой являются западины. Они встречаются во всех районах распространения лессовидных отложений, за исключением Мозырской возвышенности. Западины представляют собой неглубокие, чаще округлые понижения.

Гравитационные процессы. Смещение отложений под влиянием силы тяжести происходит по-разному. В соответствии с этим на территории Беларуси различаются медленное перемещение материала по склонам (крип) и процессы, идущие с высокой скоростью (обвалы, осыпи, оползни, селеподобные потоки). Необходимое условие протекания таких процессов – сравнительно крутые склоны (более 20 – для крипа, более 15–200 – для оползней, обвалов, осыпей). На территории Беларуси подобные условия развиты на значительных площадях (до 45 % всей территории) и предопределены как естественными особенностями земной поверхности, так и хозяйственной деятельностью, что обуславливает значительное разнообразие рассматриваемых процессов.

Эоловые процессы. Эоловые процессы объединяют эрозионную деятельность (дефляцию), перенос и аккумуляцию материала. О геологической деятельности ветра обычно судят по ее видимым проявлениям. Для территории Беларуси это чаще всего песчаные эоловые аккумуляции различной формы, размеров и возраста, иногда образующие скопления и массивы площадью до нескольких квадратных километров. Наиболее распространены небольшие дюны и песчаные гряды высотой до 2–3 м различной ориентировки. Эрозионная деятельность эолового процесса обращает на себя внимание, как правило, только в экстремальных случаях, когда в результате интенсивной хозяйственной деятельности происходят «черные бури» или в короткий срок выдувается верхний плодородный горизонт автоморфных песчаных почв и начинается движение песков.

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Геолого-экологические и гидроэкологические методы

Геолого-экологические методы. Основным геологическим методом, пригодным для решения геоэкологических задач, является метод актуализма. Сущность метода состоит в сравнении современных природных условий на земной поверхности, атмосфере и мировом океане с палеогеографическими обстановками, существовавшими в прошедшие исторические периоды. На принципах актуализма базируется основное методологическое положение геологических методов – использование палеогеографических и палеоэкологических данных для решения современных геоэкологических проблем.

На протяжении последних 10–15 лет большинство геологических работ и исследований выполняется либо в экологических целях, либо носят ярко выраженный геоэкологический характер. Государственная среднемасштабная геолого-гидрогеологическая съёмка территории стала в своей основе решать конкретные геоэкологические задачи и проблемы определённого региона. Изучение природной среды и прогнозирование её изменений под влиянием техногенеза стало важнейшей задачей геологии и геоэкологии.

Специализированные экологические исследования проводятся на территориях крупных городских и промышленных агломераций (Минский полигон, зона влияния катастрофы на ЧАЭС, районы размещения крупных горнодобывающих объектов и т. д.).

Экологические работы целесообразно проводить в три этапа:

1. Эколого-геологическая съёмка (картирование и картографирование).
2. Эколого-геологическая разведка (исследования конкретных объектов).
3. Проведение постоянных наблюдений (мониторинг природной среды).

Как правило, экологические исследования проводятся на основе комплексных геолого-гидрогеологических съёмок, масштабы их соответствуют масштабам геологического картирования: мелкий, средний, крупный. Геоэкологическая разведка проводится на участках детального изучения источников загрязнения (масштаб 1: 10000 – 1: 1000). Для мониторинга геологической среды выбираются районы интенсивного техногенеза.

В целом геологические методы позволяют создавать базу для оптимального развития многих отраслей народного хозяйства страны.

Гидроэкологические методы. Подземные и поверхностные воды являются главным компонентом, определяющим экологическое состоя-

ние природной среды. Это обстоятельство объясняется особой подвижностью подземных вод (в частности, в зоне активного водообмена), а также их высокой способностью вступать в разнообразные химические реакции, в том числе и с элементами-загрязнителями.

Исследование миграции загрязнителей в подземных водах является сложной задачей, обусловленной необходимостью учёта физико-химических процессов, протекающих в многофазных системах, многообразием геолого-гидрогеологических обстановок и типов загрязнения. Как правило, все виды загрязнения можно свести к следующим: химическое, бактериальное, тепловое, радиоактивное. Характер миграции загрязнений зависит также от типа ландшафта и вида загрязнения.

В целом миграция вещества в подземных водах подчиняется диффузионно-конвективной теории. При этом изменение концентрации загрязнения во времени описывается уравнениями гидродинамической дисперсии.

При гидродинамической дисперсии различают две составляющие: конвективную диффузию (механическую дисперсию), обусловленную движением потока подземных вод, и молекулярную диффузию, не зависящую от этого движения. На практике происходящие в водоносном горизонте химические реакции, свойства раствора и твёрдой составляющей учитываются введением соответствующих коэффициентов (замедление, распределение и т. д.). Хорошие результаты в соответствии с конвективно-диффузионной теорией получены при оценках миграции особо опасных (токсичных и радиоактивных) загрязнителей.

Наиболее токсичными являются промышленные стоки многих производств. Очень опасными являются стоки, содержащие тетраэтилсвинец, оксид этилена, мышьяк. Ртуть и её соединения, ядохимикаты и т. п. Иногда для достижения предельно допустимой концентрации промстоков (ПДК) требуется их разбавление до миллиона раз. По кратности разбавления по токсичному элементу сточные воды делятся на три категории: А – высокотоксичные – кратность разбавления более 10^{10} ; Б – среднетоксичные – 10^{10} – 10^5 ; В – слаботоксичные – 10^5 – 10^2 .

В последнее время особое внимание уделяется загрязнению подземных вод, связанному с интенсивным применением удобрений и пестицидов. Из загрязнений, обусловленных удобрениями, выделяется нитратная часть. Как наиболее мобильная и токсичная. Содержание нитратов в грунтовых водах многих сельских населенных пунктов Беларуси устойчиво превышает ПДК (часто в десятки раз).

3.2. Аналитические и геохимические методы

Аналитические и геохимические методы играют основную роль в оценке состояния компонентов природной среды, поскольку лишь с их

помощью можно представить виды и масштабы загрязнения почв, горных пород, поверхностных и подземных вод, атмосферы. Важность этих методов связана с тем, что именно химическое загрязнение – наиболее опасный для человека, животных и растений вид техногенного воздействия на природу. Вместе с тем химические анализы почв, грунтов и подземных вод весьма дороги и трудоемки. Аналитические данные обычно бывают недостаточными, что в свою очередь приводит к использованию косвенных показателей. Так, о загрязнении пород и подземных вод пытаются судить по концентрациям загрязнителей в атмосфере и снеговом покрове, в растительности, почвах и поверхностных водах. Ценность количественных показателей, получаемых при химическом опробовании снижается из-за недостаточно разработанной методики определения ПДК для многих загрязняющих веществ. Экстраполяция «точечных» или локальных измерений на большие площади затрудняется недостатком данных о закономерностях разложения и миграции соединений в литосфере.

Загрязнение почв при учете их буферных свойств служит важным критерием состояния близких к поверхности пород и подземных вод (табл. 2). Многие показатели таблицы являются критическими для человека. Следует отметить, что для растений эти значения в 2–7 раз ниже. В промышленных районах и крупных городах проблемы загрязнения почв в значительной степени сводятся к накоплению в них тяжелых металлов (табл. 3). Пределы колебаний приведенных в таблице величин связаны с тем, что для песчаных и супесчаных почв эти пределы в несколько раз ниже, чем для суглинистых и глинистых. Это обстоятельство имеет особое значение для состояния почвообразующих пород, так как в легких по механическому составу почвогрунтах активная вертикальная миграция загрязнения приводит к его быстрому проникновению на значительные глубины. Отдельного рассмотрения заслуживают почвогрунты городов и промышленных зон, низкая устойчивость которых (почвогрунтов) обусловлена снижением гумусности, потерей структуры, образованием таких новых видов почвогрунтов как урбаноземы (глубоко переработанные), индустриземы (химически преобразованные) и урботехноземы (насыпные).

Методы оценки загрязнения природной среды в нефтегазоносных районах весьма разнообразны вследствие значительной номенклатуры показателей, требующих определения. При этом в зависимости от утилизации отходов бурения важность тех или иных показателей меняется. При оценке сбрасываемых на поверхность загрязнённых вод важны такие их отрицательные свойства как содержание нефтепродуктов, токсичных солевых компонентов, тяжёлых металлов, а также реакция среды. Используемые при этом методы: отгонка нефтепродуктов (точность 5 мг/дм^3), осаждение хлоридов (точность $2\text{--}4 \text{ мг/дм}^3$), титрование сильной кислотой для определения щёлочности. При использовании сточных вод для заводнения

пластов важным является оценка содержания сероводорода и железа. Для определения содержания последнего применяется атомно-абсорбционный и калориметрический методы. Опасность для водных систем представляет присутствие в сточных водах. Кроме нефтепродуктов, взвешенных веществ и коллоидных частиц минеральной и органической природы, а также растворённых солей и атрофирующих агентов – фосфора, серы, азота. В большинстве случаев сточные воды нефтегазовых месторождений не удовлетворяют требованиям утилизации и требуют очистки.

Таблица 2

Показатели критической экологической обстановки при загрязнении почв

Виды и показатели загрязнения	Значения, мг/кг, ед. pH
Загрязнение пестицидами	5–10 кг/га
Суммарный индекс пестицидной нагрузки	1000–1200
Суммарный показатель химического загрязнения	64–128
Радиоактивное загрязнение (Ku/km^2): – цезий-137 – стронций-90 – плутоний-239	15–20 1–3 более 0,1
ПДК веществ (мг/кг): – хлорофос – хлорамин – метанол – мышьяк	0,5 0,005 1,5 20,0
Кислотность (pH)	менее 4,0
Щелочность (pH)	более 8,5

Таблица 3

Кларки и фоновое содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах

Почвы	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu	Co	Ni	As
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	28	0,05	6	0,05	8	3	6	2,5
Дерново-подзолистые суглинистые и глинистые	45	0,12	15	0,10	15	10	30	4,5
Серые лесные	60	0,20	16	0,15	18	12	35	—
Черноземы	68	0,24	20	0,20	25	15	45	7–8
Каштановые	54	0,16	16	0,15	20	12	35	—
Кларк	50	—	10	0,01	20	8	40	5

Основные методы, используемые при этом:

- гравитационный для взвесей;
- коагуляционный для коллоидов;
- окисление, абсорбция и аэрирование для растворимых органических веществ и газов;
- ионный обмен и мембранный метод для растворимых минеральных солей.

Общее влияние загрязнения подземных вод на состояние природной среды оценивается по совокупному учёту качества воды (концентрации загрязнителей относительно ПДК) и площадей загрязнения (табл. 4).

Таблица 4

Критерии оценки загрязнения подземных вод

Оценочные показатели	Классы состояния			
	нормального	с негативными изменениями	кризисного	бедственного
Отношение C к ПДК	$C = \text{ПДК}$	$C = 3-5 \text{ ПДК}$	$C = 5-10 \text{ ПДК}$	$C = 10 \text{ ПДК}$ и $>$
Область загрязнения, км ²	до 0,5	0,5–5	5–10	10 и $>$

Примечание. C – концентрация.

К аналитическим методам оценки нарушенности природной среды относятся подсчеты числа и объемов техногенных форм рельефа, в том числе рассмотренные выше определения величин коэффициента антропогенного морфогенеза и геотехнического коэффициента. К этой категории также относятся многочисленные подсчеты величин смыва почв и их загрязнения (табл. 5, 6). Известны количественные методы расчета уплотнения грунтов и техногенно обусловленных опусканий земной коры на площадях добычи нефти и газа и в границах крупных городов. Оценка нарушения режима подземных вод базируется на определении изменений их уровней и дебитов в скважинах, а в шахтах путем измерения объемов откачек и прорывов воды из вскрытых горизонтов.

Таблица 5

Критерии оценки экологического состояния почв

Показатели	Норма	Риск	Кризис	Бедствие
Плодородие почв, в % от потенциального	85	65–85	65–25	25
Содержание гумуса, в % от природного	90	70–90	30–70	30
Площадь вторично засоленных почв	5	5–20	20–50	50

Продолжение табл. 5

Показатели	Норма	Риск	Кризис	Бедствие
Глубина смытости почвенных горизонтов	—	Смыт горизонт А1 или 0,5 горизонта А	Смыт горизонт А и частично АВ	Смыты горизонты А и В
Глубина смытости в % почвенного профиля	10	10–30	30–50	50
Площадь обнаженных коренных пород, в %	5	5–10	10–25	25
Площадь ветровой эрозии, в %	5	10–20	23–40	40
Задернованность песчаных почв	60	30–60	10–30	10
Уровень активной микробной биомассы (снижение в число раз)	5	5–10	10–50	50

Таблица 6

Критерии техногенного загрязнения и классы состояния почв

Критерии оценки	Размерность	Классы состояния			
		Норма	Риск	Кризис	Бедствие
Содержание легкорастворимых солей	весовые %	менее 0,6	0,6–1,0	1,0–3,0	более 3,0
Содержание токсичных солей	весовые %	менее 0,3	0,3–0,4	0,4–0,5	более 0,6
Содержание пестицидов	ПДК	менее 0,1	1,0–2,0	2,0–5,0	более 5,0
Содержание поллютантов	ПДК	менее 0,1	1,0–3,0	3,0–10,0	более 10,0
Содержание нефти и нефтепродуктов	весовые %	менее 1,0	1,0–5,0	5,0–10,0	более 10,0

3.3. Инженерно-геологические и геофизические методы

Инженерно-геологические исследования и изыскания необходимы для экологического обоснования проектов строительства сооружений различного назначения, промышленных объектов, жилищного строительства и многого другого. Состав геоэкологических исследований зависит от класса сооружений и сложности инженерно-геологических и

геолого-гидрогеологических условий. Большое внимание в изысканиях такого рода должно уделяться оценке характера и масштабов прогнозных изменений геологической среды под влиянием техногенеза и обеспечению мероприятий по предотвращению нежелательных геоэкологических ситуаций.

Обычно при геоэкологической оценке территорий для целей строительства учитываются три группы факторов: природные (определяющие безопасность строительства и эксплуатации сооружения), техногенные (когда в эволюцию геоэкологического развития вклинивается техногенез) и природно-техногенные (когда естественное геологическое развитие усугубляется деятельностью человека). Среди техногенных особо выделены аварии на промышленных объектах, наводнения при разрушении плотин, техногенные землетрясения и т. д. Из природно-техногенных наиболее значительные – радиоактивные загрязнения почв, поверхностной и подземной гидросферы, а также изменения гидрогеологического и гидрологического режима в результате понижения уровней подземных вод при карьерной разработке месторождений полезных ископаемых.

Инженерно-геоэкологические изыскания должны выполняться:

- для обоснований инвестиций в строительство и при разработке предпроектной документации, если имеющиеся материалы по геоэкологическим условиям недостаточны для принятия решений;
- для изучения или контроля изменений геоэкологических условий при составлении заключений об инженерно-геологических условиях по материалам ранее выполненных изысканий и в других ситуациях;
- при выявлении геоэкологическими исследованиями неблагоприятных геоэкологических условий и ситуаций;
- при необходимости получения исходных данных или дополнительной (контрольной) информации для разработки в проектах раздела об охране окружающей среды;
- на экологически неблагополучных или потенциально неблагополучных застроенных и застраиваемых (освоенных и осваиваемых) территориях, включая полигоны и другие специальные комплексы, сооружения, территории накопления, очистки, утилизации и захоронения отходов производств и бытовых;
- при чрезвычайных экологических ситуациях и во всех случаях необходимости оценки и целенаправленного изучения геоэкологических условий.

Геоэкологические исследования и инженерно-геоэкологические изыскания могут быть расширенными, комплексными, и по заданию заказчика проводиться как инженерно-экологические изыскания. В этом случае изучается, оценивается и прогнозируется экологическое состояние не только геологической среды, но и других компонентов окружающей

природной среды – поверхностной гидросферы, атмосферы, растительного и животного мира с учетом техногенного воздействия или взаимодействия объектов.

Инженерно-экологические изыскания должны обеспечивать:

- комплексное изучение природных и техногенных условий территории, включая, при необходимости, условия её хозяйственного использования и социальную сферу;
- оценку экологического состояния отдельных компонентов природной среды и экосистем в целом, их устойчивость к техногенным воздействиям и способность к восстановлению;
- разработку прогноза возможных изменений природных (природно-технических) систем при строительстве, эксплуатации и ликвидации объекта;
- оценку экологической опасности и риска;
- разработку рекомендаций по предотвращению негативных последствий инженерно-хозяйственной деятельности и обоснование природоохранных и компенсационных мероприятий;
- разработку мероприятий по сохранению социально-экономических, исторических, культурных, этнических и других интересов местного населения;
- разработку рекомендаций и (или) программы организации и проведения локального экологического мониторинга, отвечающего этапам (стадиям) предпроектных и проектных работ.

Объектом геоэкологических исследований, инженерно-геоэкологических или инженерно-экологических изысканий является территория проектируемого строительства (за исключением случаев специальных исследований), а также зоны влияния на другие природные или природно-технические системы (распространение подтопления, растекание сточных вод, перенос загрязнений водотоками, начинающимися на территории изысканий или пересекающими её и др.). В свою очередь, прилегающие территории – природные экосистемы или природно-технические системы – могут влиять на формирование неблагоприятных инженерно-геоэкологических условий изучаемого объекта. Во всех таких случаях следует соответственно расширять изучаемое пространство, охватывая источники воздействий.

Необходимость выявления источников воздействия на геологическую или природную среду, существование значимых источников, перечень приоритетных загрязняющих веществ, подлежащих изучению, должны быть указаны заказчиком в задании на изыскания либо определены изыскательской организацией в программе изысканий в результате сбора и анализа имеющихся материалов, по данным инженерно-геологической (гео-

экологической) рекогносцировки или съемки с геоэкологическими исследованиями.

В общем случае при геоэкологических исследованиях и инженерно-геоэкологических (экологических) изысканиях проводят сбор и анализ материалов ранее выполненных изысканий и исследований, выполняют рекогносцировку и обследование источников воздействия, полевые и камеральные работы, составляют раздел отчета или отчет.

В состав работ при геоэкологических исследованиях и инженерно-геоэкологических изысканиях входят те же их виды, что и при инженерно-геологических изысканиях, но с учетом специфики исследований имеющие экологическую направленность.

При проведении инженерно-геоэкологических (экологических) изысканий и значимости этих процессов в оценке экологической безопасности территории (объекта) их изучение может быть включено в состав таких изысканий.

В числе основных потенциальных путей химического загрязнения грунтов подземных и поверхностных вод территории изысканий и миграции загрязняющих веществ следует рассматривать:

- непосредственный контакт загрязняющих веществ с грунтами, в том числе почвами, поверхностными и подземными водами (нарушение правил складирования, хранения, транспортирования, перемещения, использования; утечки из наземных и подземных хранилищ и коммуникаций; проливы на поверхности земли, покрытиях и внутри сооружений; внесение удобрений и ядохимикатов и т. п.);
- воздушный перенос частиц загрязняющих веществ из других источников на изучаемую территорию или при местной ветровой эрозии и оседание на поверхности земли воды, конструкций;
- привнос с атмосферными осадками;
- перенос поверхностным стоком на другие участки, смыв в поверхностные воды перенос водотоками, аккумуляцию в осадках водотоков и в водоемах;
- инфильтрацию атмосферных осадков и поверхностного стока в грунты зоны аэрации и далее в подземные воды или непосредственно в грунтовые воды, залегающие вблизи поверхности и глубже;
- испарение загрязняющих веществ с поверхности земли, с грунтовыми водами при транспирации;
- перенос загрязняющих веществ с перемещаемыми грунтами в ходе строительства (земляных работ), привнос с искусственными грунтами, доставленными с других участков или территорий;
- перемещение загрязняющих веществ из зоны аэрации в грунтовые воды при колебаниях или подъеме их уровня;

- перемещение легких жидкостей в зоне аэрации и на поверхности грунтовых вод;
- перенос и повышение концентрации загрязняющих веществ при изменениях направлений и скорости движения подземных вод (строительное водопонижение, систематический дренаж, формирование воронок депрессии водозаборных скважин, изменение условий инфильтрации, испарения, направлений подземного и поверхностного стока планировкой и застройкой и др.).

Ловушками техногенных вод с различными химическим составом, свойствами, характером и степенью загрязнения могут служить западины в рельефе водоупоров.

При геоэкологических исследованиях и инженерно-геоэкологических изысканиях обычно изучают почвы и другие грунты зоны аэрации, верховодку и грунтовые воды. Следует учитывать, что загрязнение грунтовых вод может привести к загрязнению грунтов подстилающего водоупора, а при инфильтрации через водоупор (супеси и суглинки лишь относительно водонепроницаемы) и «окна» в нем – к загрязнению и более глубоких горизонтов. В свою очередь, при напорной фильтрации через водоупор и «окна» загрязненные воды первого межпластового горизонта могут проникать в грунтовые. С учетом мощной, до 200–350 м и более, зоны активного водообмена (зоны пресных подземных вод) загрязнение может распространяться на различную глубину. Первые такие данные могут быть получены при анализе имеющихся материалов и по пробам воды из бытовых колодцев и скважин, эксплуатирующих различные водоносные горизонты.

Возможное загрязнение следует изучать не только до местного уровня дренирования подземных вод, но и до глубины предполагаемого взаимодействия загрязнений с геологической средой (по опорным скважинам или детальнее).

Понятие зоны аэрации традиционно связывают с самой верхней частью разреза, между дневной поверхностью и уровнем грунтовых вод. При залегании с поверхности пылевато-глинистых грунтов и отсутствии грунтовых вод не полностью водонасыщенными (аэрированными) могут оказаться и часто оказываются не только почвы, но и грунты верхней, выветрелой зоны. Охватывая почвенный профиль, такая зона может распространяться значительно глубже, до 3,5–5 м и более. Пористость грунтов в этой зоне несколько выше, чем у неветрелых, к тому же могут присутствовать прослойки и линзы неводонасыщенных песков. С геоэкологических позиций такие участки представляют интерес как возможные коллекторы инфильтрирующихся загрязнений и источники последующей вертикальной и боковой их миграции.

Геофизические методы исследований позволяют успешно решать задачи только тогда, когда наблюдается определенная неоднородность среды, т. е. в тех случаях, когда в ее пределах горные породы существенно различаются по физическому состоянию (влажности, нарушенности, трещиноватости, закарстованности и др.) и свойствам (удельному электрическому сопротивлению, плотности, скорости распространения упругих колебаний, магнитной восприимчивости и др.).

При инженерных изысканиях необходимым условием применения геофизических методов являются достаточно большие размеры природных объектов (толщи и слои горных пород, участки территорий и др.) и неглубокое их залегание от поверхности земли. Важным фактором для успешного их применения являются также низкий уровень электрических и механических помех на застроенных территориях, благоприятные условия для создания надежных заземлений при применении электроразведки и четких возбуждений упругих колебаний при применении микросейсморазведки.

В практике инженерных изысканий в настоящее время применяют многие геофизические методы – электрические, сейсмические, гравиметрические, магнитометрические и ядерные, но наиболее широкое применение получили методы электрические (электроразведка), сейсмические (сейсморазведка) и ядерные.

Из *электроразведочных методов* в практике эколого-геологических изысканий наиболее часто применяют методы, основанные на различной способности горных пород, почв, грунтов проводить постоянный электрический ток: вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электрическое профилирование (ЭП) и изучение горных пород в буровых скважинах методом сопротивлений – электрический каротаж (ЭК). В отдельных случаях применяют метод кругового вертикального электрического зондирования (КВЭЗ) и метод заряженного тела (ЗТ). Параметрами, определяющими распространение постоянного электрического тока в горных породах, являются их удельное электрическое сопротивление ρ (однородные породы) и кажущееся удельное электрическое сопротивление ρ_k (неоднородные и анизотропные породы).

Факторами, определяющими удельное электрическое сопротивление горных пород, являются:

- принадлежность их к определенным генетическим и петрографическим группам;
- структура и текстура;
- пористость, выветрелость, трещиноватость, кавернозность;
- влажность и водоносность;
- минерализация насыщающих их вод;
- температура.

Из всех этих факторов наибольшее влияние на электрическое сопротивление горных пород в условиях их естественного залегания оказывают удельное сопротивление насыщающей их воды, ее количество, минерализация и температура. При инженерных изысканиях электроразведочные методы имеют самое широкое применение.

В *полевой сейсморазведке* главными являются методы отраженных волн (МОВ), преломленных волн (МПВ) и корреляционный метод преломленных волн (КМПВ). Последний при инженерных изысканиях имеет самое широкое применение.

Сейсморазведка применяется главным образом для решения двух групп задач: для изучения геологического строения территорий и для изучения физического состояния и физико-механических свойств горных пород. При изучении геологического строения территорий обычно представляется возможным:

- определить глубину залегания коренных пород;
- выявить распространение характерных геологических структур;
- расчленив геологический разрез коренных пород и проследить отдельные толщи по площади;
- выявить тектонические нарушения, зоны повышенной трещиноватости и ослабления в горных породах;
- выделить и проследить зоны выветривания горных пород.

При изучении физического состояния и свойств горных пород определяют:

- плотность горных пород и ее изменение на глубину и по профилю, их неоднородность;
- динамические характеристики упругих свойств горных пород (динамический модуль упругости и модуль общей деформации);
- сейсмическую жесткость горных пород – волновые сопротивления;
- напряженное состояние горных пород в условиях естественного залегания.

Ядерные методы разведки подразделяются на две группы методов:

- основанные на изучении естественной радиоактивности горных пород, подземных и поверхностных вод и воздуха;
- в которых используются явления, возникающие в результате искусственного облучения горных пород нейтронами (элементарные частицы ядра, не имеющие электрического заряда) или гамма-излучением.

Естественная радиоактивность горных пород обусловлена наличием в составе их породообразующих минералов примесей, включений и других минеральных и органических образований радиоактивных элементов – урана, тория, продуктов их распада, а также калия и др. Спонтанный распад ядер таких элементов сопровождается излучением частиц,

образующих альфа (α) –, бета (β) – и гамма (γ) – излучение. Гамма-частицы по сравнению с другими обладают большей проникающей способностью, поэтому именно гамма-излучение чаще используется при решении геологических задач ядерными методами. Различные горные породы обладают различной радиоактивностью и соответственно гамма-излучением, что дает возможность при изучении геологического разреза и прослеживании его по простиранию разделять горные породы на толщи, слои, зоны и разности.

Сущность методов, основанных на искусственном облучении горных пород нейтронами или гамма-излучением, состоит в следующем. При облучении горных пород радиоактивным источником (сплавы: полоний-бериллий, радий-бериллий и др.) нейтроны с высокими скоростями и энергией (так называемые быстрые нейтроны) при столкновении с ядрами тяжелых элементов рассеиваются, при столкновении с ядрами легких элементов (например, водород) движение их замедляется, а энергия понижается. После ряда столкновений энергия быстрых нейтронов понижается, и они превращаются в тепловые нейтроны, которые захватываются ядрами элементов. Это явление сопровождается вторичным гамма-излучением. По количеству обнаруженных тепловых нейтронов и интенсивности гамма-излучения судят о наличии элементов, обладающих способностью замедлять движение нейтронов. Так как замедлять движение нейтронов способен водород воды влажной горной породы, установлено, что число «медленных» нейтронов пропорционально содержанию в породе воды. На этом и основано определение влажности горных пород нейтрон–нейтронным методом. Существует также связь между интенсивностью вторичного гамма-излучения и объемом воды, содержащей подавляющее количество водорода в горных породах. При полном водонасыщении горных пород эта зависимость позволяет определять их пористость.

Преимущества ядерных методов состоят в том, что они позволяют исследовать горные породы и определять их влажность и плотность в условиях естественного залегания, без отбора проб, и не только в отдельных точках толщи или слоя, но и непрерывно по всему геологическому разрезу. Это дает возможность выявлять неоднородность и изменчивость свойств горных пород как на глубину, так по простиранию, и по площади. Например, ядерные методы широко используют в комплексе с другими геологическими методами, что позволяет устанавливать корреляционные связи между плотностью и влажностью горных пород и их деформационными, прочностными и другими свойствами.

При инженерных изысканиях применяют и другие геофизические методы разведки, такие как магнитометрические, гравиметрические, когда с их помощью наиболее эффективно решать геологические задачи.

В целом задачи и характеристика основных геофизических методов приводятся в табл. 7.

Таблица 7

Геофизические методы при инженерно-геологических изысканиях

Задачи изысканий	Комплекс основных методов
Изучение строения массива грунтов (расчленение разреза, определение рельефа кровли скальных грунтов, установление мощности коры выветривания и т. п.) и определение уровня грунтовых вод	Вертикальное электрическое зондирование, электропрофилирование, корреляционный метод преломленных волн, метод преломленных волн
Установление и прослеживание зон тектонических нарушений и трещиноватости	Электропрофилирование по различным схемам, вертикальное электрическое зондирование методом двух составляющих, круговое вертикальное электрическое зондирование, стандартный каротаж, сейсмо-акустические методы, эманационная съемка
Выявление и оконтуривание полостей естественного и искусственного происхождения	Электропрофилирование (преимущественно по схемам “вычитания полей” и методом двух составляющих), вертикальное зондирование методом двух составляющих, стандартный каротаж, резистивиметрия
Определение направления, скорости течения и мест разгрузки подземных вод	Метод заряженного тела, резистивиметрия, расходометрия, термометрия
Определение физико-механических свойств грунтов	Сейсмоакустические методы (наземные и в горных выработках), ультразвуковой каротаж, радио-изотопные методы (гамма-гамма-каротаж, нейтрон-нейтронный каротаж), термокаротаж
Определение коррозионной активности грунтов и интенсивности блуждающих токов	Вертикальное электрическое зондирование, вертикальное электрическое зондирование по методу вызванной поляризации, электропрофилирование, метод естественного поля
Сейсмическое микрорайонирование территорий	Сейсмоакустические методы, радиоизотопный метод, сейсмологические методы (запись слабых землетрясений микросейсм и др.)

3.4. Аэрокосмические методы

Оценивая дистанционные методы анализа состояния природной среды, следует иметь в виду два обстоятельства. Во-первых, информация о загрязнении и нарушенности глубоко залегающих горных пород и подземных вод на аэрокосмических снимках практически отсутствует. Весьма эффективны результаты дешифрования только почв и особенно рельефа. Во-вторых, материалы съемки дают ценные сведения главным образом о нарушенности и гораздо менее информативны в отношении загрязнения поверхности.

Рассматривая использование аэрокосмических снимков в целях изучения рельефа, прежде всего, следует указать на их высокую информативность в отношении таких параметров как густота расчленения и длина склонов, поскольку эти параметры рассчитываются путем непосредственных измерений. По сравнению с картами информативность снимков в отношении густоты расчленения повышается по мере уменьшения размеров дешифруемых эрозионных форм, так как формы первого порядка на картах либо отсутствуют, либо отражаются с разрежением. Снимки сильно упрощают проведение границ; между категориями рельефа с разными величинами расчленения, облегчают выбор масштаба морфометрических карт. Снимки незаменимы для анализа морфометрии элементов рельефа или микрорельефа склонов, который практически неразличим на картах. Такие разновидности микрорельефа как бороздчатость, бугристость, ступенчатость, скалистость во многом определяют характер склоновых процессов.

Для количественного анализа углов наклона и глубины расчленения необходима стереофотографическая обработка снимков. Однако предварительная качественная оценка этих параметров возможна и путем визуального дешифрования. Изучение стереопар снимков под стереоскопом или интерпретоскопом дает весьма наглядное представление о профилях склонов и изменениях их строения от междуречий к долинам. Эти исследования особенно эффективны на площадях обнаженных склонов и достаточно расчлененного рельефа.

Съемки равнинного рельефа требуют более низкого положения Солнца (15–30°), а съемки горного рельефа более удачны при углах освещения 40–50°. Морфометрические построения нежелательны как по снимкам малой контрастности, так и по чрезмерно контрастным изображениям. Выбор сезонности снимков особенно важен в равнинных залеженных районах, где растительность и увлажнение играют роль индикаторов рельефа. В итоге можно отметить, что при анализе морфометрии по прямым признакам дешифрования рельефа важны масштабы и углы освещения, а при использовании косвенных признаков – сезонность и диапазоны съемки.

Аэрокосмические снимки дают разнообразную и ценную информацию, касающуюся прямых и косвенных индикаторов, которые выступают как основные морфологические и морфометрические характеристики рельефа. Например, о распространении обвально-осыпных явлений можно судить по крутизне и скалистости склонов, по резкости гребней хребтов, глубине расчленения и обнаженности рельефа. Участки подмыва крутых склонов и выхода у подножий грунтовых вод, а также ступенчатость склонов – вероятные признаки оползневых процессов. Строение русел и рельефа пойм, сопряжение склонов и днищ долин указывают на направленность эрозионно-аккумулятивных процессов в долинах. Более важное значение имеют прямые индикаторы – формы рельефа, созданные теми или иными процессами. При этом признаки дешифрования форм-индикаторов меняются в зависимости от ландшафтных особенностей района, условий съемки и параметров снимков (табл. 8). Особого рассмотрения при оценке рельефа заслуживает информация снимков, указывающая на зарождение или начальные стадии развития экзогенных процессов, на потенциальную опасность разрушительных явлений. Подобные формы-индикаторы обычно отсутствуют на топографических картах и распознаются лишь при дешифровании достаточно крупномасштабных изображений. В подобных случаях используются косвенные признаки дешифрования – изменения увлажнения или почвенно-растительного покрова (табл. 9).

Таблица 8

Формы рельефа – прямые индикаторы экзогенных процессов

Процессы	Формы-индикаторы	Признаки дешифрования
Обвалы	Эскарпы или участки отрыва	Светлые ареалы в верхних частях крутых склонов. Форма неправильная
Обвальные накопления	Обвальные накопления	Осветленные пятна в основании крутых склонов. Форма изометричная
Оползни	Стенки (амфитеатры) отрыва	Аналогичны обвальным, но характерны для нижних частей склонов и рыхлых пород
Площадное затопление пойм	Формирующиеся элементы рельефа пойм: валы, старицы, протоки	Осветление, слабое задернение, четкие границы стариц, прирусловых валов
Овражная эрозия	Крупные промоины, молодые овраги	Резко дифференцированные линейные контуры, извилистые или древовидные

Процессы	Формы-индикаторы	Признаки дешифрования
Карст	Воронки, западины, слепые долины	Неравномернопятнистая структура, темные пятна, разреженная гидросеть, озера
Ветровая эрозия почв	Значительные по глубине западины выдувания	Осветленные ареалы с тонкой струйчатой округло-ажурной или диффузно-пятнистой структурой

Таблица 9

Формы рельефа – индикаторы зарождения или начальных стадий экзогенных процессов

Процессы	Формы-индикаторы	Признаки дешифрования
Обвалы или оползни	Трещины, рвы, воронки, ложбины около бровок склонов	Полосчатая или пятнистая структура изображения вблизи бровок склонов
Эрозия	Борозды, протяжки, безрусельные ложбины	Микрополосчатость, рисунки типа «конских хвостов» или «силовых линий» на пологих склонах
Карст, суффозия	Плоскодонные локальные понижения или западины	Локальные затемненные или осветленные ареалы, пятнистая или мозаичная структура
Подтопление, заболачивание	Озера, разливы, солончаки	Затемнение или осветленные аномалии, связанные с изменениями растительности и увлажнения
Развевание	Дефляционные западины, песчаные бугры, надувы	Локальное осветление тона, белые пятна или полосы, микрополосчатая структура

Оценка почв с использованием аэрокосмических снимков в методическом отношении имеет два аспекта. В районах со сплошным растительным покровом невидимые на снимках почвы распознаются по косвенным признакам-индикаторам. Подобный метод основывается на взаимных связях почв с рельефом, растительностью, гидросетью и условиями увлажнения. На обнажённых площадях, в том числе на пахотных угодьях, используются прямые признаки дешифрования: тон или цвет и структура почв. При решении задач, связанных с картографированием почв, снимки дают ценную информацию о границах типов почв и структуре почвенного покрова. Имея данные по индикационным связям почв с

другими компонентами природной среды на эталонных участках, возможно экстраполировать эти данные на значительные территории в пределах определённых типов местности.

Помимо типологического анализа почвенного покрова дистанционные методы эффективны при изучении и оценке отдельных свойств или параметров почв, что важно для оценки их состояния как поверхностной части литосферы, регулирующей влияние на нее внешних оболочек Земли.

Влажность почв определяет тон и температуру их поверхности. Поэтому эта характеристика фиксируется на снимках видимого, теплового и микроволнового диапазонов спектра. Оптические свойства почв коррелируют с так называемой рыхлосвязанной влагой почв, причем эти связи наиболее тесные для песков в интервале влажности 1–5 %, для супесей 2–12 % и для глин от 4 до 22 %. Изучение стабильных границ увлажнения почв позволяет определять площади гидроморфных почв, заболачивания и подтопления, а оперативные наблюдения за влажностью в весенний период помогают оценить запасы воды в почвах в интересах сельского хозяйства.

Засоление почв различно влияет на их оптические свойства. В сухом состоянии избыточно засоленные почвы светлее незасоленных, а во влажном темнее, так как соль очень гигроскопична и быстро поглощает влагу. Оценка засоления затрудняется влиянием увлажнения, гумуса и растительности. Оптимальные условия для изучения этой характеристики – обнаженность, сухость и значительная гумусированность почв. Подтверждением этого обстоятельства служит то, что в малогумусных почвах (2–3 %) засоление фиксируется при величинах 1–2 %, а в среднегумусных (более 4 %) уже при величинах 0,5–1,0 %.

Эродированность почв приводит к сокращению или полному уничтожению наиболее плодородного гумусового горизонта, имеющего низкие значения коэффициентов спектральной яркости. С этим связано осветление эродированных и дефлированных почв на снимках. Осветленные ареалы почв обычно видны среди пахотных угодий на вершинах холмов и вблизи бровок коренных склонов. Слабая эродированность влияет лишь на тон изображения. При более активной эрозии появление борозд, промоин и мелких оврагов приводит к образованию тонкополосчатой, струйчатой структуры на месте однородной.

3.5. Геоморфологические и биолокационные методы

Методической основой изучения рельефа для целей рационального природопользования, в том числе и для эколого-геоморфологического исследования является трёхфакторный геоморфологический анализ (исследование экзогенных, эндогенных и техногенных рельефообразующих процессов) во взаимосвязи на основе современной геоморфодинамики.

Методы и методики геоморфологического анализа, используемые при эколого-геоморфологических исследованиях, делятся на две группы:

- общие геоморфологические методы выявления закономерностей строения и развития рельефа, эколого-геоморфологическое районирование и обоснование общего эколого-геоморфологического анализа и связи с решением различных геоэкологических проблем;

- частные геоморфологические методы и приёмы, используемые для исследования особенностей рельефа, рельефообразующих отложений, динамики процессов рельефообразования для решения конкретных экологических задач и комплексного обоснования мероприятий по устранению неблагоприятных экологических ситуаций и их последствий. В зависимости от конкретной техногенной нагрузки и природных условий применяются общие или частные методы геоморфологического анализа.

Специальные эколого-геоморфологические исследования проводятся при оценке геоморфологических условий подтопления, осушения, складирования отходов добычи и переработки полезных ископаемых, а также в связи с изучением рельефа для инженерной оценки территории после катастроф и аварий (например, геоморфологический анализ в зоне отселения ЧАЭС). Для решения этих задач применяются морфометрические и морфогенетические методы.

Биолокационные методы основаны на использовании способности человека воспринимать внешние энергетические излучения (поля). Внешние излучения, связанные с геологическим строением планеты, могут исходить из двух типов аномалий. Первый тип связан с нарушениями целостности стабильного состояния литосферы (разломы, подземные потоки, месторождения руд, нефти и газа подземные площади, карст и т. д.) и называется геоэнергетической аномалией.

Второй тип, получивший название сетчатая энергетическая аномалия, является отражением объёмного каркасного строения поля Земли (каркасная энергетическая структура). Многоуровневая система камерных энергетических построек свойственна строению всего земного шара. Размер ячейки служит главной характеристикой уровня соответствующего ингредиента. Генерация, миграция, концентрация и релаксация возбуждённых электронных состояний обуславливает широкий круг геологических, геохимических, геофизических, а, следовательно, и связанных с ними геоэкологических процессов с переносом энергии и вещества в литосфере, атмосфере, гидросфере и биосфере.

В задачу геоэкологических исследований при помощи биолокационного метода входит выяснение характера распределения и интенсивности геоэнергетических аномалий в окружающей среде, а также установление их воздействия на объект как органического, так и неорганического мира.

3.6. Радиационное обследование и оценка радоноопасности

В соответствии с законом РБ «О радиационной безопасности населения» при проектировании новых зданий жилищного фонда и общественного назначения в целях защиты населения от воздействия природных радионуклидов должны осуществляться мероприятия по выбору земельных участков для строительства с учетом уровня выделения радона из почвы и гамма-излучения природных радионуклидов.

Основная часть облучения населения за счет природных (естественных) радионуклидов (ЕРН) (5/6 годовой эффективной эквивалентной дозы) состоит из суммы внешнего и внутреннего облучения. К естественным радионуклидам относятся основные радионуклиды природного происхождения, содержащиеся в породообразующих минералах земной коры: настуран, урановые черни и т. д. Основные радиоактивные изотопы, встречающиеся в горных породах – это члены двух радиоактивных семейств урана-238 и тория-232, радий (^{226}Ra , ^{224}Ra), а также радиоактивные калий-40 и рубидий-87 (^{40}K и ^{87}Rb).

Примерно 2/3 эффективной эквивалентной дозы облучения за счет ЕРН человек получает вследствие внутреннего облучения. Содержание этого изотопа в естественной смеси невелико (0,012 %), однако вклад его в естественный фон излучения может достигать 30 %. В среднем человек получает около 180 мкЗв в год за счет калия-40, который усваивается организмом вместе с нерадиоактивными изотопами калия, необходимыми для жизнедеятельности. Содержание калия-40 в организме почти постоянное. Калий-40 генерирует в процессе распада атомы газа аргона, а именно его изотопа аргон-40, который составляет основную часть аргона в атмосфере (0,93 %).

Наибольший вклад (75 % годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы от земных естественных источников радиации) в облучение населения дают изотопы радона (^{222}Rn и ^{220}Rn) и дочерние продукты их распада (ДПР). Основную часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытом, непрветриваемом помещении. Причинами повышенного содержания радона в воздухе помещений являются: строительство на радоноопасной территории; применение в строительстве материалов, обладающих высокой радоногенерирующей способностью (эксхалицией, эманационной способностью); использование энергосберегающих технологий, способствующих накоплению радона в помещениях зданий и сооружений сверх установленных нормативов (герметизация помещений и отсутствие проветривания).

Растворенный в воде радон, как правило, менее значимый источник облучения населения по сравнению с эксхалицией его из почвы. Критическим путем облучения людей за счет радона, содержащегося в питьевой воде, является переход радона в воздух помещения и последующее ингаляционное поступление дочерних продуктов радона.

В связи с этим, оценка потенциальной радоноопасности территории проектируемой застройки является необходимым требованием по обеспечению радиационной безопасности населения.

На предпроектном этапе, как правило, выполняется предварительная оценка потенциальной радоноопасности территории.

Радиоэкологическое обследование включает свой состав, как правило, оценку гамма-фона и потенциальной радоноопасности, что соответствует требованиям ГН 2.6.1.8-127-2000 «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-2000) и РДС 1.01.18-2002 «Порядок проведения обследования зданий, сооружений и конструкций на радиобезопасность».

Оценка гамма-фона территории

Для определения дозы внешнего облучения в соответствии с утвержденной методикой проводится гамма-съемка территории.

Оценка состояния радиационной безопасности осуществляется по следующим основным показателям:

- характеристика радиационного фона окружающей среды;
- анализ доз облучения, получаемых населением от всех источников ионизирующего излучения;
- анализ обеспечения мероприятий по радиационной безопасности и соблюдения норм, правил и санитарно-гигиенических нормативов.

Степень радиоэкологической безопасности определяется нормальным естественным уровнем мощности эквивалентной дозы (МЭД) внешнего гамма-излучения на открытых территориях. Для условий города Минска МЭД принимается равной в пределах 0,1–0,2 мкЗв/час.

Для выявления и оценки опасности источников внешнего гамма-излучения проводятся:

- радиационная съемка (определение мощности эквивалентной дозы внешнего гамма-излучения);
- радиометрическое опробование с последующим гамма-спектрометрическим или радиохимическим анализом проб в лаборатории (определение радионуклидного состава загрязнений и их активностей). Обычно такое опробование проводится в случае обнаружения повышенных значений гамма-фона.

Замеры полевой экспозиционной дозы (уровня) проводятся отдельно для поверхности почвы и для воздуха (на расстоянии 1,0 метра от поверхности почвы). Территория застройки разбивается на участки по сетке 100×100 м. В соответствии с методикой радиоэкологического обследования на каждой точке производится трёхкратный замер уровня полевой эквивалентной дозы (мкЗв/час) отдельно для почвы и воздуха, который затем фиксируется в полевом журнале.

Оценка степени радоноопасности территории

Радоноопасность территории определяется плотностью потока радона с поверхности грунта и содержанием радона в воздухе уже существующих (построенных) зданий и сооружений.

Изотопы радона представляют радиоактивные газообразные вещества – эманации, способные создавать на соприкасающихся с ними телах радиоактивный осадок, состоящий из изотопов Po, Pb, Bi, Tl и At. Эманирование радона (свойство вещества, содержащего радий, выделять в окружающую среду часть образующихся в них эманаций) зависит от строения и плотности кристаллической решетки минералов, степени разветвленности капиллярной сети, температуры и влажности. Выделившаяся в поры горной породы эманация распространяется за счет газовой диффузии, адсорбционной диффузии и конвекции. Выделение изотопов радона с поверхности почвы (эксхалация) зависит от геологического строения территории, типа почв и климатических условий.

Оценка потенциальной радоноопасности территории осуществляется по комплексу геологических и геофизических признаков. К геологическим признакам относятся: наличие определенных петрографических типов пород, разрывных нарушений, сейсмическая активность территории, присутствие радона в подземных водах и выходы радоновых источников на поверхность. Геофизические признаки включают: высокую удельную активность радона в породах, слагающих геологический разрез; уровни объемной активности ОА радона (концентрация) в почвенном воздухе, ЭРОА радона в зданиях и сооружениях, эксплуатируемых на исследуемой территории и в прилегающей зоне. Наличие данных о зарегистрированных значениях эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона, превышающих 100 Бк/м^3 , в эксплуатируемых в исследуемом районе зданиях служит основанием для классификации территории как потенциально радоноопасной.

По данным, опубликованным в открытой печати, территория г. Минска относится к области потенциально опасного эманирования радона, связанным с относительно неглубоким (до 450–500 м), залеганием поверхности кристаллического фундамента. Чехол осадочных пород слагается преимущественно плотными песчаниками рифея и венда мощностью около 350 м. Присутствуют также мощные моренные образования, представленные обломочным материалом преимущественно кислых пород. Территория г. Минска является зоной относительно высоких скоростей движения подземных вод и характеризуется высокой степенью водообмена используемых для водопотребления водоносных горизонтов и поэтому содержание радона в воде, поступающей в жилые дома невелико. Кроме того, снижает уровень радона и аэрирование воды, которое входит в стандартную процедуру водоподготовки на городских водо-

очистных сооружениях. Уровень вмешательства для радона-222 в питьевой воде составляет 60 Бк/кг.

С другой стороны, ситуация осложняется наличием зон активных разломов, которые пересекают территорию города с юго-запада на северо-восток и с юго-востока на северо-запад. При фоновом содержании радона в почвенном воздухе приблизительно 1 КБк/м³ его концентрация в зоне активных разломов может достигать 66 КБк/м³. Зоны высокой степени эманирования радона вдоль активных тектонических разломов представлены на схеме радоновых разломов г. Минска и составляют 1–1,5 км. В зоне разлома Щемыслица – Уручье максимальная концентрация радона в почвенном воздухе составила 22,0 КБк/м³, а в зоне разлома Сосны – Семково соответственно – 10,0 КБк/м³.

Допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников излучения, для населения не устанавливается. Снижение облучения населения достигается путем ограничения воздействия отдельных природных источников излучения.

С учётом международного опыта Минздравом РБ установлены следующие контрольные уровни содержания радона в жилых помещениях:

- для вновь строящихся зданий – не более 100 Бк/м³;
- для ранее построенных – не более 200 Бк/м³.

При концентрации радона в воздухе жилых помещений 400 Бк/м³ и более решается вопрос о переселении жильцов из занимаемых помещений.

Принятые нормы установлены, исходя из предположения, что человек проводит в помещении в среднем 80 % времени. Концентрация радона в 20 Бк/м³ создает эффективную эквивалентную дозу в 1 мЗв в год. Из соотношения «риск-экспозиция» следует, что, прожив в помещении с концентрацией радона в воздухе около 200 Бк/м³ всю жизнь (приблизительно 70 лет), человек получит эффективную эквивалентную дозу примерно в 70 мЗв. При этом риск преждевременной смерти в результате стохастических эффектов (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни) составит 2,5 %.

Оценка потенциальной радоноопасности территории проектируемых домов проведена на основании анализа сведений о гидрогеологических и геолого-тектонических условий размещения этих жилых домов (табл. 10).

Таким образом, как следует из данных табл. 10 по большинству оцениваемых показателей степени радоноопасности территории (7 из 9 имеют низкую степень), территория размещения жилой застройки в г. Минске оценивается как имеющая низкую степень радоноопасности. Это означает, что каких-либо специальных мероприятий по ликвидации опасных содержаний радона при эксплуатации построенных домов не

потребуется (при условии соблюдения технологии строительства и правил эксплуатации уже построенных домов и общественных зданий).

Таблица 10

Оценка потенциальной радоноопасности территории размещения
жилой застройки в г. Минске

Наименование оценочного критерия	Фактическое наличие	Степень радоноопасности
Глубина залегания поверхности кристаллического фундамента преимущественно кислого петрографического состава	500 м	Низкая
Расстояние до зоны активного тектонического разлома	1,5 км	Низкая
Особенности сложения горных пород, слагающих осадочный чехол	350 м плотных горных пород (песчаников рифея и венда)	Средняя
Наличие палеоврезов (древних долин и ложбин стока), заполненных хорошо проницаемыми гравийно-песчаными отложениями, при неглубоком (до 200–400 м залегании) поверхности фундамента	Отсутствует	Низкая
Наличие мощных моренных образований, представленных обломочным материалом преимущественно кислых кристаллических пород	Присутствует	Средняя
Сейсмическая активность территории	Низкая	Низкая
Присутствие радона в подземных водах	На уровне фона	Низкая
Наличие данных о содержаниях радона в зданиях и сооружениях, эксплуатируемых на исследуемой территории и в прилегающей зоне	Отсутствуют	Низкая
Высокая степень водообмена, зона высоких скоростей движения подземных вод	Присутствует	Низкая

ГЛАВА 4. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

Моделирование природной среды – формализованное упорядочение её элементов с заданной степенью адекватности отражающее исследуемые природные условия (геопространство). Выделяются следующие уровни экологических моделей: глобальные, национальные, региональные, специальные, детальные, локальные. Основными элементами экологической модели являются: 1) параметры природно-климатических условий и факторов; 2) параметры биоты; 3) параметры основы (почв, грунтов, пород); 4) параметры техногенной нагрузки.

Основным методом отображения результатов экологических исследований является построение различных экологических карт.

Организация и технология при картографическом обеспечении экологических исследований зависят от конкретных решаемых задач, детальности работ, изученности территории, экономических возможностей и ряда других условий. Однако в общем случае можно выделить следующие этапы работ этого направления.

В первую очередь целесообразно провести детальный и всесторонний анализ экологической информативности тематических природных и социально-экономических карт различного масштаба, имеющихся на исследуемую территорию. Это касается карт геологического, геоморфологического и почвенного профиля, а также топографических основ. Информация карт позволит представить структуру экосистем данной территории и оценить характеристики компонентов экосистем, которые определяют естественное состояние геологической среды и её потенциальную реакцию на техногенные воздействия. Сведения о составе поверхностных отложений важны для оценки вертикальной и горизонтальной миграции поверхностного загрязнения, а также для суждения об устойчивости литогенной основы к эрозии и механическим нагрузкам. Особую ценность представляют инженерно-геологические карты, несущие многоплановую информацию о строении природной среды, и гидрогеологические карты, позволяющие судить о защищенности водоносных горизонтов. Аналогичным образом можно использовать геоморфологические и почвенные карты. Априорную информацию о возможном загрязнении и нарушении природной среды несут карты промышленности, транспорта и земельный угодий.

Интерпретация базовых тематических карт должна послужить основой для составления серии специализированных картографических документов, отражающих различные стороны природного потенциала территории. Примерный перечень подобных карт выглядит следующим образом:

- типы инфильтрационных сред;
- типология и кинематика разломов;
- защищенность водоносных горизонтов;
- инженерно-геологические процессы;
- геохимия ландшафтов;
- типы и ареалы техногенного воздействия;
- динамика ландшафтов.

Наиболее сложный и ответственный этап – составление собственно экологических карт. *В зависимости от поставленных задач эти карты могут быть:*

- параметрическими, отражающими закономерности распределения какого-либо параметра экологического состояния геоэкологической среды, например, содержания свинца в почве или нефтепродуктов в подземных водах;
- компонентными дающими комплексную информацию о состоянии рельефа, почв, массивов горных пород или подземных вод;
- комплексными аналитическими, содержащими сведения о многочисленных видах техногенного воздействия и их масштабах;
- комплексными типологическими, на которых дается ранжирование структурных, стратиграфо-генетических или природных комплексов по напряженности экологической обстановки.

Экологическое картографирование требует сбора и систематизации большого материала о загрязнении и нарушении природных комплексов. Принципиально важным следует считать ранжирование критериев экологического состояния и системный подход при районировании территорий по экологической опасности.

Методика проведения экологического районирования и составления экологических карт. По мнению В. И. Осипова, картографированию подлежат «природно-технические системы» – комплексы природных и техногенных объектов, оказывающих взаимное влияние друг на друга. Литовские геологи считают, что методические приёмы геоэкологического картографирования различаются в зависимости от мощности четвертичной толщи. Наиболее интересной и обоснованной представляется точка зрения К. И. Сычёва, в соответствии с которой экологическое картографирование должно быть синтетическим, отражающим техногенные изменения всех компонентов природной среды (почв, зоны аэрации, подземных вод и горных пород) в их взаимосвязи с поверхностной гидросферой, техногенными и природными ландшафтами, а также деятельностью человека (инженерные сооружения и объекты, сброс сточных вод и захоронение отходов, водозаборы, системы орошения или осушения и т. д.).

Следовательно, экологическое картографирование – это картографирование природной среды как многокомпонентного объекта с быстро изменяющимися во времени и пространстве свойствами. Научно-методической основой такого районирования является требование одно-временного отображения: природных экологических закономерностей; источников и характера антропогенных воздействий на природные комплексы; реакции последней на эти воздействия; оценки и прогноза суммарного воздействия природных и антропогенных факторов на экологическое состояние почв и зоны аэрации, подземных вод, горных пород и природную среду в целом как развивающуюся природно-техногенную систему. Отсюда следует, что методика проведения экологического районирования и построения соответствующих карт базируются на технологиях и приёмах проведения специализированной геологической, гидро-геологической или геохимической съёмки. Применяемая геологами методика картографирования геологических процессов дополняется выделением ведущих факторов динамики природной среды, обоснованием параметров выбора критериев оценки геоэкологических условий, а также изучением природных и техногенных трансформаций основных компонентов природной среды.

Основным этапом построения экологической карты и проведения соответствующего районирования является выбор «базовой модели», на основании которой проводится детальная оценка геоэкологической ситуации данного региона. При построении карты обычно используется следующий комплект базовых среднemasштабных моделей: геологическая карта четвертичных отложений, а также карты: геоморфологическая, тектонического районирования, неотектоническая, защищённости грунтовых вод; схема гидрогеологического районирования территории (фрагменты соответствующих карт территории Беларуси). Кроме упомянутых, при проведении районирования используется серия геологических и гидрогеологических карт специального назначения. Дополнительно привлекаются материалы и сведения по изучению современных геологических процессов, а также техногенных трансформаций компонентов геологической среды (атмосферного воздуха, почв, горных пород, поверхностных и подземных вод). Из вышеизложенного следует, что основной принцип геоэкологического районирования состоит в комплексном учёте существующих схем и приёмов регионального, частного и специализированного разделения территории по геоэкологическим условиям.

Выделяются основные факторы динамики природной среды: горно-технический, селитебный, сельскохозяйственный. Значительно увеличивает степень воздействия на геологическую среду складирование (приповерхностное и подземное) промышленных отходов, особенно содержащих токсичные загрязняющие вещества. Вскрытие карьерной выработкой

грунтовых вод, помимо снижения защищённости подземной гидросферы, влечёт нарушение на значительных площадях уровня режима.

Выбор оценочных критериев экологических условий производится из представления о природной среде как сфере обитания человека и объекте его хозяйственной деятельности. Это определяет рассмотрение в качестве ведущих показателей экологических условий состояние трёх природных сред: атмосферного воздуха, грунтов, поверхностных и подземных вод. Для их оценки используются сведения о вещественном составе грунтов, изменении уровня грунтовых вод, степени загрязнения подземных вод и другие характеристики, полученные путём непосредственных измерений и наблюдений, а также косвенные данные: интенсивность водообмена, защищённость подземных вод, модуль техногенной нагрузки и т. д.

В итоге методику составления экологической карты можно проиллюстрировать следующей схемой: факты (сбор информации, имеющейся и специально полученной, отображение её на картах) → анализ и оценка информации (выявление взаимосвязей, обобщение, сопоставление гипотез с фактами) путём создания оценочных экологических карт и карт геоэкологического районирования → картографические модели рационального использования территории (приоритетное использование, регламентация хозяйственной деятельности и т. д.).

4.1. Картографирование экологических ситуаций

В условиях увеличивающихся информационных потоков (не всегда достаточно полных и упорядоченных) о состоянии природной среды, значительного усложнения теоретических и методологических проблем, всё более возрастает роль экологического картографирования. Сущность экологического картографирования состоит в системном анализе результатов экологических исследований, определении ведущих факторов динамики природной среды, выборе оценочных критериев экологических условий, изучении природных и техногенных трансформаций природной среды, оценке геоэкологических параметров территории.

Экологическое картографирование – это процесс создания карт (моделей) экологического содержания по съёмочным материалам и другим источникам информации (графическим, цифровым, текстовым, аэро- и космоснимкам), характеризующим состояние и тенденции изменения геосистем. В результате создаются наглядные высокоинформативные документы, отражающие современное состояние геосистем и служащие основой для прогнозирования техногенных процессов, разработки рекомендаций и мероприятий по их предупреждению. Цель такого картографирования – это создание информационной модели, которая могла бы использоваться для обоснования и организации экологического монито-

ринга, прогнозирования экологических ситуаций в связи с изменением природных условий и интенсификации инженерно-хозяйственной деятельности человека, обоснования управленческих решений и, в конечном счёте, для выбора концепции экономического развития региона и экологической политики.

Под экологической картой понимается картографическое отображение параметров и показателей природной среды и происходящих в ней природных и техногенных процессов, оказывающих влияние на жизнедеятельность человека, среду его обитания и экосистемы. Она фиксирует природную обстановку: общегеологические, геохимические, гидрогеологические, инженерно-геологические и другие закономерности. Экологическая карта является синтетической, отражающей техногенные изменения всех условий и компонентов геосистемы (почв, зоны аэрации, подземных вод и горных пород) в их взаимосвязи с поверхностными водами, техногенными и природными ландшафтами, растительным и природным миром, деятельностью человека.

В основе получения необходимой информации для построения экологической карты лежит системный подход, который заключается в поэтапном решении проблем с помощью представления о системах, взгляд на мир как на комплекс взаимодействующих систем разных порядков, исследование их с помощью познания взаимодействий изучаемой системы с окружающей средой, а затем – частей системы друг с другом. Концепция системного подхода первоначально возникла в биологии и технике, в настоящее время она рассматривается как прогрессивная общенаучная методология, использование которой повышает эффективность исследований.

Начальным технологическим этапом построения экологической карты является выбор оценочных критериев экологических условий. Как правило, в качестве ведущих показателей экологических условий оценивается состояние трёх природных сред: атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод. Анализируются сведения о вещественном составе грунтов, типах почв, растительном покрове, степени суммарного загрязнения почв, изменения уровня грунтовых вод, плотности загрязнения цезием-137 и другие характеристики геосистемы, полученные путём непосредственных измерений и наблюдений. Принимаются во внимание и косвенные данные: интенсивность водообмена, защищённость подземных вод, коэффициент освоённости ландшафтов и др. Комплексный анализ этих сведений позволяет оценить экологическое состояние геосистемы, выделив при этом территории с различной благоприятностью экологической обстановки, что позволяет произвести районирование изученной территории с выделением зон различной интенсивности проявления техногенных процессов.

Назначение и содержание экологических карт определяются прежде всего масштабом картографирования и объектами геоэкологического анализа. Составление таких карт осуществляется на трех уровнях: 1) региональном (мелкомасштабном 1:500000 и мельче), 2) локальном (среднемасштабном 1:200000 – 1:100000) и 3) детальном (крупномасштабном 1:50000 – 1:25000). Мелкомасштабные экологические карты составляются для стабильных в экологическом плане районов, где преобладают устойчивые геосистемы и влияние деятельности человека относительно невелико. Они также могут составляться как обзорные карты для крупных регионов. Основное назначение таких карт – определение общей геоэкологической обстановки, выявление основных факторов и критериев, определяющих изменение геологического строения под влиянием антропогенных процессов. Среднемасштабные карты составляются для районов интенсивного освоения с достаточно широким развитием техногенных процессов. Крупномасштабные экологические карты в первую очередь составляются для районов, где геосистемы резко дестабилизированы. Таким районом является, например, Припятское Полесье с Припятским нефтеносным бассейном. Для условий Припятского нефтеносного бассейна применимо среднемасштабное картографирование, так как исследуемый регион находится под сильным техногенным воздействием.

Информация, отражаемая на экологической карте, делится на три блока, характеризующие ненарушенное состояние природной среды, величину и интенсивность техногенной нагрузки, результаты техногенного воздействия на природную среду. По нашему мнению, основным является блок ненарушенного (естественного) состояния, так как устойчивость природной среды определяет её реакцию на техногенное вмешательство.

При картографировании экологических ситуаций Припятского нефтеносного бассейна нами были использованы карты: защищенности грунтовых вод, карта плотности радионуклидного загрязнения, схема гидрогеологического районирования территории (фрагменты соответствующих карт территории Беларуси) и серия геологических и гидрогеологических карт специального назначения. Для анализа экологической обстановки также привлекались результаты изучения современных геологических процессов.

В соответствии с вышеизложенным следует, что *главный принцип экологического районирования* состоит в комплексном учёте существующих схем и приёмов регионального, частного и специального разделения территории по экологическим условиям.

Согласно с существующими классификациями выделяются основные факторы динамики геосистемы: нефтетехнический, селитебный, сельскохозяйственный. В условиях Припятского Полесья нефтетехниче-

ский является доминирующим, специфически воздействуя на компоненты геосистемы.

Геоэкологическая типизация Припятского Полесья включает в себя оценку геоэкологических условий территории исследований и степень трансформации компонентов геосистемы под воздействием нефтебуровых работ.

Основными оценочными критериями экологических условий региона исследований служат: литологический состав пород и грунтов, уровень грунтовых вод (мощность зоны аэрации), степень защищённости грунтовых вод, активность современных геологических процессов, характер почвенного и растительного покрова. Эти критерии лежат в основе выделения экологических ситуаций различной степени благоприятности.

Нефтяное загрязнение зачастую переносится водными потоками и попадает в глубокозалегающие водоносные и геологические горизонты. В процессе миграции нефтесодержащие вещества оседают на почвенном покрове и достигают водоемов, болотных массивов, рек, расположенных вблизи буровых площадок.

В связи этим важное значение в оценке экологической ситуации в районе исследований приобретают сведения о характере залегания водоносного горизонта грунтовых вод. Поверхностные и подземные (грунтовые) воды являются наиболее подвижным и динамически активным компонентом геосистемы, который легко проникает в другие геокомпоненты или является их составной частью, неся с собой загрязняющие вещества. Общеизвестно, что основная масса нефтяного загрязнения переносится в составе водных смесей.

Грунтовые воды (безнапорные подземные воды постоянно существующего водоносного горизонта, имеющего свободную поверхность, давление на которую равно атмосферному) образуются за счёт инфильтрации атмосферных осадков, поверхностных вод, частичного подтока из нижележащего водоносного горизонта, внутригрунтовой конденсации водяных паров, распространены повсеместно на территории исследований и приурочены к болотным, озёрно-аллювиальным, флювиогляциальным и конечноморным отложениям. Сохранность водоносного горизонта от загрязнения определяется мощностью зоны аэрации. Критериями для определения степени естественной защищённости грунтовых вод является мощность и фильтрационные свойства зоны аэрации, что показано в табл. 11. Чем больше мощность зоны аэрации и ниже фильтрационные свойства слагающих её пород, тем выше степень защищённости и, наоборот, неглубоко залегающие грунтовые воды, заключённые в хорошо водопроницаемых отложениях, могут быть легко загрязнены.

Выделяются несколько градаций степени защищённости водоносности водоносных горизонтов Припятского нефтеносного бассейна.

Таблица 11

Критерии защищённости грунтовых вод Припятского нефтеносного бассейна

Литологический состав пород зоны аэрации	Коэффициент фильтрации, Кф, м/сут	Мощность зоны аэрации, м	Условное время проникновения поверхностного загрязнения, сут.	Степень защищённости
1	2	3	4	5
Торф	0,2–20,0	до 2	до 10–20	Незащищённые
Пески разнотерристые	1,0–10,0			
Торф с прослоями супесей и глинистых песков	0,1–10,0	до 2	до 20–50	Слабо защищённые
Пески разнотерристые с гравием, галькой, прослоям и линзами супесей и суглинков				
Торф с прослоями супесей и глинистых песков				
Песок пылеватый оглеённый				
Супеси и суглинки	0,01–0,1	до 2	до 50–200	Относительно защищённые
Супеси и суглинки с включением гравия и гальки, с прослоями песков				

1	2	3	4	5
Песок разнoзернистый с гравием, галькой, прослоями и линзами супесей и суглинков	0,1–10,0	2–5		
Супеси и суглинки с включением гравия и гальки, с прослоями песков	0,01–0,1			
Песок разнoзернистый с гравием, галькой, прослоями и линзами супесей и суглинков	0,1–10,0	5–10	до 50–200	Защищённые
Супеси и суглинки	0,01–0,1	2–5		
Супеси и суглинки с включением гравия и гальки, с прослоями песков		5–10		
Супеси и суглинки		5–10		
Супеси и суглинки с включением гравия и гальки, с прослоями песков	0,01–0,1	5–10	до 200 и более	
Супеси и суглинки с включением гравия и гальки, с прослоями песков		>10		

Участки с *незащищёнными* грунтовыми водами приурочены к поймам и болотным массивам, сложенным с поверхности хорошо проницаемыми породами. Мощность зоны аэрации от 0 до 2 м, а условное время проникновения поверхностного загрязнения в грунтовые воды не более 20 суток. Участки со *слабо защищёнными* грунтовыми водами встречаются в пределах озёрно-аллювиальной равнины, на речных террасах. Глубина залегания вод не превышает 3 м, а время проникновения с поверхности загрязнения изменяется в пределах 20–50 суток.

Относительно защищённые воды характерны для вторично водноледниковых и моренно-зандровых равнин. Мощность зоны аэрации здесь достигает 5 м, а условное время проникновения загрязнения с поверхности загрязнения изменяется от 50 до 200 суток. *Защищённые* грунтовые воды приурочены к площадям развития моренного и конечно-моренного рельефа, представленного супесчано-суглинистыми породами с низкими коэффициентами фильтрации (время проникновения поллютантов более 200 суток).

Комплексный анализ на основе разработанных оценочных критериев основных природных характеристик рассматриваемого региона позволил оценить экологическое состояние геосистемы, выделив при этом территории с *относительной благоприятностью; неблагоприятной; существенно неблагоприятной и крайне неблагоприятной обстановкой* по природным факторам. Информация дана в табл. 12.

Оценка степени благоприятности проводилась по отношению к преобладающему в регионе виду техногенного воздействия – нефтебуровым работам. В результате разнопланового характера этой техногенной нагрузки образуются природно-техногенные геосистемы, в пределах которых разные природные компоненты изменяются и восстанавливаются в разной степени и с разной скоростью.

Крайне неблагоприятная экологическая обстановка характеризуется наличием ПТК – нерасчлененных комплексов с преобразованием болот, недренированных на торфяно-болотных почвах и пойменных разной степени дренированности на дерновых заболоченных почвах. Их вещественный состав представлен песками, реже супесями и суглинками. Почвы гидроморфные, грунтовые воды незащищенные, глубина залегания от 0 до 2 м. Среди экзогенных процессов здесь преобладает русловая эрозия и заболачивание.

Существенно неблагоприятная экологическая обстановка включает в себя доминирующий ПТК Полесской провинции – аллювиальный террасированный слабо дренированный на дерново-подзолистых заболоченных и дерново-подзолистых почвах. Его вещественный состав складывается из песков, супесей, суглинков и торфа. Почвы гидроморфные, грунтовые воды слабо защищенные и незащищенные с уровнем залегания от 2 до

3 м. Здесь проявляются следующие экзогенные процессы – русловая эрозия, заболачивание, эолообразование, суффозия.

Неблагоприятная экологическая обстановка представлена вторично водноледниковым умеренно дренированным на дерновоподзолистых, реже заболоченных почвах, моренно-зандровым слабо дренированным на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах ПТК. Вещественный состав последних представлен песками, супесями и реже суглинками. Почвы автоморфные, полугидроморфные, реже гидроморфные, грунтовые воды относительно защищённые с уровнем залегания от 3 до 5 м. Экзогенные процессы представлены эолообразованием, плоскостным смывом, заболачиванием, суффозией.

Относительно благоприятная экологическая обстановка характеризуется вторичноморенным умеренно дренированным на дерновоподзолистых, реже заболоченных почвах ПТК. Его вещественный состав складывается супесями и суглинками. Почвы автоморфные, реже полугидроморфные, грунтовые воды защищённые и относительно защищённые с уровнем залегания от 5 до 10 м. Экзогенные процессы представлены суффозией, плоскостным смывом и заболачиванием.

Следующим этапом построения карты является выделение экологических ситуаций разной сложности. Комплексный анализ оценочных критериев основных природных характеристик и имеющаяся экогеоинформация позволили провести ранжирование экологических ситуаций разной степени сложности (табл. 13). Экологическая ситуация – особое свойство геосистемы, возникающее в результате техногенных изменений природных характеристик территории, которое является неблагоприятным (в различной степени) для жизни человека и хозяйственной деятельности.

Наибольшее количество пробуренных глубоких скважин в Припятском прогибе связано с поисками нефти. По геолого-структурным условиям выделены три зоны: Северная, Центральная и Южная. Естественно, что разбуренность территории связана с её нефтеносностью. По степени нарушения геосистемы при поиске, разведке, добычи нефти выделяются геоэкологические ситуации разной сложности, в зависимости от количества проявившихся проблем: 1) чрезвычайно сложные (Северная тектоническая зона); 2) сложная (Центральная тектоническая зона); 3) простая (Южная тектоническая зона).

Критерии оценки экологических условий территории Припятского нефтеносного бассейна
(по природным факторам)

ПТК (род)	Вторичноморенный умеренно дренированный на дерново-подзолистых, реже заболоченных почвах	Вторичный водно-ледниковый умеренно дренированный на дерново-подзолистых, реже заболоченных почвах; морено-зандровый слабо дренированный на дерново-подзолистых, реже заболоченных почвах	Аллювиальный террасированный слабо дренированный на дерново-подзолистых заболоченных почвах и дерново-подзолистых почвах	Нерасчлененные комплексы, с преобладанием болот, недренированные на торфяно-болотных почвах; пойменные разной степени дренированности на дерновых заболоченных почвах
1	2	3	4	5
Вещественный состав (балл)	Супеси, суглинки (4)	Пески, супеси, реже суглинки (3)	Пески, супеси, суглинки, торф (2)	Пески, реже супеси, суглинки (1)
Экогенные процессы, К (балл)	Суффозия, плоскостной смыв, заболачивание 0,05–0,10 (4)	Эолообразование, плоскостной смыв, заболачивание, суффозия 0,10–0,25 (3)	Русловая эрозия, заболачивание, эолообразование, суффозия 0,25–0,5 (2)	Русловая эрозия, заболачивание, более > 0,50(1)
Степень неотектонической активности, мм/год (балл)	Относительная стабильность, 1–2 (4)	Слабая активизация, 2–5 (3)	Слабая и умеренная активизация, 5–10 (2)	Умеренная активизация, 10–15 (1)
Уровень грунтовых вод, м (балл)	5–10 (4)	3–5 (3)	Преобладают участками 0–2 (2)	0–2 (1)
Степень защищенности грунтовых вод (балл)	Защищенные, относительно защищенные (4)	Относительно защищенные (3)	Слабо защищенные, незащищенные (2)	Незащищенные (1)
Почвы (балл)	Автоморфные, реже полугидроморфные (3)	Автоморфные, полугидроморфные, реже гидроморфные (2)	Гидроморфные (1)	Гидроморфные (1)

Продолжение табл. 12

1	2	3	4	5
Растительный покров	Широколиственно-еловые, зеленомошно-кисличные, сосновые кустарничково-зеленомошные леса	Сосновые кустарничково-зеленомошные, широколиственно-сосновые орляково-зеленомошно-кисличные, дубово-грабово-орляково-черничные леса; широколиственно-еловые зеленомошно-кисличные леса, дубравы кисличные и снытевые	Широколиственно-сосновые орляково-зеленомошно-кисличные и дубовые грабово-снытево-кисличные леса	Низинные разнотравно-злаково-осоковые и типно-осоковые болота, черноольховые травяно-осоковые и пушисто-березовые леса; злаковые гидро-мезофитные, реже злаковые настоящие, крупнотраваковые мезогидрофитные и злаковые остепненные луга
Геоэкологическая обстановка (сумма баллов)	Относительно благоприятная (23)	Неблагоприятная (17)	Существенно-неблагоприятная (11)	Крайне неблагоприятная (6)

Таблица 13

Показатели техногенного воздействия на природные компоненты Припятского нефтяного бассейна

Параметр		Зона		
		Северная тектоническая	Центральная тектоническая	Южная тектоническая
Площадь зоны, км ²		11 112	11 708	9952
Количество глубоких скважин		1276	486	170
Плотность скважин, 1 скв./км ²		9	24	58
Количество месторождений нефти		57	5	0
Источники загрязнения		РП ¹ , ДУ ² НС	БО ² бр, УП бр.	ЦС ³ , С, ГСМ, А, Р, О, ТП
Загрязняющие вещества		Пи Пж ⁴ , БШ, БСВ, НП	ПАВ ⁴ , Ут, ХР, Р, Ц	ВнЭ ⁴ , ИК, Б, Г и т. д.
Процессы преобразования геокомпонентов и их реакция	Плотность загрязнения цезий-137, Ки/км ²		Реакция геокомпонентов Тр ⁶ , ГЗ, ИГ У	3 П и Под в, УМ Под в.
	Минерализация		1	1–40
	Почво-грунты	>10–20 ПДК		<5 ПДК
		>10–20 ПДК		<5 ПДК
	Подземные воды	>10–20 ПДК		<5 ПДК
		>20–40 ПДК		<10 ПДК
Поверхностные воды	Минерализация		10–20 ПДК	<10 ПДК
	Нефтепродукты		10–25 ПДК	<5 ПДК
			10–25 ПДК	<5 ПДК
Баллы		1–2	3–5	5–8
Категория геоэкологической сложности территории		Чрезвычайно сложная	Сложная	Простая

Примечание. 1. РП – рабочая площадка буровой вышки; ДУ – дизельные установки; НС – насосная группа. 2. БО бр – блок очистки буровых растворов; УП бр – узел приготовления буровых растворов. 3. ЦС – циркуляционная система; С ГСМ – склады ГСМ; А, Р, О, ТП – амбары, резервуары, отстойники, трубопроводы. 4. Пи Пж – пластовые и промышленные жидкости; БШ – буровые шлама; БСВ – буровые сточные воды; НП – нефтепродукты; ПАВ, Ут. – утилизаторы; ХР – химические реагенты; Р – рассолы; Ц – цементы; Вн Э – водонефтяная эмульсия; ИК – ингибиторы коррозии; Б – барит; Г – графит. 5. Процессы преобразования: Гео.м. – геомеханические; Гид. – гидрологические; Гид.г. – гидрогеологические; Физ.мех. – физико-механические. 6. Тр – техногенный рельеф; ГЗ – геохимическое загрязнение; ИГ У – изменение гидрогеологических условий; 3 П и Под в. – загрязнение поверхностных и подземных вод; УМ Под в – увеличение минерализации подземных вод.

Чрезвычайно сложная ситуация – Северная тектоническая зона.

Территория зоны занимает площадь 11 112 км². На ней пробурено 1276 скважин на нефть. Средняя плотность пробуренных скважин составляет 1 скважина на 8,7 км² площади. Под бурение скважин было отчуждено 3891,8 га земли. Территория подверглась последствиям техногенной катастрофы 1986 года аварии на Чернобыльской АЭС. Уровень загрязнения цезием – 137 составляет 1 Ки/км², реже выше. В связи с геологическими особенностями формирования нефтегазовых залежей скважины расположены вдоль тектонических разломов и протягиваются в субширотном направлении. В этой зоне большая часть скважин пробурена до глубины более 3000 м, 115 скважин пройдены на глубину свыше 4000 м. Две скважины превзошли рубеж 5000 м (Светлогорская № 1 – 5152 м; Речицкая № 93 – 5010 м). Глубокие скважины вошли в кристаллический фундамент.

На территории тектонической зоны сосредоточены практически все крупные месторождения нефти, открытые в Припятском прогибе. По природным условиям территория зоны по уровню геоэкологической обстановки представлена мозаично. К условиям крайне неблагоприятной и существенно неблагоприятной обстановки по природным факторам относятся такие месторождения, как: Хуторское, Сосновское, Ю.-Сосновское, Чкаловское, Осташковичское, Ю.-Осташковичское, Тишковское, Озерщинское, З.-Александровское, Александровское, Ю.-Александровское, Борщёвское, Красносельское, Ветхинское, Речицкое, Судовицкие, Ю.-Оземлинское, В.-Дроздовское, Борисовское и др.

Неблагоприятная обстановка характерна для территории размещения месторождений: Березинского, С.-Домановичского, Вишанского, Полесского, Мармовичского, Давыдовского, Оземлинского, В.-Первомайского, Первомайского, Дубровского, Елизаровского и др. Также в этой зоне расположены поисковые и разведочные площади которые расположены в неблагоприятной геоэкологической обстановке с разной степенью интенсивности: Ю.-Дроздовская, Глухая, Холопинская, Ковчицкое, Ю.-Ковчицкое, Сев.-Чернинское, Ю.-Кнышевическое, Сев.-Калиновское, Кормянское, Шатилковское, Боровиковское, Осовское и др.

Присутствие в северной тектонической зоне основного числа нефтяных месторождений активизирует ряд процессов, способствующих преобразованию геокомпонентов. Эти процессы (геохимические, гидрологические, гидрогеологические, физико-механические) вызывают формирование техногенных форм рельефа, геохимическое загрязнение почв, загрязнение поверхностных и увеличение минерализации подземных вод, изменение гидрогеологических условий территории.

Сложная экологическая ситуация – Центральная тектоническая зона.

Территория зоны занимает площадь 11 708 км², здесь пробурено 486 скважин различного назначения на нефть. Средняя плотность пробуренных скважин составляет 1 скважина на 24,1 км². Под устройство буровых скважин было использовано 1482,3 га земли. Эта территория подвержена радиационному загрязнению (Cs-137 от 1 до 40 Ки/км²). Скважины распределены по территории зоны, однако, естественно преобладают в районах месторождений. По глубине скважины на этой территории распределились следующим образом: – свыше 4000 м – на севере и юге зоны, от 3000 до 4000 м на юге и в центре, от 2000 до 3000 м – по периметру описываемой территории. 56 скважин превзошли рубеж 4000 м, преобладают скважины глубиной более 3000 м. Наиболее глубокой являются Малодушинская скважина № 20 – 5250 м.

Месторождения, открытые на этой территории (Малодушинское, Барсуковское, Кербецкое, Надвинское, Комаровичское), расположены в контурах крайне и существенно неблагоприятной обстановки. Поисковые и разведочные площади расположены в границах неблагоприятной обстановки (Зареченская, Червоно-Слободская, Савичская, Бобровицкая, Петриковская, Руднянская, Баженовская и др.).

Здесь протекают те же процессы преобразования геокомпонентов, что и в Северной тектонической зоне.

Простая экологическая ситуация – Южная тектоническая зона.

Территория зоны занимает площадь 9952 км². На ней пробурено 170 скважин различного назначения. Средняя плотность пробуренных скважин составляет 1 скважина на 58,5 км². На этом участке территории наиболее высокий уровень радиоактивного загрязнения (плотность по Cs-137, от 1 и более 40 Ки/км²).

В результате нефтебуровых работ было использовано 518,5 га земли. Скважины в зоне размещаются не равномерно, наибольшее их количество приурочено к центральной части территории (Ельская площадь). Большая часть скважин имеет глубину 2000 – 3000; 16 скважин – более 4000 м. В пределах зоны две скважины имеют глубину свыше 5000 м (Гребенёвская № 1 – 5270 м и Ельская № 28 – 5100). Месторождений нефти на этой территории не выявлено.

Большинство поисковых и разведочных площадей (Зап.-Софиевская, Николаевская, Н.-Руднянская, Валавская, Анисимовская, Лельчицкая, Великопольская, Симоновичская, Стреличевская, В.-Выступовичская, В.-Ельская, Тульговичская, Конотопская, Оревичская, Радомлянская, Антоновская, Желоньская, Карповичская, Вопровская) этой зоны расположены в контурах крайне и существенно неблагоприятной природной ситуации для проведения нефтебуровых работ. Другие (Ельская, Заозёрная, Кустовницкая, Никуличская, Мокишская, З.-Валавская, Ольховская, Гребенёвская, Ю.-Валавская, Скороднинская, Выступовичская и др.) распо-

ложены в контуре неблагоприятной ситуации. В южной тектонической зоне присутствуют те же процессы преобразования геокомпонентов, что были описаны для двух предыдущих зон.

Предложенная типизация устанавливает, что наиболее опасными процессами при взаимодействии геосистемы и техносферы являются: загрязнение поверхностных и подземных вод, почв, грунтов, изменения гидрогеологических условий, рельефа, состояния и свойств пород, геодинамической ситуации.

Наиболее разбуренная тектоническая зона из трёх это Северная. На территории зоны большая часть скважин пробурена до отметки более 3000 м, 115 скважин – на глубину свыше 4000 м. Две скважины достигли глубины свыше 5000 м (Светлогорская № 1 – 5152 м, Речицкая № 93 – 5010 м). Количество скважин, превышающих глубину 4000 м, больше чем в двух других зонах вместе взятых. На территории Северной тектонической зоны сосредоточены все крупные месторождения нефти, открытые в Припятском нефтеносном бассейне. Таким образом, здесь наиболее остро проявляются процессы преобразования геокомпонентов вызванные проведением геолого-разведочных работ и добычи нефти. Средняя плотность пробуренных скважин составляет одна скважина на 9 км², что в несколько раз больше, чем в Центральной и Южной тектонических зонах. Воздействия на природные геокомпоненты буровыми работами Северной тектонической зоны по большинству показателей техногенной нагрузки являются наиболее значительными. Поэтому эта зона получила категорию – чрезвычайно сложной геоэкологической ситуации, центральная зона – сложной геоэкологической ситуации, южная зона – простой геоэкологической ситуации.

4.2. Структура и комплексный характер применения методов экологических исследований

Раздельное рассмотрение основных методов решения экологических задач следует считать условным. На практике эти методы либо образуют звенья единой технологической цепи, либо используются совместно, дополняя друг друга. Общие предпосылки проведения экологических исследований в связи с ресурсно-экологическими проблемами излагаются ниже.

Между проблемами экологии и смежными с ней комплексными проблемами изучения, оценки и развития территорий существуют сложные и многосторонние связи. Значение наиболее важных проблем для решения задач экологии можно кратко сформулировать следующим образом.

1. Региональные системы природопользования, их технология, развитие и экологические последствия. Предопределяют всю совокупность

техногенных воздействий на природную среду, отражают взаимодействие человека и природы. Анализ проблем природопользования – ключ к объективной оценке состояния среды как основы экосистем.

2. Разработка стратегии устойчивого развития предусматривает обобщение обширного материала природно-экологического и социально-экономического содержания. Это стимулирует разноплановые исследования в рамках аспектов геоэкологии.

3. Реализация программ комплексного экологического мониторинга на государственном и региональном уровне требует получения оперативной информации о состоянии природной среды, включения этой информации в базу данных информационно-аналитических центров, контролирующей работу систем мониторинга.

4. Разработка и внедрение программ природоохранных мероприятий базируется, в том числе и на информации о состоянии геологической среды, причинах и опасности эколого-геологических ситуаций. Планы работ по рекультивации сильно нарушенных природных комплексов базируются на данных о типах и масштабах техногенного воздействия на геологическую среду и о последствиях этого воздействия.

Раскрыв значение перечисленных проблем для экологии, рассмотрим обратные связи, а именно важность оценки состояния природной среды для решения актуальных комплексных проблем настоящего времени.

Исследование систем природопользования включает следующие аспекты:

- анализ предпосылок их появления и развития;
- изучение технологических и организационных особенностей систем;
- оценка экологических последствий;
- выводы и рекомендации по оптимизации систем природопользования.

Основными задачами экологических исследований являются: выделение и типизация природных и техногенных объектов, выявление функциональных взаимосвязей между ними; определение реакции геологической среды на воздействие природных (неотектонических, сейсмических, инженерно-геологических и др.) и техногенных процессов; прогноз динамики геологической среды в условиях техногенеза; разработка рекомендаций по предупреждению негативных инженерно-геологических и экологических последствий. Объектами изучения являются природные и техногенные элементы геологической среды, обособленные пространственно и функционально, а также обладающие общими физико-химическими свойствами, сходной реакцией на воздействия, оказывающие однотипное влияние на экологическую обстановку. В процессе ра-

бот оценивается состояние горных пород, подземных вод, почв, рельефа земной поверхности, изучаются их трансформации под влиянием элементов техногенеза (карьеры, отвалы пород, гидромелиоративные объекты и др.).

Результаты исследований в области экологии имеют значение для всех указанных аспектов. Природно-техногенные особенности среды и её состояние могут рассматриваться как важные предпосылки природопользования. Для использования ресурсов недр важно состояние месторождений и подземных вод, для землепользования необходимы сведения о состоянии рельефа и почв. В целях транспортного и строительного освоения территорий используется информация о рельефе, грунтах и инженерно-геологических процессах. Реализация систем природопользования в последнее время всё больше зависит от экологической обстановки, в том числе от состояния геологической среды. В значительной мере от этого зависят ресурсосберегающие технологии, почвозащитные севообороты, безотходное производство. Наконец, анализ экологических последствий систем природопользования не в последнюю очередь является задачей экологии. Оценка состояния среды лежит в основе разработки систем защиты почв, поверхностных и подземных вод. Можно сказать, что чем менее совершенны системы природопользования и более опасны их экологические последствия, тем теснее зависимость природопользования от достижений геоэкологии.

Стратегия устойчивого развития, её программы государственного и регионального уровней базируются на критериях или показателях, характеризующих качество жизни, уровень экономического развития, экологическое благополучие. Отдельная группа подобных критериев касается состояния природной среды. К ним относятся показатели нарушенности и загрязнения почв, рельефа, горных пород и подземных вод. Роль этих показателей особенно велика для селитебного, промышленного, транспортного и сельскохозяйственного освоения. Региональная специфика предопределяет их важность для реализации программ устойчивого развития. С этой точки зрения большую роль должны играть экологические карты, отражающие дифференциацию территории по состоянию природной среды и её устойчивости к техногенезу.

Экологические исследования проводятся с целью оценки состояния приповерхностной части литосферы, прогнозирования ее изменений под совокупным воздействием природных и техногенных факторов, планирования комплекса мероприятий по рациональному недропользованию и охране геологической среды. В зависимости от необходимой детальности изучения территории такие виды работ выполняются соответственно в мелком (1:1 000 000 – 1:500 000), среднем (1:200 000 – 1:100 000) и крупном (1:50 000 – 1:25 000) масштабах. Подобные исследования осуществляются

в пределах отдельных экономических регионов, территориально-промышленных комплексов, городских агломераций, районов эксплуатации месторождений полезных ископаемых. Выбор объектов определяется народнохозяйственными интересами и интенсивностью техногенной нагрузки на природную среду.

При проведении экологических исследований широко используются материалы геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, ландшафтно-геохимических и других съемок, позволяющих в совокупности оценить экологическое состояние природной среды. Для изучения процессов изменения верхней части литосферы в ретроспективе высокой информативностью отличаются аэро- и космические снимки. По данным дистанционного зондирования составляются оперативные карты эколого-геологического содержания.

Экологические исследования выполняются на протяжении подготовительного, полевого и камерального (окончательного) периодов. В подготовительный период осуществляется сбор и анализ фактологического (литературного, фондового) материала, освещающего состояние геологической среды. Изучаются сведения о способах добычи и переработки полезных ископаемых, техногенных объектах, предварительно оценивается экологическая обстановка. В рассматриваемый период проводится предварительное дешифрирование материалов дистанционных съемок, в комплект которых входят: аэро- и космические изображения земной поверхности, полученные в масштабах 1:200000 – 1:25000 и крупнее, в видимом, инфракрасном и радиоволновом спектральных диапазонах. Для повышения надежности дешифрирования и наиболее полного извлечения информации осуществляется оптико-электронная обработка снимков, синтезирование и преобразование изображений. В результате подготовительных работ составляется предварительная эколого-геологическая карта, выделяются ключевые (опорные) участки, планируется сеть наземных и аэровизуальных маршрутов, точек опробования почв, горных пород и подземных вод.

В полевой период изучаются природные и техногенные объекты, определяющие экологическую обстановку. Первоочередными ключевыми участками проведения исследований являются площади интенсивного техногенного воздействия на геологическую среду, в пределах которых отмечаются неблагоприятные экологические ситуации. Объем и состав полевых работ варьирует в зависимости от строения геологической среды, особенностей проявления природных процессов, типа техногенных нагрузок и характера обусловленных ими изменений среды. В ходе исследований осуществляются геохимическое, биохимическое, гидрогеохимическое и минералогическое опробование, геофизические, горно-буровые работы, наземные и аэровизуальные наблюдения, дешифриро-

вание аэро- и космических снимков. При этом важнейшим видом полевых работ являются геохимические исследования, позволяющие определить полноту переработки добываемого минерального сырья, состав техногенных аномалий, их границы, пути и скорости миграции элементов загрязнения. Целесообразность того или иного метода, плотность сети опробования, схема расположения горных выработок определяются с учетом размеров исследуемых природных и техногенных объектов, характера преобладающих процессов и необходимой детальности их изучения. Неоднократные наблюдения и измерения параметров геологической среды (форм проявления экзогенных процессов, уровня режима подземных вод и др.) позволяют установить количественные показатели геоэкологической обстановки. В результате полевых исследований уточняется предварительная геоэкологическая карта и составляются сходные по содержанию, но более крупного масштаба карты ключевых участков. Кроме того, выделяются объекты для последующей организации и ведения мониторинга геологической среды.

В камеральный период весь собранный фактологический материал обобщается и систематизируется. Особое внимание уделяется построению окончательного варианта геоэкологической карты на основе комплексного анализа результатов дешифрирования аэро- и космических снимков, наземных наблюдений и полевого опробования. Важнейшей частью камеральных работ является создание информационного банка данных, обеспечивающего получение оперативных сведений о состоянии геоэкологической среды в пределах региона. Для этих целей применяются ГИС-технологии, позволяющие использовать собранные материалы на любом уровне обобщения, подключать отдельные блоки информации к отраслевому либо республиканскому центру хранения экологических данных и к службе мониторинга природной среды.

4.3. Понятие о экологических ситуациях

Различные факторы техногенного воздействия приводят к нарушению естественного экологического состояния среды или к загрязнению ее компонентов, прежде всего почв, подземных вод и атмосферы.

Нарушенность природной среды обусловлена физическим (механическим, гидродинамическим и т. п.) воздействием на компоненты природных комплексов, при котором они деформируются и способствуют развитию неблагоприятных, часто опасных явлений. На примере систем разработки месторождений полезных ископаемых можно получить представление об основных процессах и явлениях подобного рода (табл. 14).

Таблица 14

Добыча полезных ископаемых и нарушение природной среды

Системы разработки месторождений полезных ископаемых	Инженерно-хозяйственное воздействие на среду и его последствия	Геоэкологические процессы и явления
Открытые горные работы (карьеры)	Строительство карьеров, изменение напряженного состояния массива, создание отвалов пустой породы Осушение карьеров, изменение режима подземных вод	Деформация в бортах карьеров: оползни, осыпания и др., изменение ландшафтов, деформации откосов, отвалов и подстилающих пород. Иссущение территории, активизация карста, фильтрационное уплотнение грунтов
Подземная (шахтная) разработка	Строительство шахт и других подземных выработок. Изменение напряженного состояния массива, создание отвалов пустой породы. Осушение месторождения, изменения режима и состава подземных вод. Вентиляция выработок. Изменение температурного режима	Деформация в горных выработках, карст, изменение мерзлотных условий. Оседание земной поверхности и провалы на ней. Иссущение территории, фильтрационное уплотнение грунтов, прорывы плавунов, активизация карстовых и суффозионных процессов. Активизация мерзлотных процессов. Активизация физико-химических процессов – окисление, выщелачивание
Извлечение полезного ископаемого скважинами – нефть, газ	Изменение напряженного состояния массива. Изменение гидрогеологических условий	Оседание и провалы земной поверхности. Активизация карстовых процессов, загрязнение подземных вод
Подземная переработка полезного ископаемого (газификация угля, выплавка серы, выщелачивание солей)	Изменение напряженного состояния массива. Изменение гидрогеологических условий. Изменение температурного поля	Оседание и провалы земной поверхности. Оползневые деформации на склонах. Активизация карстово-суффозионных процессов

Изъятие и перемещение больших объемов горных пород обусловлено тем, что объемы полезного ископаемого по отношению к массам извлекаемой породы невелики. Для железа и алюминия это 15–30 %, свинца и меди примерно 1 %, серебра и олова – 0,01 %, а для золота и платины – 0,00001 %. В связи с этим внушительны объемы отвалов, которые в мировом масштабе равны для рудных ископаемых более 1200 км³, нерудных около 100 и топливных около 300 км³. Открытая разработка минерального сырья в среднем в 3–4 раза дешевле шахтной, поэтому доля карьерной добычи равна 70 %. В среднем карьеры углубляются на 5–10 м/год, их максимальные глубины равны 500–700 м, высоты отвалов и терриконов часто превышают 100 м. Таким образом, амплитуды техногенного рельефа приближаются к 1 км. Открытыми разработками полезных ископаемых нарушены сотни тысяч гектаров земли, на которых образовались своеобразные карьерно-отвальные ландшафты.

Откачка воды из карьеров, необходимая для создания условий разработки месторождений, вызывает ряд сложных процессов на днищах и склонах карьеров. Снятие напряжения в породах (релаксация) при углублении карьеров приводит к образованию зон разуплотнения пород. В этих зонах увеличиваются трещиноватость или пористость, активизируются процессы растворения, суффозии, гравитационного смещения и оползания. Мощность зоны разуплотнения достигает в магматических породах 15 м, в карбонатных 20–30 м, а в песчаниках и сланцах 50 м. Перечисленные выше процессы максимально проявляются в глинистых породах. Обнажение пород в стенах карьеров активизирует процессы их выветривания, которое по мере сноса материала может охватывать все новые объемы пород. Скорости техногенного выветривания пород – 0,3–1,7 м/год, а его признаки иногда проявляются уже в первые дни. Выветривание и разуплотнение – активные факторы отступления и выполаживания стенок карьеров.

Отток подземных вод к карьерам создает обширные депрессионные воронки (зоны снижения уровней водоносных горизонтов). Их диаметры достигают 15 км, площади 200–300 км, а снижение уровней подземных вод при откачках составляют 300–400 м. Истощение грунтовых вод и осушение поверхностных горизонтов влияют на состояние почвенно-растительного покрова, поверхностный сток, то есть обуславливают общую трансформацию ландшафта. Помимо этого в случае наличия карбонатных пород значительно активизируются процессы карстообразования. Причины этого – вынос заполнителя и раскрытие карстовых полостей, нарушение равновесия в массивах пород, усиление вертикального водообмена. Наибольшей активностью отличаются процессы карстообразования в соленосных отложениях на месторождениях Солигорского горно-

промышленного района. Проходка шахтных стволов и скважин приводит к соединению и перераспределению вод между ранее разобщенными водоносными горизонтами, к прорывам мощных потоков воды в туннели, забои, продуктивные пласты. Уплотнение пород под совместным влиянием осушения и веса массивных инженерных сооружений является причиной понижения поверхности на значительных площадках. Средние радиусы воронок прогибания равны 50–120 м от периметров сооружений. Нагрузки от сооружений распространяются до глубин 50 м и более.

Влияние техногенеза на рельеф является региональным фактором, охватывающим огромные площади. Это в основном нивелировка и моделирование поверхности земной коры в результате планировки застраиваемых площадей, сельскохозяйственной обработки и плоскостного смыва почв. На ограниченных площадях техногенное влияние приводит к увеличению дифференциации рельефа, созданию крупных форм. Сходные явления наблюдаются на территории Беларуси (Солигорский промрайон, Микашевичское и Глушковичское месторождения строительного камня, карьер по добыче доломитов «Руба» и др.)

Влияние инженерных комплексов на природную среду влечет за собой глубокую перестройку совокупности инженерно-геологических процессов (табл. 15). При этом наблюдается активизация или проявление одних процессов и затухание или исчезновение других. Прежде всего меняется картина миграции веществ на поверхности грунтов, происходит изменение типа, направления и скорости их перемещения. Обнажение значительных площадей создает условия для активного плоскостного смыва, развития делювиальных процессов на месте слабых дефлювиальных. При значительных уклонах и благоприятных литологических условиях возникают предпосылки для появления промоин, а затем и оврагов. Подобные процессы особенно активны на стенках карьеров, склонах терриконов, откосов насыпей и дамб. Изменения водности, режима стока и мутности водотоков кардинально меняют характер русловых эрозионно-аккумулятивных процессов. Обезлесение и подрезка склонов на площадях горных рудников благоприятствует обвальнo-осыпным и лавинно-селевым процессам. Особенно активны склоновые смещения на отвалах, дамбах и терриконах в случае их сложения из глинистых грунтов.

Строительство линейных сооружений оказывает влияние на движение грунтовых вод, вызывает заболачивание и подтапливание вдоль насыпей и трасс трубопроводов. В районах многолетнемерзлотных пород активизируются процессы растепления грунтов, солифлюкции, наледообразования, термокарста.

**Экологические процессы при строительстве
и эксплуатации наземных сооружений**

Действующие факторы (природные и вызванные инженерной деятельностью)	Геоэкологические процессы при строительстве	Геоэкологические процессы при эксплуатации
Климатические	Выветривание дна откосов строительных выемок	Выветривание откосов постоянных выемок и материала сооружений
Напряженное состояние пород в массиве	Разуплотнение дна и откосов строительных выемок	Уплотнение пород оснований под нагрузкой сооружений
Сила тяжести	Гравитационные процессы в котлованах и на склонах, примыкающих к стройплощадке	Наведенные землетрясения
Поверхностные воды	Эрозия в водотоках, плоскостная эрозия, насыщение массива пород водой	Гравитационные процессы на склонах, примыкающих к сооружению, и в откосах постоянных выемок
Режим подземных вод, фильтрационный поток	Выщелачивание, фильтрационные деформации: суффозия, подземная эрозия, напорно-силовые деформации	Переформирование берегов водохранилищ, эрозия в каналах, подтепление, кольматация
Температурный режим массива пород под действием сооружений	Промораживание, растепление	Выщелачивание, подтепление, просадки, заболачивание, кольматация трещин и полостей
Сейсмическое воздействие		Растепление и промораживание

Непрерывное увеличение площадей нарушенных земель в районах добычи полезных ископаемых требует разработки оперативной и эффективной системы рекультивации. Мероприятия по восстановлению природного потенциала следует проводить с учетом зональных или поясных особенностей местности и биологического потенциала ландшафта, глубины и площади трансформации природной среды. Важно также целевое назначение рекультивации, то есть будущее использование земель – селитебное сельскохозяйственное, рекреационное. Зависимость мероприя-

тий по рекультивации от конкретных условий связана с тем, что площади горнопромышленного освоения состоят из нескольких зон:

- очаговой зоны с необратимыми изменениями природной среды – это территория непосредственно промышленных объектов;
- сильного влияния с уничтожением растительности и нарушением водного режима, почв и грунтов, где восстановление затруднено, но возможно;
- среднего влияния с угнетением отдельных видов растительности, прежде всего мхов, лишайников и в меньшей степени травянистых и древесно-кустарниковых видов;
- слабого влияния с локальными и несущественными изменениями, мало отличными от фона.

Рекультивация отвалов должна проводиться с учетом их состава путем выбора наиболее устойчивых для конкретного случая растений. Основные виды очищения почв, загрязненных нефтью – аэрация, улучшение состава поглощающего комплекса, активная фитомелиорация. Важную роль играет внесение фосфорных удобрений, известкование. Не рекомендуется внесение органики, которая увеличивает дефицит кислорода. Сжигание и захоронение нефти также увеличивает сроки очищения почв.

Разработка экологобезопасных технологий добычи, транспорта и переработки полезных ископаемых, мероприятий по охране и рекультивации природных комплексов требует организации экологического мониторинга, т. е. системы регулярных наблюдений за состоянием природной среды. Служба мониторинга базируется на материалах отражающих современное состояние компонентов природной среды, функционирование всех элементов промышленных комплексов, опыт и перспективы освоения месторождений.

Загрязнение природной среды, в отличие от нарушенности, редко бывает «физиономичным», то есть внешне заметным. Поэтому для его обнаружения и оценки используются главным образом аналитические, полевые или лабораторные методы. Основные пути загрязнения горных пород и подземных вод идут от внешних оболочек Земли: атмосферы, поверхностных вод, почв и даже растительности. Реже загрязнение непосредственно попадает на значительные глубины (закачка газов, воды, буровых растворов или поверхностно-активных веществ, захоронение отравляющих веществ или радиоактивных отходов). В целом пространственно-временные закономерности распределения загрязнителей в породах очень сложны, так как имеет место совокупное влияние многих источников воздействия, а так же миграция загрязнения, зависящая от геологических и гидрогеологических условий территории и от характера подземного сооружения (шахты, скважины, хранилища). На региональ-

ном уровне загрязнение литосферы во многом зависит от фонового состояния внешних оболочек. На локальном уровне наибольшее значение имеет воздействие крупных промышленных комплексов, городов, объектов складирования или захоронения отходов. Заслуживают внимания и локальные зоны загрязнения, связанные с трубопроводами и с транспортными коммуникациями.

На территориях, где находятся предприятия горнодобывающего комплекса, наблюдается активное поступление в атмосферу, а затем и в геологическую среду углеводородов и пылеватых частиц. Окислы серы и азота, образующие в атмосфере кислоты, способствуют повышенному закислению почв и грунтов. Для выбросов химических предприятий характерно значительное содержание аммиака, хлора сероуглерода, сероводорода, а также таких высокотоксичных соединений как пятиокись ванадия, ацетон, толуол, бензол. Через сточные воды от химических предприятий в геологическую среду попадают фенол, анилин и металлы – медь, цинк, ванадий, никель.

Почвы и поверхностные отложения в нефтедобывающих районах подвергаются воздействию многих загрязнителей, среди которых одним их основных является нефть. Загрязненные нефтью почвы испытывают сложные необратимые изменения. В почво-грунтах возрастает общее количество органического углерода, битуминозных веществ и полициклических ароматических углеводородов. Ухудшение водно-воздушного режима идет за счет диспергирования частиц грунта и гидрофобных свойств нефти. Уменьшается содержание водно-растительных углеводородов, водно-растительного органического вещества, свободных гуминовых кислот. В то же время общие запасы органического вещества, тип гумуса и его распределение по профилю меняются мало. Важные последствия нефтяного загрязнения – битуминизация, изменение почвенного поглощающего комплекса, внедрение ионов натрия и развитие солонцового процесса. Хозяйственное использование почв, загрязненных нефтью, возможно только через 15–20 лет. Среди других загрязнителей почвы и грунтов можно назвать тяжелые металлы, соединения серы, фосфора, азота. При этом одни из них обладают пониженной миграцией, накапливаются в подстилке и верхних горизонтах – металлы, соединения фосфора, органические компоненты, пыль, а другие мигрируют по профилю почвы достигая горизонтов подземных вод – например, соединения азота и серы.

Бурение скважин при разведке и эксплуатации месторождений сопровождается сооружением котлованов-отстойников, где накапливаются отходы бурения – нефтепродукты, химреагенты, минеральные соли. Загрязняя поверхность, эти соединения фильтруются в грунты и путем горизонтальной миграции могут распространяться на большие расстояния.

ГЛАВА 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ И ЛИТОСФЕРЫ

5.1. Структура и почвы земельного фонда Беларуси

Земельные ресурсы и их важнейший компонент – почвы являются основным природным и национальным богатством Беларуси, от эффективности использования и охраны которого во многом зависит экологическая ситуация в стране. Специфическая черта земли заключается в ее многофункциональности. Земля является всеобщим материальным условием производства, служит пространством для размещения отраслей хозяйственного комплекса, поселений, инфраструктуры, ведения сельского и лесного хозяйства, выступает составной и неотъемлемой частью природных систем. Слагающие её почвы обладают уникальным свойством плодородия – способностью производить биомассу. Сохранение почвы и ее рациональное использование является одним из приоритетных направлений природоохранной политики в Беларуси.

На территории Беларуси имеются разнообразные типы почв: *дерново-подзолистые, дерново-подзолисто-заболоченные, дерновые и дерново-карбонатные, дерновые и дерново-карбонатные заболоченные, торфяно-болотные и пойменные (аллювиальные)*. Их гранулометрический состав различается, что обусловлено многообразием генезиса почвообразующих пород, представленных моренными, водно-ледниковыми, озерно-ледниковыми, оловыми, озерно-болотными и аллювиальными отложениями. Наиболее пригодными для сельского хозяйства являются легко- и среднесупесчаные почвы, которые имеют сравнительно устойчивый водный режим и высокий запас питательных веществ. На супесчаных почвах, почти половина которых подстилается суглинками и глинами с глубины до 1 м, урожаи значительно снижаются. Самым низким плодородием характеризуются песчаные почвы.

Среди сельскохозяйственных земель глинистые и тяжелосуглинистые почвы занимают 0,4 %, средне- и легкосуглинистые 20,1 %, супесчаные – 45,6 %, песчаные – 21,2 %, торфяные – 12,7 %. Степень увлажнения – один из важнейших факторов, который обуславливает качественный состав сельхозугодий, особенно пахотных. Удельный вес переувлажненных почв среди них составляет 51,3 %. По административным областям этот показатель колеблется от 43,8 % в Гродненской области до 64,3 % в Витебской.

Сельскохозяйственные земли отличаются различной степенью увлажнения. Так, автоморфные (нормально увлажненные почвы) составляют 34,9 %, слабоглеевые (временно избыточно увлажненные) – 22,9 %, глееватые – 21,4 %, глеевые – 7,0 %, болотные – 13,8 %.

Территория Беларуси отличается значительным распространением торфяно-болотных почв. Размещение последних в пределах отдельных регионов республики неравномерно. Общая площадь торфяных болот до начала их интенсивного освоения составляла 2,9 млн. га, или 14 % территории республики. Основная часть низинных торфяно-болотных почв сконцентрирована в Белорусском Полесье.

По данным государственного земельного кадастра (на 01.01.2015), общая площадь земель Республики Беларусь составляет 20 759,8 тыс. га.

Структура земельного фонда республики по видам земель и её изменение за период 2001–2015 гг. представлена в табл. 16.

Таблица 16

Виды земель Беларуси и их динамика

Виды земель	Площадь, тыс. га на 01.01.2015 г.
Сельскохозяйственные земли, в т. ч. пахотные	9076,3 5547,9
Лесные и прочие лесопокрытые земли	8821,7
Земли под болотами	916,2
Земли под водными объектами	478,5
Земли под дорогами и иными транспортными путями	362,2
Земли под улицами и иными местами общего пользования	150,2
Земли под застройками	330,7
Нарушенные земли	5,9
Неиспользованные и другие земли	618,1

Анализ динамики земельного фонда с 2001 по 2016 год выявил основные тенденции изменения площади земель по видам их использования:

- 1) постепенное сокращение площади сельскохозяйственных, в том числе пахотных земель (соответственно 32,1 тыс. га и 53,3 тыс. га в год);
- 2) устойчивый рост площадей лесных земель и земель, покрытых древесно-кустарниковой растительностью (на 62,6 тыс. га в год);
- 3) медленный рост количества земель под водными объектами и земель под дорогами и иными транспортными путями;
- 4) постепенное сокращение количества нарушенных, а также неиспользованных и других земель.

Основными причинами сокращения площади сельскохозяйственных земель является исключение из использования низкоплодородных, убыточных для земледелия участков, а также отвод земель для других нужд. Всего рекомендовано репрофилировать 1338 тыс. га сельхозземель, из них 801,0 тыс. га пахотных, в т.ч. в Брестской области – 59,2 тыс. га, Ви-

тебской – 259,7 тыс. га, Гомельской – 119,2 тыс. га, Гродненской – 76,6 тыс. га, Минской – 157,0 тыс. га, Могилевской – 129,3 тыс. га. Реальная работа по перепрофилированию уже ведется. По данным Комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Республики Беларусь, к началу 2015 г. из севооборота уже выведено около 600 тыс. га низкопродуктивных пахотных земель.

В настоящее время в земельном фонде Республики Беларусь насчитывается 3416,0 тыс. га (16,5 % территории страны) осушенных земель. В общей площади осушенных земель сельскохозяйственные земли занимают 2902,0 тыс. га. Для сельского хозяйства осушено 1068,2 тыс. га болот. Примерно 30 % осушенных сельскохозяйственных земель занимают легкие по гранулометрическому составу песчаные и рыхлосупесчаные почвы. Данные инвентаризации мелиоративных систем показали, что в республике нуждаются в реконструкции 760,8 тыс. га земель, а на 184,0 тыс. га осушенных земель требуется проведение агромелиоративных мероприятий.

Самая большая доля земель (42 %) принадлежит сельскохозяйственным организациям. На начало 2015 г. в Республике Беларусь насчитывалось около 2000 фермерских хозяйств с общей площадью земель 171,2 тыс. га (менее 1 %) при среднем их размере 73,9 га.

Основные экологические угрозы для земель и почв

Одной из актуальных экологических проблем Беларуси является охрана и устойчивое неистощимое использование земель. Деградация земель в различных ее формах обусловлена как природными факторами, так и деятельностью человека, несоблюдением норм и правил рационального использования и охраны. Применительно к природно-территориальным условиям и особенностям хозяйственного использования деградация земель/почв проявляется в следующих основных формах:

- водная, ветровая эрозия почв;
- химическое, в т. ч. радионуклидное, загрязнение земель/почв;
- ухудшение свойств почв, особенно торфяных, при сельскохозяйственном их использовании;
- деградация земель в результате добычи полезных ископаемых, дорожного и других видов строительства, а также их затопления и подтопления;
- деградация торфяных почв на осушенных болотных массивах в результате торфяных пожаров;
- деградация земель лесного фонда в результате нерационального лесопользования и лесных пожаров;
- деградация земель при чрезмерных рекреационных, технических и других антропогенных нагрузках на земли/почвы.

Природные условия и особенности использования земель в сельскохозяйственных целях обусловили проявление на территории Беларуси, как водной, так и ветровой эрозии почв.

По данным РУНИП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», на сельскохозяйственных землях Республики Беларусь подвержено эрозии 491,2 тыс. га, или 5,4 % от общей площади. Эродированные почвы приурочены преимущественно к пахотным землям – 426,6 тыс. га (7,7 % от общей площади пахотных земель). Площадь земель с потенциально возможным смывом почвы (эрозионно-опасные земли) составляет 1443 тыс. га, или почти 7 % территории Беларуси.

Наибольшие площади эродированных земель выявлены в Минской области – 125,0 тыс. га, Витебской – 116,2 тыс. га, Могилевской – 89,8 тыс. га и Гродненской – 84,9 тыс. га. В Брестской области общая площадь эродированных сельскохозяйственных земель составляет 42,6 тыс. га, в Гомельской – 32,7 тыс. га. По удельному весу эродированных земель в общей площади сельскохозяйственных земель области распределяются следующим образом: Витебская – 7,3 %, Минская и Гродненская – 6,6 %, Брестская – 2,9 %, и Гомельская – 2,3 %.

Водная эрозия преобладает в северных и центральных областях страны: Витебской – 112,0 тыс. га (96,4 %), Минской – 103,6 тыс. га (82,9 %), Могилевской – 87,1 тыс. га (97,0 %), Гродненской – 63,6 тыс. га (74,9 %). В целом по Беларуси в 18 районах эродированные почвы занимают более 10 % сельскохозяйственных земель.

Ветровая эрозия (дефляция) чаще встречается на юге и юго-западе, где большие площади занимают легкие по гранулометрическому составу (песчаные и рыхлосупесчаные) и осушенные торфяно-болотные почвы (Гомельская область – 21,8 тыс. га; южная часть Минской области – 21,4 тыс. га; Брестская область – 11,3 тыс. га). Значительные площади земель, подверженных ветровой эрозии, имеются также в Гродненской области (21,3 тыс. га). Из общей площади дефлированных почв по стране (82,7 тыс. га или 1,1 %) слабдефлированные занимают 72,3 тыс. га, среднедефлированные – 9,7 тыс. га, сильнодефлированные – 0,7 тыс. га. Кроме того, 3458,9 тыс. га земель (или 38,0 % сельскохозяйственных) относятся к дефляционно-опасным, которые при неправильном использовании могут быть подвержены ветровой эрозии.

Экономический ущерб от проявления эрозионных процессов на земле выражается в ежегодных потерях мелкозема и биогенных элементов почвы и снижении её плодородия, а также в загрязнении водотоков и водоемов. За год с одного гектара с поверхностным стоком выносятся в среднем до 10–15 т твердой фазы почвы, 150–180 кг гумусовых веществ, до 10 кг азота, 4–5 кг – фосфора и калия, 5–6 кг – кальция и магния. Потери питательных элементов и гумуса, ухудшение агрофизических и аг-

рохимических свойств приводит к снижению плодородия эродированных почв. В условиях Беларуси средние недоборы урожаев зерновых культур на слабо эродированных почвах составляют 12 %, средние эродированных – 28 %, сильно эродированных – 40 %; пропашных культур – 20, 40 и 60 %; льна – 15, 34 и 50%; многолетних трав – 5, 18 и 30 %, соответственно.

По данным агрохимических обследований в последние годы отмечаются негативные тенденции в поддержании плодородия сельскохозяйственных почв. В пахотных почвах половины районов республики отмечается снижение содержания гумуса, подвижного фосфора, калия, имеет место подкисление почв. На отдельных участках сельскохозяйственных земель, примыкающих к промышленным центрам и крупным животноводческим комплексам, выявлено значительное повышение содержания подвижных форм меди и цинка.

Предупредить эрозионные процессы и обеспечивать неуклонное повышение плодородия почв возможно лишь посредством комплекса противоэрозионных мероприятий, которые должны представлять собой взаимовязанную систему организационно-территориальных, агротехнических, фитомелиоративных, гидротехнических и других почвозащитных мер и приемов. Наиболее перспективным направлением предотвращения эрозионных процессов на сельскохозяйственных землях является переход на ландшафтно-адаптивную систему земледелия и формирование противоэрозионных севооборотов.

Продолжает оставаться интенсивным сельскохозяйственное использование торфяно-болотных почв, особенно маломощных. В процессе их эксплуатации 190,2 тыс. га осушенных торфяных почв практически превратились в новые низкоплодородные почвенные образования. Площадь выработанных торфяных месторождений в республике оценивается в 209,5 тыс. га, а площадь разрабатываемых месторождений составляет 12,8 тыс. га. Таким образом, общая площадь нарушенных болот составляет 318,5 тыс. га.

В настоящее время в качестве одного из наиболее перспективных направлений использования торфяных месторождений рассматривается их реабилитация путем повторного заболачивания. К началу 2015 г. переданы под повторное заболачивание около 80 тыс. га. Продолжается рекультивация нарушенных земель, площадь которых в последние годы постепенно уменьшается из-за сокращения отвода земель под торфодобычу.

Восстановление природоохранных и средоформирующих функций выработанных торфяных месторождений и сильно трансформированных болотных и заболоченных земель является одной из приоритетных задач борьбы с деградацией земель. В настоящее время в республике новое мелиоративное освоение земель не ведется, все усилия направлены на

выборочную реконструкцию мелиоративных систем ранее осушенных земель. В принятой республиканской программе «Сохранение и использование мелиорированных земель» предложен перечень безотлагательных мер по обеспечению сохранения и эффективного использования таких земель.

В основе охраны и дальнейшего использования торфяных почв лежит требование обеспечить высокую экономически целесообразную продуктивность возделываемых на них культур при экономном расходовании запасов органического вещества для получения максимальной отдачи за весь период использования торфа, являющегося аккумулятором влаги и источником азота. Пойменные земли с осушенными торфяными почвами необходимо использовать только под кормовые луговые культуры длительного пользования.

Сохранение и использование мелиорированных земель имеет не только экологическую, но и большую социально-экономическую значимость, так как эти земли составляют треть всех земель сельскохозяйственного использования, в том числе более половины лугов. Особую социальную значимость они имеют в 15 административных р-нах (Березинский, Дрогичинский, Ивановский, Ивацевичский, Кобринский, Лунинецкий, Малоритский и Пинский р-ны Брестской обл., Калинковичский, Лельчицкий, Наровлянский и Октябрьский р-ны Гомельской обл., Любанский, Солигорский и Стародорожский р-ны Минской обл.), в которых мелиорированные земли превышают половину имеющегося фонда.

В результате разнообразной хозяйственной деятельности, жилищного, дорожного, гидромелиоративного строительства, а также добычи полезных ископаемых в некоторых регионах Беларуси земли подвергнуты коренной техногенной трансформации. Примером техногенного преобразования земной поверхности является Солигорский р-н, где шахтным способом ведется добыча калийных солей. В пределах просадок, достигающих нередко 3,5–4 м, происходит деградация почв, развиваются процессы заболачивания и подтопления.

Институтом природопользования НАН Беларуси определены средние величины техногенных нагрузок на земли/почвы путем установления количества перемещенных почво-грунтов на единицу площади. Они варьируют от 300 м³/км² до десятков тысяч м³/км² и свидетельствуют о достаточно высокой степени проявления этого процесса на территории республики. Техногенное преобразование земель/почв не только непосредственно воздействует на земную поверхность, но и активизирует многие процессы, которые могут привести к деградации земель (развитие осыпей, размывов, оползней, оврагов, разрушение берегов водных объектов, проявление дефляции почв и др.).

Имеющиеся в настоящее время материалы мониторинга почв, а также результаты эколого-геохимических исследований свидетельствуют о том, что загрязнение почв имеет место преимущественно в городах и зонах их влияния, вдоль автомобильных дорог, в зонах влияния полигонов коммунальных и промышленных отходов, на сельскохозяйственных угодьях. Площадь территорий с опасным уровнем загрязнения почв в городах оценивается в 78 тыс. га, в зонах влияния автодорог – в 119 тыс. га, в зонах влияния полигонов отходов – 2,5 тыс. га. Основными загрязняющими веществами являются тяжелые металлы, нефтепродукты, нитраты, сульфаты, хлориды.

Одной из наиболее серьезных проблем является радиоактивное загрязнение земель, образовавшееся в результате Чернобыльской аварии. Площадь загрязнения радиоактивным цезием сельскохозяйственных земель с плотностью выше 37 кБ/м^2 составляла 1,8 млн. га. Из этой площади 265,4 тыс. га были исключены из сельскохозяйственного использования, в том числе в Гомельской области 218,3 тыс. га, Могилевской – 47,0 тыс. га. Радиоактивными веществами загрязнено 1685 тыс. га лесов страны. Зона отчуждения площадью 170 тыс. га вошла в состав Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.

К концу 2015 г. содержание цезия-137 в почве уменьшилось примерно на одну треть по причине естественного распада радионуклидов. Кроме того, установлено снижение подвижности цезия-137 вследствие перехода в необменно-поглощенное состояние, что привело к снижению его доступности для растений за послеаварийный период примерно в 10–12 раз. В связи с этим вновь вовлечено в сельскохозяйственный оборот 14,6 тыс. га земель. Сельскохозяйственное производство по состоянию на 1 января 2015 г. ведется на более чем 1,1 млн. га земель, загрязненных цезием-137 с плотностью $37\text{--}1480 \text{ кБ/м}^2$. Основные массивы сельскохозяйственных земель, загрязненных цезием-137, сосредоточены в Гомельской (55 %) и Могилевской (28 %) обл. В Брестской, Минской и Гродненской обл. их доля составляет, соответственно, 8, 5 и 3 %.

Загрязнение территории стронцием-90 имеет более локальный характер. Загрязнение им с плотностью более 6 кБ/м^2 было обнаружено на площади 2,1 млн. га, или примерно на 10 % от общей площади страны. Максимальные уровни содержания стронция-90 в почве (до 1798 кБ/м^2) выявлены в границах 30-километровой зоны ЧАЭС, в Хойникском р-не Гомельской обл.

5.2. Почвы городских территорий

Разнообразие природных условий на Земле привело к формированию неоднородного почвенного покрова с определенной закономерностью смены типа почв по природным зонам и в связи с высотной зональ-

ностью. В любой точке местности почва также неоднородна и характеризуется дифференциацией профиля на более или менее четко выраженные генетические горизонты.

На формирование определенного типа почвы и почвенного профиля влияют климат, материнские горные породы, которые ее подстилают, рельеф, характер водообменных процессов, тип природной растительности, характерной для данной климатической зоны, животные и микроорганизмы, обитающие в почве. Типичными для Беларуси являются дерново-подзолистые почвы.

В последние столетия важным фактором почвообразования стала деятельность человека. На урбанизированных территориях, по сравнению с природными, антропогенный фактор в почвообразовании можно считать ведущим. Для городов характерны так называемые *техноземы* – почвы, создаваемые человеком в процессе рекультивации тех или иных объектов или хозяйственного освоения участков земли. Техноземы частично наследуют свойства зональных нарушенных почв и горных пород, частично формируются под влиянием мощной техники, используемой при укладке почвенного слоя. Для них характерно отсутствие четко выраженных горизонтов, зачастую мозаичный характер окраски, повышенная плотность и, соответственно, меньшая пористость.

Полнопрофильные почвы, близкие к естественным (индустриземы), могут сохраняться в городе в зоне лесопарков и старых парковых насаждений.

Вне зависимости от типа почв основным свойством, по которому проводится их оценка, является плодородие. Плодородие почв обусловлено наличием в их составе органических и минеральных питательных веществ, определенными параметрами структуры, поддерживающими нормальный газообмен и водообмен, физико-химическими характеристиками (концентрацией водородных ионов и соленым режимом), поддерживающими нормальное протекание физиологических процессов в растениях. Плодородие почвы обеспечивает определенную биологическую продуктивность природной растительности и урожай сельскохозяйственных культур. Являясь важнейшим звеном биологического круговорота веществ, почва продуцирует основной пищевой энергетический материал для остальных обитателей планеты. При том она выполняет функции регулятора, поддерживающего естественный состав атмосферы за счет преобразования отмирающей биоты и продуктов производственной деятельности человека. Именно эта сторона участия почвы в биологическом круговороте веществ делает ее важнейшей составляющей экосистем городов. Использование почв в городах, как правило, имеет не сельскохозяйственный характер. Важнейшее направление их использования – создание парков, скверов, газонов, покрытий для спортивных

сооружений. Дерновый слой почвенного профиля используют для крепления откосов при строительстве транспортных выемок, насыпей и т. п. Неблагоприятные почвы наряду с суглинками и другими фунтовыми материалами применяют для оснований при строительстве зданий. Благодаря высокой поглощательной способности почва выполняет роль фильтра для очистки поверхностного стока. Глины и суглинки используют для противофильтрационных экранов полигонов захоронения бытовых и производственных отходов.

Загрязнение почв. На территории городов почвы подвергаются загрязнению, которое можно подразделить на механическое, химическое и биологическое.

Механическое загрязнение заключается в засорении почв крупнообломочным материалом в виде строительного мусора, битого стекла, керамики и других относительно инертных отходов. Это оказывает неблагоприятное влияние на механические свойства почв.

Химическое загрязнение почв связано с проникновением в них веществ, изменяющих естественную концентрацию химических элементов до уровня, превышающего норму, следствием чего является изменение физико-химических свойств почв. Этот вид их загрязнения является наиболее распространенным, долговременным и опасным.

Биологическое загрязнение связано с привнесением в почвенную среду и размножением в ней опасных для человека организмов. Бактериологические, гельминтологические и энтомологические показатели состояния почв городских территорий определяют уровень их эпидемиологической опасности. Эти виды загрязнения подлежат контролю прежде всего на территории селитебных и рекреационных зон.

На урбанизированных территориях загрязнение почв обычно происходит в результате выбросов промышленных предприятий, транспорта, предприятий теплоэнергетики, утечек из канализации и отстойников, воздействия промышленных и бытовых отходов, а также в определенной мере за счет использования удобрений и пестицидов.

Выбросы промышленных предприятий являются источником загрязнения почв городских территорий тяжелыми металлами, канцерогенными веществами, соединениями азота и серы. Однако данных, позволяющих оценить корреляционные связи между содержанием химических элементов в выбросах, их концентрацией в атмосферном воздухе, в выпадениях на поверхность земли и степенью загрязнения почв, недостаточно. Поэтому оценить зависимость распределения химических элементов в выбросах и выпадениях из воздушных потоков можно лишь приближенно.

Иловые осадки станций биологической очистки сточных вод и компост из городских бытовых отходов содержат большое количество орга-

нических и питательных для растений минеральных веществ, поэтому их используют как удобрение. Однако они, как правило, содержат многие металлы в концентрациях, которые являются токсичными.

При внесении в почвы иловых осадков и компоста в дозах, определяемых по их удобрительной ценности, можно прогнозировать увеличение содержания токсичных элементов в почвах в несколько раз.

Для почв сельскохозяйственного использования оценку уровня загрязнения вредными веществами ведут на базе предельно допустимых концентраций, причем приоритетным является транслокационный показатель вредности, учитывающий поступление в организм человека вредных веществ из почвы через растения.

Для городских условий загрязненные почвы рассматривают прежде всего как источник вторичного загрязнения атмосферного воздуха. На основе сопряженных геохимических и гигиенических исследований установлена возможность использования уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного состояния атмосферы и оценки степени опасности загрязнения территории для здоровья населения. Базой для оценки уровня загрязнения почв в этом случае является значение фоновой концентрации рассматриваемого вещества в почвах региона. Обычно такие подходы используют при анализе загрязнения территории тяжелыми металлами и другими токсичными элементами.

Геохимическим фоном называют среднее содержание химического элемента в почвах по данным изучения статистических параметров его распределения. Геохимический фон является региональной или местной характеристикой почв и пород.

Участок территории, в пределах которого статистические параметры распределения химического элемента достоверно отличаются от геохимического фона, называется *геохимической аномалией*. Геохимические аномалии, в пределах которых содержание загрязняющих веществ достигает концентраций, оказывающих неблагоприятное влияние на здоровье человека, называют *зонами загрязнения*. Уровень загрязнения характеризуется величиной коэффициента концентрации K_{Ci} , которую определяют из соотношения (формула (1)):

$$K_{Ci} = C_i / C_{\Phi i} \quad (1)$$

где C_i – концентрация загрязняющего вещества, мг/кг почвы, $C_{\Phi i}$ – фоновая концентрация загрязняющего вещества, мг/кг почвы.

Загрязнение обычно бывает полиэлементным, и для его оценки рассчитывают суммарный показатель загрязнения, представляющий собой аддитивную сумму превышений коэффициентов концентраций над фоновым уровнем (формула (2)):

$$Z_c = \sum_1^n K_{C_i} - (n - 1), \quad (2)$$

где K_{C_i} – коэффициент концентрации элемента; n – число элементов с $K_c > 1$.

Значения суммарного показателя загрязнения до 16 соответствуют допустимому уровню опасности для здоровья населения; от 16 до 32 – умеренно опасному; от 32 до 128 – опасному; более 128 чрезвычайно опасному.

Отрицательное влияние на состояние почвы в городе оказывает использование поваренной и других солей (NaCl) для борьбы с гололедом в зимний период и утечки высокоминерализованных технологических растворов. Это приводит к возрастанию количества фитотоксичных соединений в составе почв. Известно, что хлориды натрия и кальция разрушительно действуют на почвенные коллоиды и вызывают при определенных концентрациях гибель растений. В талой снеговой воде крупного промышленного города может содержаться хлор-иона в 150 раз больше, чем в природной речной воде.

Аналогичные последствия может иметь использование сточных вод с высоким солесодержанием для полива зеленых насаждений. Поэтому предельная величина минерализации воды, используемой для полива, не должна превышать $2\text{--}3 \text{ г/дм}^3$, а концентрация бикарбоната натрия в воде – $2,5 \text{ мг} \cdot \text{экв/дм}^3$.

Во избежание осолонцевания почв необходимо поддерживать оптимальное соотношение катионов в составе солевого комплекса. Критерием является показатель SAR , который рассчитывают по формуле Ричардсона (формула (3)):

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})} / 2. \quad (3)$$

Предельно допустимая величина SAR составляет 10 при минерализации вод до 1 г/дм^3 и снижается до 4 при повышении минерализации до 3 г/дм^3 .

Сохранение почвенного слоя при инженерно-строительной деятельности. Необходимым условием создания в городе благоприятной среды проживания человека с достаточным количеством зеленых насаждений является бережное отношение к плодородному слою почвы.

Интенсивная инженерно-строительная деятельность в пределах городских агломераций включает большой объем земляных работ (прокладка дорог, коммуникаций, рытье котлованов под фундаменты, мелиоративные работы и т. д.), при выполнении которых страдает почвенный слой. Для его сохранения необходимо проводить обязательное снятие

плодородного и потенциально плодородного слоя почвы отдельно от подстилающих слоев на всех категориях земель.

К плодородным почвам относят такие, у которых содержание гумуса на нижней границе слоя составляет не менее 1,5–2 %, величина рН водной вытяжки не выходит за пределы интервала 5,5–8,2, гидrolитическая кислотность по Al^{3+} не превышает 3 мг • экв на 100 г почвы, а содержание Na^+ в обменном комплексе – не более 5 %. Количество токсичных солей в почвах должно быть не более 0,25 %, а в гранулометрическом составе почв количество частиц размером менее 0,01 мм должно быть в пределах 10–75 %. Если количество гумуса снижается до 1 %, почвы относят к потенциально плодородным.

Мощность снимаемого слоя почвы определяется уровнем плодородия малопродуктивных угодий, подлежащих землеванию в данном районе. Если снятый плодородный слой не используется сразу же для землевания или рекультивационных работ, проводят его селективное складирование в виде буртов, откосы и поверхность которых при длительном хранении (сроком более 2 лет) засевают травами.

Если санитарные показатели плодородного слоя соответствуют требованиям, предъявляемым к почвам сельскохозяйственных территорий, снятый плодородный слой почвы может быть использован для восстановления эродированных почв сельскохозяйственной зоны.

Поскольку почвы в городе часто загрязнены токсикантами, необходимо производить закрепление их поверхности посевом трав во избежание вторичного загрязнения атмосферы.

Мелиорация загрязненных почв. Для восстановления почв, сильно загрязненных тяжелыми металлами и другими токсичными веществами, нет универсальной методики. Действие каждого метода обработки зависит от особенностей почвы и специфики произрастающих на ней растений. Поэтому для каждого случая необходимы специальные исследования. Самыми распространенными методами восстановления почв, загрязненных металлами, является выщелачивание легкоподвижных элементов из почв путем их промывки и перевод катионов тяжелых металлов и микроэлементов в трудно подвижные формы внесением извести и фосфатов с добавкой органических веществ.

Кроме способов физико-химической обработки загрязненных металлами почв, используют перемешивание верхнего слоя с незагрязненной почвой или снятие верхнего загрязненного слоя и засыпку привозным незагрязненным грунтом.

Для восстановления почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, используют методы микробиологической очистки и обработку почв негашеной известью с поверхностно-активными веществами.

Для предотвращения загрязнения почв необходимо сокращать выбросы в атмосферу от транспортных средств и промышленных предприятий, ликвидировать на территории города неорганизованные свалки бытового мусора, а захоронение отходов проводить в соответствии с существующими экологическими нормами.

5.3. Литогенная основа территории Беларуси

Основная часть территории Беларуси относится к структурам платформенного типа. Их геологическое строение в схематическом виде можно представить как трехслойное: поверхностный покров современных и четвертичных отложений залегает на осадочном основании, которое базируется на кристаллическом фундаменте, представляющем собой массивную толщу магматических и метаморфических пород. Основная инженерно-строительная деятельность в пределах городских территорий связана с верхним осадочным чехлом, но в зависимости от урболандшафтных условий и специфики производственной деятельности жизненно важную роль в формировании условий городской среды могут играть и породы более глубоко залегающих структурных ярусов.

Все горные породы применительно к строительной деятельности можно рассматривать как основание для строительства здания или сооружения, как материал для строительства или как среду, в которой размещается сооружение. Горные породы, а также современные отложения естественного и техногенного происхождения, используемые в строительных целях, называются *грунтами*.

С инженерно-геологических позиций все горные породы подразделяют на два класса – скальные и нескальные. Среди нескальных пород выделяют песчаные и крупнообломочные породы, взаимодействие между частицами которых определяется лишь трением и зацеплением, и пылевато-глинистые, или связные, породы. Взаимодействие между частицами связных пород обусловлено наличием водно-коллоидных связей. Различный характер связей, присущий этим породам, определяет различие в их свойствах и поведении в городской среде.

Скальные породы залегают чаще на значительной глубине от поверхности земли и относительно редко, по сравнению с рыхлыми осадочными породами, служат основанием городских сооружений. Они являются средой, в которой осуществляется подземное строительство (шахты по добыче полезных ископаемых, тоннелей метро, подземные выработки). Обнажение таких пород в черте города можно видеть, например, в Севастополе. Характерной особенностью таких пород является их монолитность, обусловленная прочными связями между частицами. Связи эти носят кристаллизационный или цементационный характер и определяют высокую плотность, малую пористость и высокую прочность пород как в сухом, так и в водонасыщенном состоянии (табл. 17).

Таблица 17

Показатели плотности и пористости некоторых видов твердых пород

Наименование пород	Плотность, г/см ³			Пористость, %
	породы	сухой породы	частиц	
Габбро	2,87	2,86–2,95	2,99	0,08 4,5
Мрамор	2,95	2,70	3,92	0,1
Доломит	2,70	2,68	2,71	3,4; 12,4
Мел	2,68	—	2,83	—
Опока	1,35	1,42	2,68	
	1,71		2,40	

Снижение прочности пород и возрастание водопроницаемости связано с развитием в их массивах трещиноватости. Влияние степени трещиноватости на водопроницаемость пород иллюстрируют данные табл. 18.

Таблица 18

Показатели водопроницаемости
для пород различной степени трещиноватости

Степень трещиноватости	Коэффициент фильтрации, м/сут	Удельное водопоглощение, л/мин
Не трещиноватые	0,01	0,005
Слабо трещиноватые	0,01–10,0	0,005–5,0
Трещиноватые	10–30	5–15
Сильнотрещиноватые	30–100	15–50

При величине пористости пород более 5 % их прочностные показатели значительно ухудшаются и их классифицируют как полускальные породы. Под воздействием движущегося потока воды трещиноватые и пористые породы карбонатного или сульфатного состава могут выщелачиваться с образованием карстовых пустот. Скальные и полускальные породы в условиях воздействия строительных нагрузок ведут себя как упругие твердые тела.

Характерным свойством песчаных и крупнообломочных несцементированных пород является их хорошая водопроницаемость. Она определяет их роль дренирующих или водовмещающих элементов в осадочном комплексе. Показателем водопроницаемости породы является коэффициент фильтрации, величина которого зависит от пористости породы и структуры порового пространства. Пористость обломочных пород колеблется обычно в пределах 20–45 %. Эти характеристики, в свою очередь, определяются диаметром и окатанностью слагающих породу частиц, а также однородностью зернового состава. С увеличением среднего диа-

метра порообразующих частиц и их окатанности при неоднородном зерновом составе водопроницаемость породы возрастает.

Величина водопроницаемости пород изменяется в широких пределах.

Движение фильтрационного потока в несвязной дисперсной породе создает гидродинамическое давление и может вызвать фильтрационные деформации, которые носят название суффозионных явлений.

Фильтрационные деформации будут развиваться в рыхлой обломочной породе в том случае, если в ней имеются частицы, диаметр которых меньше наибольшего фильтрационного хода, и если скорости фильтрационного потока достаточны для перемещения этих частиц.

Контактный вытор происходит в случае, если фильтрационный поток выносит суффозионные частицы из деформированного слоя породы в пригружающий его слой более крупнозернистого материала. Задерживаясь в этом материале, мелкозернистые частицы формируют слой, отличный по составу и свойствам от исходных пород. *Вытор* – такое разрушение породы, при котором приходит в движение некоторый ее объем со всеми слагающими породу фракциями, что приводит к разрыхлению части породы, увеличению пористости и размеров пор.

К суффозионным породам относят такие, из которых суффозионным потоком выносятся более 3 % частиц. Скорость фильтрации, при которой нарушается предельное равновесие суффозионных частиц в породе, называется критической скоростью фильтрации.

Негативные последствия суффозионных деформаций проявляются в формировании зон ослабленной прочности, трещин в связи с изменением гранулометрического состава, плотности и пористости пород, обрушении бортов котлованов, нарушении кровли перекрывающих пород. Следствием изменения водопроницаемости пород является увеличение водопритоков в подземные выработки и котлованы, кольматация и выход из строя обратных фильтров и дренажей водопонижающих устройств.

Характерной особенностью пылевато-глинистых пород является способность изменять свою консистенцию при изменении влажности. Показателями этих граничных состояний являются предел пластичности и предел текучести. При влажности ниже предела пластичности глинистая порода имеет твердую консистенцию и свойства, близкие к свойствам твердых тел. При влажности выше предела пластичности порода приобретает текучую консистенцию и свойства жидкости. Содержание физически связанной воды в такой глине достигает 50 %. Высокая водопоглотительная способность глинистых пород связана с преобладанием в их составе частиц, обладающих коллоидными свойствами. Для глинистых пород характерна слабая водопроницаемость. В геологическом разрезе они выполняют роль водоупорных слоев. Глинистые породы харак-

теризуются такими свойствами, как усадка и набухание, т. е. уменьшением объема при высыхании и увеличением при увлажнении. Набухание связано с увеличением толщины гидратных оболочек на поверхности глинистых частиц, при этом в породе возникает давление, величина которого может достигать 0,8 МПа, что оказывает деструктивное воздействие на откосы выработок и основания сооружений. Усадка сопровождается неравномерной деформацией породы при высыхании, появлением в ней трещин и увеличением водопроницаемости. Это снижает устойчивость пород на естественных склонах, в бортах карьеров и котлованов. В результате растрескивания на склонах образуются рыхлые продукты разрушения породы в виде глинистой щебенки, которая, осыпаясь по склонам, образует скопления. При водонасыщении они могут служить материалом для формирования грязевых потоков.

Некоторые тонкообломочные породы в водонасыщенном состоянии обладают специфическим свойством, характерным для коллоидных систем, – при вибрационном воздействии переходить из геля в золь, т. е. разжижаться. Это явление носит название *тиксотропии* и может быть вызвано также электрическими и ультразвуковыми колебаниями. При снятии воздействия система, постепенно застывая, может снова переходить в гель. Породы, обладающие тиксотропными свойствами и ведущие себя наподобие вязких жидкостей, называют *плывунами*. При разнообразии зернового состава плывуны обязательно содержат глинистые минералы. Формированию плывунных свойств способствует наличие гидрофильных глинистых минералов типа монтмориллонита и особых микроорганизмов. Для истинных плывунов характерна низкая водопропускная способность и нулевая водоотдача вследствие коллоидных связей между частицами. Плывуны представляют большую опасность при проходке подземных выработок. Катастрофические последствия имело вскрытие плывуна при проходке тоннеля ленинградского метро в 1974 г. На глубине 80 м на незамороженном участке в выработку хлынули тысячи кубометров плывунной породы. Масштабы перемещения масс были так велики, что даже на поверхности земли образовалась мульда проседания.

Серьезные проблемы при строительстве создает *просадочность* пород, т. е. их способность к осадке при замачивании под действием собственного веса или совместного действия собственного веса и внешней нагрузки. В результате просадок происходит опускание поверхности земли на величину до нескольких десятков сантиметров. Это приводит к деформациям зданий и сооружений, построенных на просадочных породах. Морфологическими признаками, указывающими на возможность просадочных явлений на данной территории, являются такие формы рельефа, как промоины, просадочные воронки вдоль берегов рек, просадочные блюдца на террасах и водоразделах.

Кроме площадного распространения, для лессов характерны высокая пористость (как правило, 42–58 %) с большим количеством макропор, вертикальная отдельность и устойчивость крутых откосов в сухом состоянии, содержание водорастворимых солей (преимущественно сульфатов и карбонатов) до 15 %, что обеспечивает связность частиц породы, относительно устойчивый зерновой состав, отвечающий суглинкам (содержание пылеватых фракций от 50 до 82 %, глинистых – от 10 до 30 %, песчаных – до 15–20 %), легкая размокаемость при увлажнении. Просадочность лессовидных пород связана как с их природной разуплотненностью, так и с наличием большого количества водорастворимых солей.

Просадки на территории городов могут происходить при отсутствии регулирования поверхностного стока, при утечках из подземных коммуникаций и подтоплении грунтовыми водами. На просадочность пород влияет инфильтрация из каналов, водохранилищ, подпор рек при их зарегулировании.

Современные *техногенные отложения* являются характерным и требующим внимания элементом геологической среды города. Источниками этих отложений могут быть хозяйственная и строительная деятельность, твердые отходы промышленности и горнодобывающих производств. Общим для них является широкое площадное распространение, рыхлое сложение и неоднородный качественный и зерновой состав. Наибольший объем, и площадь распространения имеют отходы горнодобывающей промышленности.

Недооценка свойств современных техногенных отложений может привести к развитию опасных геологических процессов, деформации и разрушению зданий и сооружений, человеческим жертвам.

Антропогенное воздействие на компоненты геологической среды городов проявляется в:

- возрастании интенсивности выветривания за счет изменения состава атмосферного воздуха (выпадение кислотных дождей и кислотных рос);
- изменении уровня грунтовых вод и их состава, что приводит к изменению свойств пород несущего основания;
- изменении состава литогенной основы городских территорий за счет отсыпки и намыва техногенных отложений и аэрозольных выпадений из атмосферы;
- изменении характеристик физических полей в пределах городских агломераций.

Кислотные осадки воздействуют не только на растительность и водоемы, они повреждают здания и конструкции из различных материалов, в том числе из известняка, мрамора, песчаника и стали. От разрушительного воздействия загрязненной атмосферы страдают памятники античности в Афинах и Риме, мраморные скульптуры и здания в Англии, Италии,

Канаде и других странах. Изучение геологического спектра воздействия кислотных дождей помогло бы предсказать интенсивность их воздействий в будущем. Динамику скорости растворения горных пород под воздействием кислотных дождей предполагают изучить ученые из США на материале более чем 2 млн. памятников погибшим военнослужащим. С 1875 г. эти памятники изготовляют единой формы и размеров, используя камень всего лишь из трех карьеров на территории страны.

Под влиянием преобразования рельефа, регулирования поверхностного стока, утечек из водонесущих коммуникаций происходит *изменение гидрогеологического режима* городской территории. Следствием является повышение уровня грунтовых вод, а нередко и подтопление определенных участков города. Связанное с этим водонасыщение пород снижает их прочность и приводит к деформации и разрушению зданий и сооружений.

Основным источником вибрации по отношению к литогенной основе территории и инженерным объектам, находящимся в ней, являются транспортные магистрали. В качестве верхнего предела допустимого вибрационного воздействия на геологическую среду принимается 73 дБ, что соответствует скорости перемещения частиц породы примерно 225×10^{-6} м/с. Эти условия создаются, когда наряду с автомобильным транспортом или независимо от него функционирует рельсовый транспорт с регулярным движением.

Стимулирует проявление обвально-оползневых процессов в сочетании с вибрацией подрезка склонов при прокладке транспортных магистралей, выемка большого количества породы при строительстве и другие изменения равновесия в пределах массивов пород и грунтов.

Тепловое загрязнение геологической среды в городах представляет собой повышение ее температуры относительно естественных значений. На территории большого города нарушение температурного режима может наблюдаться до глубины 100–150 м и более. При этом на горизонтах 10–30 м наблюдается тенденция к расширению по площади геотермических аномалий с повышением на 2–6 °С фоновых значений температуры горных пород и подземных вод.

Под влиянием избыточного тепла может происходить локальное просушивание пород с изменением их прочности. С повышением температуры грунтовых пород возрастает скорость химических реакций в зоне их контакта с материалами подземных сооружений. Установлено, что скорость коррозии строительных марок стали линейно возрастает при изменении температуры от 0 до 80 °С. Увеличение температуры пород и подземных вод активизирует деятельность микроорганизмов, являющихся агентами биокоррозии. Наиболее распространенными источниками теплового загрязнения геологической среды городских территорий являются магистральные теплопроводы и сети *горячей* водоснабжения.

Электрическое поле блуждающих токов в земле связано с рельсовым электротранспортом. Воздействие его выражается в повышении коррозионной активности среды. Опасность коррозии возникает при плотности блуждающих токов $5 - 10^{-2} \text{ А/м}^2$, тогда как реально наблюдаемая их плотность в городах в 200 раз выше. При высоком уровне электрического воздействия скорость коррозии стали составляет до 2 мм в год, а сроки безаварийной службы трубопроводов сокращаются вдвое. Утечки из трубопроводов в свою очередь служат новыми источниками загрязнения геологической среды городов.

Для избежания критических ситуаций, представляющие угрозу для жизни людей и приводящих к деформации и разрушению зданий и сооружений, важна достоверная оценка современного состояния геологических объектов и процессов, прогноз их изменения во времени при взаимодействии с объектами, с объектами техносферы.

Горные породы являются одним из *естественных источников облучения* жителей городов. От содержания в породах радионуклидов радия, тория и калия зависит как внешнее, так и внутреннее облучение людей. Внутреннее облучение в наибольшей степени связано с поступлением через органы дыхания газа радона, который является продуктом радиоактивного превращения элементов урановой цепи. Этот газ обладает способностью эманировать из пород, проникать через отверстия в полу и стенах, через стыки элементов конструкций в помещения и накапливаться на первых этажах зданий.

Непосредственным источником выделения радона является радий-226. По содержанию этого изотопа горные породы сильно различаются. Особенно высокие содержания радия могут быть в некоторых разновидностях гранитов, а из осадочных пород – в глинистых сланцах, обогащенных органическим веществом. Уровень радоновыделения зависит не только от концентрации в них радиоизотопов, но и от структурно-тектонических особенностей территории. В зонах тектонических разломов и повышенной трещиноватости пород наделение радона происходит более интенсивно.

Повышенная радиоактивность пород основания и техногенных отложений, на которых построены города и другие населенные пункты, установлена в Австралии, Германии, Финляндии, Швеции и других странах.

5.4. Состояние геологической среды, влияние горнодобывающей деятельности на экологические условия

В недрах Беларуси выявлено более 10 000 месторождений полезных ископаемых. Разработка месторождений изменяет природные режимы подземных вод, воздействует на атмосферу (пылевая, аэрозольная и газо-

вая загрязненность) и биосферу земли (снятие природного слоя, уничтожение растительности, изгнание животных и др.). Степень такого влияния во многом зависит от способа разработки месторождений и объемов добычи полезных ископаемых. Одним из самых интенсивных источников техногенного воздействия на окружающую среду является горнодобывающая промышленность.

В современных условиях недра Беларуси следует рассматривать не только как природное хранилище минерально-сырьевых ресурсов, но и как естественное пространство для строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых (метро, подземные газохранилища), захоронения отходов, сброса загрязненных сточных вод и др.

Разведанные в настоящее время запасы минерально-сырьевых ресурсов позволяют полностью обеспечивать республику калийными удобрениями, сырьем для цемента, доломитом, многими видами глинистого сырья, строительными и формовочными песками, песчано-гравийными материалами для дорожного строительства и строительной индустрии, торфом, сапропелем, поваренной солью, пресными и минеральными подземными водами.

Государственная политика в области разработки недр направлена на максимальное повышение уровня обеспеченности промышленности собственными минерально-сырьевыми ресурсами. С целью компенсации выбывающих в результате добычи запасов полезных ископаемых в рамках выполнения заданий Программы ускорения геологоразведочных работ по развитию минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 2001–2015 годы получены следующие приросты: нефти – 5,87 млн. т, песчано-гравийной смеси – 41,7 млн. м³, песков строительных – 47,7 млн. м³, глинистого сырья – 10,3 млн. м³, мела – 13 млн. т, пресных подземных вод – 378,9 тыс. м³/сутки, минеральных подземных вод – 613 м³/сутки, калийных солей – 135 млн. т.

По состоянию на 01.01.2015 г. Государственным балансом запасов полезных ископаемых учтено 10436 месторождений, из них: нефти – 75, торфа – 9192, угля – 2, сапропеля – 85, калийных солей – 3, поваренной соли – 3, стройматериалов и прочего нерудного сырья – 626, пресных подземных вод – 256, минеральных вод – 201 месторождение.

В разработке находилось 493 месторождения, из них: нефти – 42, торфа – 46, сапропеля – 5, калийных солей – 1, поваренной соли – 1, стройматериалов и прочих видов нерудного сырья – 150, пресных подземных вод – 153, минеральных вод – 95.

Исходя из горно-геологических условий залегания полезных ископаемых, в Беларуси применяется скважинный, карьерный и шахтный способы разработки месторождений. Посредством буровых скважин

производится разработка месторождений пресных и минеральных подземных вод, поваренной соли (методом подземного растворения) и нефти.

Пробурено более 34 700 скважин глубиной свыше 20 м для организации хозяйственно-питьевого водоснабжения, 240 скважин на минеральные воды, 12 специализированных рассолодобывающих скважин (на Мозырском месторождении поваренной соли) и более 2000 глубоких скважин на нефть, в том числе 7 скважин глубиной свыше 5000 м. Самая глубокая нефтяная скважина (5420 м) находится в Светлогорском районе на Восточно-Бабичской площади.

В процессе эксплуатации месторождений нефти загрязнено в различной степени более 600 га земель. Источниками загрязнения, помимо загрязнения нефтепродуктами, являются отработанные буровые растворы и шламы, сточные воды, определенные количества которых, даже при соблюдении природоохранных мероприятий, попадают в местную гидросеть.

В последние годы с целью сокращения площадей такого рода загрязнений все шире применяется безамбарные системы очистки буровых растворов при нефтяном бурении, начато строительство подземного хранилища отработанных буровых шламов.

Значительно увеличилось за четыре последних года количество ликвидируемых, согласно санитарно-техническим нормам, неработающих артезианских скважин. С целью исключения негативного воздействия через заброшенные скважины подземных водоносных горизонтов практически завершена их инвентаризация на территории республики.

Карьерный способ разработки является наиболее распространенным в Беларуси. Количество карьеров, зарегистрированных за последние 15 лет только по разработке месторождений строительных материалов и торфа превышает 1000 штук, из них рекультивированных, законсервированных и заброшенных 500–600 штук. Только за 2015 г. в результате карьерных разработок месторождений, числящихся на Государственном балансе, извлечено из недр свыше 18 млн. т полезных ископаемых.

Карьерные разработки активно действуют на атмосферу. В результате взрывов при горных работах поступают в окружающую среду разнообразные газы, пыль, аэрозоли. Карьерные разработки приводят к вскрытию водоносных горизонтов, располагающихся до глубины отработки полезного ископаемого, что в свою очередь приводит к снижению напоров водоносных горизонтов, проникновению в более высокие горизонты пресных подземных вод минеральных вод из более глубоких горизонтов и наоборот.

Особенно негативное влияние на окружающую среду оказывает добыча торфа. Площадь трансформированных земель в результате его добычи составляет более 300 тыс. га. Они переданы в основном сельскому

и лесному хозяйству, на площади около 9 тыс. га созданы водохранилища. Однако значительная их часть (около 30 %) находится в осушенном состоянии и продолжает дестабилизировать биосферные процессы. Проблема научно обоснованного использования выработанных торфяных месторождений в полном объеме пока не решена, хотя в последние годы наметилась устойчивая тенденция их экологической реабилитации. Наиболее перспективно использовать выработанные торфяные месторождения, деградированные и неэффективно используемые торфяные почвы под повторное заболачивание. При этом повышается уровень грунтовых вод, снижается пожароопасность, восстанавливаются места обитания уникальных видов животных, возобновляется процесс образования и накопления торфа. Реабилитация обеспечивает возобновление не только болото- и торфообразовательных процессов, но также и всех биосферных функций болот. Восстановление болот путем повторного заболачивания выработанных торфяных месторождений в последние годы проведено на общей площади около 20 тыс. га, что явно недостаточно. Но даже при современных темпах экологической реабилитации к 2020 г. общая площадь болот увеличится на 50 тыс. га.

В стадии завершения находится разработка мероприятий по снижению минерализации карьерных вод на месторождении строительного камня Микашевичи. В работе принимают участие РУП «Гранит», РУП «Белгеология» и ОАО «Белгорхимпром».

Значительные площади нарушенных земель на территории республики связаны с открытой разработкой строительных материалов. Следует отметить, что ряд горнодобывающих предприятий (ОАО «Красносельскстройматериалы», ОАО «Нерудпром») в настоящее время активно совершенствуют технологии горных работ, проводят полноценный комплекс экологических мероприятий.

Подземный (шахтный) метод разработки применяется на Старобинском месторождении калийных солей, где работают 4 рудника. Максимальная глубина разработки (900 м) достигнута на шахтном поле четвертого рудника. Начато строительство пятого Краснослободского рудника.

Принятая система разработки калийных солей значительно трансформировала ландшафты Солигорского промышленного района. Наблюдаются просадки земной поверхности, деформация пород над горными выработками и под солеотвалами, проявляется техногенный соляной карст, отмечается повышенная сейсмическая активность, обусловленная обрушением старых выработок.

Действующая стратегия форсированного наращивания мощностей производства калийных удобрений и интенсификация подземных горно-выработочных работ привела к тому, что на поверхности земли к настоящему времени накопилось порядка 700 млн. т твердых галитовых отходов

дов в 4-х солеотвалах высотой до 110–120 м и на площади свыше 5 км² и более 65 млн. т глинисто-солевых шламов в шламохранилищах на площади свыше 7 км². В различной степени негативное влияние горных работ в этом районе сказалось на площади порядка 120–130 км².

С целью снижения последствий воздействия горнодобывающей промышленности на природную среду, восстановления природного и хозяйственного потенциала нарушенных земель, в соответствии с НПДООС на 2001–2015 гг. осуществляется комплекс природоохранных мероприятий. Так, концерном «Белнефтехим» разработана и внедрена технология рационального размещения отходов обогащения калийных руд. Разработанные технологии значительно снижают нагрузку на окружающую среду за счет минимизации использования земель для складирования отходов.

В рамках реализации Государственной комплексной программы неотложных мер охраны окружающей среды Солигорского промышленного района РУП «Беларуськалий» внедрил селективную выемку руды с закладкой отходами вырабатываемого пространства. Такое многоцелевое природоохранное мероприятие уменьшает площади под солеотвалами, укрывает отходы от атмосферного воздействия, предотвращает засоление почв и грунтовых вод, снижает величину оседания земной поверхности, заболачивание и затопление земельных угодий, предохраняет рудники от затопления.

Большое значение имеет рациональное и комплексное использование минерально-сырьевых ресурсов. Для уменьшения потерь сырья при добыче, транспортировке и переработке полезных ископаемых и рационального использования попутно извлекаемых компонентов в 2004 г. Проматомнадзор МЧС совместно с департаментом по геологии разработали и утвердили «Правила рациональной и комплексной добычи минерального сырья (твердые полезные ископаемые)».

В целях интенсификации геологоразведочных работ и снижения сырьевой и энергетической зависимости экономики от импорта Правительство приняло «Государственную программу геологоразведочных работ по развитию минерально-сырьевой базы Беларуси на 2006–2010 года и на период до 2020 года» и «План действий по интенсификации разработки недр Республики Беларусь». В них предусматривалась подготовка к освоению как новых месторождений уже традиционных для республики видов полезных ископаемых, так и новых (бурые угли, горючие сланцы, железные руды, гипс). Программой и Планом предусмотрен целый ряд мероприятий, направленных на снижение до минимума негативного воздействия на окружающую среду разработки месторождений и создание современных, экологически чистых технологий добычи минерального сырья (скважинная добыча, подземная газификация каустобиолитов и т. д.).

ГЛАВА 6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОСФЕРЫ

6.1. Состояние поверхностных и подземных вод

По обеспеченности водными ресурсами Беларусь находится в благоприятных условиях. Имеющиеся ресурсы природных вод вполне достаточны для удовлетворения как современных, так и перспективных потребностей страны в воде. Водообеспеченность на одного жителя Беларуси составляет 3,6 тыс. м³, в том числе подземными водами 1,4 тыс. м³. Это выше, чем в Англии (2,6 и 1,0 соответственно), Нидерландах (0,7 и 0,25) и Украине (1,0 и 0,2). Самые высокие показатели обеспеченности водой имеют Норвегия (89,0 и 27,5) и Россия (9,0 и 2,0).

Поверхностные водные ресурсы представлены, главным образом, речным стоком, который в средние по водности годы составляет 57,9 км³ (табл. 19). Около 55 % годового стока приходится на реки бассейна Черного моря и, соответственно, 45 % – Балтийского. В многоводные годы общий речной сток увеличивается до 92,4 км³, а в маловодные (95 % обеспеченности) снижается до 37,2 км³ в год.

Таблица 19

Ресурсы речного стока в разрезе бассейнов основных рек Беларуси

Бассейн реки	Водные ресурсы в средний по водности год, км ³ /год	
	формирующиеся в пределах страны	суммарные
Западная Двина (вкл. р. Ловать)	6,8	13,9
Неман (искл. р. Виляя)	6,6	6,7
Виляя	2,3	2,3
Западный Буг (вкл. р. Нарев)	1,4	3,1
Днепр	11,3	18,9
Припять	5,6	13,0
Всего	34,0	57,9

Большая часть речного стока (34 км³ или 59 %) формируется в пределах страны. Приток воды с территории соседних государств (России и Украины) равен 23,9 км³ в год (41 %). Общий объем воды, аккумулированный в озерах республики, достигает 6–7 км³, а в 153 водохранилищах – 3,1 км³.

Пресные подземные воды являются одним из наиболее ценных возобновляемых природных ресурсов. Они распространены на территории Беларуси повсеместно. Их естественные ресурсы составляют 15,9 км³ в год, прогнозные – 18,1 км³ в год, причем более половины из них гид-

равлически связаны с речными. Величина естественных и прогнозных ресурсов зависит от условий формирования подземных вод, которые наиболее благоприятны в центральной, северо-восточной и западной частях страны.

По состоянию на 2015 г. в стране разведано 256 месторождений и участков подземных вод с общими эксплуатационными запасами 6586 тыс. м³/сут, или 13 % от суммы прогнозных ресурсов. Распределение ресурсов и запасов подземных вод по бассейнам основных рек представлено в табл. 20. Эксплуатируются в основном неглубоко залегающие (50–200 м) водоносные горизонты, имеющие тесную гидравлическую связь с вышележащими горизонтами подземных вод и поверхностными водотоками.

Таблица 20

Ресурсы и запасы подземных вод в бассейнах основных рек Беларуси

Бассейны рек	Прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод, тыс. м ³ /сут	Количество участков месторождений	Разведанные эксплуатационные запасы подземных вод по категориям, тыс. м ³ /сут				
			A	B	C ₁	C ₂	Всего
Зап. Двина	8141,2	26	332,3	223,3	194,8	—	750,4
Днепр	15144,8	ИЗ	1612,6	977,6	372,12	10,0	2972,32
Припять	10278,4	45	508,1	383,8	122,7	41,0	1055,6
Неман	9629,3	46	452,56	486,64	209,5	10,0	1158,7
Вилки	4589,0	14	134,0	125,3	40,1	—	299,4
Зап. Буг	1813,3	12	205,25	122,65	22,2	—	350,1
Всего:	49596,0	256	3244,81	2319,29	961,42	61,0	6586,52

Наиболее крупные месторождения подземных вод с разведанными запасами более 40–50 тыс. м³/сут расположены в районах крупных промышленных центров и населенных пунктов Минской, Гомельской, Витебской и Гродненской областей.

6.2. Использование природных вод

Начиная с 90-х гг. XX в. прослеживается тенденция к снижению объемов забора воды как из поверхностных, так и подземных источников. Забор воды из природных водных объектов Республики Беларусь в 2015 г. составил 1791 млн. м³ (в 2000 г. – 1883 млн. м³), в том числе из поверхностных водных объектов – 753 млн. м³, из подземных – 1038 млн. м³ (табл. 21). Самым крупным потребителем воды среди городов страны является г. Минск, в пределах которого в 2014 г. использова-

но 263 млн. м³, в том числе на хозяйственно-питьевые нужды – 210 млн. м³ и 53 млн. м³ на производственные нужды. В других крупных городах использованы следующие объемы воды: в Бресте – 38,3 млн. м³ (забрано – 44,8); в Витебске – 44,3 млн. м³ (забрано – 53,6); в Гомеле – 72,0 млн. м³ (забрано – 80,5); и Гродно – 69,9 млн. м³ (забрано – 73,3); в Могилеве – 67,9 млн. м³ (забрано – 78,0). Наибольший объем воды в 2004 г. для использования забран в бассейне р. Днепр – 1092 млн. м³, в т. ч. в бассейне р. Березина – 443, р. Припять – 362 млн. м³.

Таблица 21

Основные показатели водопользования
в Республике Беларусь за 2000–2015 гг.

Показатель	Объемы воды, млн. м ³ в год				
	2000	2004	2008	2010	2015
Забрано воды из природных водных объектов	1883	1885	1865	1832	1791
Использовано свежей воды:	1700	1705	1692	1667	1646
- на хозяйственно-питьевые нуж-	782	794	794	785	767
- на производственные нужды	529	523	500	455	469
- на сельхоз водоснабжение	155	148	139	134	125
- на орошение	5	6	5	12	8
- в рыбном прудовом хозяйстве	229	234	254	280	277
Расходы воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения	6155	6100	5722	5842	6391
Потери воды при ее транспортировке	117	113	117	116	107
Сброшено сточных вод в поверхностные водные объекты:	1173	1205	1169	1143	1138
- загрязненных и недостаточно очищенных	25	23	20	15	11
- нормативно-очищенных	884	903	884	872	866
- нормативно-чистых (без очистки)	264	279	265	256	261
Мощность очистных сооружений, после которых сточные воды сбрасываются в водные объекты	1329	1328	1329	1346	1351

Использование воды на хозяйственно-питьевые нужды остается основной составляющей в использовании свежей воды по республике. Суточное водопотребление на одного жителя республики уменьшилось

только за 10 лет на 30 литров и составило 150 литров в 2015 г. Вместе с тем, потребление питьевой воды на душу населения по городам республики выше, чем в большинстве стран Европы (100–120 л в сутки). Наибольшее удельное водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды отмечено в гг. Минск, Гродно, Могилев, Гомель и Бобруйск.

Снижение потребления объясняется процессом упорядочения приборного учета объемов забираемой и передаваемой потребителям воды в жилищно-коммунальном хозяйстве, а также усилением позитивных тенденций ресурсосбережения. Инструментальным учетом охвачено 86 % забора воды из природных водных источников и 93 % сброса сточных вод в природные водные объекты. Всего учетом охвачено 4254 водопользователя, на балансе которых имеется 263 водозабора из поверхностных водных объектов и 4196 водозаборов подземных вод. Количество артезианских скважин составляет 28 497, в том числе подлежащих тампонажу – 2111.

Выпуски сточных вод имеют 2960 предприятий, в том числе 387 предприятий имеют выпуски сточных вод непосредственно в поверхностный водный объект (456 выпусков) За пределы водного объекта поступают сточные воды от 3500 выпусков.

Зарегистрировано дальнейшее снижение потребления воды питьевого качества на производственные нужды. Тенденция снижения использования воды на производственные нужды, наблюдавшаяся ранее, сохранилась (с 529 млн. м³ в 2000 г. до 369 млн. м³ в 2014 г.). Сохранились темпы снижения использования воды в сельском хозяйстве. Объем использования воды этой отраслью сократился.

Без изъятия воды из водных объектов используют поверхностные водные ресурсы гидроэнергетики (6 тыс. кВт установленной мощности), рыбное хозяйство (1100 прудов), водный транспорт (протяженность рек и каналов с гарантированными глубинами – 2,5 тыс. км).

В 2014 г. по сравнению с 2000 г. отмечено увеличение объемов воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения).

По сравнению с 2000 г. уменьшился сброс сточных вод в поверхностные водные объекты с 1173 млн. м³ до 338 млн. м³. Также уменьшился сброс загрязненных и недостаточно-очищенных сточных вод. Наибольший объем нормативно чистой воды сброшен в водные объекты предприятиями сельского хозяйства, главным образом, предприятиями прудового рыбного хозяйства. Отраслями промышленности сброшено 94,0 млн. м³ нормативно-чистых сточных вод, большая часть которых приходится на энергетику – 82,4 млн. м³.

В сфере промышленного производства наибольший вклад в водоотведение вносит энергетика (91,6 млн. м³), несколько меньший объем сточных вод образуется в нефтехимической отрасли (71,2 млн. м³) и топливной

промышленности (35,0 млн. м³). Сточные воды этих отраслей вместе со сточными водами пищевой промышленности (17,3 млн. м³) составляют 89 % всех образующихся в промышленной сфере сточных вод.

Практически весь объем (98 %) нормативно-чистых сточных вод, отводимых в водотоки промышленными предприятиями, формируется тремя отраслями промышленности: электроэнергетикой, пищевой, химической и нефтехимической. Вместе с топливной промышленностью на них приходится 81 % отводимых в промышленном секторе нормативно-очищенных сточных вод.

6.3. Показатели качества воды

Разнообразие видов водопользования порождает разнообразие требований к воде. Исходя из этого понятие качества воды должно быть увязано с ее использованием.

Согласно Водному кодексу Беларуси *качество воды* есть характеристика состава и свойств воды, определяющая ее пригодность для конкретного вида водопользования.

Поскольку не существует единого показателя, который характеризовал бы весь комплекс характеристик воды, оценка качества воды ведется на основе системы показателей качества воды. Показатели качества воды делятся на физические, бактериологические гидробиологические и химические. Другой формой классификации показателей воды является их разделение на общие и специфические. К *общим* относят показатели, характерные для любых водных объектов. Присутствие в воде *специфических* показателей обусловлено местными природными условиями, а также особенностями антропогенного воздействия на водный объект.

К основным физическим показателям качества воды относятся температура, запах, прозрачность, цветность, содержание взвешенных веществ.

Температура воды. В водных объектах температура является результатом одновременного действия солнечной радиации, теплообмена с атмосферой, переноса тепла течениями, перемешивания водных масс и поступления подогретых вод из внешних источников. Температура влияет практически на все процессы, от которых зависят состав и свойства воды. Температура воды измеряется в градусах Цельсия (°C).

Запах. Запах воды создается специфическими веществами, поступающими в воду в результате жизнедеятельности гидробионтов, разложения органических веществ, химического взаимодействия содержащихся в воде компонентов и поступления из внешних источников. Запах воды измеряется в баллах.

Прозрачность. Прозрачность воды зависит от степени рассеивания солнечного света в воде веществами органического и минерального про-

исхождения, находящимися в воде во взвешенном и коллоидном состоянии. Прозрачность определяет протекание биохимических процессов, требующих освещенности (первичное продуцирование, фотолит). Прозрачность измеряется в сантиметрах.

Цветность. Цветность воды обуславливается содержанием органических окрашенных соединений. Вещества, определяющие окраску воды, поступают в воду вследствие выветривания горных пород, внутриводоемных продукционных процессов, с подземным стоком, из антропогенных источников. Высокая цветность снижает органолептические свойства воды, уменьшает содержание растворенного кислорода. Цветность измеряется в градусах.

Содержание взвешенных веществ. Источниками взвешенных веществ могут служить процессы эрозии почв и горных пород, взмучивание донных отложений, продукты метаболизма и разложения гидробионтов, продукты химических реакций и антропогенные источники. Взвешенные вещества влияют на глубину проникновения солнечного света, ухудшают жизнедеятельность гидробионтов, приводят к заиливанию водных объектов, вызывая их экологическое старение (эвтрофирование). Содержание взвешенных веществ измеряется в г/м³ (мг/дм³).

Бактериологические показатели характеризуют загрязненность воды патогенными микроорганизмами. К числу важнейших бактериологических показателей относят: коли-индекс – количество кишечных палочек в одном литре воды; коли-титр – количество воды в миллилитрах, в котором может быть обнаружена одна кишечная палочка; численность лактозоположительных кишечных палочек; численность колифагов.

Гидробиологические показатели дают возможность оценить качество воды по животному населению и растительности водоемов. Изменение видового состава водных экосистем может происходить при столь слабом загрязнении водных объектов, которое не обнаруживается никакими другими методами. Поэтому гидробиологические показатели являются наиболее чувствительными. Существует несколько подходов к гидробиологической оценке качества воды.

Оценка качества воды по уровню сапробности. Сапробность – это степень насыщения воды органическими веществами. В соответствии с этим подходом водные объекты (или их участки) в зависимости от содержания органических веществ делятся на полисапробные, α-мезосапробные, β-мезосапробные и олигосапробные. Наиболее загрязненными являются полисапробные водные объекты. Каждому уровню сапробности соответствует свой набор *индикаторных организмов-сапробионтов*. На основе индикаторной значимости организмов и их количества вычисляют индекс сапробности, по которому определяется уровень сапробности.

Оценка качества воды по видовому разнообразию организмов. С увеличением степени загрязненности водных объектов видовое разнообразие, как правило, снижается. Поэтому изменение видового разнообразия является показателем изменения качества воды. Оценку видового разнообразия осуществляют на основе индексов разнообразия (индексы Маргалефа, Шеннона и др.).

Оценка качества воды по функциональным характеристикам водного объекта. В этом случае о качестве воды судят по величине первичной продукции, интенсивности деструкции и некоторым другим показателям.

Физические, бактериологические и гидробиологические показатели относят к общим показателям качества воды.

Химические показатели могут быть общими и специфическими. К числу *общих химических показателей* качества воды относят: содержание растворенного кислорода, химическое потребление кислорода, биохимическое потребление кислорода, водородный показатель, содержание азота, фосфора и др. веществ.

Растворенный кислород. Основными источниками поступления кислорода в водные объекты является газообмен с атмосферой (атмосферная реэрация), фотосинтез, а также дождевые и талые воды, которые, как правило, перенасыщены кислородом. Окислительные реакции являются основными источниками энергии для большинства гидробионтов. Основными потребителями растворенного кислорода являются процессы дыхания гидробионтов и окисления органических веществ. Низкое содержание растворенного кислорода (анаэробные условия) сказывается на всем комплексе биохимических и экологических процессов в водном объекте.

Химическое потребление кислорода (ХПК) определяется как количество кислорода, необходимого для химического окисления содержащихся в единице объема воды органических и минеральных веществ.

Биохимическое потребление кислорода (БПК) определяется как количество кислорода, затрачиваемое на биохимическое окисление содержащихся в единице объема воды органических веществ за определенный период времени. БПК служит оценкой общего загрязнения воды легкоокисляемыми органическими веществами.

Водородный показатель (pH). В природных водах концентрация ионов водорода зависит, главным образом, от соотношения концентрации угольной кислоты и ее ионов. Источниками содержания ионов водорода в воде являются также гуминовые кислоты, присутствующие в кислых почвах и, особенно, в болотных водах, гидролиз солей тяжелых металлов. От pH зависит развитие водных растений, характер протекания продукционных процессов.

Азот может находиться в природных водах в виде свободных молекул N_2 и разнообразных соединений в растворенном, коллоидном или взвешенном состояний. В общем азоте природных вод принято выделять органическую и минеральную формы. Основными источниками поступления азота являются внутриводоемные процессы, газообмен с атмосферой, атмосферные осадки и антропогенные источники. Различные формы азота могут переходить одна в другую в процессе круговорота азота. Высокое содержание азота ускоряет процессы эвтрофирования водных объектов.

Фосфор в свободном состоянии в естественных условиях не встречается. В природных водах фосфор находится в виде органических и неорганических соединений. Основная масса фосфора находится во взвешенном состоянии. Соединения фосфора поступают в воду в результате внутриводоемных процессов, выветривания и растворения горных пород, обмена с донными отложениями и из антропогенных источников. На содержание различных форм фосфора оказывают влияние процессы его круговорота. В отличие от азота круговорот фосфора несбалансирован, что определяет его более низкое содержание в воде. Поэтому фосфор часто оказывается тем биогенным элементом, содержание которого определяет характер продукционных процессов в водных объектах.

Минеральный состав определяется по суммарному содержанию главных ионов: K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . С точки зрения воздействия на человека и гидробионты неблагоприятными являются как высокие, так и чрезмерно низкие показатели минерализации воды.

К наиболее часто встречающимся *специфическим химическим показателям* качества воды относят фенолы, нефтепродукты, пестициды и др.

Фенолы поступают в воду из антропогенных источников, а также за счет метаболизма гидробионтов и биохимической трансформации органических веществ. Источником поступления фенолов являются гуминовые вещества, образующиеся в почвах и торфяниках. Фенолы оказывают токсическое воздействие на гидробионты и ухудшают органолептические свойства воды.

Нефтепродукты (топлива, масла, битумы и некоторые другие вещества) представляют собой смесь углеводородов различных классов. Источниками поступления нефтепродуктов являются утечки при их добыче, переработке и транспортировке, а также сточные воды. Входящие в состав нефтепродуктов углеводороды оказывают токсическое и, в некоторой степени, наркотическое воздействие на живые организмы, поражая сердечно-сосудистую и нервную системы.

ПАВ и СПАВ. К поверхностно-активным веществам (ПАВ) относят органические вещества, обладающие резко выраженной способностью к адсорбции на поверхности раздела «воздух-жидкость». В подавляющем большинстве попадающие в воду поверхностно-активные вещества яв-

ляются синтетическими (СПАВ). СПАВ оказывают токсическое воздействие на гидробионты и человека, ухудшают газообмен водного объекта с атмосферой, снижают интенсивность внутри-водоемных процессов, ухудшают органолептические свойства воды. СПАВ относятся к медленно разлагающимся веществам.

Пестициды объединяют большую группу искусственных хлорорганических и фосфорорганических веществ, применяемых для борьбы с сорняками, насекомыми, грызунами. Основным источником их поступления в воду является поверхностный и дренажный сток с сельскохозяйственных территорий. Пестициды обладают токсическим, мутагенным и кумулятивным действием и разрушаются очень медленно.

Тяжелые металлы. К числу наиболее распространенных тяжелых металлов относятся свинец, медь, цинк. Тяжелые металлы обладают мутагенным и токсическим действием, резко снижают интенсивность биохимических процессов в водных объектах.

Химические показатели измеряются в г/м^3 , мг/дм^3 (мг/л).

В соответствии с Водным кодексом Беларуси оценка качества воды осуществляется на основе нормативов экологической безопасности водопользования и экологических нормативов качества воды водных объектов.

Оценка качества воды на основе нормативов экологической безопасности водопользования. Действующие нормативы позволяют оценить качество воды, используемой для коммунально-бытового, хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного водопользования.

К *коммунально-бытовому* водопользованию относится использование водных объектов для купания, занятия спортом и отдыха. К *хозяйственно-питьевому* водопользованию относится использование водных объектов в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения и для водоснабжения предприятий пищевой промышленности. К *рыбохозяйственному* водопользованию относится использование водных объектов в качестве среды обитания рыб и других водных организмов.

Нормативную базу оценки качества воды составляют общие требования к составу и свойствам воды и значения предельно допустимых концентраций веществ в воде водных объектов.

Общие требования определяют допустимые состав и свойства воды, оцениваемые наиболее важными физическими, бактериологическими и обобщенными химическими показателями. Они могут задаваться в виде конкретной величины, изменения величины показателя в результате воздействия внешних факторов или в виде качественной характеристики показателя.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) – это установленный уровень концентрации веществ в воде, выше которого вода считается непригодной для конкретного вида водопользования. ПДК, как правило, задаются в виде конкретного значения концентрации.

Все вещества по характеру своего отрицательного воздействия делятся на группы. Каждая группа объединяет вещества одинакового признака действия, который называют признаком вредности. Одно и то же вещество при различных концентрациях может проявлять различные признаки вредности. Признак вредности, который проявляется при наименьшей концентрации вещества, называют *лимитирующим признаком вредности (ЛПВ)*. В водных объектах коммунально-бытового и хозяйственно-питьевого водопользования различают три ЛПВ – органолептический, общесанитарный и санитарно-токсикологический. В водных объектах рыбохозяйственного водопользования, кроме названных, выделяют еще два ЛПВ – токсикологический и рыбохозяйственный.

При оценке качества воды в водоемах коммунально-бытового и хозяйственно-питьевого водопользования учитывают также *класс опасности вещества*. Его определяют в зависимости от токсичности, кумулятивности, мутагенности и ЛПВ вещества. Различают четыре класса опасности веществ: первый – чрезвычайно опасные; второй – высокоопасные; третий – опасные; четвертый – умеренно опасные.

При оценке качества воды учитывается принцип аддитивности – одностороннего действия. В соответствии с этим принципом принадлежность нескольких веществ к одному и тому же ЛПВ появляется в суммировании их негативного воздействия.

С учетом сказанного оценка качества воды с точки зрения экологической безопасности водопользования производится по рассмотренной ниже методике.

Водные объекты считаются пригодными для коммунально-бытового и хозяйственно-питьевого водопользования, если одновременно выполняются следующие условия:

- не нарушаются общие требования к составу и свойствам воды для соответствующей категории водопользования;
- для веществ, принадлежащих к третьему и четвертому классам опасности, выполняется условие:

$$C \leq ПДК,$$

где C – концентрация вещества в водном объекте, г/м³;

- для веществ, принадлежащих к первому и второму классам опасности, выполняется условие:

$$\sum \frac{C_i}{ПДК_i} \leq 1,$$

где C_i и $ПДК_i$ соответственно концентрация и ПДК i -го вещества первого или второго класса опасности.

Водные объекты считаются пригодными для рыбохозяйственного водопользования, если одновременно выполняются следующие условия:

- не нарушены общие требования к составу и свойствам воды для соответствующей рыбохозяйственной категории;
- для веществ, принадлежащих к одинаковому ЛПВ, выполняется условие:

$$\sum \frac{Ci}{ПДК_i} \leq 1,$$

где C_i и $ПДК_i$ соответственно концентрация и ПДК i -го вещества, принадлежащего к данному ЛПВ.

Нормы качества воды должны выполняться:

- для водотоков коммунально-бытового и хозяйственно-питьевого водопользования – на участках от пункта водопользования до контрольного створа, расположенного на расстоянии не менее одного километра выше по течению от этого пункта водопользования;
- для водоемов коммунально-бытового и хозяйственно-питьевого водопользования – на акватории в радиусе не менее одного километра от пункта водопользования;
- для водотоков рыбохозяйственного водопользования – в пределах всего рыбохозяйственного участка водотока, начиная с контрольного створа, расположенного не далее 500 метров ниже по течению от источника поступления примесей;
- для водоемов рыбохозяйственного назначения – на всем рыбохозяйственном участке, начиная с контрольного пункта, расположенного в радиусе не более 500 метров от места поступления примеси.

Оценка качества воды на основе экологических нормативов. Экологические нормативы качества воды устанавливаются для оценки состояния водных объектов на основе экологической классификации поверхностных вод.

Система экологической классификации качества поверхностных вод включает три классификационные группы: солевого состава, эколого-санитарных показателей и показателей состава и биологического действия специфических веществ.

В зависимости от значений показателей качества воды поверхностные воды относят к определенной категории и классу качества воды. Классы и категории, используемые при экологической классификации качества воды, приведены в табл. 22.

Определение класса и категорий качества воды осуществляется по методикам, изложенным в соответствующих нормативных документах.

Классы и категории качества поверхностных вод суши

Класс качества воды	I		II		III		IV	V
Категория качества воды	1		2	3	4	5	6	7
Названия классов и категорий качества вод по степени загрязненности	Очень чистые		Чистые		Загрязненные		Грязные	Очень грязные
	Очень чистые		Чистые	Достаточно чистые	Слабо загрязненные	Умеренно загрязненные	Грязные	Очень грязные
Трофность	Олиго-трофные		Мезо-трофные		Эвтрофные		Поли-трофные	Гипер-трофные
	Олиго-трофные-олиго-мезо-трофные		Мезо-трофные	Мезо-эвтрофные	Эвтрофные	Эвпо-литрофные	Поли-трофные	Гипер-трофные
Сапробность	Олигосапробные		β -мезо-сапробные		α -мезосапробные		Поли-сапробные	
	β -олигосапробные	α -олигосапробные	β' -мезосапробные	β'' -мезосапробные	α' -мезосапробные	α'' -мезосапробные	Полисапробные	

6.4. Водоснабжение и питьевая вода

Водоснабжение городского населения осуществляется в основном из подземных водных источников. Для централизованного водоснабжения 92 городов и промышленных центров Беларуси используются 155 групповых водозаборов. Суммарный водоотбор по этим водозаборам со-

ставил 0,656 км³/год. Водоотбор из источников с неутвержденными запасами составил 0,384 км³/год. Из поверхностных водозаборов частично обеспечивались питьевой водой только жители городов Минск и Гомель.

На качество питьевой воды, подаваемой населению, значительное влияние оказывают санитарно-гигиенические условия участков вокруг водозаборных сооружений, специфика очистных сооружений, а также санитарно-техническое состояние водозаборов. В республике многие водозаборные скважины (14 %) не обеспечены водоохранными зонами строгого режима и около 80 % коммунальных водопроводов не имеют необходимого комплекса очистных (главным образом, обезжелезивающих) сооружений.

Качество подземных вод эксплуатируемых месторождений в основном соответствует требованиям СанПиН 10-124 РБ 99. Однако по ряду показателей (жесткость, цветность, мутность, содержание марганца, железа, аммония) подземные воды на отдельных водозаборах не отвечают данным требованиям.

В 2015 г. обследовано около 14 тысяч источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Результаты проведенных лабораторных исследований показывают, что 20 % проб воды из этих источников не соответствовало санитарно-гигиеническим нормам питьевой воды. Указанный показатель увеличился на 21 % в сравнении с уровнем 2000 г. и значительно колеблется в различных регионах (от 30,9 % в Могилевской области до 66,3 % в Брестской области). В целом по республике 45,8 % исследованных проб воды не соответствовали указанным нормам по санитарно-химическим показателям. Основной причиной отклонения от гигиенических нормативов питьевой воды является повышенное содержание в воде железа природного происхождения и связанное с этим превышение норм по мутности и цветности. Всего по республике 50,6 % исследованных проб воды не соответствовали санитарным нормам для питьевой воды по содержанию железа, в том числе в 16,1 % – случаев показатель превышал допустимый норматив для водных источников 1 класса в 5 и более раз.

Кроме того, по данным лабораторий учреждений госсаннадзора, в 2014 г. зарегистрированы водозаборы с превышением нормативов на питьевую воду (% исследованных проб):

- жесткостью воды – 2,6;
- концентрациями марганца – 5,9;
- концентрациями аммиака – 2,0;
- другими химическими веществами – 0,5.

В 2015 г. учреждениями госсаннадзора обследовано около 14 тыс. источников децентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. 18,8 % этих источников не соответствуют санитарным требованиям.

Свыше 40 % проб воды из указанных источников не соответствуют нормам по санитарно-химическим показателям, 20,9 % проб не отвечали нормативу по микробиологическому составу. Основное количество проб воды, не соответствующих нормативам, регистрировалось по содержанию нитратов (39,4 %), органолептическим свойствам (9,2 %), общей жесткости (12,4 %), повышенным концентрациям железа (5,4 %), аммиака (0,9 %) и марганца (2,1 %).

Загрязнение воды колодцев связано с внесением органических и минеральных удобрений в возделываемые пашни. Немаловажными причинами повышенного загрязнения воды колодцев являются также отсутствие необходимого благоустройства прилегающей территории, близкое расположение выгребов и сараев для скота, отсутствие глиняных замков у колодцев.

Водоёмы 1-й категории использовались для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Гомель и Минск. В 2004 г. переведен на водоснабжение из подземных водных источников Гродно. В 2005 г. 61,9 % проб воды из указанных водоёмов не соответствовало гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям и 14,5 % – по микробиологическим.

Несоответствие воды по повышенным показателям мутности и цветности отмечается чаще всего в паводковый период.

Несоответствие воды микробиологическим нормам составило в 2004 г. 14,5 % и связано с повышенной концентрацией лактозоположительной кишечной палочки. Нестандартные пробы по микробиологическим показателям регистрировались на Гомельском водозаборе.

На водоёмах 2-й категории, используемых населением для культурно-бытовых целей, пробы воды отбирались в 788 створах. В 2015 г. качество воды в местах, контролируемых учреждениями госсаннадзора, было лучше, чем в 2001 г.: по санитарно-химическим показателям не соответствовало 15,5 % проб воды; по микробиологическим не соответствовало норме 8,7 % проб. Превышение нормативов по микробиологическим критериям отмечалось, главным образом, по показателю концентрации лактозоположительной кишечной палочки. Вместе с тем имели место случаи (1,2 %) выделения из воды возбудителей инфекционных заболеваний. Наибольший удельный вес проб воды, не отвечающих нормативам по санитарно-химическим показателям, зарегистрирован на водоёмах, используемых населением Минска (22,9 %) и Гомельской области (41,3 %). По микробиологическим критериям наиболее неблагоприятные показатели качества воды водоёмов в Минске и Минской области, где соответственно 12,7 % и 12,0 % исследованных проб воды не отвечали гигиеническим нормативам.

Воды, являясь важнейшим компонентом природной среды, используются и охраняются в республике как основа жизнедеятельности человека и функционирования природных систем. *Основная ответственность за управление водными ресурсами в стране возложена на Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды.* Оно ведет государственный контроль за использованием и охраной водных ресурсов, разрабатывает законодательные акты, стандарты и мероприятия в области использования и охраны водных ресурсов.

На очистных сооружениях 98 городов очищается 98 % всех сброшенных в водные объекты сточных вод республики. Современная система канализации предусматривает, как правило, совместную очистку сточных вод промышленных предприятий и жилищно-коммунального хозяйства городов Беларуси на единых очистных сооружениях. Их суммарная мощность составляет 1351 млн. м³. В то же время фактический объем нормативно-очищенных и недостаточно очищенных сточных вод не превышает 877 млн. м³.

В сельском хозяйстве за счет больших объемов сброса сточных вод главным поставщиком загрязняющих веществ, отводимых в реки и водоемы в составе сточных вод, является прудовое рыбное хозяйство. На его долю приходится около 100 % фосфатов, 96 % сбрасываемого в водные объекты железа общего и взвешенных веществ, 86 % сульфатов, 83 % хлоридов, 81 % органических веществ и 67 % азота аммонийного от общего количества загрязняющих веществ, образующихся в отрасли.

Среди локальных источников загрязнения поверхностных вод выделяются областные центры, на долю которых приходится 68 % общей нагрузки по тяжелым металлам (никель, железо, цинк, хром), 64 % по взвешенным веществам, 58 % по соединениям азота (аммонийному, нитратному и нитритному), 63 % по нефтепродуктам, 54 % по органическим веществам. Самым мощным локальным источником воздействия на поверхностные воды как по объему сбрасываемых сточных вод, так и по количеству содержащихся в них загрязняющих веществ является г. Минск. Здесь формируется 26 % суммарной нагрузки по тяжелым металлам, 34 % по соединениям азота, 38 % по нефтепродуктам, 40 % по взвешенным веществам, 32 % по органическим веществам. Следует также отметить г. Гомель, на долю которого приходится 99 % объема содержащихся в сточных водах фторидов, и г. Могилев, где формируется 35 % сбрасываемых в водные объекты фенолов.

В разной степени испытывают нагрузку от сброса сточных вод поверхностные воды основных речных бассейнов. Самому значительному антропогенному влиянию подвержены водные объекты в бассейне Днепра. Техногенное воздействие на реки в бассейнах Немана, Западной Двины, Западного Буга значительно меньше.

Наибольшую нагрузку сточными водами испытывают следующие участки рек: р. Свислочь ниже г. Минск, р. Уза ниже г. Гомель, р. Днепр ниже г. Могилев, р. Неман ниже г. Гродно, р. Случь ниже г. Солигорск, р. Западный Буг ниже г. Брест, р. Западная Двина ниже г. Витебск и ниже г. Новополоцк, р. Березина ниже г. Бобруйск, р. Припять ниже г. Мозырь.

Согласно данным мониторинга, большинство рек Беларуси в соответствии с индексом загрязнения воды (ИЗВ), в основу которого положены такие параметры как растворимый кислород, БПК, азот аммонийный и нитритный, нефтепродукты и цинк, относится к категории относительно чистых. Более высокие значения ИЗВ, как правило, характерны для участков рек ниже крупных промышленных центров. Самой загрязненной рекой является р. Свислочь на участке ниже выпуска сточных вод Минской станцией аэрации.

Состояние подземных вод

В республике организована обширная сеть наблюдательных скважин для изучения уровней и качества подземных вод. Анализ результатов режимных наблюдений свидетельствует о том, что снижение уровней подземных вод на большинстве групповых водозаборов не превышает допустимых значений. Практически все водозаборы работают в условиях установившегося или близкого к нему режима фильтрации. Вместе с тем, многолетняя и интенсивная эксплуатация подземных вод групповыми водозаборами в крупных промышленных центрах (Минск, Гомель, Гродно, Барановичи и др.) привела к формированию обширных депрессионных воронок в эксплуатируемых водоносных горизонтах. Так, в Минском районе в результате взаимодействия нескольких групповых водозаборов образовалась депрессионная воронка диаметром более 40 км и понижением в центральной части 25–30 м.

Сосредоточенный отбор подземных вод крупными водозаборами вблизи малых рек оказывает на их сток существенное влияние. Так, например, под влиянием минских водозаборов подземных вод нарушен сток в верховьях рек Цна, Лошица, Слепянка, Волма, Тростянка и Сенница.

Качество пресных подземных вод не всегда удовлетворяет санитарно-гигиеническим требованиям. Наиболее характерным для отдельных регионов Беларуси является повышенное содержание в подземных водах железа (до 2–5 мг/дм³ и более при уровне ПДК = 0,3 мг/дм³) и связанные с этим повышенные мутность и цветность воды. Иногда отмечается повышенное содержание марганца (до 0,3–0,8 мг/дм³ при ПДК = 0,1 мг/дм³). Для большей части пресных подземных вод характерен дефицит фтора и йода.

В последние десятилетия на значительной территории наблюдается ухудшение качества подземных вод под влиянием антропогенных факто-

ров, главным образом, сельскохозяйственного, коммунально-бытового и промышленного. Опасные уровни загрязнения подземных вод формируются в пределах крупных полигонов твердых бытовых отходов, очистных сооружений и полей фильтрации.

Применение удобрений и ядохимикатов вызывает рост в грунтовых водах содержания хлоридов, в 4–6 раз превышающий их фоновые концентрации, сульфатов – в 2–4 раза, нитратов – в 6–10 раз. В районах животноводческих комплексов, на полях орошения, местах складирования минеральных удобрений и ядохимикатов загрязнение подземных вод имеет очаговый характер. Здесь отмечается превышение ПДК по хлоридам и сульфатам в 2–3 раза, нитратам в 4–5 раз, аммиаку до 200 раз, содержание калия и натрия увеличивается до 200 мг/дм³.

В районе солеотвалов и шламохранилищ Солигорского калийного комбината сформировалась зона хлоридно-натриевого засоления. Загрязняются не только подземные, но и поверхностные воды Солигорского водохранилища и р. Случь.

В пределах промышленных площадок ПО «Белорусьнефть» вследствие утечек аварийных разливов буровых растворов и рассолов также сформировались ареалы загрязнения подземных вод хлоридами, сульфатами, тяжелыми металлами и другими компонентами.

6.5. Мелиорация и сосредоточенный водоотбор

Воды поверхностного стока (реки, озерные водоемы, болотные воды) составляют наиболее уязвимый элемент гидросферы земли, испытывающий постоянное воздействие процессов и продуктов природного и техногенного происхождения. С этим обстоятельством связаны высокие уровни загрязнения речных и озерных вод, в том числе и на территории Беларуси. Совместным воздействием загрязненных атмосферных осадков и высокотоксичных стоков с сельхозугодий, крупных животноводческих комплексов, промышленных предприятий и повсеместных свалок столь же высокотоксичных твердых отходов в республике давно выведены из строя поверхностные источники водоснабжения, реки и большая часть замкнутых водоемов. Только в течение десятилетия (1965–1975 гг.) минерализация речных вод возросла в среднем на 22 мг/дм³ (зимняя межень). В последующие 15 лет состав речных вод претерпел дальнейшие изменения. Неизмеримо ухудшилось бактериологическое состояние, газовый режим и ионно-солевые характеристики речных вод. На некоторых участках речных водотоков содержание нитритов и НП превышает ПДК в десятки раз. По содержанию азотистых соединений, разнотипных ядохимикатов, хлоридов и хлорорганических соединений, тяжелых металлов и, в частности, ртути поверхностные воды, например р. Свислочь, опасны для живых организмов и человека. Особенно загряз-

нены донные осадки рек и замкнутых водоемов. Чрезвычайно высокие и ураганные концентрации в них тяжелых металлов (ртуть, кадмий, хром, свинец и др.), ядохимикатов и радионуклидов (в зонах Чернобыльских выпадений) заставляют рассматривать донные образования русел рек и затонов в качестве линейных очагов постоянного загрязнения речной воды и подземных вод верхней части зоны активного водообмена.

Серьезные нарушения гидрологического режима речных вод происходят в результате осушения болот и заболоченных земель.

Осушение болот Беларуси начато еще в первой половине XVI в. на Полесье. Наиболее интенсивно мелиоративные работы проводились в период с 1960–1970 гг. Так в Брестской области в это время ежегодно осушалось в среднем около 30 тыс. га, в Гомельской и Минской областях – по 27 тыс. га, а в целом по республике – 118 тыс. га. В Витебской области максимальные темпы осушения пришлось на период 1985–1990 гг. За последнее десятилетие прирост осушенных земель резко снизился.

На территории республики наибольшее количество осушенных земель приходится на Брестскую область, в которой осушительная мелиорация проведена на 22,7 % территории, в Дрогичинском, Жабинковском, Ивановском районах этот показатель составляет более 30–35 %. Высока доля осушенных земель в некоторых районах Минской (Любанском, Слуцком, Солигорском – 31,1–37,6 %) и Витебской области (Шарковщинский район – 35 %).

Мелиоративные работы особенно в начальной их стадии в 70-е гг. XX в. проводились без учета экологических условий и требований охраны природных комплексов. В результате этого на Полесье произошло иссушение почв, участились атмосферные засухи, поздневесенние и ранневесенние заморозки, а часть мелкозалежных торфяников в настоящее время минерализовалось, и стала непригодна для посевов.

Влияние осушительной мелиорации на гидродинамический режим отчетливо прослеживается в бассейнах крупных рек. Зона влияния для бассейна р. Припять составляет – 3 км, р. Западный Буг – 1,5 км, рр. Днепр, Западная Двина, Неман и Виля – 0,5 км.

Исследования водного режима рр. Оресса и Ведрич в постмелиоративный период выявили увеличение среднего годового стока и его сезонных составляющих. При этом отмечено, что наибольшее влияние мелиорация оказала на летний сток, который увеличился на 80–89 %, а также на меженный – модуль которого повысился в 1,8–2,5 раза.

Существенное антропогенное воздействие мелиоративные мероприятия оказывают на малые реки. При осушительной мелиорации малые водотоки часто используют в качестве водоприемников мелиоративной сети. При использовании рек в качестве водоприемников изменяется густота русловой сети за счет мелиоративной, увеличивается или уменьша-

ется длина водотоков, часто меняются и характеристики потока. После регулирования рек чаще всего увеличиваются скорости потока и уменьшаются глубины русел. Установлено, что на территории Беларуси малые реки на протяжении 7,2 тыс. км полностью выправлены и зарегулированы, а их поймы практически полностью распаханы. В результате более 500 малых рек претерпели существенные изменения в водности, русловом режиме, потеряли гидравлическую связь с питающими грунтовыми водами. Типичными примерами такого воздействия являются поймы рр. Бобрик, Морочь, Лань, Ясельда и др.

Как правило, осушаемые для сельскохозяйственного использования земли, расположены в пониженных частях рельефа и поэтому являются местами сосредоточенного стока поверхностных и грунтовых вод со смежных территорий. Изменение водного режима на мелиорируемом объекте может повлиять и на условия формирования вод прилегающих земель. Если переувлажнение осушаемых земель происходит за счет притока поверхностных вод, и они не имеют гидравлической связи с водами, отводимыми осушительными системами, то в таком случае мелиорация не оказывает существенного влияния на формирование вод смежной территории. В основном водный режим изменяется на площади осушения, что может повлиять на гидрологические условия нижерасположенных водотоков. Это характерно для территорий с избыточно увлажненными слабо-водопроницаемыми землями северной и центральной части Беларуси.

Значительные изменения в водности рек при мелиорации проявляются в снижении их расходов. В поймах крупных рек на уровненом режиме отражается одновременно дренирующее действие системы и режим работы реки. Это обуславливает затопление мелиорированных территорий в паводки и половодья и переосушение в засухливые периоды.

Интенсивная эксплуатация водных ресурсов является одной из причин нарушения речного стока.

Небольшой отбор воды из каждой одиночной скважины и достаточная удаленность их друг от друга в условиях естественного восполнения не приводят к значительному уменьшению речного стока. Однако в районах интенсивной и сосредоточенной эксплуатации подземных вод происходит сокращение речного стока, а в некоторых случаях и полное пересыхание участков рек. Если водоотбор при снижении уровня подземного потока ниже вреза русла превышает сток реки в межень, она превращается во временный водоток с отдельными периодами поверхностного стока, который может наблюдаться в том случае, если приток воды в русловую сеть превышает величину инфильтрации. Это происходит в период весеннего половодья и при интенсивных паводках. Значительное число рек с заметно изменённым режимом стока приурочено к централь-

ной части Беларуси, где вследствие интенсивной эксплуатации подземных вод образовались обширные депрессионные воронки.

Особенно серьезное воздействие сосредоточенный водоотбор оказывает на малые и очень малые реки. Это приводит к пересыханию и превращению малых водотоков во временные. Примером этого может служить пересыхание малых рек в районе гг. Минск, Могилев, Витебск и др. Например, в черте г. Минск и его окрестностях некоторые водотоки настолько изменились, что их в настоящее время без специальных исследований даже трудно найти на местности. Так практически исчезли рр. Немига, Переспа и ряд др. малых водотоков.

Изменение речного стока наблюдается и при водоотливе при добыче полезных ископаемых в условиях взаимосвязи поверхностных вод с подземными. Примером такого влияния может служить добыча доломитов на месторождении «Руба», где в результате водоотлива из карьера произошло сокращение стока рр. Западная Двина и Витьба на 480 и 11,4 тыс. м³/сут.

Трансформация *химического состава* поверхностных вод происходит по причине активного сельскохозяйственного освоения земель. Такие изменения в той или иной степени прослеживаются во всех регионах Беларуси и зависят главным образом от изменения направленности и интенсивности почвообразовательных процессов на мелиорированных землях; увеличения содержания техногенных элементов в атмосферных осадках и изменения их свойств; повышенных доз удобрений и других химических мелиорантов, применяемых на территории водосборов; степени освоенности водосбора (лесистость, заболоченность, распаханность и т. д.).

Для территории Беларуси содержание химических элементов в речных водах колеблется в значительных пределах (мг/дм³): Ca²⁺ - 10–86; Mg²⁺ - 2–38; Na⁺ - 0,1–70; HCO₃⁻ - 32–270; SO₄²⁻ - 1–30; Cl⁻ - 0–125; Fe_{общ} - 0,01–12; сумма ионов - 50–470.

В результате мелиорированности и распаханности водосборов, снижения лесистости, применения значительных количеств минеральных и органических удобрений происходит их смыв поверхностными водами и изменение химического состава рек, усиление эрозионных процессов.

Содержание химических элементов в водах озер Беларуси колеблется в следующих пределах (мг/дм³): Ca²⁺ - 15–45; Mg²⁺ - 0,4–24; Na⁺ - 2–12; K⁺ - 0,4–5,0; Fe_{общ} - 0–2,0; HCO₃⁻ - 7,0–317,0; Cl⁻ - 1,6–17,8; SO₄²⁻ - 2–3 до 15–17, азота - 0–0,179; фосфора - 0,025–0,073; кремния - 0,1–0,3; общая минерализация - 80–400. Реакция воды изменяется от слабокислой (рН 6,0–6,5) до слабо щелочной (рН 8,0–8,5).

Мелиоративные работы выступают в качестве одного из ведущих факторов, влияющих на озерные экосистемы. Минеральные и органические удобрения служат источником таких веществ, как фосфор, азот, ка-

лий. С сельскохозяйственных угодий в озера поступают также пестициды, гербициды, хлор, что выражается в увеличении минерализации воды.

В случае, когда в озера не происходит сброса вод, а водосбор у них изъят полностью, происходит понижение уровня воды и нарушение всей экосистемы. Подобные изменения отмечены на оз. Диком, Мульном, Дубок, Лыбель, в Брестской и Гомельской областях, на которых произошло снижение уровня на 1,0–1,5 м. В глубоких озерах (оз. Мульное) отмечается отсутствие кислорода в придонном слое. В поверхностном слое развиваются сине-зеленые водоросли, мелководные озера (оз. Дубок) зарастают.

На озерах, в которых площадь водосбора в результате мелиорации значительно сократилась (3–20 раз) происходит изменение поверхностного притока, изменяются гидрологические, гидрохимические и биологические показатели.

В озерах-водоприемниках мелиоративных вод (оз. Ореховское, Песчаное, Любань) за счет ионов Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- произошел рост минерализации (в среднем на 30–60 мг/дм³), перенасыщение кислородом в эпилимнионе в летнее время (140–170 % насыщения), реакция воды стала щелочной (рН 8,6–9,0).

Примерами озерных водоемов, подвергшихся сильному загрязнению с признаками экологических нарушений, могут служить оз. Лесковичи и Круглик в Шумилинском районе, Забельское – в Глубокском, Потех и Святцо – в Браславском и др. В каждом из них содержание фтора по сравнению с чистыми озерами выше в 10–20 раз; величина БПК₅ колеблется в пределах 5–10, а прозрачность не достигает 1 м. Вода таких озер, как правило, мутная, с неприятным запахом.

В результате мелиоративных работ существенному воздействию подверглись озера, расположенные на территории Полесья, где около 90 % их являются водоприемниками дренажных вод, а около трети водоемов используется для орошения земель. Мелиорация земель на многих озерах вызвала сокращение водосборных площадей и понижение уровня воды (оз. Червоное, Олтушское, Дикое, Мульное).

Проведение мелиоративных работ и бесконтрольная сработка оз. Червоное привели к его зарастанию, понижению уровня, а ухудшение газового режима вызвало снижение рыбопродуктивности. Отмечено увеличение в 2–3 раза годового стока по сравнению с домелиоративным периодом. Забор воды на водоснабжение и добыча сапропелей привели к снижению уровня озера на 0,35 м (1989 г.). Изменился и гидрохимический режим, что выразилось в увеличении минерализации вод в 1,7 раза, содержания Ca^{2+} и Mg^{+} в 1,4, Na^{+} , K^{+} и Cl^- – в 2 раза.

Изменения гидрологического и гидрохимического режимов имеют место при строительстве на базе озер водохранилищ. С одной стороны это играет положительную роль, т. к. приводит к омолаживанию экоси-

стем. Сокращаются площади органических отложений, которые заменяются минеральными, уменьшаются площади зарастания высшей водной растительностью, увеличивается прозрачность и др.. С другой стороны, изменяются природные условия. Происходит подъем уровня воды за счет искусственного подпора регулирующих плотин, изменяется проточность, перераспределяется сток и др. Так, при создании водохранилищ Лепельского, «Дружба народов», Погост и др., в которых уровень воды был поднят до 5,6 м наблюдались изменения во всем комплексе их побережий, что привело к трансформации существующих ландшафтов. В озерах-охладителях тепловых электростанций, оз. Белое (Березовская ГРЭС) и оз. Лукомльское (Лукомльская ГРЭС), произошло искусственное зарегулирование стока, поднятие уровня воды на 0,3 и 1,5 м соответственно. Кроме того, изменилась температура вод, особенно около сбросных сооружений (оз. Белое – 38,3 °С, оз. Лукомльское – 29,9 °С), при этом по акватории выделяются зоны постоянного в течение года подогрева воды относительно естественной на 1–8 °С.

Мощное загрязнение озерных вод создает промышленное животноводство. Специализированные мелиоративные системы, строящиеся на животноводческих комплексах для отвода и сброса сточных вод, как правило, не должны иметь выхода в озерные водоемы. Исследования сточных вод и почв в зонах действующих свинокомплексов показали, что в них создается специфический гидрохимический режим, при котором значительно возрастает по отношению к природному фону общая концентрация солей, азота и фосфора. Отрицательным примером такого воздействия служит оз. Мено (Ушачский р-н, Витебская обл.), в котором в результате попадания сточных вод свинокомплекса произошло загрязнение воды, нарушение природных процессов и изменение состава донных осадков. Мощным источником загрязнения оз. Любочи (озерная группа Сарро, бассейн р. Западная Двина) является свиноводческий комплекс, расположенный рядом с озером. Это привело к значительному изменению гидрохимического режима озера. Минерализация озерных вод увеличилась более чем в 2,5 раза. Возросли концентрации K^+ , которые превышали фоновые (0,7 мг/дм³) в 52 раза, Na^+ (фоновые 2,0 мг/дм³) в 4,3 раза, Cl^- в 8 раз, что вызвало перестройку соотношения катионов и анионов.

В оз. Нарочь, являющимся ключевым звеном рекреационной зоны отдыха, вследствие возрастания антропогенной нагрузки, также отмечена тенденция к постепенному увеличению содержания основных солевых компонентов и общей минерализации воды. Так, если в 1961 г. концентрации HCO_3^- находились в пределах от 112,8 до 122,00 мг/дм³, SO_4^{2-} – 2,5–4,4, то в 1980 г. от 123,2 до 167,7 мг/дм³ и 8,6–9,7 мг/дм³ соответственно.

Добыча сапропелей приводит как к омолаживанию, так и нарушению естественного состояния озерных систем, в которых он добывается. С одной стороны происходит улучшение газового режима высокоэвтрофных озер, сокращение содержания органического вещества в воде, увеличение глубины и др. Однако при производстве работ, особенно нарушении технологии добычи и т. д. происходит загрязнение береговой полосы, понижение уровня, обеднение водоема питательными веществами, изменение мест обитания бентальных организмов и высших водных растений.

Загрязнение промышленными и бытовыми стоками наблюдается в некоторых водоемах Солигорского и Слуцкого районов Минской области, что является причиной повышенного содержания хлоридов и дефицита растворенного кислорода у дна, содержание которого определяется как постоянно действующими, так и временными факторами: условиями аэрации, деятельностью фитопланктона и др.

Нарушение гидрохимического и биологического режимов, способствующих развитию микроскопических планктонных водорослей и вызывающих цветение прудовых вод происходит также в результате попадания в них стоков, отводимых с сельскохозяйственных угодий.

В результате аварии на ЧАЭС произошло загрязнение непроточных водоемов. В озерах радионуклиды сосредоточены преимущественно в донных отложениях и биоте. Накопление радионуклидов в водной растительности приводит к увеличению их концентраций в донных отложениях после ее отмирания. Например, концентрация ^{137}Cs в воде оз. Святское (Ветковский район) составляет $8,7 \text{ Бк/дм}^3$ и $3,7 \text{ кБк/кг}$ в биоте, а в рыбе в зависимости от вида $18,0\text{--}39,0 \text{ кБк/кг}$.

Для озерных водных систем, расположенных в загрязненной зоне и выведенных из антропогенного процесса, проявляется тенденция к их зарастанию за счет неуправляемого роста биоты. Это способствует в определенной мере процессу очищения воды от ^{137}Cs и ^{90}Sr при одновременном возрастании радиоактивности донных отложений.

Водохранилища в отличие от озер характеризуются своей молодостью и специфическим режимом. В их пределах формируется новый ландшафт, развитие которого определяется хозяйственной деятельностью человека, что приводит к изменению гидрохимических, гидродинамических и микроклиматических условий прилегающих к водохранилищу территорий.

Наиболее распространенными источниками, влияющими на гидрохимический режим вод водохранилищ, являются городские, промышленные и сельскохозяйственные стоки. Подобные изменения наблюдаются на многих водохранилищах Беларуси. Так, в водах Осиповичского водохранилища установлены значительные концентрации аммонийного азота

(до 9,52 мг/дм³), фосфора (1,5 мг/дм³) и органического вещества (БПК₅ > 6), вследствие поступления в него городских стоков. В водохранилище Волчковическом (верховье р. Птичь), принимающем сточные загрязненные воды крупного поселка, БПК₅ составляло 11 мг/дм³. Сильным антропогенным изменениям подвержено Солигорское водохранилище, засоляемое отходами калийных комбинатов. В его водах было зафиксировано повышенное содержание сульфатов (33–38 мг/дм³), хлоридов (30–38 мг/дм³), гидрокарбонатов (215–232 мг/дм³), а некоторые показатели (по азоту аммонийному – 1,3 мг/дм³, соединениям меди – 0,012 мг/дм³, никелю – 0,022 мг/дм³) превышали ПДК в несколько раз.

Показательными примерами изменения гидродинамического режима подземных вод, рек и некоторых элементов водного баланса являются Гезгальское (Дятловский район, объем – 1,22 млн. м³, площадь – 1,22 км²) и Солигорское водохранилища. В процессе их строительства и эксплуатации были выявлены следующие изменения:

- в период строительства, при сооружении чаши водохранилища (углубление и расширение долины) наблюдалось небольшое увеличение речного и подземного стоков за счет сработки статических запасов в бортах долины;
- в период наполнения водохранилища происходило уменьшение всех категорий стока и формирование подпора грунтовых вод;
- в период эксплуатации, после формирования подпора грунтовых вод, отмечалось некоторое увеличение подземного и речного стоков, хотя они оставались ниже нормы на 40–50 %.

Образование подпора грунтовых вод при наличии водопроницаемых грунтов и гидравлической связи между водохранилищем и верхними водоносными горизонтами может являться причиной подтопления прилегающих к водохранилищу территорий. В результате подтопления изменяется водный режим почво-грунтов, почвообразовательный процесс, растительность и т. д.

В процессе подтопления выделяют 3 стадии: наполнения водохранилища, направленного изменения природы побережья и стабилизации процесса подтопления.

На первой стадии в зоне затопления происходит отмирание древесной и травянистой растительности и развитие аэрогидрофильной и гигромезофильной. Продолжительность этой стадии от 1 до 3 лет.

Вторая стадия характеризуется формированием подпорного режима грунтовых вод, водно-воздушного режима почв, прогрессивным процессом заболачивания, становлением новых фитоценозов, продолжительность стадии составляет 8–10 лет.

На третьей стадии, в новых сформировавшихся комплексах зоны подтопления, устанавливается динамическое равновесие, характерное для аналогичных природных ландшафтов.

6.6. Загрязнение сточными водами

Серьезной проблемой для республики является загрязнение поверхностных водных объектов сточными водами. Максимальный объем поступления связан с жилищно-коммунальным хозяйством, на долю которого приходится около 60 % стоков, доля промышленных и сельскохозяйственных стоков составляет соответственно 30 и 15 %.

Основными компонентами коммунально-бытового загрязнения являются органические вещества и продукты их распада, азотные соединения, хлориды, сульфаты. Тепловое загрязнение формируется в основном в результате утечек из теплотрасс теплоносителя. К загрязняющим компонентам промышленных районов относятся фенолы, пестициды, детергенты, НП, тяжелые металлы, соли и др.

Максимальный объем сточных вод приходится на Минскую область. Большое их количество отводится в Гомельской области. Среди областных центров по количеству сточных вод на протяжении ряда лет лидирует г. Минск, причем с 1995 г. их объем превышает таковой для всех областных центров вместе взятых. Наименьшее количество сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водоемы, приходится на Гродненскую область.

Несколько меньше по сравнению с г. Минском сточных вод приходится на гг. Могилев, Гомель и Гродно. В гг. Брест и Витебск их объемы наименьшие по сравнению с остальными областными центрами. Как правило, доля загрязненных сточных вод колеблется от 90 до 99 % от общего объема сточных вод.

Значительную опасность представляют сточные воды предприятий машиностроения и пищевой промышленности. Сточные воды молочной и маслосыродельной промышленности, образующиеся в результате различных технологических операций, содержат большое количество загрязнений органического и минерального происхождения. Среди стоков пищевых предприятий сточные воды крахмальных, спиртовых и пивоваренных заводов отличаются наиболее высокой концентрацией органических веществ и биогенных элементов. При их сбросе нарушается кислородный режим водоема, поступление значительных количеств азота и фосфора вызывает вторичное загрязнение воды. Сточные воды предприятий машиностроения содержат большое количество масел и НП, взвешенных веществ, солей тяжелых металлов, кислот и щелочей.

Анализ динамики ИЗВ выявляет тенденцию к некоторому улучшению качества речных вод. В 1985 г. практически для всех рек характерны

достаточно высокие значения ИЗВ. А воды рр. Днепр, Свислочь, Припять по данному показателю относились к загрязненным.

В 1990 г. наблюдается наибольшее снижение ИЗВ в целом для всех рек. В последующие годы происходит его незначительное колебание в сторону увеличения или уменьшения и по состоянию на 2002 г. воды данных рек относятся к умеренно загрязненным. На этом фоне выделяется р. Свислочь, в которой за период с 1995 по 2000 гг. согласно ИЗВ вода относилась к загрязненной, на отдельных участках такая ситуация фиксировалась и в 2002 г.

Исследования химизма вод и донных осадков р. Свислочь показали, что техногенный поток рассеяния в донных осадках имеет протяженность более 250 км (при длине реки 285 км) и полиэлементный состав более чем из двадцати химических элементов загрязнителей, среди которых Cr , Zn , Cu , Ni , Mo , Cd и ряд других.

В целом сокращение поступления загрязняющих веществ в реки в последние годы, вероятно, обосновывается несколькими причинами: 1) снижением объемов производства в начале 90-х гг.; 2) внедрением в производство новых технологий и оборудования очистки сточных вод; 3) внедрением в управление природоохранной деятельностью экономических методов.

Однако, при этом, имеющие место несовершенные очистные сооружения, неэффективность их работы и недостаток мощностей в целом ряде городов республики способствует поступлению в водные объекты вод, в которых концентрации загрязняющих веществ часто превышают нормативные показатели.

Существенный вклад в загрязнение поверхностных вод вносят расположенные в непосредственной близости от гидросети полигоны-накопители отходов. В результате поступления в последние фильтратных вод, растворенных веществ смытых с поверхности свалок талыми и ливневыми водами, разгрузкой в водоемы загрязненных почвенно-грунтовых вод происходит увеличение минерализации (до 2–8 г/дм³), изменение реакции среды в сторону подщелачивания, возрастание содержания ионов (Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- и др.) и микроэлементов (Cu – 0,6–142,0 мкг/дм³, Ni – 1,3–20 мкг/дм³, Zn – 1,5–267 мкг/дм³, и др.) в концентрациях превышающих ПДК, формирование вокруг полигонов вод азональных классов – $\text{Cl} - \text{Na}$, $\text{SO}_4 - \text{Na}$, а также смешанного состава – $\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{NH}_4 - \text{Na}$, $\text{Cl} - \text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Ca}$, $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3 - \text{Na} - \text{Mg}$ и др.

Широкое распространение имеет загрязнение поверхностных вод, связанное с нефтепоисковыми работами в Припятском прогибе, где происходит загрязнение НП, поверхностно-активными веществами, высокоминерализованными рассолами, фенолами и другими химическими реагентами. Источниками их поступления в природные водоемы являются

земляные амбары, резервуары-отстойники, трубопроводы. Исследованиями установлено, что на площадках строительства буровых скважин концентрации НП в каналах и водотоках достигают $0,1\text{--}0,32\text{ мг/дм}^3$, что выше ПДК (ПДК НП в поверхностных водоемах составляет $0,05\text{ мг/дм}^3$).

6.7. Радиоактивное загрязнение

Весьма значительно как по площади проявления, так и по длительности взаимодействия на окружающую среду радиоактивное загрязнение значительной части территории Беларуси, которое сформировалось в результате аварии на Чернобыльской АЭС. При этом в атмосферу было выброшено 50 МКи активности (без радиоактивных газов), 70 % которых выпало на территории Беларуси. В аварийном выбросе ЧАЭС фиксировалось присутствие нескольких десятков радионуклидов, главным образом короткоживущих. Максимальные уровни радиоактивного загрязнения поверхностных вод наблюдались в первые недели после аварии. Они обуславливались в основном выпадением загрязнённых аэрозолей и пылевых частиц непосредственно на водную поверхность. В пробе воды из р. Уборть, отобранной 27 апреля 1986 г. (более ранние отборы ни на Украине, ни в России не выполнялись) активности радионуклидов достигали (Бк/л): ^{95}Zr и ^{95}Nd (суммарно) – 2900, ^{103}Ru – 490, ^{106}Ru – 810, ^{134}Cs – 390, ^{137}Cs – 1590, ^{140}Ba – 2220, ^{144}Ce – 1340. В р. Припять у г. Чернобыля 1–2 мая 1986 г. активности ^{90}Sr и ^{131}I достигали соответственно 15 и 4440 Бк/л. После окончания «аэрозольного» периода загрязнения наблюдалось резкое падение концентраций радионуклидов в водах.

В настоящее время основными компонентами, определяющими радионуклидное загрязнение как почвенного покрова, так и природных вод, являются ^{90}Sr и ^{137}Cs . В Беларуси свыше 46,5 тыс. км территории имеет плотность поверхностного загрязнения по цезию-137 свыше 1 Ки/км. На этой территории находится 27 городов и около 3000 других населённых пунктов с общей численностью населения более 2,1 млн. человек.

По данным опробований, выполненных в 1990–1995 гг. в 30-км зоне ЧАЭС и прилегающих районах, концентрации в речных водах цезия-137 варьировали от 0,045 до 2,05 Бк/л, а стронция-90 – от «не обн.» до 2,07 Бк/л. Более высокие концентрации радионуклидов фиксировались в водах мелиоративных каналов – в среднем 0,51 по ^{137}Cs и 2,403 Бк/л по ^{90}Sr . Эти концентрации значительно ниже уровней загрязнения, которые наблюдались в 1986 г., но примерно на один-два порядка выше, чем в доаварийный период. Установлено, что максимальные концентрации ^{90}Sr в крупных реках наблюдались через год после аварии по причине его перемещения по системе притоков рек и взаимодействия с донными отложениями притоков. Так, если до аварии содержание ^{90}Sr в речных водах составляло 15 Бк/м^3 , то после аварии концентрация его в воде

р. Припять в районе Чернобыля (май 1986 г.) превышала эту величину более чем в 1000 раз. В это же время отмечался и значительный рост концентраций йода, бария и циркония. Радиоактивному воздействию подверглись рыбы, водоросли, моллюски, в основном за счет загрязнения воды и донных отложений. В последующие годы основным источником поступления радионуклидов в реки явился смыв их поверхностным стоком. Горизонтальная миграция радиоактивного загрязнения также приводит к формированию вторичного загрязнения в понижениях местности и поймах рек.

Литературные данные свидетельствуют, что на речных водозаборах территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в период с 1987–2002 гг. произошло значительное уменьшение концентраций ^{137}Cs и ^{90}Sr . Например, среднегодовые концентрации ^{137}Cs , по состоянию на 2002 г. в р. Припять уменьшились в 20 раз, в р. Сож – в 78 раз и составили 0,014 и 0,023 Бк/дм³ соответственно. В тоже время они значительно выше фоновых до чернобыльских активностей этих радионуклидов.

В миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr наблюдаются определенные закономерности. Так, для ^{137}Cs основную роль в переносе играют твердые взвеси (от 10 до 35–40 % общей переносимой активности), тогда как большая часть ^{90}Sr (50–99 %) мигрирует в растворенном состоянии.

Повышенные их концентрации в основном характерны для донных отложений и водной растительности в малопроточных участках рек, заводях или водоемах. Воды же обладают способностью к самоочищению за счет постоянной смены водной массы. В тоже время в период половодий происходит возрастание радиоактивности вод за счет перехода высокоактивных донных осадков во взвешенное состояние. Повышение радиоактивного загрязнения речных вод может происходить по причине выноса ^{137}Cs из болотных систем, ежегодный вынос которого составляет 168·104 МБк.

В настоящее время помимо ^{90}Sr и ^{137}Cs немаловажный вклад в радиоактивное загрязнение территории (особенно в 30-км зоне ЧАЭС) вносят изотопы плутония. В водах рек и мелиоративных каналов содержание Pu варьировало (по состоянию на 1991 г.) от 0,21 до 0,37 10⁻¹⁴ Ки/л.

В отличие от поверхностных вод содержание рассматриваемых радионуклидов (^{90}Sr , ^{137}Cs и ^{239}Pu) в подземных водах значительно ниже и практически никогда не превышает уровней ПДК. При этом максимальные их концентрации фиксируются, как правило, в групповом (безнапорном) водоносном горизонте. По данным опробований грунтовых вод, выполненных в период 1990–1995гг., активность их по ^{137}Cs изменялась от 0,016 до 8,3 Бк/л, а по ^{90}Sr – от фоновых до 6,52 Бк/л. Максимальное загрязнение грунтовых вод наблюдалось в пробе, отобранной из колодца (д. Красноселье, Хойникский р-н, Гомельской обл.) на территории

с плотностью загрязнения по ^{137}Cs свыше 80 Ки/км и по ^{90}Sr – свыше 12 Ки/км. Высокий уровень загрязнения воды в данном случае обусловлен в основном пылевым загрязнением. В грунтовых же водах, отобранных из шурфов, удельная активность ^{137}Cs не превышала 0,97 Бк/л, а ^{90}Sr – 1,16 Бк/л. Содержание ^{239}Pu в этих водах варьировало от 0,09 до $0,17 \cdot 10^{-14}$ Ки/л.

Загрязнение первого от поверхности безнапорного горизонта грунтовых вод на участках неглубокого его залегания возможно в результате непосредственного поступления подвижных форм радионуклидов, главным образом ^{90}Sr , через зону аэрации. На участках, где она сложена хорошо проницаемыми песчаными породами (эоловая дюна у д. Красное-Селье, Хойникский р-н), установлено проникновение ^{90}Sr (до 145 Бк/кг) до глубины 0,65–0,70 м.

Одним из вероятных источников поступления в подземные воды ^{137}Cs и ^{90}Sr могут быть их глобальные выпадения в течении трех последних десятилетий прошлого века. Известно, что наиболее интенсивное выпадение этих радионуклидов вследствие ядерных испытаний в атмосфере, происходило в 60-е годы XX в. На действующих водозаборах в условиях активных перетоков в зоне депрессионных воронок загрязнение за несколько десятилетий вполне могло достичь эксплуатируемых водоносных комплексов, залегающих в среднем на глубинах от 40 до 100 м.

Вышеприведенные данные о содержании радионуклидов в подземных водах получены в пределах 30-километровой зоны ЧАЭС. На этом фоне неожиданными оказались результаты опробования грунтовых вод на участках с относительно небольшой плотностью (от 1 до 5 Ки/км² по ^{137}Cs) в Лельчицком районе Гомельской обл. В 1994–1995 гг. здесь были зафиксированы содержания ^{137}Cs в грунтовых водах до 0,973 Бк/л. Характерной особенностью грунтовых вод на этих участках является высокое содержание в них калия, что связано с сельскохозяйственным загрязнением. По-видимому, насыщенность поглощенного комплекса почв калием на этих участках способствует активной миграции по почвенным профилям ^{137}Cs , являющегося его геохимическим аналогом.

Изучение содержания радионуклидов в напорных подземных водах питьевого назначения основных эксплуатационных комплексов заслуживает особо пристального внимания. В 1994–1995 гг. содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в опробованных водах изменялось в относительно широком диапазоне: активность ^{137}Cs варьировала от 0,03 до 1,91 Бк/л, а ^{90}Sr – от тысячных долей до 0,073 Бк/л. В одной из скважин прируслового водозабора Сож в г. Гомеле в июне 1992 г. было зафиксировано возрастание активности ^{90}Sr до 0,431 Бк/л. В этой скважине в 1988–1990 гг., по данным Белорусской гидрогеологической экспедиции, также отмечались периодические повышения активности ^{90}Sr до

0,741 Бк/л и ^{137}Cs – до 2,07 Бк/л. Данный факт, по-видимому, обусловлен тем, что на этом водозаборе формирование эксплуатационных запасов водоносного комплекса осуществляется за счет привлечения вод р. Сож, фильтрующихся через донные русловые осадки. По данным опробования эксплуатационных скважин, выполненного в 1990 г., активность ^{90}Sr составила 0,016–0,004 Бк/л. Активность ^{90}Sr в водах из тех же скважин в 1991 г. составила 0,021–0,005 Бк/л. Приведенные параметры активности ^{90}Sr в водах эксплуатационных скважин позволяют говорить об отсутствии отчетливо выраженной тенденции к росту радиоактивного загрязнения подземных вод.

Содержание ^{239}Pu в напорных подземных водах эксплуатационных комплексов варьируют от 0,08 до $0,19 \cdot 10^{-14}$ Ки/л и составляет в среднем $0,13\text{--}10^{-14}$ Ки/л. Таким образом, среднее содержание ^{239}Pu в грунтовых и напорных подземных водах одинаково и примерно в два раза ниже, чем в поверхностных водах.

Стабильное и, как правило, удовлетворительное в радиационном отношении качество напорных подземных вод основных эксплуатационных водоносных горизонтов и комплексов не снимает в целом проблемы качества подземных вод в районах радиоактивного загрязнения. Это обуславливается в целом рядом обстоятельств и, в том числе, наблюдающимся ростом (с течением времени) количества подвижных форм радионуклидов в почвах, существованием быстрых компонентов миграции радионуклидов по почвенным профилям, наличием вблизи работающих эксплуатационных скважин особо активных в гидродинамическом отношении зон (воронок депрессии), в пределах которых перетоки подземных вод происходят исключительно интенсивно. Кроме того, важнейшим обстоятельством, определяющим актуальность проблемы качества подземных вод, является наличие в составе радиоактивного загрязнения такого биологически значимого радионуклида, как ^{239}Pu . В связи с очень большим периодом его полураспада (24,4 тыс. лет) для плутониевого загрязнения теоретически доступны все водоносные горизонты зоны активного водообмена, содержащей пресные воды, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения. И вопрос в данном случае заключается только в том, когда и в каком количестве плутониевое загрязнение поступит в водоносные горизонты.

ГЛАВА 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

7.1. Экологические функции и состав атмосферы

Атмосфера – внешняя газовая оболочка Земли, механическая смесь различных газов, водяных паров и твердых (аэрозольных) частиц.

Атмосфера выполняет следующие функции:

- содержит кислород, необходимый для дыхания живых организмов;
- является источником углекислого газа для фотосинтеза растений;
- защищает живые организмы от космических излучений;
- сохраняет тепло Земли и регулирует климат;
- трансформирует газообразные продукты обмена веществ;
- переносит водяные пары по планете;
- является средой обитания летающих форм организмов;
- служит источником химического сырья и энергии;
- принимает и трансформирует газообразные и пылевидные отходы.

Состав атмосферы находится в состоянии динамического равновесия, поддерживаемого такими климатическими факторами, как перемещение воздушных масс (ветер и конвекция) и атмосферные осадки, жизнедеятельность животного и растительного миров, особенно лесов и планктона мирового океана, а также в результате космических процессов, геохимических явлений и хозяйственной деятельности человека.

Общая масса атмосферы составляет $5,14 \cdot 10^{15}$ т. Около 50 % массы атмосферы приходится на нижний слой толщиной около 5 км. Масса слоя толщиной 30 км составляет 99 % всей массы атмосферы.

По вертикали атмосфера имеет слоистое строение. Выделение отдельных зон (табл. 23) основано на изменении температуры с высотой. Верхняя граница атмосферы четко не выделяется. Она переходит постепенно в космическое пространство.

Таблица 23

Характеристика основных зон, выделяемых в атмосфере

Зона атмосферы	Верхняя и нижняя границы зоны от уровня моря, км	Температура, °С	
		нижняя граница зоны	верхняя граница зоны
Тропосфера	0–11	+15	–56
Стратосфера	11–50	–56	–2
Мезосфера	50–85	–2	–92
Термосфера	85–500	–92	+1200

Различия в нагревании воздуха приводят к горизонтальным градиентам давления, которые, в свою очередь, являются причиной конвенции горизонтальных перемещений воздушных масс.

На перемещение воздушных масс воздействуют: сила Кориолиса, возникающая вследствие вращения Земли; центробежное ускорение, возникающее в районах, прилегающих к областям высокого и низкого давления; силы трения, замедляющие движение воздуха вблизи земной поверхности. В северном полушарии движение воздушных потоков вокруг центров высокого давления осуществляется по часовой стрелке с отклонением наружу и вниз от кругового движения. Этот поток получил название нисходящего и является одним из препятствий для рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере.

При движении воздушных потоков вокруг центров низкого давления вектор скорости направлен внутрь и вверх от кругового движения против часовой стрелки. В этом случае загрязняющие вещества из нижних слоев атмосферы переносятся вверх и рассеиваются в больших объемах воздуха.

При движении воздуха в северном полушарии против часовой стрелки вокруг центра низкого давления формируется циклон, при движении в направлении часовой стрелки вокруг центра высокого давления – антициклон.

7.2. Характеристика загрязняющих атмосферу веществ и классификация источников загрязнения

Загрязнение атмосферы – изменение состава атмосферы в результате попадания в нее примесей.

Примесь в атмосфере – это рассеянное в атмосфере вещество, не содержащееся в ее постоянном составе.

Загрязняющее воздух вещество – это примесь в атмосфере, оказывающая неблагоприятное воздействие на окружающую среду и здоровье населения.

Поскольку примеси в атмосфере могут претерпевать различные превращения, они условно делятся на первичные и вторичные.

Первичная примесь в атмосфере – примесь, сохранившая за рассматриваемый интервал времени свои физические и химические свойства.

Превращения примесей в атмосфере – процесс, при котором примеси в атмосфере подвергаются физическим и химическим изменениям под влиянием природных и антропогенных факторов, а также в результате взаимодействия между собой.

Вторичная примесь в атмосфере – это примесь в атмосфере, образовавшаяся в результате превращения первичных примесей.

По воздействию на организм человека загрязнение атмосферы подразделяют на физическое и химическое. К физическому относят: радиоактивное излучение, тепловое воздействие, шум, низкочастотные вибра-

ции, электромагнитные поля. К химическому – наличие химических веществ и их соединений.

Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ характеризуются по 4 признакам: по агрегатному состоянию, химическому составу, размеру частиц и массовому расходу выброшенного вещества.

Загрязняющие вещества выбрасываются в атмосферу в виде смеси пыли, дыма, тумана, пара и газообразных веществ.

Источники выбросов в атмосферу подразделяют на естественные, обусловленные природными процессами, и антропогенные (техногенные), являющиеся результатом деятельности человека.

К числу *естественных* источников загрязнений атмосферного воздуха относят пыльные бури, массивы зеленых насаждений в период цветения, степные и лесные пожары, извержения вулканов. Примеси, выделяемые естественными источниками:

- пыль растительного, вулканического, космического происхождения, продукты эрозии почвы, частицы морской соли;
- туманы, дым и газы от лесных и степных пожаров;
- газы вулканического происхождения;
- продукты растительного, животного, бактериологического происхождения и др.

Антропогенные (техногенные) источники загрязнения атмосферного воздуха, представленные главным образом выбросами промышленных предприятий и автотранспорта, отличаются многочисленностью и многообразием видов.

Источники выбросов промышленных предприятий бывают *стационарными*, когда координата источника выброса не изменяется во времени, и *передвижными* (нестационарными), в основном это автотранспорт.

Источники выбросов в атмосферу подразделяют на точечные, линейные и площадные. Каждый из них может быть затененный и незатененный.

Точечные источники – это загрязнения, сосредоточенные в одном месте. К ним относится дымовые трубы, вентиляционные шахты, крышные вентиляторы.

Линейные источники имеют значительную протяженность. Это аэрационные фонари, ряды открытых окон, близко расположенные крышные вентиляторы. К ним могут быть также отнесены автотрассы.

Площадные источники характеризуются рассредоточением загрязнения по большой территории. К ним относятся места складирования производственных и бытовых отходов, автостоянки, склады горюче-смазочных материалов.

Наиболее распространенными загрязняющими веществами, поступающими в атмосферный воздух из техногенных источников, являются: оксид углерода; диоксид серы; оксиды азота; углеводороды; пыль.

Оксид углерода (СО) – самая распространенная и наиболее значительная примесь атмосферы, называемая в быту угарным газом. Содержание СО в естественных условиях от 0,01 до 0,2 мг/м³. Основная масса выбросов СО образуется в процессе сжигания органического топлива, прежде всего в двигателях внутреннего сгорания. Содержание СО и воздухе крупных городов колеблется в пределах 1–250 мг/м³, при среднем значении 20 мг/м³. Наиболее высокая концентрация СО наблюдается на улицах и площадях городов с интенсивным движением, особенно у перекрестков. Высокая концентрация СО в воздухе приводит к физиологическим изменениям в организме человека, а концентрация более 750 мг/м³ – к смерти. СО – исключительно агрессивный газ, легко соединяющийся с гемоглобином крови, образуя карбоксигемоглобин. Состояние организма при дыхании воздухом, содержащим угарный газ, характеризуется данными, приведенными в табл. 24.

Таблица 24

Действие угарного газа на организм человека

Содержание карбоксигемоглобина, %	Симптомы
0,4–2	Ухудшение остроты зрения и способности оценивать длительность интервалов времени
2–5	Нарушение психомоторных функций головного мозга
5–10	Изменение деятельности сердца и легких
10–80	Головные боли, сонливость, спазмы, нарушение дыхания, смертельные исходы

Степень воздействия СО на организм человека зависит также от длительности воздействия (экспозиции) и вида деятельности человека. Например, при содержании СО в воздухе 10–50 мг/м³, которое наблюдается на перекрестках улиц больших городов, при экспозиции – 60 мин отмечаются слабые нарушения. При тяжелой физической работе отравление наступает в 2–3 раза быстрее. Образование карбоксигемоглобина – процесс обратимый, через 3–4 ч содержание его в крови уменьшается в 2 раза. Время нахождения СО в атмосфере составляет 2–4 месяца.

Диоксид серы (SO₂) – бесцветный газ с острым запахом. На его долю приходится до 95% от общего объема сернистых соединений, поступающих в атмосферу от антропогенных источников. До 70 % выбросов SO₂ образуется при сжигании угля, около 15 % – мазута.

При концентрации диоксида серы 20–30 мг/м³ раздражается слизистая оболочка рта и глаз, во рту возникает неприятный привкус. Весьма чувствительны к SO₂ хвойные леса. При концентрации SO₂ в воздухе 0,23–0,32 мг/м³ в результате нарушения фотосинтеза происходит усыхание хвои в течение 2–3 лет. Аналогичные изменения у лиственных деревьев происходят при концентрациях SO₂ 0,5–1 мг/м³.

Основной техногенный источник выбросов **углеводородов** (C_mH_n – пары бензина, метан, пентан, гексан) – автотранспорт. Его удельный вес составляет более 50 % от общего объема выбросов. При неполном сгорании топлива происходит также выброс циклических углеводородов, обладающих канцерогенными свойствами. Особенно много канцерогенных веществ содержится в саже, выбрасываемой дизельными двигателями. Из углеводородов в атмосферном воздухе наиболее часто встречается метан, что является следствием его низкой реакционной способности. Углеводороды обладают наркотическим действием, вызывают головную боль, головокружение. При вдыхании в течение 8 часов паров бензина с концентрацией более 600 мг/м³ возникают головные боли, кашель, неприятные ощущения в горле.

Оксиды азота (NO_x) образуются в процессе горения при высокой температуре путем окисления части азота, находящегося в атмосферном воздухе. Под общей формулой NO_x обычно подразумевают сумму NO и NO₂. Основные источники выбросов NO_x: двигатели внутреннего сгорания, топki промышленных котлов, печи.

NO₂ – газ желтого цвета, придающий воздуху в городах коричневый оттенок. Отравляющее действие NO_x начинается с легкого кашля. При повышении концентрации кашель усиливается, начинается головная боль, возникает рвота. При контакте NO_x с водяным паром, поверхностью слизистой оболочки образуются кислоты HNO₃ и HNO₂, что может привести к отеку легких. Продолжительность нахождения NO₂ в атмосфере – около 3 суток.

Размер выбрасываемых в атмосферу **пылинок** колеблется от сотых долей до нескольких десятков мкм. Средний размер частиц пыли в атмосферном воздухе – 7–8 мкм. Пыль оказывает вредное воздействие на человека, растительный и животный мир, поглощает солнечную радиацию и тем самым влияет на термический режим атмосферы и земной поверхности. Частицы пыли служат ядрами конденсации при образовании облаков и туманов. Основные источники образования пыли: производство строительных материалов, черная и цветная металлургия (оксиды железа, частицы Al, Cu, Zn), автотранспорт, пылящие и тлеющие места складирования бытовых и производственных отходов. Основная масса пыли вымывается из атмосферы осадками.

Выбросы, содержащие примеси в виде частиц пыли, дыма, тумана или пара, называются *аэрозолями*. Общее число разновидностей загрязняющих атмосферу аэрозолей составляет несколько сотен.

Пыль, содержащаяся в атмосфере, классифицируется по времени и форме ее образования:

- первичное пыление – пыль, образующаяся в результате какого-либо естественного или антропогенного процесса и выбрасываемая в атмосферу;

- вторичное пыление – пыль, образуемая в атмосфере из находящихся в ней жидких или газообразных веществ в результате химических или физических преобразований;

- поверхностное пыление – переход пыли, сформировавшейся на поверхности земли, в атмосферу.

Антропогенные источники первичного пылеобразования возникают в результате следующих процессов:

- механическая обработка различных веществ (дробление, шлифование, резание и др.);

- транспортировка сыпучих материалов (погрузка, просеивание, перемешивание);

- тепловые процессы и процессы горения (сжигание, сушка, плавление);

- износ и разрушение веществ.

Жидкие загрязняющие вещества образуются при конденсации паров, распылении или разливе жидкостей, в результате химических или фотохимических реакций. Конденсация паров происходит в результате охлаждения их окружающим атмосферным воздухом. В зависимости от точки плавления сконденсированные пары при низких температурах могут переходить в твердые частицы.

Газообразные загрязняющие вещества образуются в результате химических реакций окисления, восстановления, замещения, разложения, а также в процессе электролиза, выпаривания, дистилляции.

Наибольшую часть газообразных выбросов составляют продукты окисления, образовавшиеся в процессе горения. При окислении углерода образуется CO и CO₂, при окислении серы – SO₂, азота – NO и NO₂.

При неполном сгорании в результате неполного окисления образуются альдегиды или органические кислоты.

7.3. Стандарты качества атмосферного воздуха

Для количественной оценки содержания примеси в атмосфере используется понятие *концентрации* – количества вещества, содержащегося в единице объема воздуха, приведенного к нормальным условиям.

Качество атмосферного воздуха – это совокупность его свойств, определяющая степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растительный и животный мир, а также на материалы, конструкции к окружающую среду в целом. Качество атмосферного воздуха может считаться удовлетворительным, если содержание примесей в нем не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК). **ПДК** – это максимальная концентрация примеси в атмосфере, отнесенная к определенному времени, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него и на окружающую среду в целом прямого или косвенного воздействия, включая отдаленные последствия. Под *прямым воздействием* понимается нанесение организму человека временного раздражающего действия, вызывающего ощущение запаха, кашель, головную боль. При накоплении в организме вредных веществ выше определенной дозы могут возникать патологические изменения отдельных органов или организма в целом. Под *косвенным воздействием* понимаются такие изменения в окружающей среде, которые, не оказывая вредного влияния на живые организмы, ухудшают обычные условия обитания: поражаются зеленые насаждения, увеличивается число туманных дней и т. д.

Основным критерием установления нормативов ПДК для оценки качества атмосферного воздуха является воздействие содержащихся в воздухе загрязняющих примесей на организм человека.

Для оценки качества атмосферного воздуха установлены две категории ПДК: максимально разовая (ПДК_{м.р.}) и среднесуточная (ПДК_{с.с.}).

ПДК_{м.р.} – основная характеристика опасности вредного вещества. Она установлена для предупреждения рефлекторных реакций у человека (ощущение запаха, световой чувствительности, биоэлектрической активности головного мозга) при кратковременном воздействии атмосферных примесей. По этому нормативу оцениваются вещества, обладающие запахом или воздействующих на другие органы чувств человека.

ПДК_{с.с.} – установлена для предупреждения общетоксического, канцерогенного, мутагенного и другого влияния вещества на организм человека. Вещества, оцениваемые по этому нормативу, обладают способностью временно или постоянно накапливаться в организме человека.

В настоящее время по нормативам ПДК оценивается более 1000 веществ, которые могут попадать в атмосферный воздух. ПДК наиболее распространенных загрязняющих веществ приведены в табл. 25.

Перечень веществ, содержание которых в атмосферном воздухе нормируется, постоянно пополняется. Установлены временные нормативы ПДК загрязняющих веществ для древесной растительности (ПДК_д) (табл. 26).

Таблица 25

ПДК наиболее распространенных веществ

Наименование загрязняющего вещества	ПДК м.р, мг/м ³	ПДК с.с, мг/м ³
Азота диоксид	0,085	0,04
Азота оксид	0,4	0,06
Ангидрид серный	0,5	0,05
Аммиак	0,2	0,04
Бенз(а)пирен	–	0,1 мкг/100м ³
Взвешенные вещества	0,5	0,15
Ртуть металлическая	–	0,0003
Свинец и его соединения	–	0,0003
Углерода оксид	5	3
Угольная зола ТЭС	0,05	0,02
Формальдегид	0,035	0,003
Хлор	0,1	0,03

Таблица 26

Нормативы ПДК_д, мг/м³

Наименование примесей в атмосферном воздухе	ПДК д м.р	ПДК д с.с
Азота оксид (в пересчете на NO ₂)	0,04	0,02
Аммиак	0,1	0,04
Бензол	0,1	0,05
Метанол	0,2	0,1
Пары серной кислоты (H ₂ SO ₄)	0,1	0,03
Сернистый ангидрид	0,3	0,02
Сероводород	0,008	0,008
Твердые частицы (пыль)	0,2	0,05
Циклогексан	0,2	0,2
Формальдегид	0,2	0,003
Фтористые соединения (в перерасчете на фтор)	0,02	0,005

Если вещество оказывает на окружающую природную среду вредное действие в меньших концентрациях, чем на человека, то при нормировании исходят из порога действия этого вещества на окружающую природу. Воздействие веществ, для которых не установлены ПДК, оценивается по ориентировочному безопасному уровню воздействия загрязняющего атмосферу вещества (ОБУВ). **ОБУВ** – временный гигиенический норматив для загрязняющего атмосферу вещества, устанавливаемый расчетным методом для целей проектирования промышленных объектов.

Нормативы ПДК для атмосферного воздуха являются едиными для всей территории Беларуси. Установленные в других странах ПДК могут отличаться в большую или меньшую сторону. Например, в США установлена ПДК_{м.р.} для SO₂ – 0,75 мг/м³, в Украине – 0,5 мг/м³. Для зон санитарной охраны курортов, мест размещения крупных санаториев и домов отдыха, а также для зон отдыха городов ПДК установлена на 20 % меньше, чем для жилых районов.

Некоторые вещества при одновременном присутствии в атмосферном воздухе обладают однонаправленным действием, т.е. эффектом суммации. В этом случае при оценке качества атмосферного воздуха должно выполняться следующее условие:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1,$$

где C₁, C₂, ..., C_n – концентрация каждого из веществ, обладающих эффектом суммации, мг/м³; ПДК₁, ПДК₂, ПДК_n – предельно допустимые концентрации этих веществ.

Перечень веществ, обладающих эффектом суммации, постоянно дополняется и на сегодня насчитывает более 50 групп веществ однонаправленного действия.

Для каждого проектируемого и действующего объекта, являющегося стационарным источником загрязнения воздушного бассейна, устанавливают нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферный воздух. ПДВ устанавливают из условия, что выбросы вредных веществ от данного источника в совокупности с другими источниками не создают приземную концентрацию, превышающую ПДК за пределами санитарно-защитной зоны:

$$C + C_{\phi} \leq ПДК,$$

где C – концентрация вещества в приземном слое от расчетного источника при сохранении норматива ПДВ, C_φ – фоновая концентрация этого же вещества.

Если на данном предприятии или на группе предприятий, расположенных в одном районе, значения ПДВ по объективным причинам не могут быть немедленно достигнуты, устанавливают временно согласованный выброс (ВСВ). Нормативы ВСВ устанавливают на период разработки и реализации воздухоохраных мероприятий, обеспечивающих достижение нормативов ПДВ. Срок действия норматива ПДВ, как правило, не превышает 5 лет. При появлении новых производств, реконструкции действующих, изменении технологического процесса или вида используемого сырья и в других аналогичных случаях нормативы ПДВ подлежат пересмотру.

7.4. Формирование состава атмосферного воздуха в населенном пункте

Рассеивание в атмосфере выбрасываемых из дымовых труб и вентиляционных устройств загрязняющих веществ подчиняется законам турбулентной диффузии. На процесс рассеивания существенное влияние оказывают следующие факторы: состояние атмосферы, физические и химические свойства выбрасываемых веществ, высота и диаметр источника выбросов, расположение источников, рельеф местности.

Зона задымления является наиболее опасной и не должна попадать на территорию селитебной застройки. Размеры зоны задымления в зависимости от метеоусловий находятся в пределах 10–50 высот дымовой трубы.

Внутри зоны переброса факела высокие концентрации загрязняющих веществ имеют место за счет неорганизованных выбросов.

Влияние климатических условий на рассеивание примесей в атмосфере. Метеоусловия оказывают существенное влияние на перенос и рассеивание примесей в атмосфере. Наибольшее влияние оказывает режим ветра и температуры (температурная стратификация), осадки, туманы, солнечная радиация.

Ветер может оказывать различное влияние на процесс рассеивания примесей в зависимости от типа источника и характеристики выбросов. Если отходящие газы перегреты относительно окружающего воздуха, то они обладают начальной высотой подъема. В связи с этим вблизи источника создается поле вертикальных скоростей, способствующих подъему факела и уносу примесей вверх. Этот подъем обуславливает уменьшение концентраций примесей у земли. Эта концентрация убывает и при очень сильных ветрах, однако это происходит за счет быстрого переноса примесей в горизонтальном направлении. В результате наибольшие концентрации примесей в приземном слое формируются при некоторой скорости, которую называют «опасная».

При низких или холодных источниках выбросов повышенный уровень загрязнения воздуха наблюдается при слабых ветрах (0–1 м/с) вследствие скопления примесей в приземном слое. Прямое влияние на загрязнение воздуха в городе оказывает направление ветра. Существенное увеличение концентрации примеси наблюдается тогда, когда преобладают ветры со стороны промышленных объектов.

Если температура окружающего воздуха понижается с высотой, нагретые струи воздуха поднимаются вверх (конвекция), а взамен их опускаются холодные. Такие условия называются *конвективными*.

Если вертикальный градиент температуры будет отрицательным (температура возрастает с высотой), то вертикально поднимающийся поток становится холоднее окружающих масс и его движение затухает. Такие условия называются *инверсионными*. Если повышение температуры

начинается непосредственно от поверхности земли, инверсию называют приземной, если же с некоторой высоты над поверхностью земли – приподнятой. Инверсии затрудняют вертикальный воздухообмен и рассеивание примесей в атмосфере. Для состояния атмосферы в городах наибольшую опасность представляет приземная инверсия в сочетании со слабыми ветрами, т.е. ситуация «застоя воздуха».

Туманы на содержание загрязняющих веществ в атмосфере влияют следующим образом. Капли тумана поглощают примесь, причем не только вблизи подстилающей поверхности, но и из вышележащих, наиболее загрязненных слоев воздуха. Вследствие этого концентрация примесей сильно возрастает в слое тумана и уменьшается над ним. Растворение сернистого газа в каплях тумана приводит к образованию серной кислоты.

Основы прогноза загрязнения атмосферного воздуха. Развитие методов прогноза основывается на результатах теоретического и экспериментального изучения закономерностей распространения примесей, выбрасываемых источниками загрязнения атмосферы.

Основное направление изучения распространения примесей состоит в разработке теории атмосферной диффузии на основе математического описания процесса с помощью уравнения турбулентной диффузии. Оно позволяет исследовать распространение примесей от источников различного типа при разных характеристиках среды.

В общем виде задача прогноза загрязнения воздуха математически может быть описана дифференциальным уравнением при определенных начальных и граничных условиях.

Расчеты показывают, что при одинаковых параметрах выбросов максимальная приземная концентрация примеси от более высокого источника меньше и наблюдается на большем расстоянии от источника.

Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий предназначена для решения практических задач, связанных с прогнозом загрязнения атмосферного воздуха. Она позволяет производить расчеты рассеивания примесей, выбрасываемых в атмосферу одиночными точечными, линейными и группой источников, с учетом влияния рельефа местности, определять предельные концентрации загрязняющих веществ в двухметровом слое над поверхностью земли, а также вертикальное распределение концентраций.

Степень загрязнения атмосферного воздуха определяется наибольшим расчетным значением концентрации, соответствующим неблагоприятным метеорологическим условиям, опасной скорости ветра.

При одновременном присутствии в атмосферном воздухе нескольких веществ, обладающих суммацией вредного действия, рассчитывается суммарная концентрация q в долях ПДК:

$$q = C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + C_n/\text{ПДК}_n.$$

Разработка нормативов ПДВ и ВСВ для стационарных источников. ПДВ устанавливается для каждого стационарного источника из расчета, что совокупный выброс от всех источников загрязнения атмосферного воздуха города с учетом перспективы развития не приведет к превышению норматива ПДК_{М.Р.} в приземном слое. ПДВ устанавливается для условий полной нагрузки технологического и газоочистного оборудования и их нормальной работы. ПДВ не должен превышать в любой 20-минутный период времени. Для мелких источников целесообразно установление ПДВ от их совокупности с предварительным объединением их в площадной или условный точечный источник. ПДВ определяется для каждого вещества отдельно, в том числе и в случае суммации вредного действия нескольких веществ.

По результатам расчета нормативов ПДВ для каждого стационарного источника выбросов устанавливается суммарный предельный выброс предприятия в целом. ПДВ устанавливают с учетом фоновых концентраций. Для реконструируемого предприятия расчеты выполняют по фактическому положению и на перспективу.

Для предприятий и источников, зоны влияния которых целиком расположены в пределах города, где суммарная концентрация от всех источников $C < \text{ПДК}$, значения выбросов, используемых при расчетах, принимаются в качестве ПДВ.

Если $C_{\phi} > \text{ПДК}$ (фоновая концентрация, из которой исключен вклад рассматриваемого источника), то увеличение объемов выбросов от реконструируемого объекта и строительства на предприятии новых объектов с выбросами тех же веществ или веществ, обладающих с ними эффектом суммации, может быть допущено только при одновременном обеспечении снижения выбросов на остальных объектах рассматриваемого предприятия или на других предприятиях города.

Наряду с максимальным разовым значением ПДВ в г/с устанавливаются годовые значения ПДВ в т/год для отдельных источников и предприятия в целом..

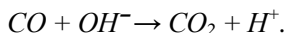
Трансформация примесей в атмосфере. Первый от поверхности Земли слой атмосферы – тропосфера является неравновесной химически активной системой. В ней непрерывно идут процессы, вызывающие изменение концентрации примесей в атмосферном воздухе.

Большинство газообразных примесей, выбрасываемых в атмосферу, находятся в восстановленной форме или в виде окислов с низкой степенью окисления (сероводород, метан, оксид азота). Анализ атмосферных осадков показывает, что возвращенные на поверхность земли примеси представлены в основном соединениями с высокой степенью окисления

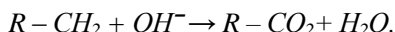
(серная кислота, сульфаты, азотная кислота, нитраты, диоксид углерода). Таким образом, тропосфера играет роль глобального окислительного резервуара.

В роли окислителя могут выступать молекулы кислорода, перекись водорода, озон. Основную роль в процессах окисления, протекающих в атмосфере, играют свободные радикалы, прежде всего гидроксильный радикал OH^\cdot . Он образуется в верхних слоях атмосферы путем фотодиссоциации воды и при других реакциях.

Трансформация соединений углерода в атмосфере. В большинстве случаев CO можно рассматривать как химически неактивный компонент воздуха. Однако в стратосфере и при фотохимическом смоге CO может окисляться до CO_2 , взаимодействуя со свободным радикалом OH^\cdot .

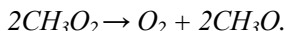
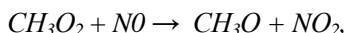


Фотохимическое окисление метана в тропосфере протекает в основном по радикальному механизму:

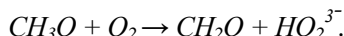


Образовавшийся на первой стадии метильный радикал при столкновении с молекулой кислорода дает другую неустойчивую частицу – метилпероксидный радикал.

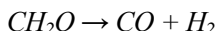
Метилпероксидный радикал в атмосфере разлагается с образованием метоксильного радикала:



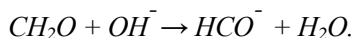
При взаимодействии метоксильного радикала с кислородом происходит образование формальдегида;



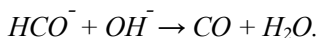
Молекулы CH_2O подвергаются фотолизу при поглощении света в ближайшей ультрафиолетовой области:



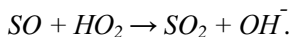
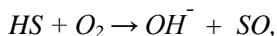
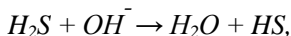
Формильный радикал HCO^\cdot образуется также при взаимодействии формальдегида с гидроксилрадикалом:



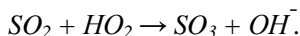
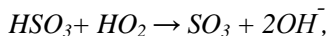
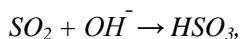
Реагируя с OH^\cdot радикалом, формильный радикал образует оксид углерода, который является конечной стадией окисления органических соединений в атмосфере:



Трансформация соединений серы в тропосфере. До настоящего времени детальный механизм трансформации соединений серы не установлен. Наиболее вероятным представляется протекание реакций окисления с участием свободных радикалов:

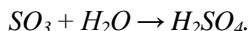


Полученный из сероводорода диоксид серы (как и SO_2 , поступающий из антропогенных источников) окисляется далее:



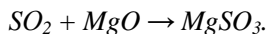
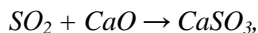
Скорость трансформации диоксида серы при средних значениях концентраций свободных радикалов в воздухе составляет примерно 0,1 % в час, что соответствует времени пребывания SO_2 в атмосфере, равному 5 суток. Процесс трансформации диоксида серы в воздухе резко ускоряется в промышленных регионах, где имеет место увеличенное содержание свободных радикалов.

Триоксид серы (серный ангидрид) легко взаимодействует с частицами атмосферной влаги и образует растворы серной кислоты:



Реагируя с аммиаком или ионами металлов, присутствующими в частицах атмосферной влаги, серная кислота частично переходит в соответствующие сульфаты. В основном это сульфаты аммония, натрия, кальция.

Образование сульфатов происходит и в процессе окисления на поверхности твердых частиц, взвешенных в воздухе. В этом случае стадии окисления предшествует адсорбция, сопровождающаяся химическими реакциями с образованием сульфитов:



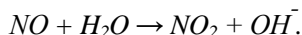
В дальнейшем при взаимодействии с молекулярным кислородом сульфиты переходят в соответствующие сульфаты.

В дождливую погоду возможен процесс окисления SO_2 после предварительной адсорбции их каплями атмосферной влаги. В процессе окисления SO_2 в жидкой фазе активное участие принимают ионы OH^- и HO_2^{3-} , которые образуются в результате фотохимических превращений в слое облаков. Конечными продуктами окисления SO_2 как в растворе, так и в газовой фазе, является серная кислота, которая образуется в виде мелкодисперсных аэрозолей. Аэрозоли вымываются из атмосферы осадками и адсорбируются на поверхности земли. Такие явления называются *кислотными дождями*. Водородный показатель (рН) воды кислотных дождей менее 5,6.

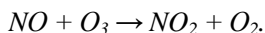
В первые моменты после выброса диоксида серы в атмосфере практически отсутствуют частицы серной кислоты и сульфатов. Со временем доля SO_2 в воздухе уменьшается, одновременно растет доля серы в виде H_2SO_4 и сульфатов. Количество серной кислоты в атмосфере достигает максимума спустя 10 часов после выброса, а сульфатов – через 30–40 ч.

Трансформация соединений азота в тропосфере. Соединения азота в атмосфере в основном представлены оксидами азота, аммиаком и солями аммония, а также азотной кислотой и нитритами.

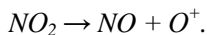
Большинство естественных и антропогенных выбросов содержат оксид азота NO. В тропосфере NO, взаимодействуя с гидропероксильным радикалом, переходит в диоксид азота:



Окисление оксида азота происходит также при взаимодействии с озоном:

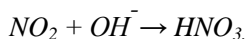


Под действием солнечного излучения происходит обратная реакция – часть диоксида азота разлагается с образованием оксида азота и атома кислорода:



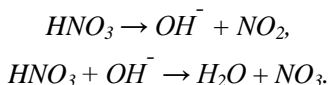
Атомарный кислород приводит к образованию в атмосфере озона.

В результате взаимодействия диоксида азота с гидроксильным радикалом происходит образование азотной кислоты:



Основное количество азотной кислоты выводится из тропосферы с атмосферными осадками в виде растворов HNO_3 и ее солей.

Часть азотной кислоты разлагается с образованием диоксида или триоксида азота, которые вновь включаются в атмосферный цикл его соединений:



Статистические характеристики загрязнения атмосферы населенных пунктов определяются на основе систематизации и обработки наблюдений.

Среднее арифметическое значение концентрации примеси q_c – среднесуточные, среднемесячные, среднегодовые, средние многолетние концентрации примесей, которые определяются по данным стационарных постов, подфакельных наблюдений, по совокупности точек отбора проб города и группы городов:

$$\bar{q}_c = \sum_{i=1}^n q_i / n, \text{ мг/м}^3,$$

где n – число разовых концентраций, измеренных за соответствующий период.

Среднее квадратичное отклонение σ результатов измерений от среднего арифметического: среднегодовых концентраций на постах от среднегодовой и средней многолетней концентрации по городу; разовых концентраций от среднегодовой концентрации по городу (району); среднегодовых концентраций для города от среднегодовой концентрации для группы городов; максимальных концентраций примеси для города за год от средней из максимальных концентраций примеси за год; разовых (среднесуточных) концентраций от среднемесячной и среднегодовой, среднемесячной – от среднегодовой и средней многолетней; среднегодовой – от средней многолетней:

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2 / (n - 1)}, \text{ мг/м}^3.$$

Коэффициент вариации, показывающий степень изменчивости концентраций примеси:

$$V = \sigma / q,$$

где q – средняя концентрация.

Максимальное значение концентрации примеси. Определяется максимальная из разовых, среднемесячных, среднесуточных, среднегодовых концентраций из малого числа наблюдений, а также максимальная из разовых концентраций по данным подфакельных наблюдений. Выбираются наибольшие значения из убывающего вариационного ряда соответствующих концентраций за рассматриваемый период.

Максимальная концентрация примеси с заданной вероятностью ее превышения определяется из предположения логарифмически нормального распределения концентраций примесей в атмосфере для заданной вероятности ее превышения:

$$q_M^P = \bar{q} \exp z \sqrt{\ln(1 + V^2)} / \sqrt{1 + V^2},$$

где q – средняя концентрация; при $P = 0,1 \%$ $z = 3,08$; $P = 1 \%$ $z = 2,33$; $P = 5 \%$ $z = 1,65$.

Индексы загрязнения атмосферы (ИЗА) – количественная характеристика уровня загрязнения атмосферы отдельной примесью, учитывающая различие в скорости возрастания степени вредности веществ, приведенной к вредности диоксида серы, по мере увеличения превышения ПДК:

$$I_i = (q/PДК_{C.Ci})^{ci},$$

где C – константа, принимающая значения 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 для соответственно 1, 2, 3 и 4-го классов опасности веществ, позволяющая привести степень вредности i -го вещества к степени вредности диоксида серы.

Комплексный индекс загрязнения атмосферы города (КИЗА) – количественная характеристика уровня загрязнения атмосферы, создаваемого n веществами, присутствующими в атмосфере города (или района города):

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i,$$

где n – количество рассматриваемых примесей (может включать в себя все загрязняющие вещества, присутствующие в атмосфере города, или только приоритетные вещества, определяющие состояние атмосферы).

Используется для сравнения степени загрязнения атмосферы в различных городах и регионах.

Фоновая концентрация – статистически достоверная максимальная концентрация, C_{ϕ} , мг/м³. Она является характеристикой загрязнения атмосферы и определяется как значение концентрации, которое превышает не более чем в 5 % случаев от общего количества наблюдений.

Фоновая концентрация характеризует суммарную концентрацию, создаваемую всеми источниками, расположенными на данной территории.

При отсутствии необходимых данных наблюдений фоновая концентрация может быть определена расчетным путем. Определение C_{ϕ} для каждого поста наблюдений производится по данным за период от 2 до 5 лет. С целью повышения достоверности расчета C_{ϕ} необходимо выбрать

такой период наблюдений, в течение которого существенно не изменялся характер застройки в районе наблюдательного поста, не происходило существенных изменений в характеристиках промышленных выбросов в радиусе 5 км от поста, не менялось расположение самого поста, а отбор и анализ проб производился по одним и тем же методикам. При этом, как уже отмечалось, число наблюдений в течение года должно быть не менее 200 по каждому веществу, а общее число наблюдений за выбранный период – не менее 800.

Для определения C_{ϕ} могут быть использованы данные как стационарных, так и подфакельных постов наблюдений. В результате обработки данных для каждого поста по всему массиву результатов наблюдений находят величины $C_{\phi i}$, где $i = 0; 1; 2; 3; 4$, соответствующие различным градациям направления α и скорости ветра w (табл. 27).

Таблица 27

Значения i в зависимости от скорости и направления ветра

α	Румбы	любой	С	В	Ю	З
	десятки градусов	любые	32–4	5–13	14–22	23–31
w , м/с		0–2	3– w^*			
i		0	1	2	3	4

Верхняя граница скорости ветра w^* определяется из условия, что скорость ветра в данном месте $w > w^*$ встречается в 5 % случаев.

При определении для каждой из пяти градаций скорости и направления ветра значения концентраций q_k (k – номер концентрации в i -ой градации) вписываются в таблицу, после чего определяется число наблюдений в каждой градации n_i , которое для дальнейшей обработки должно быть не менее 100.

Если $n_i < 100$, то значение $C_{\phi i}$ считается ориентировочным.

Данные подфакельных наблюдений группируются по зонам соответственно расстояниям от источника выбросов. Количество наблюдений в каждой зоне должно быть не менее 200. Данные для каждой зоны делятся на две градации по скорости ветра. При скорости ветра 0–2 м/с $i = 0$. При скоростях ветра от 3 до w^* м/с i равно от 1 до 4.

Для учета суммации вредного действия нескольких загрязняющих веществ допускается определение единой величины C_{ϕ} по этим веществам. При этом для каждого пункта наблюдения и момента времени концентрация n веществ приводится к концентрации наиболее распространенного из них вещества. Например, при суммации воздействия SO_2 и NO_2

$$q_{SO_2+NO_2} = q_{SO_2} + q_{NO_2} \text{ПДК}_{SO_2 \text{ м.п.}} / \text{ПДК}_{NO_2 \text{ м.п.}}$$

Дальнейшая обработка результатов проводится так же, как и в случае одного вещества.

При проектировании промышленных предприятий и установлении ПДВ данные о распределении фоновой концентрации по территории населенного пункта представляются в табличной форме.

В отдельных случаях можно ограничиться средним значением C_{ϕ} по городу. Для этого вычисляется среднее значение C_{ϕ} по городу для каждой градации скорости и направления ветра. Для тех постов, на которых в рассматриваемой градации C_{ϕ} отличается от среднего по городу менее, чем на 25 %, оно заменяется на среднюю по городу величину $C_{\phi i}$.

7.5. Качество атмосферного воздуха в Беларуси

Регулярные наблюдения за состоянием атмосферного воздуха проводятся в 16 городах республики. Дополнительно к программе наблюдений в 2005 г. обследовано состояние воздушного бассейна г. Барановичи. Таким образом, регулярным мониторингом охвачена территория, на которой проживает около 65 % городского населения.

В городах установлено 53 стационарных станции, на которых 3–4 раза в сутки проводятся наблюдения за 37 загрязняющими веществами.

Основной объем (57 %) наблюдений относится к веществам, имеющим повсеместное распространение (пыль, диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота). В воздухе всех промышленных центров определяется содержание формальдегида, свинца и кадмия. Данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу стационарными источниками в городах Беларуси представлены в табл. 28.

Анализ статистических данных за последние пять лет показал, что имеется устойчивая тенденция снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников в большинстве городов республики. В 2015 г. по сравнению с 2000 г. отмечается увеличение выбросов загрязняющих веществ в городах Новополоцк, Минск, Новолукомль, Гомель и Жлобин. Из этих городов проблемным остается пока только Новополоцк.

Суммарные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в 2000–2015 гг. представлены в табл. 29.

Таблица 28

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу стационарными источниками в городах Беларуси в 2015г., тыс. т

Город	Оксид углерода	Диоксид серы	Оксиды азота	Углеводороды (сЛЮС)	Твердые вещества	Прочие	Всего	± по сравнению с 2000 г.
Новополоцк	3,1	16,3	3,2	32,1	02	0,2	55,1	+4,3
Минск	14,4	3,7	7,0	5,7	3,4	1,1	35,3	+1,1
Новолукомль	1,8	5,9	11,5	<0,1	0,7	<0,1	19,9	+1,5
Гомель	3,2	2,0	4,2	1,5	1,2	0,9	13,0	+0,3
Гродно	3,7	0,8	3,2	1,2	1,8	1,6	12,3	0
Могилев	1,9	1,0	1,9	1,7	0,9	0,9	8,3	-2,4
Бобруйск	2,1	1,1	1,7	2,4	0,7	0,3	8,3	-0,7
Солигорск	1,1	2,8	0,7	<0,1	1,7	0,1	6,4	-3,4
Витебск	1,9	0,5	1,0	1,0	1,3	0,1	5,8	-2,3
Жлобин	3,7	0,2	0,7	0,1	0,6	<0,1	5,3	+0,2
Светлогорск	0,7	0,4	0,7	0,6	0,2	1,8	4,4	0
Речица	1,4	<0,1	0,9	1,7	0,2	0,1	4,3	-1,7
Мозырь	1,0	2,0	0,3	0,3	0,1	<0,1	3,7	-0,7
Костюковичи	1,3	0,3	0,5	<0,1	1,5	<0,1	3,6	-0,3
Белоозерск	0,4	0,3	2,3	<0,1	<0,1	0,4	3,4	-
Пинск	1,2	0,9	0,3	0,4	0,5	<0,1	3,3	-2,8
Борисов	1,2	0,4	0,5	0,5	0,5	0,1	3,2	-0,1
Полоцк	1,0	0,2	0,4	0,7	0,7	<0,1	3,0	-0,8
Орша	0,9	0,6	0,5	0,1	0,4	<0,1	2,5	-0,5
Слуцк	1,1	0,3	0,3	0,4	0,4	<0,1	2,5	-0,8
Брест	1,0	0,2	0,5	0,2	0,3	0,1	2,3	-0,5
Барановичи	0,9	0,2	0,4	0,3	0,4	<0,1	2,2	-0,1
Кричев	0,4	0,2	0,1	0,1	1,1	<0,1	2,2	-

Таблица 29

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в 2000–2015 гг., тыс. т

Год	Всего	Стационарные источники	Передвижные источники	Вклад выбросов от передвижных источников, %
2000	1311,3	358,5	952,8	72,7
2003	1318,9	392,0	926,9	70,3
2008	1308,9	381,0	927,9	70,9
2010	1327,5	372,2	955,3	72,0
2015	1329,4	384,7	944,7	71,1

Анализ изменения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по сравнению с 2000 г. показывает, что в 2015 г. выбросы на территории Беларуси возросли на 18,1 тыс. т, причем за счет стационарных источников (26,2 тыс. т), а выбросы передвижных источников, наоборот, уменьшились на 8,1 тыс. т. Выбросы стационарных источников увеличились в Витебской, Гродненской, Минской, Могилевской и, особенно, Гомельской области (17,4 тыс. т). Вклад передвижных источников в загрязнение атмосферы существенно увеличился в Минской области, включая Минск (37,1 тыс. т), а в остальных областях уменьшился на 5–15 тыс. т по сравнению с 2000 годом. В целом наибольшее количество загрязняющих веществ выбрасывается в атмосферу на территории Минской области (включая г. Минск) – около 32 % общих выбросов в атмосферу. Среди городов по объему выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников выделяются Новополоцк и Минск. С передвижными источниками связаны выбросы стойкого органического загрязнителя бенз(а)пирена (около 0,75 т в год). Выбросы свинца автотранспортом за последнюю пятилетку практически отсутствуют, поскольку этилированный бензин в Беларуси не производится и не импортируется.

Анализ данных об объемах выбросов за период 1980–2000 гг. свидетельствует о хорошо выраженной тенденции к их снижению до начала текущего столетия. При этом тенденции изменения объемов выбросов от стационарных и передвижных источников несколько различаются. Для стационарных источников характерно снижение объемов выбросов за 25-летний период с 1530,3 до 358,5 тыс. т, т. е. более чем 4-кратное уменьшение. В последний период выбросы от стационарных источников находились в интервале 372,2–392,0 тыс. т.

Такая закономерность в уменьшении выбросов от стационарных источников связана, прежде всего, с переводом энергетики с твердых и жидких видов топлива на природный газ и выполнением природоохранных мероприятий: закрытием или реконструкцией устаревших произ-

водств, строительством газоочистных сооружений и др. В первой половине 90-х годов главной причиной уменьшения объемов выбросов явился спад промышленного производства, а незначительный рост объемов выбросов в последний пятилетний период связан с подъемом промышленного и сельскохозяйственного производства.

Иная тенденция характерна для выбросов от передвижных источников. До конца 80-х годов наблюдалось повышение объемов выбросов, а с начала 90-х годов до 2001 года прослеживалось постепенное снижение объемов выбросов загрязняющих веществ, что связано с увеличением доли в транспортных потоках машин со значительно меньшими удельными расходами топлива на километр пробега. В последние годы объемы выбросов от передвижных источников находились на уровне 2000 года. Это явилось следствием улучшения качества топлива, увеличения количества дизельных моторов, усиления контроля за техническим состоянием транспортных средств и других мер. Так, в 2004 г. доля дизельного топлива составила 46 % (1999 г. – 38 %), бензина марки А 92 и А 95 – 23 % (1999 г. – 16 %). За этот период доля потребления бензина А 76 снизилась с 43 % до 29 % в общей структуре потребления моторного топлива.

В составе выбросов в атмосферу преобладали оксид углерода, углеводороды, оксиды азота и диоксид серы (табл. 30).

Таблица 30

Состав выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, %

Год	Оксид углерода	Углеводороды	Оксиды азота	Диоксид серы
2000	54,7	18,4	10,3	10,7
2001	53,9	18,2	10,2	11,1
2002	54,4	18,3	10,4	10,5
2003	55,2	18,6	10,6	9,5
2004	56,4	19,6	11,1	6,9

В разные годы большая часть выброшенных в атмосферу оксида углерода (86–87 %), углеводородов (66–68 %) и оксидов азота (59–63 %) обусловлена работой автотранспорта. Вклад стационарных источников в суммарные выбросы диоксида серы и твердых частиц был значительно выше, чем передвижных, и составил соответственно 71–75 и 61–62 %.

Качество воздуха оценивалось с учетом национальных стандартов ПДК и дополнительно путем сравнения с международными стандартами, рекомендованными Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ). По результатам наблюдений для каждого города рассчитан комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), учитывающий классы опасности вредных веществ, стандарты качества и средние уровни загрязнения.

В табл. 31 приведены величины ИЗА для городов Беларуси. В соответствии с существующими методиками оценок среднегодового уровня, загрязнение считается низким, если $ИЗА < 5$, повышенным при $5 < ИЗА < 7$, высоким при $7 < ИЗА < 14$ и очень высоким при $ИЗА > 14$.

Таблица 31

Индекс загрязнения атмосферы в городах Беларуси в 2000–2015 гг.

Город	ИЗА					Вещества	Отрасль, предприятия которой в наибольшей степени загрязняют воздух в городе
	2000	2003	2008	2011	2015		
1	2	3	4	5	6	7	8
Речица				9,0	9,5	Формальдегид, взвешенные вещества, фенол, оксид углерода, аммиак	Автотранспорт, лесная промышленность, теплоэнергетика
Гомель	5,0	6,2	6,9	9,1	8,6	Формальдегид, фенол, аммиак, оксид углерода, диоксид азота	Автотранспорт, лесная промышленность, производство минеральных удобрений, теплоэнергетика
Витебск	4,9	4,8	5,7	5,7	5,7	Формальдегид, аммиак, взвешенные вещества, фенол, оксид углерода	Автотранспорт, лесная промышленность, теплоэнергетика, стройматериалов
Светлогорск	3,6	4,7	6,0	6,8	5,6	Формальдегид, взвешенные вещества, оксид углерода, сероуглерод, диоксид азота	Автотранспорт, лесная, химическая промышленность, теплоэнергетика
Полоцк	4,6	5,3	4,9	5,3	5,6	Формальдегид, взвешенные вещества, аммиак, оксид углерода, диоксид азота	Автотранспорт, химическая промышленность, теплоэнергетика
Орша	4,8	5,8	5,8	4,3	5,4	Формальдегид, оксид углерода, взвешенные вещества, диоксид азота, диоксид серы	Автотранспорт, теплоэнергетика, машиностроение

1	2	3	4	5	6	7	8
Брест	4,7	4,7	5,8	4,2	5,2	Формальдегид, оксид углерода, взвешенные вещества, оксид азота, диоксид азота	Автотранспорт, теплоэнергетика, сельскохозяйственное машиностроение
Новополоцк	4,4	3,9	5,2	5,2	5,2	Формальдегид, взвешенные вещества, оксид углерода, диоксид азота, фенол	Автотранспорт, нефтехимическая, теплоэнергетика
Бобруйск	3,4	3,9	4,8	3,9	5,1	Формальдегид, фенол, взвешенные вещества, оксид углерода, диоксид азота	Автотранспорт, нефтехимическая, теплоэнергетика, сельскохозяйственное машиностроение
Солигорск					5,0	Формальдегид, хлористый водород, диоксид азота, оксид углерода, взвешенные вещества	Нефтехимическая промышленность, теплоэнергетика, автотранспорт
Могилев	5,2	4,5	4,7	4,7	4,8	Аммиак, формальдегид, сероуглерод, оксид азота, фенол	Химическая промышленность, автотранспорт, теплоэнергетика, черная металлургия
Минск	3,4	3,6	3,3	4,0	4,7	Формальдегид, аммиак, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота	Автотранспорт, сельскохозяйственное машиностроение, теплоэнергетика, производство строительных материалов

1	2	3	4	5	6	7	8
Гродно	5,2	5,1	4,2	5,2	4,7	Формальдегид, взвешенные вещества, аммиак, оксид углерода, диоксид азота	Автотранспорт, производство минеральных удобрений, строительных материалов, теплоэнергетика
Пинск	1,8	3,2	4,3	3,4	3,9	Формальдегид, взвешенные вещества, оксид углерода, диоксид азота, диоксид серы	Автотранспорт, теплоэнергетика, станкостроение
Мозырь	5,0	6,5	7,2	4,5	3,7	Формальдегид, взвешенные вещества, оксид углерода, диоксид азота, диоксид серы	Автотранспорт, лесная промышленность, теплоэнергетика
Новогрудок					1,8	Взвешенные вещества, оксид углерода, диоксид азота, формальдегид	Автотранспорт, теплоэнергетика, местная промышленность

Высокое загрязнение воздуха сохраняется в Гомеле и Речице. В ряде контролируемых городов за рассматриваемый период загрязнение повышенное (Витебск, Светлогорск, Полоцк, Новополоцк), а в большинстве городов загрязнение воздуха низкое.

Средние по республике концентрации основных и большинства контролируемых специфических примесей были ниже гигиенических нормативов. Проблему загрязнения воздушного бассейна практически всех городов республики определяют повышенные концентрации формальдегида. Вклад формальдегида в суммарный индекс загрязнения в 11 городах достигал 75–85 %. В 2014 г. его средняя концентрация составляла 2,8 ПДК и была выше, чем в предыдущие годы. В период 2000–2015 гг. во всех контролируемых городах республики произошло снижение уровня загрязнения воздуха диоксидом серы и твердыми частицами. Наблюдаемый в последние годы рост загрязнения атмосферы диоксидом азота и формальдегидом, а в некоторых промышленных центрах оксидом углерода, выдвигает на первое место проблему сокращения выбросов от автотранспорта.

Мониторинг атмосферного воздуха на фоновой станции «Березинский биосферный заповедник» свидетельствует о снижении и стабилизации уровня загрязнения диоксидом серы, сульфатами и твердыми частицами. Вместе с тем, в 2014 г. содержание в воздухе диоксида азота увеличилось в 2 раза и составило $1,6 \text{ мкг/м}^3$, самый высокий показатель за последние 10 лет. Содержание диоксида серы было на уровне $0,33 \text{ мкг/м}^3$. Для сравнения, по модельным расчетам Метеорологического синтезирующего центра «Запад», средние для Беларуси фоновые концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе составили в 2000 г. $1,0 \text{ мкг/м}^3$, диоксида азота – $0,5 \text{ мкг/м}^3$, оксида углерода – $117,6 \text{ мкг/м}^3$, тонкодисперсных взвешенных частиц – $7,0 \text{ мкг/м}^3$.

Химический состав атмосферных осадков изучался на 16 метеостанциях. По результатам наблюдений, величина общей минерализации находилась в пределах от 6 до 60 мг/дм^3 . Повышенная минерализация осадков характерна для промышленных городов: здесь сумма ионов составляла $20\text{--}60 \text{ мг/дм}^3$, а в Березинском биосферном заповеднике – менее 10 мг/дм^3 . Основными компонентами химического состава осадков оставались: из анионов – сульфаты и гидрокарбонаты; из катионов – калий и натрий. В большей части городов максимальное значение минерализации приходилось на весенне-летний период. Значительные всплески уровней загрязнения осадков в этот период нередко превышают 150 мг/дм^3 , а иногда 200 мг/дм^3 . В последние годы общая минерализация атмосферных осадков несколько снизилась. Так, в 2002–2014 гг. только в Гродно, Полоцке, Бресте, Могилеве, Минске она превышала 30 мг/дм^3 .

Значение pH атмосферных осадков на большинстве станций выше равновесных значений. Это связано с расположением большинства станций в крупных городах, где кислотообразующие соединения нейтрализуются основаниями в составе пылевых выбросов. В фоновых условиях осадки кислые. Например, для станции Березинский биосферный заповедник p_i осадков около 5, что ниже равновесного значения для атмосферных осадков (5,6–5,7). Заметного тренда средней кислотности осадков в последние 15 лет не обнаруживается. Для ряда станций он положительный (Березинский биосферный заповедник, Пинск, Пружаны, Орша и др.), а для других – отрицательный (Гомель, Минск, Березино и др.). Среднегодовые величины pH находились в пределах от 5,1 (Нарочь, Березинский биосферный заповедник) до 6,9 (Полоцк, Бобруйск, Могилев и др.).

В период с 1980 по 2015 год сокращение выбросов серы в большинстве регионов Европы составило около 90 %. В Беларуси выбросы сократились на 95 %. В результате понизилась кислотность атмосферных осадков и в целом сократилась кислотная нагрузка на экосистемы.

Борьба с выбросами оксидов азота не была столь успешной. Общее сокращение выбросов оксидов азота в Европе составило 25–30 % (в Бе-

ларуси – на 43 %). Сокращение эмиссий оксидов азота в республике произошло в промышленности и энергетике с 86,0 тыс. т до 52,3 тыс. т и от транспорта с 144,0 тыс. т до 84,5 тыс. т. В последние годы меры по сокращению выбросов от автотранспорта отчасти нивелируются ростом числа транспортных средств.

Особенности географического положения Беларуси обусловили преобладание в составе атмосферных выпадений трансграничных загрязняющих веществ. По расчетам Метеорологического синтезирующего центра «Запад» (данные на 2014 г.), ежегодный поток на территорию Беларуси составляет 128 тыс. т серы, 162 тыс. т окисленного и восстановленного азота. Доля трансграничной серы в выпадениях составляет в последние годы 84–86 %, окисленного азота – 89–94 %, восстановленного азота – 38–65 %, свинца более 80 %. Ртуть имеет преимущественно природное происхождение либо ее источники расположены за пределами Европы. В поступлении на территорию Беларуси окисленных серы и азота, тяжелых металлов, бенз(а)пирена основной вклад принадлежит странам-соседям: Польше, Германии, Украине, России. Восстановленный азот имеет в основном местное происхождение; существенный вклад вносят также Украина и Польша. В свою очередь, более 60 % серы и восстановленного азота и более 90 % окисленного азота от источников выбросов на территории Беларуси выпадает на территории других стран.

Интенсивность выпадения серы, рассчитанная по данным сети мониторинга химического состава атмосферы, в 2014 г. варьировала от 400 кг/км²/год (Березинский биосферный заповедник) до 1374 кг/км²/год (Пинск) при среднем значении 840 кг/км²/год. По сравнению с предыдущим годом интенсивность потоков осаждения серы снизилась.

Интенсивность потока окисленного (нитратного) азота в 2014 г. варьировала от 193 (Гродно) до 481 кг/км²/год (Березино), при среднем значении 332 кг/км²/год. Интенсивность выпадения аммонийного (восстановленного) азота, как и в прошлые годы, была крайне неоднородна – от 161 (Березино) до 1070 кг/км²/год (Гродно) при среднем уровне 576 кг/км²/год. .

Приведенные данные показывают, что необходимо и впредь принимать меры по сокращению выбросов веществ, подконтрольных Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. При этом важно налаживать сотрудничество и объединять усилия всех Сторон Конвенции для решения данной проблемы.

Изменение климата и озонового слоя Земли

Текущий климат продолжает оставаться теплым и не прерывает череду теплых лет, начавшуюся в 1988 г. Анализ показал, что по сравнению с предыдущим пятилетним периодом температура продолжала возрастать в большинстве месяцев года. Исключение составила температура

в феврале и июне месяцах, особенно на севере Беларуси. Существенный рост температуры обнаружен в ноябре, декабре, марте, июле и августе. В предыдущие две пятилетки часто самыми холодными месяцами являлись ноябрь–декабрь.

Таким образом, рост температуры на территории Беларуси продолжается, хотя структура изменений температуры в годовом ходе изменилась: потепление оказалось более выраженным во вторую половину года, тогда как ранее оно было более интенсивным в январе–марте. Самыми теплыми оказались зимы 1988–1989 и 1989–1990 гг. Непрерывная длительная серия самых теплых за период инструментальных наблюдений (1881–2015 гг.) зим отмечалась с 1989 по 2015 гг. Средняя температура зим за указанный период составила 1,5°C. Продолжительные серии теплых зим наблюдались также во второй половине 50-х и первой половине 70-х годов XX в. Однако для этих пятилетних серий средняя температура зимы составила –2,5–3,5 °C. Пространственные особенности изменения температуры в Беларуси не противоречат известным особенностям изменения температуры, связанным с ростом парниковых газов в атмосфере. Обнаруживается также слабая тенденция увеличения среднегодового количества осадков на юге Беларуси. На севере продолжается рост среднегодовых осадков, начавшийся четверть века тому назад.

Мониторинг состояния озоносферы над территорией республики ведется Национальным научно-исследовательским центром мониторинга озоносферы Белорусского государственного университета (ННИЦ МО БГУ) с 1996 г. С 2001 г. в центре начаты регулярные измерения уровней приземного солнечного ультрафиолетового излучения, а с 2003 г. – измерения концентрации приземного озона.

Тенденция снижения общего содержания озона (ОСО) в земной атмосфере в глобальных масштабах наблюдается уже более 30 лет. Особенно сильно эта тенденция выражена в южном полушарии, а также в умеренных и высоких широтах северного полушария. Начиная с 1990 г. наблюдается некоторое уменьшение скорости снижения содержания озона в земной атмосфере. Анализ ежедневных значений ОСО над территорией Беларуси за период с 1 января 1997 по 31 декабря 2014 г. Показывает колебание около 3-х единиц Добсона в год. Максимальное снижение общего содержания озона обнаружено в марте (–2,5 ЕД), июле (–2,5 ЕД) и октябре (–3,0 ЕД). В северном полушарии и над Республикой Беларусь характерно появление «мини-дыр», т.е. падение содержания озона в атмосфере от нескольких до десятков процентов. Продолжительность их существования от нескольких часов до нескольких суток. Увеличение числа глубоких атлантических циклонов совпадает по времени с существенными изменениями общего содержания озона в стратосфере над территорией всей Европы и Беларуси. Снижение содержания озона в ат-

мосфере сопровождается повышением уровня приземного ультрафиолетового (УФ) излучения и негативно отражается на здоровье населения республики и функционировании экосистем.

В стране последовательно осуществляются мероприятия, направленные на выполнение обязательств по Венской конвенции об охране озонового слоя и Монреальскому протоколу по веществам, разрушающим озоновый слой. Республика не производит озоноразрушающих веществ, поэтому основные усилия сосредоточены на сокращении использования озонопасных веществ в промышленности и сельском хозяйстве, а также на решении проблемы рецик-линга этих веществ. Налажен контроль за ввозом в страну озоноразрушающих веществ и продукции, содержащей такие вещества. Использование озоноразрушающих веществ осуществляется в соответствии с Законом Республики Беларусь «Об охране озонового слоя».

Если в 1989 г. в промышленности использовалось в качестве хладагентов более 1,5 тыс. т хлорфторуглеродов, то на сегодняшний день их использование полностью прекращено. В качестве основного заменителя R12 применяется озонобезопасный хладон 134a. Он имеет близкие к R12 теплофизические характеристики, но обладает большой величиной относительно потенциала (GWP). В качестве перспективных хладагентов представляют интерес хладоны R32 и R152a, а также R600a (изобутан) и R290 (пропан). Так как хладоны R1 52a, R600a и R290 взрывоопасны, необходимо принимать меры по безопасной эксплуатации холодильного оборудования.

ГЛАВА 8. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛОРЫ И ФАУНЫ

8.1. Состояние растительности

На территории Беларуси произрастает около 12 тыс. аборигенных видов растений и грибов (табл. 32). Лучше других изучено разнообразие сосудистых растений, мхов и лишайников. Однако до настоящего времени нет полноценных списков всех видовых таксонов и аналитических флористических сводок растений республики.

Таблица 32

Распределение аборигенных видов растений
Беларуси по таксономическим группам

Группа	Количество видов	
	число	%
Сосудистые	1680	14,2
Мохообразные	435	3,7
Лишайники	477	4,0
Водоросли	2232	18,9
Грибы	7000	59,2

В спектре сосудистых растений преобладают травы – более 1500 видов. Древесные растения представлены 107 видами, из которых 28 – деревья, остальные – кустарники, полукустарники и кустарнички. Среди сосудистых растений редких реликтовых видов более 130 (8 % флоры), среди мохообразных – 90 (20 %). 261 вид сосудистых растений (16 %) находится на пределе сплошного распространения либо за его границами в островных местообитаниях. Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды утверждены новые списки видов растений, включенных в Красную книгу Республики Беларусь.

При подготовке 3-го издания Красной книги использованы критерии отнесения организмов к категориям, предложенным Международным союзом охраны природы. Эти категории базируются на выделении групп по степени угрозы их состоянию (критически угрожаемые – CR, угрожаемые – EN, уязвимые – VU и т. д.) и на показателях, позволяющих оценить причины такого состояния, осуществлять контроль и разрабатывать рекомендации по сохранению видов.

Предпринятые в ходе обоснования списка 3-го издания Красной книги Республики Беларусь исследования показали, что необходимо распространение охранного статуса на значительную группу видов, ранее не включенных в Красную книгу (табл. 33). С другой стороны, принятые меры охраны и повышенное внимание ученых к изучению редких видов позволили вывести из списка Красной книги 31 вид: 24 вида сосудистых растений, 4 – лишайников и 3 – грибов.

В Беларуси произрастают 39 видов растений, имеющих статус охраняемых в Европе. Это виды, включенные в Бернскую конвенцию (19 видов), в Приложения Iib (19) и IVb (22) к Директиве Европейского Союза по местообитаниям (22), в европейский список охраняемых макролишайников (2 вида) и в Красную книгу мохообразных Европы (4 вида). Среди них 25 видов сосудистых растений, 6 – мохообразных, 2 – лишайников и 6 видов грибов.

Таблица 33

Количество видов растений, занесенных в Красную книгу
Республики Беларусь

№ и год издания Красной книги	Всего видов	В том числе								
		плауно-образных	хвощевидных	папоротниковидных	голосеменных	покрытосеменных	моховидных	водорослей	лишайников	грибов
III (2004)	274	3	1	7	1	171	27	21	24	29
II (1993)	214	3	2	7	1	143	15	9	17	17
I (1979)	85	2	1	3	1	78	—	—	—	—

Природная растительность в структуре угодий занимает 64,4 % территории Беларуси. Это леса (8,0 млн. га, или 38,6 %), луга (3,3 млн. га, или 15,8 %), заросли кустарников (0,66 млн. га, или 3,2 %), болота (0,93 млн. га, 4,5 %) и воды (0,48 млн. га, 2,3 %). Такие данные содержатся в Государственном земельном кадастре 2003 г.

Сельскохозяйственные земли, занятые сегетальной растительностью (посадками, посевами и т. п.), занимают 28,3 % территории (5,9 млн. га). Еще на 0,36 млн. га (1,7 % площади страны) формируются рудеральные растительные группировки (на свалках, придорожных полосах, отвалах и т. п.).

Разнообразие растительных сообществ Беларуси представлено 29 классами, 50 подклассами, 78 союзами и 233 ассоциациями. 33 типа местообитаний подлежат охране в Европе согласно приложению к Директиве по местообитаниям и 26 – согласно Бернской конвенции.

Леса Беларуси относятся в основном к хвойным и широколиственно-хвойным (60,2 % лесопокрытой площади). Мелколиственные (35,9 %) представлены березняками (20,8 %), черноольшанниками (8,2 %), осинниками (2,1 %), сероольшанниками (2,3 %) и прочими (2,5 %) лесами. Широколиственных всего 3,9 %: дубрав – 3,3 %, ясеников – 0,4 %, грабняков – 0,2 %, липняков и кленовиков – по 0,02 %.

Луговая растительность представлена сообществами суходоллов, низин, речных и озерных долин. Луга, за исключением пойменных, вторичны: они занимают большие площади лесов, выработанные торфяники, осушенные незаторфованные низины. В отсутствие хозяйственного использования луга зарастают кустарниками, лесом, заболачиваются.

Наибольшие площади травяных угодий сосредоточены в Витебской (658,3 тыс. га или 20,0 % общей площади лугов страны) и в Брестской областях (587,4 тыс. га, или 17,9 %). Их много в Гомельской (566,0 тыс. га) и Минской (557,5 тыс. га) областях. Брестская область характеризуется преобладанием низинных лугов, Гомельская – пойменных (более 50 % их площади). Суходольные луга распространены в основном в Витебской области.

Структура и динамика лугов имеет общегеографическое и антропогенно детерминированные особенности. В составе луговых угодий Беларуси отчетливо выражено резкое сокращение низинных (с 43,5 % в 1968 г. до 2,2 % к 2003 г.) и пойменных лугов (соответственно с 8,7 % до 2,3 %). Внепойменные луга (на осушенных землях и пашне) сейчас составляют 95,5 % (табл. 34). Это результат осушительной мелиорации, затронувшей структуру лугов.

Таблица 34

Изменение структуры луговых угодий Беларуси, тыс. га / %

Годы	1968	1976	1982	1988	1994	2010
Всего угодий, в том числе:	3500	3518	3303	3229	3106	3287
	17,4	17,0	15,9	15,6	14,9	15,8
суходольные	1723	2873	2867	2898	2891	3138
	47,8	81,6	86,8	89,5	93,1	95,5
низинные	1564	450	273	199	125	72
	43,5	12,8	8,3	6,1	4,0	2,2
пойменные (заливные)	308	198	163	141,4	89	77
	8,7	5,6	4,9	4,4	2,9	2,3

Примечание. В знаменателе % от общей площади земельного фонда для всех лугов и от общей площади луговых угодий для категории лугов.

К началу 90-х годов XX века площадь затронутых мелиорацией земель превысила 2,8 млн. га (13,5 % территории страны), а в 2003 г. мелиорированные земли составили уже 16,5 %, или 3417 тыс. га. Мелиорацией охвачено 1642 тыс. га лугов, т.е. 50% их общей площади. Наиболее масштабно она проведена в Брестской (372,8 тыс. га, или 62,7 % всех лугов), Минской (334,3 тыс. га, или 60,7 %) и Гомельской (323,4 тыс. га, или 58,0 %) областях. На значительной части мелиорированных площадей сформированы травяные культурфитоценозы. В результате доля суходольных лугов возросла более чем на 1 млн. га за два десятилетия.

Немало лугов утрачено при затоплении водохранилищ в поймах и долинах Вилии (Вилейское вдхр.), Свислочи (Заславское и Осиповичское вдхр.), Ясельды (вдхр. Селец), Случи (Солигорское вдхр.), Друти (Чигиринское вдхр.), Зельвянки (Зельвенское вдхр.), Лани (вдхр. Лактыши), Морочи (Краснослободское вдхр.) и др.

Болотная растительность распространена неравномерно. Среди болот преобладают эвтрофные (низинные) травяные (1453,8 тыс. га, или 61,1 %); меньшие площади занимают мезотрофные (491,3 тыс. га, или 20,7 %) и олиготрофные (верховые) болота (433,9 тыс. га, или 18,2 %).

Водная растительность наиболее распространена в Витебской области (144,8 тыс. га). В составе современной аквафлоры Беларуси 183 вида высших сосудистых растений. В реках, озерах, водохранилищах и прудах обычны заросли ежеголовников, камыша озерного, стрелолиста. Макрофиты образуют прибрежные полосы-шлейфы различной ширины. Старицы и заводи зарастают кубышкой, кувшинками, ряской, телорезом. Обильны рдесты, элодея канадская, роголистники. В толще воды и на дне водоемов имеются сотни видов водорослей.

Кустарниковая растительность представлена гидрофитными кустарниками (52,2 %), формирующимися по болотам и заболоченным западинам и основном из ив; ксерофитными (34,2 %, приуроченными к песчаным пустошам можжевельниковыми зарослями; мезогигрофитными кустарниками (13,3 % в поймах рек. Кустарники активно распространяются, несмотря на постоянную их трансформацию в сельхозугодья и леса.

В составе природной растительности все большую роль играют *интродуцированные* и другие чужеродные растений. В настоящее время *инвазийных* (заносных) видов растений во флоре республики насчитывается более 330. Пока они играют ограниченную роль в формировании растительных сообществ, но явно выражена тенденция к увеличению их доли.

В решении проблемы биоразнообразия растительного мира немалая роль принадлежит интродукции растений. Расширение ассортимента культивируемых растений новыми устойчивыми к биотическим и абиотическим факторам среды видами и сортами – важнейшая задача народного хозяйства. На территории Беларуси интродуцировано около 1,5 тысячи видов, сортов и форм древесно-кустарниковых и более 5 тысяч травянистых растений. Это пищевые, кормовые, технические, лекарственные и декоративные растения. Но введение в культуру новых растений приводит порой к неожиданным последствиям. Некоторые из них активно внедряются в природные фитоценозы, вытесняя аборигенные виды и создавая экологические, а иногда и экономические проблемы.

Примером агрессивного гостя является клен ясенелистный, который отличается высокой семенной продуктивностью. Он за короткое время способен вытеснять аборигенные виды. В поймах Буга, Мухавца, Припя-

ти клен ясенелистный образует монодоминантные растительные сообщества, вытесняя местные древесные и травянистые виды.

Агрессивное поведение характерно для древесных интродуцентов: дуба северного, тополя канадского; а также трав – пырейника гигантского, люпина многолистного, гречихи японской, тарана Вейриха, щавеля альпийского, золотарника канадского и др.

Учитывая тот факт, что интродукция растений с каждым годом принимает все большие масштабы, следует принять меры по предотвращению введения в культуру агрессивных видов, последующая борьба с которыми потребует больших затрат. Целесообразно ввести правовые нормы, регламентирующие ввоз и введение в культуру в республике новых видов сортов, интродукцию которых следует допускать только после экспертизы, содержащей научно-обоснованную оценку последствий.

Природная растительность – богатейший источник пищевого, лекарственного и технического сырья. Большинство растений в различной мере полезны: в качестве пищевых могут применяться около 400 дикорастущих видов, технических – более 300, лекарственных – более 900. Однако традиционно в Беларуси используется лишь малая часть хозяйственно-полезных растений.

Лекарственные растения. В лесах республики значителен запас лекарственного сырья в виде коры, почек, ягод, трав: сосны (500 тыс. т), ив (57 тыс. т), ольхи (48 тыс. т), березы (32 тыс. т), дуба (4 тыс. т), рябины (2,5 тыс. т), крушины (27 тыс. т), черники (до 90 тыс. т), брусники (18 тыс. т), багульника (13 тыс. т), ландыша (10 тыс. т), крапивы (8 тыс. т), толокнянки (6,5 тыс. т), зверобоя (2,4 тыс. т), плаунов (2,2 тыс. т), можжевельника и тысячелистника (по 2 тыс. т), тимьяна обыкновенного (1,3 тыс. т), вахты трехлистной (1 тыс. т) и др.

Лекарственная флора болот представлена клюквой (18 тыс. т), багульником (8 тыс. т), голубикой (3 тыс. т), вахтой трехлистной (5,5 тыс. т), аиром (0,5 тыс. т) и др.

На лугах значительны запасы тысячелистника и подорожников (по 5 тыс. т), вахты трехлистной (1,5 тыс. т), горцев змеиноного (0,9 тыс. т) и перечного (0,7 тыс. т), лапчатки прямостоячей (0,6 тыс. т), зверобоя (0,5 тыс. т), хвоща полевого (0,3 тыс. т).

В поймах рек это аир (1,3 тыс. т), тысячелистник (0,7 тыс. т), череда трехраздельная (0,3 тыс. т), мать-и-мачеха, пижма обыкновенная и горец перечный (по 0,2 тыс. т), горец змеиный (0,3 тыс. т), хвощ полевой (0,15 тыс. т). В водоемах из лекарственных растений обычны кубышка желтая (30 тыс. т) и кувшинка.

Заросли кустарников богаты сырьем ив (57 тыс. т) и можжевельника (10 тыс. т). На полях и в рудеральных местообитаниях сосредоточены запасы одуванчика лекарственного (5 тыс. т), мать-и-мачехи (2 тыс. т), пу-

стырника пятилопастного, подорожников, полыни горькой и горца птичьего (по 1,5 тыс. т), чистотела (1,3 тыс. т), а также пастушьей сумки, фиалки полевой (по 1 тыс. т), хвоща полевого, василька синего, череды трехраздельной, сушеницы болотной, крапивы двудомной, зверобоя, донников.

Технические растения. В лесах велики запасы технического дубильного сырья: коры ив (57 тыс. т), дуба (2,8 тыс. т) и крушины (3 тыс. т). Из технических растений лесов важны смолоносные сосна и ель, а также менее значимые красильные – можжевельник (кора), крушина (кора, ягоды) и др. Из волокнистых растений существенны запасы крапивы, осок, ситника.

Технические растения лугов и болот представлены широко распространенными дубильными видами – ивами (40 тыс. т коры), а также горцем змеиным, лапчаткой прямостоячей, кровохлебкой. Из красильных растений имеются калужница, подбел, горец змеиный, щавель и др., из волокнистых – ситники, вейники, крупные осоки.

В поймах рек велики запасы вахты (3 тыс. т), айра (2,5 тыс. т), горца змеиноного (0,3 тыс. т). Обильны волокнистые растения: тростник, вейники, крупные осоки, ситники.

Кувшинка чисто-белая, произрастающая в озерах, относится к красильным растениям (корневища). Волокнистые растения водоемов – тростник и рогозы.

Основные запасы дубильного сырья (коры) сосредоточены в ивовых кустарниках. Среди кустарников произрастают красильные растения (можжевельник, крушина, горец змеиный и др.). На полях обычен василек синий, цветки которого являются сырьем для получения красителей.

Пищевые растения лесов – это желуди дуба (11,2 тыс. т), орехи лещины (29,5 тыс. т). Витаминные растения представлены липой, крапивой, снытью, кислицей, пряно-ароматические – хмелем, тмином, душицей, чабрецом, зубровкой, гравилатом речным и др. Наиболее хозяйственно значимыми являются ягодные растения семейства брусничных: черника, клюква, голубика и брусника, из плодовых – рябина обыкновенная. Ресурсный потенциал дикорастущих ягодников не обеспечивает нормы потребления ягод населением республики: в среднем на жителя республики приходится около 3 кг свежих ягод (в высокоурожайные годы – до 5 кг).

Антропогенное воздействие на леса, интенсивные заготовки привели в Полесье и центральной части Беларуси к уменьшению плодоношения съедобных грибов: рыжика, груздя настоящего, строчка, сморчков и др. Сократились сроки их плодоношения. На севере страны плодоношение грибов стабилизировалось и даже отмечен его рост у рыжика, колпака кольчатого, белого гриба, лисички и опенка.

На лугах и в поймах значительны запасы пищевых растений: шавеля, крапивы, смородины черной и красной, спаржи, черемухи. Из пряно-ароматических по запасам выделяются айр, гравилат речной, водяной перец, тмин, дикий лук.

Из пряно-ароматических и пищевых растений на полях и в рудеральных местообитаниях встречаются кориандр, донник лекарственный, тмин, полынь горькая, чабрец, обильны крапива и одуванчик. Общий биологический запас сырья ценных растений (без древесины) в республике составляет около 1 млн. тонн, однако реально используется немногим более 1 %. Примерные объемы заготовок по различным группам растительных ресурсов, по данным Минстата, представлены в табл. 35.

Таблица 35

Динамика заготовки дикорастущих плодов
и ягод по областям в 1995–2015 гг.

Год	1995	2000	2001	2002	2010	2015
Беларусь	4623	7692	6700	9731	4515	7377
Области						
Брестская	647	2097	1593	3005	1812	2077
Витебская	922	2116	1608	2059	437	645
Гомельская	1226	682	776	1008	391	456
Гродненская	810	1228	1156	1579	1308	1950
Минская	911	1340	1228	1603	449	2052
Могилевская	107	229	339	477	118	197

Охрана и устойчивое использование ресурсов растительного мира

В 2003 г. принят Закон Республики Беларусь «О растительном мире», а затем нормативные и технические акты, регламентирующие многие частные вопросы правового регулирования в этой области. Начата практическая работа по первичному обследованию территории страны с целью ведения Государственного кадастра растительного мира.

Дальнейшее развитие получила система мониторинга растительного мира, включающая в настоящее время подсистемы мониторинга луговой и водной растительности, а также частично представленная в системе лесного мониторинга. Впервые в Беларуси в 2004 г. выделены и описаны 10 ключевых ботанических территорий (Important Plant Areas – IPA), ставшие частью общеевропейской сети IPA.

Основными направлениями стратегии и плана действий по охране растительного мира на ближайшие годы должны стать:

- разработка рекомендаций по охране и планов действий по восстановлению популяций видов растений и грибов, занесенных в Красную книгу Республики Беларусь;

- разработка предложений по оптимизации охраны растений и растительных сообществ на особо охраняемых природных территориях, развитие системы ИРА;

- продолжение работ по формированию Генетического банка дикорастущей флоры;

- обследование территории республики с целью ведения государственного кадастра растительного мира;

- обеспечение функционирования и развитие системы мониторинга растительного мира, включая разработку методик, программ и формирование сетей мониторинга охраняемых видов растений и грибов, защитных древесных насаждений и зеленых насаждений на землях населенных пунктов;

- оценка влияния автомобильных дорог на растительный мир и разработка предложения по природоохранным мероприятиям в зоне их воздействия;

- расширение использования ресурсов растительного мира на основе принципов равномерного пользования и расширенного воспроизводства растительных ресурсов.

Лесные ресурсы и их охрана

Леса – национальное богатство народа Беларуси, один из основных природных ресурсов страны, важнейший средообразующий компонент биосферы. Основные принципы бережного отношения к лесам, их рационального использования изложены в «Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь до 2015 года» и в «Стратегическом плане развития лесного хозяйства Беларуси». Республика активно участвует в акциях мирового сообщества по сохранению и приумножению богатства лесов.

Все леса Беларуси – исключительная собственность государства. Они предоставлены в пользование учреждениям и предприятиям ряда министерств. Ввиду того, что уровень ведения лесного хозяйства в системе Минлесхоза выше, чем в других организациях, в 1998–2004 гг. осуществлена передача значительной части лесов в ведение органов лесного хозяйства (табл. 36). В результате расширения национальных парков увеличилась и площадь лесов в ведении Управления делами Президента Республики Беларусь.

Многообразие функций лесов отражено в их распределении на группы и категории защитности. К 1-ой группе относятся леса особо охраняемых природных территорий (заповедников, национальных парков, заказников), а также леса водоохранного, защитного, санитарно-гигиенического и оздоровительного назначения. Остальные леса, предназначенные преимущественно для выращивания и промышленной заготовки древесины, относятся ко 2-й группе.

Таблица 36

Распределение лесов Беларуси по органам управления

Министерство, орган	Площадь земель лесного фонда			
	на 1.01.1997 г.		на 1.01.2015 г.	
	тыс. га	%	тыс. га	%
Министерство лесного хозяйства	6649,1	76,6	7979,3	86,3
Министерство сельского хозяйства и продовольствия	942,7	10,9	—	—
Министерство обороны	437,4	5,0	286,7	3Д
Управление делами Президента	326,3	3,8	663,8	7,2
Министерство по чрезвычайным ситуациям	215,4	2,5	216,2	2,3
Местные органы исполнительной власти	43,9	0,5	33,1	0,4
Министерство образования	24,5	0,3	27,6	0,3
Национальная академия наук Беларуси	36,8	0,4	40,8	0,4
Всего лесов	9007,0	100	9247,5	100

В составе обеих групп лесов выделяются особо защитные участки с ограниченным лесопользованием, на долю которых приходится около 10 % покрытых лесом земель. К особо защитным участкам относятся опушки леса по границам с безлесными пространствами, берегозащитные полосы, полосы вдоль рек, заселенных бобрами, 100-метровые полосы вдоль шоссе и железных дорог, места обитания редких птиц, зверей и произрастания редких растений и др.

Лесистость территории республики достигла 39,8 % и близка к оптимальной. В течение всего послевоенного периода лесистость устойчиво росла. На 1.01.2015 г. общая площадь земель лесного фонда Республики Беларусь составляла 9247,5 тыс. га (44,5 % территории страны), из которых покрыто лесом 7851,1 тыс. га. К категории лесных земель относилось 8275,7 тыс. га. На 1.01.2003 г. площадь лесных земель уже достигла 8677,1 тыс. га. В 2015 г. лесистость территории достигла 40 %, а к 2020 г. реально ее увеличение до 41,5 %.

Однако распределение лесов по территории страны неравномерно, лесистость отдельных административных районов варьирует от 10,1 % (Несвижский р-н) до 65,9 % (Лельчицкий р-н). В отдельных районах, напротив, имело место сокращение лесистости, обусловленное крупными ураганами (Столбцовский, Несвижский, Клецкий, Копыльский районы) и массовым усыханием ельников (юго-восток Витебской области, Лидский,

Слонимский, Молодечненский и другие районы). Это определяет необходимость дальнейшего увеличения площади лесов, прежде всего в малолесных районах.

Помимо сосны, ели, дуба, ольхи черной и серой, березы бородавчатой и пушистой, осины и ясени, в лесах встречаются вяз шершавый, вяз гладкий, граб обыкновенный, клен остролистный, липа мелколистная, другие древесные породы – всего 28 аборигенных видов.

По состоянию на 1.01.2015 г. покрытая лесом площадь распределяется по возрастным категориям (в %): молодняки – 27,5 (в том числе 1-го класса возраста – 9,1 %); средневозрастные – 45,5; приспевающие – 19,1; спелые – 7,5 и перестойные – 0,4 %. В последние годы произошло увеличение доли спелых и перестойных насаждений (с 4,7 до 7,9 %). Это позволило увеличить объемы лесозаготовок и, с другой стороны, улучшило экологическую ситуацию в лесах, создало условия для сохранения биоразнообразия. Вместе с тем, наметилась тревожная тенденция сокращения площади молодняков с 36,7 до 27,5 %, что чревато серьезными проблемами лесопользования в будущем. Общая тенденция современной динамики лесного фонда определяется позитивным процессом передачи или возврата земель в его состав. В частности, это относится к землям, переданным в прошлом под карьеры и торфоразработки (табл. 37).

Таблица 37

Прием и передача земель лесного фонда для разработки нерудных
ископаемых с 1945 по 2015 гг., га

	Передано из лесного фонда	Выработано	Возвращено в лесной фонд	Облесено
Торфоразработки	93 526	67 081	75542	44 417
Карьеры	9 580	7218	7230	5 998

Доля лесного сектора экономики во внутреннем валовом продукте страны относительно невелика (4,5 %), однако значение лесов значительно шире, чем только производство сырья для промышленности и топлива. Огромна средообразующая и защитная роль лесов: это 35 млн. т кислорода, очищение воздушного бассейна от пыли и вредных примесей, включая парниковые газы, регулирование водности болот и стока рек, сохранение биоразнообразия, защитные и рекреационные функции и т. д.

Первые годы нового тысячелетия отмечены значительным ростом объемов создания новых лесов. Только на принятых от сельскохозяйственных предприятий низкобортных и загрязненных радионуклидами землях за 5 лет создано 83,4 тыс. га новых насаждений.

Объем использования лесов за пятилетие 2000–2015 гг. возрос на 61,5 % и достиг уровня 19,2 млн. кубических метров ликвидной древеси-

ны. Это на 63,4 % выше, чем в 1995 г. Рост лесозаготовок достигнут, главным образом, за счет увеличения объемов прочих рубок, основную часть которых составили сплошные санитарные рубки усыхающих ельников. Объемы рубок ухода и главного пользования также возросли относительно уровня 1995 г., но этот рост не столь значителен: на 15,4 и 11,4 %, соответственно.

Среднегодовой объем пользования в последние годы возрос до 1,5–1,9 м³ древесины с 1 га покрытой лесом площади. Но при среднем приросте 3,6 м³/га в год и текущем – 5,1 м³/га интенсивность лесопользования остается низкой по сравнению с большинством стран Европы. Это ведет к интенсивному накоплению древесины в лесах, создает благоприятные экологические условия и хорошие ресурсные перспективы

Состояние лесов

Оценка состояния лесов в Республике Беларусь осуществляется в рамках:

- Национальной системы мониторинга окружающей среды на Национальной сети лесного мониторинга (НСЛМ), сетях мониторинга лесных избыточно увлажненных земель (ЛРУП «Белгослес») и осушенных лесных земель (УП «Белгипролес»);

- ведомственного лесопатологического мониторинга органами лесного хозяйства (ЛРУП «Белгослес», ГУ «Беллесозащита», лесхозы);

- лесопожарного мониторинга органами лесного хозяйства;

- на локальном уровне у крупных промышленных центров – Институтом экспериментальной ботаники, Институтом леса и Центральным ботаническим садом Национальной академии наук Беларуси.

Динамику состояния лесов на территории Беларуси в XXI столетии приходится характеризовать как неустойчивую и тревожную. Растут масштабы гибели древостоев, хотя лесное хозяйство и предпринимает все возможные меры для борьбы с вредителями и болезнями леса, пожарами.

Неблагоприятные погодные условия, способствовавшие размножению стволовых вредителей в ельниках, а также ветровалы и буреломы оставались главным фактором гибели лесов. Негативное воздействие погодных условий привело в 2014 г. к гибели древостоев. Объемы ветроваля и бурелома возросли. в 3,6 раза и на 82 % были сконцентрированы в Брестской области (Кобринский, Пружанский и Брестский лесхозы), где насаждения были повреждены ураганами.

Болезни древесных пород, среди которых наиболее вредоносны корневая губка, а в последние годы и бактериальная водянка березы и других лиственных пород, привели к гибели древостоев на площади 877 га.

Зимняя пяденица – самый распространенный вредитель лиственных лесов. Ее очаги имеют хронический характер. На начало 2004 г. они действовали в 56 лесхозах на общей площади 39 277 га. В 2014 г. в 9 лесхозах

было взято на учет еще 2440 га очагов вредителя. Ликвидировано мерами борьбы 426 га, еще 20 110 га очагов затухло под воздействием естественных факторов. Остаточная площадь очагов, перешедшая на 2015 г., составляет 21 183 га. По состоянию популяций вредителя из всей площади очагов требуется проведение защитных обработок на площади 1940 га. Вспышка массового размножения зимней пяденицы перешла фазу кульминации. Результаты лесопатологического мониторинга свидетельствуют о сокращении в 2014 г. ущерба от вредителей и болезней леса. Общая площадь их очагов снизилась на 51,3 тыс. га и составила 198,7 тыс. га, что на 20,5 % ниже уровня 2003 г. Но, если площади очагов заболеваний леса сократились всего на 1,1 %, то масштабы размножения насекомых-вредителей леса сократились почти вдвое.

Черeda летних засух в 1990-х и начале 2010-х, которые сочетались с малоснежными, но нередко морозными зимами, привела к заметному ослаблению древостоев.

Сосна. Хотя в целом состояние сосновых лесов, формирующих основу лесного растительного покрова Беларуси, остается удовлетворительным, в отдельных регионах республики древостой сосны ослаблены.

В 2014 г. к категории поврежденных с дефолиацией крон свыше 25 % отнесено 8,0 % учетных сосен, причем у 6,8 % особей отмечена средняя степень дефолиации. Сильная дефолиация зафиксирована у 0,5 % деревьев, усохло 0,7 % деревьев. Наибольшее число деревьев с дефолиацией свыше 25 % – в Брестской и Гомельской областях. Болезни корней отмечены у 1,5 % учетных деревьев сосны, стволов (рак-серянка) – 1,7 %, повреждения хвоегрызущими – 0,6 %, стволовыми вредителями – 0,4 %, повреждения ветром, снегом и другими климатическими факторами – 1,0 %, пожарами – 0,3 %, механические повреждения – 1,2 % учетных сосен. По сравнению с 2003 годом в 3,7 раза выросло число повреждений снегом и ветром.

Ель в последнее десятилетие является наиболее проблемной древесной породой в лесах Беларуси. Из-за поверхностной корневой системы, тонкой коры ель наиболее подвержена негативному воздействию меняющихся климатических факторов. Дает о себе знать и господствовавшая в прошлом практика создания однопородных и одновозрастных ельников, не отличающихся устойчивостью к негативным влияниям как биотической (насекомые-вредители), так и абиотической (засухи, экстремальные зимние температуры) природы.

Состояние ельников в начале 2010-х продолжало ухудшаться. Получила развитие тенденция роста числа погибших деревьев, особенно среди елей старше 60 лет, наиболее подверженных влиянию короеда-типографа (*Ips typographus*).

Данные о площади очагов стволовых вредителей в 2014г. представлены в табл. 38. При этом 80 % очагов приходится на еловые насаждения

III категории устойчивости, требующие проведения сплошных санитарных рубок. Только в 2004–2005 гг. вспышка размножения вторичных вредителей ели пошла на спад.

В результате проведенных мер борьбы и под действием неблагоприятных для развития короеда-типографа погодных условий в 2014 г. наметилась тенденция к стабилизации лесопатологической ситуации: впервые отмечено уменьшение объемов усыхания ельников. В 2015 г. произошло снижение объемов усыхания ельников по всем областям, за исключением Могилевской, где объем повреждения ельников возрос в 1,2 раза.

Таблица 38

Динамика очагов стволовых вредителей в лесах Беларуси в 2015 г., га (в пределах лесов Минлесхоза, по данным ГУ «Беллесозащита»)

Область	Общая площадь очагов на начало 2004 г.	Возникло вновь	Ликвидировано мерами борьбы	Очаги	
				всего	требующие мер борьбы
Брестская	–	389	362	27	27
Витебская	915	3067	3734	248	242
Гомельская	154	1306	1342	118	–
Гродненская	474	2780	3116	138	138
Минская	420	2443	2780	83	83
Могилевская	1144	5915	6311	748	748
Всего по Минлесхозу:	3107	15 900	17 645	1362	1238
Всего	1411	24 280	22 584	3107	2932

Выборочные санрубки в насаждениях с нарушенной устойчивостью проведены в 2014 г. на площади 14 450 га с объемом вырубki 254 тыс. м³. В насаждениях, утративших устойчивость, осуществлены сплошные санитарные рубки на площади 15 777 га в объеме 4359,6 тыс.м³. При сплошных санрубках вырублено ельников 3,35 % по площади и 3,4 % по запасу, а за 4 года – 10,9 % и 10,5 % соответственно.

Учет зимующего запаса короеда-типографа показал, что произошло снижение численности вредителя по сравнению с 2003 г. ($K = 0,74$). Коэффициент размножения меньше единицы отмечен в 5 областях. Настораживает, однако, ситуация в Брестском ПЛХО, где коэффициент размножения возрос почти в 1,3 раза. Это может сигнализировать о начале здесь новой волны массового размножения типографа.

К числу территорий, вызывающих особую тревогу, относится и Национальный парк «Беловежская пуща», где высоковозрастные сосняки и ельники обладают пониженной биологической устойчивостью к неблагоприятным воздействиям внешней среды.

Дуб. Не вполне удовлетворительное состояние популяций дуба значительно ухудшилось в 2013 г. Доля усохших учетных деревьев в 2–3 раза превышает норму). Деревья с сильной степенью дефолиации крон составили – 6,8 %, со средней дефолиацией – 23,5 % и 25,7 %, соответственно. Один из факторов ослабления дуба – ежегодное весеннее объедание листогрызущими насекомыми.

Ясень. В северной части республики состояние ясеня в последние два года резко ухудшилось: усохло с 6,8 % до 12,2 % учетных деревьев, хотя ранее усыхание не превышало 1,3 %. В 2013 г. 4,5 % деревьев имели сильную дефолиацию. В Гомельской и Брестской областях состояние ясеня, хотя и ухудшилось, но остается стабильным, в Витебской области крайне неблагоприятное, в Минской и Гродненской областях – весьма тревожное.

Береза. Состояние этой древесной породы улучшилось. Доля усохших деревьев снизилась с 1,0 % до 0,6 %, деревьев с сильной дефолиацией – с 0,8 % до 0,6 %, со средней – с 7,6 % до 6,8 %. В лесах республики был зафиксирован мокрый бактериальный рак (бактериальная водянка (Очаги болезни выявлены в лесхозах страны: в Брестской (на 561 га); Витебской и Минской (по 8 га); Гродненской (14 а); Гомельской (423 га) и Могилевской области (275 га). Распространение бактериальной водянки в березовых древостоях быстро прогрессирует.

Ольха черная. Состояние ольхи черной в начале 2000-х стабилизировалось. В 2014 г. 95,8 % деревьев имели незначительную и слабую степень дефолиации, 3,7 % – среднюю или сильную и всего 0,5 % деревьев усохли. Помимо усыхания, 0,3 % учетных деревьев ольхи погибли от ветровала. Общий ее отпад от природных причин (0,7 %) находится в пределах нормы.

Осина. Состояние популяций этой породы в целом стабильное. В 2003–2014 гг. доля усохших деревьев, как и особей с сильной дефолиацией варьирует около 1,0 %. Повреждения осины листогрызущими в средней и сильной степени были отмечены у 18,6 % деревьев, в 2014 г. – у 4,1 %, болезни стволов – у 17,2 % деревьев.

Состояние лесов в промышленных центрах

Регулярные наблюдения за состоянием лесов в промышленных центрах, а также в Минске и Новополоцке позволяют оценить состояние древостоев лесов и лесопарков этих городов и их ближайших окрестностей как удовлетворительное.

Общее состояние лесов и лесопарков Минска не вызывает особого беспокойства. Подавляющее большинство насаждений относится к группе «здоровых с признаками ослабления» (75,5 % в городе и 71,7 % в пригородной зоне). Количество «ослабленных» древостоев находится в пределах 20–25 %. Но в 2012–2015 г. проявилась негативная тенденция на

ухудшение их состояния по сравнению с предыдущими годами, что связано с увеличением численности транспортных средств. Наиболее благополучны участки городских лесов в микрорайонах Сухарево и Степянка. Наоборот, повышенной дефолиацией древостоев характеризуются Центральный ботанический сад, парк Челюскинцев, микрорайон Дражня. За пределами Минска лучше состояние насаждений к востоку, северо-западу и западу от города, а участки леса с повышенной дефолиацией деревьев выявлены к юго-западу и югу.

Среди древесных пород как в черте города, так и за ее пределами наиболее высокие показатели дефолиации за период исследований отмечались чаще всего у дуба и осины, а наименьшие у ольхи черной и березы пушистой. В последние годы повышенным уровнем дефолиации характеризуется ель (от 15 до 45 %).

В 2002 г. завершена реконструкция Минской кольцевой автодороги (МКАД); ее пропускная способность достигла 6000 автомобилей в час, что существенно повысило уровень загрязнения придорожной полосы. По результатам проведенных в 2004–2005 гг. Институтом экспериментальной ботаники НАН Беларуси исследований, ареал повышенных концентраций загрязнителей (тяжелых металлов, хлоридов) в снежном покрове и компонентах лесных фитоценозов распространяется до 300 м от МКАД. Среди входящих в 300-метровую зону вдоль МКАД древостоев преобладают «ослабленные» и «здоровые с признаками ослабления» (соответственно 40,3 % и 39,5 % территории). «Здоровые» древостои занимают всего 5,3 % площади и расположены, как правило, внутри лесных массивов. Обследованные породы располагаются в ряду по мере улучшения их состояния: тополь>осина>береза>ольха черная>ель>дуб>сосна>клен>липа.

Особую тревогу вызывают опушки вдоль МКАД. Проведенная в 2004 г. оценка состояния деревьев (всего оценено 9352 дерева) показала, что более половины (51,4 %) из них относится к категории сильно ослабленных. 7,9 % деревьев находилось в стадии усыхания или уже усохло. Повреждение деревьев в опушечной полосе насаждений определяется положением дороги в рельефе. Состояние деревьев лучше в местах, где кроны подняты намного выше полотна дороги.

Таким образом, расширение МКАД привело к повышению уровня техногенного загрязнения. Увеличение выбросов от передвижных источников загрязнения, превышение норм внесения противогололедных реагентов негативно сказывается на состоянии зеленых насаждений, примыкающих к МКАД.

Общее состояние лесов Новополоцкого промышленного района можно признать удовлетворительным. Но, как и в Минске, с 2001 г. состояние древостоев стало ухудшаться. В 2014 г. численность здоровых

древостоев упала до 3,2 %, здоровых с признаками ослабления составила 43,1 %, ослабленных – 42,7 % до 11,0 % возросло количество поврежденных древостоев. Сходная тенденция наблюдалась в распределении деревьев по степени дефолиации.

На территориях, непосредственно примыкающих к промышленным предприятиям, угнетение древесных ценозов в большей мере связано с сильным техногенным воздействием. Стабильные зоны угнетенного состояния древостоев приурочены здесь к нетронутым опушкам леса вблизи предприятий. Средняя дефолиация крон здесь достигла 30 % и более. С удалением от опушек вглубь массива тенденция улучшения состояния деревьев в целом характерна для всех пород.

Лесное хозяйство уже сейчас в состоянии не только полностью обеспечить потребности в древесине и других продуктах леса, но и поставлять на внешний рынок в виде продукции от 2,5 до 3,0 млн. м³ древесины. Стратегическими целями лесного хозяйства и лесной науки в части решения экологических проблем является обеспечение стабильного функционирования лесных экосистем, сохранение биологического и генетического разнообразия лесов, повышение эколого-экономического потенциала лесного сектора экономики, устойчивое использование многообразных древесных и недревесных лесных ресурсов, усиление роли леса в сохранении биосферы.

Особое место занимают экологические проблемы лесов, загрязненных радионуклидами. Леса приняли на себя значительную часть удара Чернобыльской катастрофы. На 1.01.2015 г. 1752,2 тыс. га земель лесного фонда (21,8 % его общей площади) оставались загрязненными радионуклидами, причем в Гомельской области загрязнено 60,4 % лесного фонда, а в Могилевской – 39,4 %.

Основными проблемами этих лесов являются: сложность получения лесной продукции с допустимыми уровнями радиоактивного загрязнения; ограничения при производстве лесохозяйственных работ; невозможность проведения в лесах доступными средствами мероприятий по дезактивации и уменьшению поступления радионуклидов в лесную продукцию; повышенная опасность распространения радиоактивного загрязнения с продуктами горения и сложность тушения лесных пожаров.

Сертификация лесов и лесной продукции, принципы которой провозглашены Лесным попечительским советом (Forest Stewardship Council – FSC) и развиты в Пан-Европейской системе лесной сертификации (Pan-European Forest Certification – PEFC) стала мощным инструментом экологизации лесного сектора мировой экономики. Быстро растущий экологически ориентированный сектор рынка лесной продукции, а также принятые ЕЭС политические решения диктуют национальным производителям необходимость перехода на принципы устойчивого лесопользования и лесопользования.

В Республике Беларусь разработаны и внедрены государственные стандарты устойчивого лесопользования и лесопользования, нормативные документы, регламентирующие функционирование национальной системы лесной сертификации. Создан орган по лесной сертификации и сформирован корпус экспертов-аудиторов, реализована программа массового обучения инженерно-технического состава лесхозов по основам лесной сертификации. Первой группе лесхозов (Щучинскому, Сморгонскому, Глубокскому, Волковысскому) успешно прошедших процедуры сертификации, выдан сертификаты национального образца. Проведены работы по сертификации еще 26 лесхозов пяти областей Беларуси по схеме лесного попечительского совета.

8.2. Состояние ресурсов животного мира

Природный ресурсный потенциал биологического разнообразия охватывает используемые ресурсы растительного мира (включая лесные), ресурсы животного мира, а также так называемые «неэксплуатационные» ресурсы биоразнообразия, т. е. в настоящее время неиспользуемые для промышленного, хозяйственного или прямого потребления в существенных объемах.

Неэксплуатационные ресурсы биоразнообразия, или просто ресурсы биоразнообразия составляют несоизмеримо большую по числу видов категорию живых организмов по сравнению с используемыми ресурсными видами. Ресурсная ценность для человека многих видов еще не определена и не оценена. Однако эти виды и совокупности играют определяющую средообразующую и функционально-биоценотическую роль в поддержании устойчивого существования природной среды и в целом экологического статуса биосферы. Общее число видов живых организмов, составляющее биоразнообразие, практически невозможно точно определить даже для небольшой территории. Наиболее изучены сейчас позвоночные животные, которых в стране известно 467 видов, а беспозвоночных насчитывается более 30 000 видов разных групп (простейшие, мшанки, моллюски, черви, насекомые, паукообразные, ракообразные, многоножки). В результате фаунистических и таксономических исследований ежегодно выделяется ряд новых видов, ранее не отмеченных на территории страны.

Среди позвоночных млекопитающих представлены 76 видами, включая 5 наиболее важных ресурсных копытных, 15 видов хищных, ряд видов грызунов, рукокрылых, насекомоядных и др., в том числе акклиматизированных в XX столетии американскую норку, енота-полоскуна, ондатру и уссурийскую енотовидную собаку. С начала XVII столетия в Беларуси исчезло около 10 видов млекопитающих. Среди них 2 вида вымершие – лесной тарпан и тур. Перестали встречаться также северный олень, европейский лесной кот, лань, песец, россомаха, выхухоль. Цели-

ком были истреблены благородный олень и зубр. Олень позже был реинтродуцирован, а популяции зубра восстановлены из особей, содержащихся в неволе.

К настоящему времени на территории Беларуси зарегистрировано 310 видов птиц, которых 227 гнездятся, 42 относятся к случайно залетным, 28 встречаются во время миграций, 9 только зимуют. За последние 1,5–2 столетия с территории Беларуси исчезло около 10 видов птиц, а за последние 50 лет двадцатого века появились на гнездовании 27 новых видов, в том числе и ранее исчезнувшие виды – большой баклан, серый гусь, лебедь-шипун, что свидетельствует об активных процессах динамики фауны. Из амфибий в Беларуси проживает 13 видов: 2 – тритонов и 11 видов отряда бесхвостых – жабы, лягушки, жерлянка, квакша, чесночница. В фауне рептилий 7 видов: 1 вид черепах, 3 – ящериц, 3 змей. Ихтиофауна включает 62 вида, из которых 13 видов заселены в водоемы с целью разведения. На протяжении XX столетия исчезли минога речная и 9 видов рыб: осетры атлантический и русский, белуга, вырезуб и др. За этот период акклиматизированы, интродуцированы и появились в результате инвазий 11 видов: амур белый, бычки (гонец, кругляк, песочник), ротан-головешка, сомики американский и канальный, форель радужная, толстолобики белый и пестрый, чебачек амурский. Среди беспозвоночных Беларуси особенно высоким видовым разнообразием выделяются насекомые, которые составляют не менее 70 % всех видов животных.

В Красную книгу Республики Беларусь занесено 104 вида позвоночных и 85 видов беспозвоночных животных, которые находятся на территории страны в наиболее угрожаемом состоянии.

При подготовке издания в Красную книгу Республики Беларусь включено дополнительно 4 вида млекопитающих, один вид исключен, общее число составило 17 видов: птиц добавлено 16 видов, исключено 19, общее число составило 72 вида; насекомых добавлено 27 видов, исключено 36, общее число составило 70 видов; двустворчатых моллюсков добавлено 2 вида и исключен один. Появилось 4 новых вида жаброногих и по одному новому пиявок, ракообразных, паукообразных и амфибий. При подготовке 4-го издания Красной книги ряд животных был исключен, другие добавлены.

Использование ресурсов животного мира

В настоящее время к ресурсным видам животных из позвоночных относят 19 видов млекопитающих, 24 вида птиц, 33 вида рыб, 1 вид рептилий (гадюка обыкновенная), 2 вида беспозвоночных (узкопалый рак и виноградная улитка). Наибольшую ценность в качестве охотничьего ресурса имеют крупные млекопитающие: копытные – лось, кабан, косуля, олень, потенциально зубр и ряд видов пушных зверей: 2 вида зайцев, ондатра, бобр. К охотничьей орнитофауне относятся массовые виды водо-

плавающих птиц, глухарь, тетерев, серая куропатка; из рыб наиболее ценится группа промысловых видов, которые обитают в естественных водоемах (29 видов).

Ресурсы млекопитающих. Численность копытных в охотничьих угодьях республики за последние 4 года увеличилась: лося – на 2,2 %, косули – на 5,3 %, оленя – на 7,3 %, кабана – на 5,4 %. Использование основных видов копытных пока остается недостаточно рациональным, что усугубляется сохраняющимся прессом браконьерства. Показатели плотности животных и темпов роста численности во многих охотничьих хозяйствах очень низки, что свидетельствует о недостаточной охране и неэффективном использовании фонда охотничьих угодий. Перевод охотничьего хозяйства на интенсивный путь развития мог бы привести к значительному увеличению численности животных и повышению норм использования ресурсов, в частности, лося – на 15–18 %, косули – 15–20 %, оленя – 10–12 %, кабан – до 40–50 %.

Рациональное использование охотничьих ресурсов должно основываться на данных мониторинга, специфике биологии вида, соответствовать структуре популяций, учитывать потенциальный и хозяйственный прирост. В зависимости от того, какой путь развития охотничьего хозяйства будет избран, разработаны два сценария изменения численности основных охотничьих видов животных до 2015 г. (табл. 39). Перспективным может стать использование ряда видов животных для развития трофейной охоты (волк, зубр, при увеличении численности). Изменение конъюнктуры рынка привело к падению спроса на пушнину. Рентабельность охоты на пушных зверей упала, численность большинства из них значительно увеличилась.

Бурый медведь, рысь, барсук, европейская норка. Эти виды занесены в Красную книгу Республики Беларусь. Численность медведя сохраняется на уровне около 100 особей. Произошло увеличение численности рыси до уровня приблизительно 400 особей (на пострепродуктивный период). Барсук все еще является редким видом в большинстве лесных комплексов, а в антропогенном ландшафте почти отсутствует. В осенний период общая численность барсука оценивается в 3,5 тыс. особей. Добыча всех этих видов недопустима. Численности волка на пострепродуктивный период составляет около 1000 особей. Рационально добывать не более 600 особей.

Таблица 39

**Прогноз изменения численности основных охотничьих
видов млекопитающих в Беларуси**

Вид	Оптимальная численность, по данным охот-устройства	Численность по сост. на 2003 год	Численность по сост. на 2005 год	Прогноз численности на:					
				экстенсивный путь			интенсивный путь		
				2010 г.	2015 г.	2018 г. к 2003 г., %	2010г.	2015 г.	2018 г. к 2003 г., %
Лось	23,0	16,0	17,8	20,0– 25,0	20,0– 25,0	156	25,0– 30,0	30,0– 35,0	219
Косуля	85,0	51,2	56,2	60,0– 65,0	65,0– 70,0	137	65,0– 70,0	70,0– 80,0	156
Олень	–	4,9	6,57	8,0	8,0– 9,0	184	7,0–8,0	10,0– 12,0	245
Кабан	31,0	37,0	42,4	45,0	45,0– 50,0	135	60,0– 70,0	80,0– 100,0	270
Бобр	20,0	41,5	46,2	45,0– 48,0	48,0– 55,0	133	46,0– 55,0	55,0– 60,0	145
Зайцы	400,0	228, 7	228,7	300,0	350,0	153	300,0– 350,0	350,0– 400,0	175
Волк	0,3– 0,4	1,31	1,34	0,9– 1,0	0,8– 0,9	82	0,8	0,6	55
Лисица	10,0– 20,0	40,0	36,65	35,0	30,0	75	30,0	20,0	50

Оптимальная численность волка к периоду размножения составляет порядка 500 особей. Плотность популяции лисицы обыкновенной в лесных комплексах в зависимости от их емкости в среднем приблизительно была от 3 до 13 особей на 100 км², в антропогенном ландшафте – 5,70 особей на 100 км². Рационально добывать до 70 % популяции. Плотность популяции енотовидной собаки очень изменчива в разных природных

комплексах и в антропогенном ландшафте – приблизительно от нескольких особей до 90–120 на 100 км². Рационально добывать без ограничений и как можно больше, так как это чужеродный вид, оказывающий сильное негативное влияние на аборигенную фауну. Лесной хорь естественных местообитаниях стал редким, в среднем не более 2 особей на 10 км². В антропогенном ландшафте его численность также продолжает уменьшаться. При сохранении тенденции возникнет необходимость запрета отлова. Плотность популяции лесной куницы в лесных комплексах в зависимости от их емкости в среднем была от 1 до 7 особей на 100 км². Максимально допустима ежегодная добыча в размере 40 % от осенней численности. Каменная куница – экспансивный вид, который к настоящему времени заселил антропогенный ландшафт южной, центральной и северо-западной Беларуси. В ближайшее десятилетие каменная куница, вероятно, заселит и остальную территорию страны. Поскольку это обитатель поселений человека, то промыслового значения этот вид иметь не будет. В 2002–2013 гг. в пострепродуктивный период плотность популяции американской норки была от нескольких до 30–40 особей на 10 км² протяженности водотока или 10–70, чаще 20–30 особей на 100 км². Рационально добывать ее как можно больше, так как она является чужеродным видом. Добыча бобра не должна превышать 20–25 %, но обычно необходимо отлавливать 10–15 %, в угодьях, где необходимо снижение численности – до 35–40 %.

Ресурсы птиц. К наиболее значимым охотничьим видам птиц относятся массовые виды водоплавающих, глухарь, тетерев.

В популяциях разных видов водоплавающих птиц, из которых многие используются для спортивной охоты, в последние годы наблюдаются противоположные тенденции. По причинам общего роста популяции и изменений ареала возрастает численность таких редких видов как серый гусь, большой крохаль, появился на гнездовании лебедь-кликун. В то же время именно в последнее десятилетие произошло почти двукратное уменьшение численности массовых и обычных водоплавающих, таких как кряква, чирок-трескунок, красноголовая чернеть, хохлатая чернеть (табл. 40).

Основными причинами снижения численности речных уток являются: изменение гидрологического режима рек Беларуси; возрастающее влияние наземных и пернатых хищников; многократное увеличение добычи и беспокойства в период весенней охоты. Если ранние весенние паводки были более продолжительными и характеризовались медленным подъемом и медленным спадом воды с марта по конец мая, то в последние десятилетия паводки стали менее продолжительными, а подъем и падение уровней более быстрыми. При резком снижении уровня воды выводки вынуждены перемещаться из одного пересыхающего водоема на другой, что ведет к увеличению смертности молодых птиц.

Таблица 40

Популяционные параметры водоплавающих птиц Беларуси

Виды	Оценка численности в 1990–2000 гг.	Оценка численности в 2000–2015 гг.	Современные тренды численности
	пар		
Чернозобая гагара	15–30	15–30	стабильна
Малая поганка	2000–2400	2000–2400	стабильна
Серошекая поганка	50–100	50–100	стабильна
Большая поганка	8000–10000	8000–10000	стабильна
Красношейная поганка	0–20	0–20	стабильна
Черношейная поганка	250–500	250–500	стабильна
Серый гусь	50–100	100–200	возрастает
Лебедь-кликун	–	10–15	возрастает
Лебедь-шипун	750–900	750–900	стабильна
Связь	0–20	0–20	стабильна
Серая утка	1000–1500	1000–1500	стабильна
Чирок свистунок	6000–8000	6000–8000	стабильна
Кряква	80000–100000	30000–60000	сильно уменьшается
Щилохвость	70–150	70–150	стабильна
Чирок-трескунок	35000–65000	16400–31200	сильно уменьшается
Широконоска	1000–6400	1000–6400	стабильна
Красноголовая чернеть	6000–8000	3000–6000	сильно уменьшается
Белоглазая чернеть	50–120	50–120	стабильна
Чернеть хохлатая	4000–6000	3000–5000	сильно уменьшается
Гоголь	800–1400	800–1400	стабильна
Лук	15–30	15–30	стабильна
Длинноносый крохаль	10–20	10–20	стабильна
Большой крохаль	40–50	200–300	возрастает
Лысуха	14000–17000	14000–17000	стабильна

Из-за снижения пресса охоты на пушных зверей повсеместно возросла численность енотовидной собаки, обыкновенной лисицы, американской норки, которые уничтожают значительное количество гнезд. На многих водоемах лимитирующим фактором для водоплавающих птиц становится возрастающий фактор беспокойства в результате возрастания рекреационной нагрузки. Уменьшение численности нырковых уток в по-

следние десятилетия происходит вследствие изменений хозяйственной деятельности на рыбоводных прудах (снижение искусственной подкормки и очистка прудов от растительности), деградация естественных высокопродуктивных водоемов из-за снижения в них уровня воды, загрязнения стоками, а также роста численности хищников.

Из-за быстрого ухудшения основных условий воспроизводства популяции глухарь в большинстве лесных массивов южной части Беларуси находится под угрозой исчезновения. Увеличение в последние годы численности хищников – лисицы, енотовидной собаки и лесной куницы, могут привести к снижению численности большинства лесных охотничьих видов птиц, а также ряда редких и исчезающих видов. Ресурсы охотничьих видов птиц могут быть существенно увеличены в случае разработки и принятия комплекса мер по улучшению условий воспроизводства, предельному ограничению весенней охоты, организации эффективной борьбы с хищниками, особенно чужеродными видами – енотовидной собакой американской норкой, применению биотехнических мероприятий в основных типах угодий.

Ресурсы герпетофауны. К числу видов герпетофауны, имеющих хозяйственную ценность, относятся гадюка обыкновенная, серая и лесная жабы, зеленые лягушки.

Обыкновенная гадюка добывается в Беларуси в целях получения змеиногo яда, используемого при производстве ценных лекарственных средств. Стоимость 1 г. сухого яда гадюки составляет примерно 600–800 долларов США. Потребности Республики Беларусь в змеином яде в настоящее время по-видимому, невелики (точных данных нет), но он может являться важным экспортным продуктом. Серая и зеленая жабы используются в целях получения дорогостоящих биологически активных веществ (зоотоксинов), необходимых для производства лекарственных средств. Биологические ресурсы и нормы изъятия до настоящего времени не оценивались. Зеленые лягушки (озерная, съедобная и прудовая) представляют потенциальный интерес как пищевой продукт и могут служить объектом экспорта.

Рыбные ресурсы. Из 60 видов фауны рыб Беларуси менее 30 имеют промысловую ценность, причем некоторые из них (плотва, густера, окунь и др.) только ввиду высокой численности. Величина промыслового запаса рыб в естественных водоемах, составляющая 60–70 % общего запаса рыб, может быть оценена в 10 тыс. т, в т.ч. по озерным водоемам различных категорий и водохранилищ – от 33 до 128 кг/га, по рекам – от 47 (реки 1-ой категории) до 92 кг/га (реки 3-ей категории). Исходя из современного состояния рыбных запасов водоемов Беларуси, объем возможного вылова рыбы из них без подрыва воспроизводительной способности эксплуатируемых популяций может составить не более 30 %, включая

промысловый вылов, изъятие рыбы из водоемов рыбаками-любителями и ее несанкционированный вылов (браконьерство).

Фонд рыбохозяйственных водоемов Беларуси разнообразен. Из 10 780 озер и озероподобных водоемов общей площадью около 200 тыс. га более 87 % имеют площадь менее 10 га и практически непригодны для промыслового рыболовства, доля крупных рыбохозяйственных озер площадью свыше 1000 га составляет 0,3 % от общего числа. Из 278 водохранилищ разного типа для малых водохранилищ площадью менее 300 га составляет более 76 %. Среди 20781 рек на территории Беларуси общей протяженностью около 91 тыс. км только на 49 реках общей протяженностью менее 11 тыс. км имеются отдельные участки для организации промыслового рыболовства.

Основное производство товарной рыбной продукции (около 80 %) в Беларуси осуществляется прудовыми рыбоводными хозяйствами. Максимальный вылов рыбы из естественных водоемов (озера, реки и водохранилища) рыбохозяйственными предприятиями и другими пользователями в 50-х гг. XX века составлял более 3,6 тыс. т в год. Вылов рыбы в 2000 г. составил 996,9 т, а в 2014 г. – только 58 т.

Ресурсы беспозвоночных животных. В промысловых целях в настоящее время добывается виноградная улитка, длиннопалый рак, личинки хирономид (мотыль), олигохеты, гаммарус, коретра, дождевые черви, личинки двукрылых (опарыш). Из перечисленных видов наибольшее значение имеют виноградная улитка, и длиннопалый рак.

Виноградная улитка в Беларуси заготавливается около 12 лет, экспортируется в Европу. Объем изъятия в 2015 г. составил 619 т. Ресурсный объем по четырем обследованным областям Беларуси (Брестская, Витебская, Гродненская, Минская) оценивается в 2500 тонн, промысловый запас – 800–850 тонн). Длиннопалый рак представляет коммерческий интерес для реализации за рубежом и для потребления на внутреннем рынке. В настоящее время рак добывается на озере Олтуш Малоритского района и Светлогорском водохранилище. Оценка промысловых запасов выполнена только для нескольких водоемов.

Особо охраняемые природные территории.

По состоянию на 1.01.2015 г. система особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь включала 1457 объектов общей площадью 1636,5 тыс. га, что составляет 7,9 % территории страны (табл. 41).

Особо охраняемые природные территории (ООПТ) республиканского значения включают 438 объектов общей площадью 1320,0 тыс. га (около 7 % территории Беларуси). На начало 2015 г. на территории страны функционировали: Березинский биосферный заповедник, 4 национальных парка («Беловежская пуща», «Браславские озера», «Припят-

ский», «Нарочанский»), 96 заказников (27 ландшафтных, 52 биологических, 17 гидрологических), а также 337 памятников природы.

Таблица 41

Особо охраняемые природные территории Республики Беларусь

Статус охраны	Количество	Площадь, тыс. га
Заповедники	1	80,2
Национальные парки	4	398,3
Заказники республиканского значения	96	838,0
Заказники местного значения	446	303,1
Памятники природы республиканского значения	337	3,5
Памятники природы местного значения	573	11,8
Всего	1457	1634,9

Особо охраняемые природные территории распределены по территории страны неравномерно. Наиболее крупные из них (за исключением Березинского биосферного заповедника) расположены у северных, западных и южных границ республики. Большая часть особо охраняемых природных территорий республиканского значения сконцентрировано в Брестской и Витебской областях, где их площадь составляет соответственно 12,9 и 7,6 % территории. В пределах Могилевской области расположено всего 3 заказника и 15 памятников природы республиканского значения общей площадью 32,5 тыс. га или 1,1 % территории области.

В структуре особо охраняемых природных территорий ведущую роль играют заказники республиканского значения, на долю которых приходится 51,2 % всей площади ООПТ. Они охватывают широкий круг различных экосистем и мест обитания, среди которых: речные долины («Средняя Припять», «Липичанская пуца», «Днепро-Сожский» и др.); болота («Ельня», «Ольманские болота», «Острова Дулебы» и др.); крупные лесные массивы («Сопотский», «Чечерский», «Житковичский» и др.); озера и озерные системы («Освейский», «Сарочанские озера», «Селява» и др.).

В Республике Беларусь проводится оценка особо охраняемых природных территорий в соответствии с международными критериями. Прежде всего, это критерии Всемирного союза охраны природы – МСОП (IUCN), критерии выделения Ключевых ботанических территорий (Site selection manual, 2002), критерии Директивы о местообитаниях («ЕЕС Habitatte Directive»), критерии выделения водно-болотных угодий, которые имеют международное значение, главным образом, в качестве мест обитания водоплавающих птиц (Рамсарская конвенция), критерии клю-

чевых орнитологических территорий международного значения. В качестве потенциальных рамсарских территорий международного значения рассматриваются заказники «Простырь», «Красный Бор», ««Выгонощанское», «Острова Дулебы», «Козьянский», а также природный комплекс «Дикое», вошедший в состав национального парка «Беловежская пуща».

Основным руководящим документом, в соответствии с которым происходит развитие системы ООПТ, является «Схема рационального размещения особо охраняемых природных территорий». «Схемой рационального размещения особо охраняемых природных территорий» предусматривалось к концу 2015 г. довести общую площадь особо охраняемых природных территорий Беларуси до 1765,9 тыс. гектаров или 8,5 % от территории республики. При этом планировалось, что на территории республики будет функционировать 2 заповедника («Березинский и «Ельня») общей площадью 103,4 тыс. гектаров; 8 национальных парков («Беловежская пуща», «Браславский», «Припятский», «Нарочанский», «Суражский», «Туровщина», «Белая Русь», «Свислочно-березинский») общей площадью 768,4 тыс. гектаров, а также 111 заказников республиканского значения общей площадью 886,0 тыс. гектаров.

Создание заповедников и национальных парков откорректировано в отношении запланированных показателей согласно международным критериями социально-экологической обстановке. Ряд территорий, запланированных «Схемой...» в качестве заповедников и национальных парков ходе выполнения научных исследований было признано целесообразным объявить республиканскими заказниками. Это нашло отражение в подготовке проекта новой «Схемы...» на период до 2015 г. Кроме предусмотренных «Схемой...», во исполнение международных договоренностей созданы заказники «Прибужское Полесье», «Котра», по инициативе Национальной академии наук Беларуси при поддержке зарубежных спонсоров создан заказник «Средняя Припять».

В целом по республике с 1980 г. наблюдается устойчивый рост числа особо охраняемых природных территорий и постепенное увеличение их площади. В то же время, сложившаяся система ООПТ пока не является репрезентативной по отношению ко всем наиболее ценным экосистемам и видам. Установленные природоохранные режимы нередко нарушаются землевладельцами и землепользователями, местным населением. Особо охраняемые природные территории разрознены, что не способствует свободной миграции генофонда.

Для устранения указанных недостатков по заданию Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды в республике начаты работы по формированию национальной экологической сети, интегрированной в общеевропейскую экологическую сеть, разработана «Схема рационального размещения особо охраняемых природных территорий рес-

публиканского значения Республики Беларусь на 2006–2015 гг.». Создаются органы управления для заказников, что повышает их природоохранный статус и значение в систем ООПТ.

Ведется работа по совершенствованию законодательства в области особо охраняемых природных территорий. Указом Президента Республики Беларусь в 2004 г. утверждено Положение о Национальном парке «Беловежская пуща». Совет Министров Республики Беларусь утвердил границы, площадь и положения о республиканских заказниках «Октябрьский», «Прибужское Полесье», «Тресковщина», «Юхновский», «Липичанская пуща», «Котра», «Волмянский», «Глебковка» и «Стиклево». Геологические объекты «Плиговский валун», «Полтевский валун», «Морозовский валун», «Шевекинский валун» объявлены геологическими памятниками природы республиканского значения.

ГЛАВА 9. ЭКОМОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

9.1 Общие положения

Организация и ведение регулярных наблюдений за состоянием окружающей среды является неотъемлемой частью и одним из основных направлений государственной политики Республики Беларусь в области охраны окружающей среды (статья 7 Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды»).

Термин «мониторинг» происходит от латинского «monitor», что переводится как «наблюдающий», «предостерегающий». Понятие «мониторинг окружающей среды» было введено Р. Мэнном в 1972 г. на Стокгольмской конференции ООН. В бывшем СССР одним из первых теорию мониторинга стал разрабатывать Ю. А. Израэль. В свете современных представлений мониторинг представляет собой «комплексную систему регламентированных периодических наблюдений, оценки и прогноза состояния природной среды с целью выявления негативных ее изменений и выработки рекомендаций по их устранению или ослаблению».

Национальная система мониторинга окружающей среды в республике Беларусь (НСМОС) создана во исполнение Постановления Совета Министров Республики Беларусь № 311 от 20 марта 1993 г.

НСМОС включает одиннадцать самостоятельно организованных, функционирующих на общих принципах и взаимодействующих видов мониторинга, обеспечивающих наблюдение, оценку и прогноз состояния всех компонентов окружающей среды, основных природных ресурсов и факторов воздействия на них. Целью НСМОС является обеспечение государственных органов, юридических лиц и граждан на основе полученных данных полной, достоверной и своевременной информацией, необходимой для принятия решений в области охраны окружающей среды и природопользования.

Проведение видов мониторинга осуществляется на основе следующих принципов:

- согласованность нормативных правовых актов, устанавливающих порядок проведения наблюдений;
- совместимость технического и программного обеспечения;
- достоверность и сопоставимость данных мониторинга;
- согласованность размещения пунктов наблюдений для получения комплексной информации о состоянии экологических систем;
- обязательность ведения наблюдений на пунктах, включенных в Государственный реестр пунктов наблюдений;
- комплексность обработки информации о состоянии окружающей среды и воздействия на нее природных и антропогенных факторов.

В ходе реализации Государственной программы НСМОС разработана нормативно-правовая база, определяющая порядок функционирования и организационную структуру НСМОС, проведены мероприятия по внедрению в практику мониторинга окружающей среды современной методической и приборно-аналитической базы, развитию информационной системы. Обеспечено проведение регулярных наблюдений за состоянием окружающей среды на сети, включающей 2600 пунктов.

В НСМОС входят следующие виды мониторинга (рис. 7).

Мониторинг земель (почв). Наблюдения ведутся за состоянием почвенного покрова в 35 городах республики, за загрязнением почв пестицидами – в 28 административных районах Беларуси на площади около 4 тыс. га. На специальной сети наблюдений определяются пестициды 8 наименований.

Мониторинг поверхностных вод. Гидрохимические наблюдения ведутся на 83 водных объектах. Определяется концентрация 80 ингредиентов: элементы основного химического состава; взвешенные и органические вещества; биогенные компоненты; нефтепродукты, фенолы, цианиды и др. В комплексе с гидрохимическими на 74 объектах ведутся гидробиологические наблюдения по определению таксономического разнообразия сообществ.

Мониторинг подземных вод. Сеть наблюдений включает в себя 34 поста (скважины) фоновой ранга и 36 постов регионального ранга. В состав контролируемых показателей входят фтор, соединения азота, растворенные органические вещества, органический углерод; по специальной программе – тяжелые металлы, пестициды.

Мониторинг растительного мира включает в себя мониторинг высшей водной и луговой растительности. Сеть мониторинга луговой растительности размещается по ландшафтно-территориальному принципу, включает 33 действующих и 42 перспективных участка наблюдений.

Мониторинг лесов оценивает экологическое состояние лесов на регулярных сетях размером 16×16 км, 8×8 км или 4×4 км вблизи крупных промышленных центров и осуществляется на всей территории республики. Контролируемые показатели – процент дефолиации листьев, хвои, степень повреждения листового аппарата, балл плодоношения деревьев, наличие усыхающих ветвей, содержание тяжелых металлов и др. В качестве базовой технологии ведения мониторинга лесов принята общеевропейская технология «ICP-Forest» (см. раздел 9.2).

Мониторинг животного мира исследует популяции и сообщества диких видов животных, относящихся к объектам охоты и рыболовства, а также животных (млекопитающие, птицы, земноводные, рыбы, моллюски, насекомые и др.), включенные в Красную книгу Республики Беларусь.



Рис. 7. Структура НСМОС

Мониторинг атмосферного воздуха контролирует состояние воздушного бассейна в 16 промышленных центрах республики по обязательным (взвешенные вещества, диоксид серы, диоксид азота, оксид углерода) и специфическим (насчитывают 24 ингредиента и зависят от источников выбросов) показателям. Осуществляются наблюдения за региональными и глобальными потоками загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, атмосферных осадках и снежном покрове в 16 городах, в которых проживает 65 % городского населения республики. Общий перечень контролируемых веществ включает 32 ингредиента.

Мониторинг озонового слоя исследует состояние слоя атмосферы по следующим показателям: общее содержание атмосферного озона, вертикальное распределение озона, биологические активное ультрафиолетовое излучение. Мониторинг осуществляется на 2 станциях в г. Минске. Результаты наблюдений передаются в мировой банк данных по озону, а также в Росгидромет.

Радиационный мониторинг проводится по трем направлениям: радиоактивное загрязнение атмосферного воздуха, радиоактивное загрязнение водных объектов, радиоактивное загрязнение почв. Контролируемые показатели – мощность экспозиционной дозы гамма-излучения, суммарная бета-активность выпадений и содержание гамма-излучающих радионуклидов в пробах радиоактивных аэрозолей и выпадений из атмосферы, уровни загрязнений (стронций-90, цезий-137). Мониторинг радиационного загрязнения атмосферного воздуха включает в себя наблюдения за мощностью экспозиционной дозы гамма-излучения (57 пунктов наблюдений); за уровнем радиоактивных выпадений из приземного слоя атмосферы излучения (30 пунктов); за содержанием радиоактивных аэрозолей в воздухе излучения (8 пунктов).

Геофизический мониторинг отслеживает вариации и вековой ход геомагнитного поля, ведутся наблюдения за гравитационным полем, делается анализ сейсмического режима и сейсмичности.

Локальный мониторинг ведется для получения информации о влиянии источников локального загрязнения на состояние окружающей среды. Контролируемые показатели – объем и состав атмосферных выбросов и сбросов сточных вод; уровень загрязненности атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод вблизи локальных источников выбросов загрязняющих веществ. Около 160 предприятий республики ведут локальный мониторинг. В 2003 г. проводилось обследование захоронений пестицидов, образованных в период с 1971 по 1988 гг. Проводится анализ почв, подземных и поверхностных вод на содержание пестицидов, устанавливаются пути возможной миграции пестицидов и продуктов распада в окружающую среду.

В 2003 г. разработана Концепция оптимизации Национальной системы мониторинга окружающей среды. В настоящее время организационная структура НСМОС соответствует требованиям Постановления Совета Министров № 949 от 14 июля 2003 г. «О Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь».

В рамках информационного взаимодействия и адекватного реагирования на происходящие изменения окружающей среды НСМОС взаимодействует с системой социально-гигиенического мониторинга и системой мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Сбор, обработка, анализ и представление данных мониторинга осуществляются в рамках информационной системы НСМОС, объединяющей информационные ресурсы главного информационно-аналитического центра Национальной системы мониторинга и главных информационно-аналитических центров отдельных видов мониторинга окружающей среды. За последние пять лет обеспечена публикация на регулярной основе мониторинговой информации и представление ее всем заинтересованным лицам, в том числе путем размещения информации на сайте НСМОС.

В работах по Программе НСМОС участвуют более 20 организаций и учреждений страны. Общее руководство и координацию ведения национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь осуществляет Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды. Для этой цели создан Межведомственный координационный совет по мониторингу.

В связи с существенным изменением информационных потребностей в последние годы, а также присоединением Республики Беларусь к ряду международных соглашений в области охраны окружающей среды перед НСМОС ставятся новые задачи. Для их решения в разработанной Государственной программе развития НСМОС в Республике Беларусь предусмотрено:

- создание оптимальных пространственных сетей наблюдений по видам мониторинга окружающей среды;
- достижение необходимого технического и методического уровня проведения мониторинга окружающей среды, соответствующего международным требованиям;
- информационное обеспечение выполнения международных обязательств Республики Беларусь в области охраны окружающей среды;
- развитие локального мониторинга окружающей среды на объектах, являющихся наиболее существенными загрязнителями атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, земель (почв);

- обеспечение функционирования информационной системы мониторинга окружающей среды на основе современных информационных технологий, интеграции ее в международные сети и программы.

Наблюдения за состоянием окружающей среды на территории Беларуси проводились в течение многих веков (первые сведения по гидрологии рек относятся к XI–XII векам, однако систематизированными они стали на рубеже XIX и XX веков. В тот период начали функционировать метеорологические станции и гидрологические посты транспортных, мелиоративных и других организаций. Их общее число в 1913 г. достигло 129. С созданием Гидрометеорологической службы Беларуси (1930 г.) наблюдения за состоянием природной среды значительно расширились, в 1941 г. насчитывалось 464 станции и поста.

Во второй половине XX века гидрометеорологическая служба интенсифицирует свою деятельность, полнее обеспечивает экономику и население страны метеорологической, гидрологической и агрометеорологической информацией, занимается контролем природной среды. Наряду с гидрометеорологической формируется санитарно-эпидемиологическая служба системы здравоохранения и другие ведомственные сети мониторинга окружающей среды.

В 1999 г. Закон Республики Беларусь «О гидрометеорологической деятельности (статья 26) закрепил ведущее положение государственной гидрометеорологической службы в осуществлении мониторинга окружающей природной среды. Она обязана в дальнейшем обеспечивать проведение мониторинга состояния атмосферного воздуха, поверхностных вод, почв, и радиоактивного загрязнения окружающей среды. Гидрометеорологическая сеть Беларуси состоит из 4 гидрометеорологических обсерваторий (Минская, Гомельская, Брестская и Витебская зональные), которые выполняют широкий комплекс наблюдений и обобщают материалы исследований, метеорологических станций (в г. Минске – 9 станций и по 2–3 в других крупных городах), гидрологических станций и постов.

Оценка существующей Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь выполнена на основании SWOT-анализа, широко используемого в практике Европейских стран при анализе сложных систем и составляющих их элементов. SWOT-анализ предполагает структурирование сложных проблем перед определением стратегических целей и вариантов достижения этих целей.

Ниже приведена методика SWOT-анализа.

S – «strong» – отражает сильные стороны системы, которые должны быть сохранены в перспективном варианте HCMOC.

W – «weak» – отражает слабые стороны системы, которые должны быть улучшены.

О – «opportunity» – возможности, которые рекомендуются использовать при улучшении НСМОС (позитивные условия, инструменты, новые ресурсы и т. д.).

Т – «threats» – негативные условия, которые необходимо учесть при оценке возможного риска для улучшения НСМОС.

Ниже дана краткая оценка существующей НСМОС РБ, выполненная на основании SWOT-анализа (по данным экспертной оценки).

Положительными (сильными) сторонами существующей системы являются:

- наличие основополагающих нормативно-правовых документов по охране окружающей среды и порядку ведения мониторинга окружающей среды;
- наличие одобренной Правительством «Программы Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь»;
- наличие единого координирующего центра Минприроды (Межведомственный координационный совет по реализации Программы НСМОС);
- базовое финансирование в рамках государственного бюджета, в том числе из целевых бюджетных фондов охраны природы и возможность использования дополнительных источников финансирования;
- наличие информационно-аналитического центра и баз данных большинства видов мониторинга;
- использование в некоторых видах мониторинга международных стандартных методик аналитических определений и унифицированных методов наблюдений;
- взаимодействие отдельных видов мониторинга с европейскими структурами и обмен информацией с международными сетями (мониторинг лесной растительности, озонового слоя, сейсмический мониторинг);
- оснащенность отдельных ведомственных лабораторий современным измерительно-аналитическим оборудованием;
- использование информации, полученной только в аккредитованных лабораториях.

К требующим усиления (слабым) сторонам существующей системы НСМОС относятся:

- отсутствие нормативно-правовой основы регулирования отдельных видов мониторинга;
- излишнее усложнение организационной структуры НСМОС и ее несоответствие современным нормативным и правовым актам Республики Беларусь;
- недостаточное финансирование, не обеспечивающее развитие, плановую модернизацию технической базы и научно-методическое обеспечение мониторинга;

- недостаточная координация между отдельными видами мониторинга;
- отсутствие комплексного экосистемного анализа, моделирования и прогнозирования состояния природной среды;
- недостаточная определенность информационных потребностей мониторинга окружающей среды как основы совершенствования НСМОС;
- отсутствие обратной связи с потребителями информации и сведений об ее использования;
- несоответствие информационной инфраструктуры современным требованиям к информационно-телекоммуникационным сетям;
- слабая приборно-аналитическая база отдельных видов мониторинга;
- недостаточная степень сотрудничества в рамках международных сетей мониторинга окружающей среды.

Важным направлением в гармонизации законодательной базы является согласование нормативно-правовых документов, регламентирующих проведение мониторинга сопредельных территорий. Например, целесообразно дополнить действующие международные документы (желательно на межгосударственном уровне), многосторонним соглашением о способах проведения, обмене информацией и путях использования результатов мониторинга поверхностных вод на трансграничных реках между Беларусью, Россией, Украиной, Литвой, Латвией и Польшей.

Для повышения эффективности ведения мониторинга окружающей среды следует рассмотреть возможность использования опыта зарубежных стран по применению конкурсных механизмов для привлечения в производственную сферу исполнителей различных форм собственности.

В отношении гармонизации мониторинга поверхностных вод существенный пересмотр системы должен быть связан с переходом к бассейновому принципу управления водными ресурсами и, соответственно, подготовкой долгосрочных программ управления конкретными речными бассейнами.

Значительным изменениям в рамках гармонизации подлежат пространственно-временная и компонентная структура отдельных видов мониторинга.

Например, для мониторинга поверхностных вод НСМОС в соответствии с рекомендациями EUROWATERNET должна быть пересмотрена плотность сети мониторинга. Кроме того, местоположение пунктов и створов наблюдений должно быть пересмотрено в соответствии с нагрузкой и характером антропогенного воздействия на водные объекты республики.

Чрезвычайно важным вопросом является совершенствование перечня контролируемых параметров и методических подходов, используемых в рамках НСМОС. Необходимо широко использовать зарубежный опыт применения метода биотестирования качества поверхностных вод.

Основным направлением оптимизации существующей системы мониторинга в рамках гармонизации с системами наблюдения в странах ЕС является переход к экосистемному интегрированному подходу в оценке общего состояния экосистем. Суть этой группы методов в общих чертах заключается в типизации и ранжировании природных объектов с последующим получением фоновых (эталонных) физико-химических и биологических характеристик для каждого ранга объекта. Полученная информация представляет собой эталонную базу данных, с которой сравниваются и оцениваются по специальной шкале результаты наблюдений на конкретных участках, испытывающих антропогенные нагрузки. С точки зрения экосистемного подхода эти методы обеспечивают наиболее объективную оценку состояния природных ресурсов.

Важнейшим этапом мониторинга окружающей среды является процесс подготовки и представления выходной информации. Для наглядности представления потребителям обобщенной комплексной информации об окружающей среде в системах мониторинга стран Европейского Сообщества широко используют характерные показатели (индикаторы) окружающей среды. Использование этих индикаторов играет ключевую роль в деятельности таких организаций как OECD, Eurostat, Европейское агентство по окружающей среде (EEA) и др.

Индикатор – это показатель, который способствует представлению информации посредством структуризации массивов данных со сложной внутренней взаимосвязью. Например, индикаторами эвтрофикации поверхностных вод могут быть биомасса фитопланктона, содержание биогенных веществ, прозрачность по диску Секи и др. Использование индикаторов позволяет повысить наглядность и упростить восприятие результирующей информации.

Индикаторы подразделяются на четыре основных группы:

- описывающие воздействие на окружающую среду;
- характеризующие состояние окружающей среды;
- описывающие последствия для окружающей среды;
- описывающие принимаемые меры.

В настоящее время используются разные индикаторы окружающей среды. Они отражают характер и степень нагрузки на окружающую среду, позволяют оценить ее состояние и проследить за ходом реализации природоохранных мероприятий. Применение индикаторов облегчает и повышает эффективность процесса принятия решений. Принимая во

внимание многообразию существующих индикаторов, наряду с постоянным увеличением их числа, возникает проблема оценки их приоритетности и значимости. Поэтому в процессе мониторинга необходимо проводить всесторонний анализ и классификацию индикаторов с целью подготовки регламентированных перечней.

Кроме того, для участия в международном сотрудничестве и гармонизации систем мониторинга необходимо, чтобы используемые перечни содержали общие индикаторы. Применение общих индикаторов позволит обосновать и выделить приоритетные направления взаимного сотрудничества в рамках интеграции Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь в глобальные информационные измерительные системы.

Индикаторы окружающей среды используются для:

- обобщения и представления информации о состоянии и проблемах в области природопользования и охраны окружающей среды;
- установления приоритетных основных видов техногенной нагрузки в процессе разработки природоохранных мероприятий;
- оценки эффективности природоохранных мероприятий.

Кроме того, индикаторы являются действенным инструментом для повышения осведомленности общественности по проблемам окружающей среды.

Отметим, что, начиная с 2000 г., агентство European Environmental Agency (EEA) издает ежегодный отчет Environmental Environmental signals (EEA 2002). Главной целью отчетов является представление ключевых показателей, которые должны в совокупности описать развитие окружающей среды в ее взаимосвязи с проводимой политикой в рамках всей Европы. Индикаторы, таким образом, должны сигнализировать о достигнутом прогрессе в отдельных странах.

Большое значение в гармонизации систем мониторинга и оценок качества окружающей среды имеет международный информационный обмен. В рамках НСМОС он должен осуществляться через информационно-аналитические центры отдельных видов мониторинга. Это, с одной стороны, отражает реально существующее положение по тем видам мониторинга, где международный информационный обмен уже активно ведется (мониторинг озоносферы, сейсмический мониторинг и др.). С другой стороны, обеспечение международного обмена на верхних уровнях иерархии информационной системы НСМОС обеспечивает необходимые мероприятия по первичной обработке, аттестации, агрегированию и анализу данных.

Функциональные подсистемы международного информационного обмена строятся исходя из требований, стандартов и установленных про-

токолов информационного обмена, которые определяются соглашениями с соответствующими международными организациями. Для реализации международного информационного обмена могут применяться специальные программные модули, используемые в международной практике. Данные в них должны экспортироваться из имеющихся баз данных.

Системный анализ данных, полученных в ходе мониторинга геологической среды, позволяет минимизировать последствия экологических просчетов, обусловленных недостатками планирования и инженерными недоработками. Последствия такого рода обычно выражаются в дестабилизации среды, активизируются факторы риска, приводят к превышениям предельно-допустимых техногенно-экологических нагрузок. Таким образом, реализация программы мониторинга является принципиально новым видом научно-прикладных исследований, который учитывает социально-экологический аспект управления геологической средой в условиях все более усиливающегося техногенного воздействия на биоту и человеческое общество.

9.2 Особенности ведения разных видов мониторинга природной среды

Национальный мониторинг обобщает и генерализирует информацию, поступающую с более низких уровней в рамках одного государства. Картографическая основа представляет собой обычно серию карт – моделей, обеспечивающих информацию о состоянии и динамике геологической среды. ГИС состоит из показателей, определяющих условия и факторы геологической среды в форме базы данных для решения управляющих, проектных, прогнозных и моделирующих задач.

Региональный мониторинг является программой, в которой функциональные подсистемы ориентированы на обеспечение оптимального функционирования геологической среды на уровне административной области или экономического района.

Локальный мониторинг решает сходные задачи в зоне влияния крупных объектов инженерно-хозяйственной деятельности (горнопромышленный комплекс, городская агломерация и т. д.). Контроль за состоянием геологической среды на отдельных репрезентативных участках, подверженных, например, экзогенным процессам (оврагообразование, заболачивание и т. п.) в условиях техногенеза, относится к детальному мониторингу. *Экологический прогноз.* Научное обоснование управлением геосистемами не отличается от основных функций любой научной дисциплины и включает в свой состав следующие способы: описание (анализ), объяснение (диагноз) и предсказание (прогноз). Прогноз – важнейшая процедура мониторинга. Он составляется на основании детерминации будущего, то есть это наиболее вероятное событие из широкого набора возможных вариантов.

Геоэкологический прогноз – это научно обоснованное предвидение типов и видов движения геосистем, реализуемых в природных процессах. По степени неопределенности прогнозы делятся на вероятностные и детерминированные (причинно-следственные), что зависит от количества и качества используемой информации. Геоэкологический прогноз базируется на концепции трансформации информации, которой оперирует исследователь в концептуальное, логическое, картографическое или математическое изображение. Отсюда следует, что на всем протяжении контроля происходит разработка прогнозов, вначале качественных, а затем и количественных и все более усложняющихся. Геоэкологические прогнозы рассматривают природно-технические геосистемы с точки зрения выявления экологических ситуаций (глобальных, региональных, локальных и т. д.) при это традиционные прогнозы объединяются с экологическими.

Создание моделей

Обзорные модели (масштаб 1:200000) создаются для получения информации и оценки перспектив развития геологических процессов при освоении территории. Проводятся следующие работы: анализ динамики рельефа, исследование техногенной нагрузки и ее классификация, анализ и прогноз климатических изменений, типизация природно-технических геосистем и оценка их устойчивости. Как правило, выполняется оценка экономической целесообразности функционирования природно-технических геосистем. Региональная модель представляется в виде серии карт масштаба 1:200000.

Специальные модели оптимизации природной среды целесообразно разрабатывать при принятии управленческих мероприятий по охране и рациональному использованию геосистем в сфере влияния объектов энергетики, горнодобывающих комплексов, крупных промышленных предприятий, городских агломераций (масштаб работ 1:50000). Специальные модели используются проектными организациями и эксплуатационными службами.

Детальные модели (масштаб 1:25000 – 1:10000) создаются для населенных пунктов, промышленных зон и отдельных предприятий. В них осуществляется комплексный анализ инженерно-геологических условий территорий в рамках природно-технических геосистем с определением эффективности мероприятий по оптимизации геосистем.

Организация мониторинговых исследований

Система изучения природных комплексов предусматривает проведение геоэкологических исследований разных уровней расчленения территории от государства до локального участка. Важными задачами организации мониторинга является создание и оборудование режимной сети, стационаров и опытных полигонов. Возможность получения необходимой информации имеется при анализе уже существующих материалов

региональных и локальных оценок закономерностей развития природных процессов. В результате аналитических и оценочных построений составляется концептуальная модель развития природно-территориальных и территориально-промышленных комплексов. Общий порядок оценок следующий:

- обзорная оценка геоструктурного региона;
- региональная оценка административной области;
- специальная оценка территориально-промышленного комплекса;
- детальная оценка территории населенного пункта или промышленного объекта.

Оценочные работы выполняются в комплексе с детальным анализом степени техногенной нагрузки.

Комплекс региональных исследований проводится в следующей последовательности:

- дистанционное и наземное обследование и картирование в масштабах 1:500000 и 1:200000, дистанционное и наземное картирование в масштабе 1:10000 и 1:25000;
- составление комплекта региональных карт условий и факторов, схем районирования, районных планировок, карт процессов;
- прогнозная оценка быстро изменяющихся факторов, корректировка объемов и состава работ для оценки геосистем.

Стратегия управления состоянием геосистем предполагает выбор направлений, ориентированных на организацию мероприятий, исключающих развитие опасных экологических явлений в рамках крупного региона. Например, для подземной гидросферы территории Беларуси разработана концепция рационального и эколого-безопасного использования всех ее компонентов, включая пресные воды, минеральные воды и бальнеологические рассолы, а также промышленные воды. Кроме того, в содержании концепции предусмотрено использование вмещающей среды – литосферы в качестве хранилища горючих веществ и для утилизации промышленных отходов. В состав концепции входит комплекс картографических материалов, отражающих условия использования разных компонентов геосистемы.

В целом оценка разных аспектов региональной системы проводится на основе анализ ее элементов. В геологические элементы системы входят оценки структуры и свойств горных пород на уровне формационных комплексов, геоморфологических условий и факторов на уровне генетических типов рельефа, гидрогеологических условий и факторов на уровне гидрогеологических бассейнов и массивов.

Природно-климатические элементы геосистем – климатические, ландшафтные и почвенные условия и факторы.

Типизация техногенной нагрузки при выборе стратегии развития геосистемы заключается в оценке ландшафтно-хозяйственной обстановки как типа нагрузок (леса, луга), промышленного и гражданского строительства, инженерных конструкций (промзоны и объекты, градостроительство, линейные объекты).

Стратегия управления базируется на постановке проблемы (формализации элементов системы), отражающей содержание задачи (контроль, прогноз и управление геологической среды) в рамках, ограниченных пространством, целевой задачей, которой является принятие организационных, технологических и технических решений, исключающих развитие экологических дестабилизаций на период функционирования системы.

Мониторинг гидросферы является составляющей частью мониторинга окружающей среды и представляет систему регулярных наблюдений за гидрологическими, гидрохимическими и гидробиологическими показателями состояния вод, обеспечивающую сбор, передачу и обработку полученной информации в целях своевременного выявления негативных процессов, прогнозирования их развития, предотвращения вредных последствий и определения степени эффективности мероприятий, направленных на рациональное использование и охрану вод.

Первые единичные сведения о химическом составе поверхностных вод Беларуси получены в 30-х гг. XX века в связи с созданием Водного Кадастра СССР. В конце 40-х начале 50-х гг. Гидрометслужбой БССР были организованы стационарные гидрохимические наблюдения на гидрологических постах, которые охватили 13 водных объектов. Началом систематической, но ограниченной по масштабам регистрации загрязняющих веществ является 1964 г. В последующие годы сеть мониторинга поверхностных вод постоянно расширялась. В настоящее время мониторинг состояния поверхностных вод Беларуси проводится в 106 пунктах, на 165 створах в бассейнах рек Западная Двина, Неман, Западный Буг, Днепр, Припять. Регулярными наблюдениями охвачено 58 рек (Западная Двина, Улла, Неман, Щара, Днепр, Березина, Сож, Припять, Виляя, Мухавец, Ясельда, Свислочь и др.), 15 озер (Сено, Лепельское, Лукомльское, Нарочь и др.), 8 водохранилищ (Вилейское, Заславльское, Осиповичское, Солигорское, Любанское и др.); часть водных объектов обследуется экспедиционным способом.

Периодичность гидрохимических наблюдений на стационарной сети мониторинга составляет от 7 до 12 раз в год на водотоках (в основные фазы гидрологического режима) и 4 раза в год – на водоемах, гидробиологических – 1–3 раз в год.

Гидрохимические наблюдения включают более 50 ингредиентов и показателей качества воды (газовый, основной солевой состав, взвешенные и органические вещества и др.), характеризующих как естественный

состав поверхностных вод, так и специфические загрязняющие вещества (цианиды, роданиды, сероводород, сероуглерод, метанол), тяжелые металлы (медь, цинк, никель, свинец, кадмий, молибден), железо, марганец, пестициды.

Гидробиологический контроль за качеством воды включает наблюдения за фитопланктоном, зоопланктоном и зообентосом.

Чернобыльская катастрофа обусловила создание на всей территории Беларуси *радиационного мониторинга*, который входит в НСМОС. Он включает в себя следующие подсистемы:

- мониторинг радиоактивного загрязнения территорий и воздушных масс с использованием дистанционных измерений с помощью мобильных средств с отбором и анализом проб в лаборатории;
- стационарные наблюдения на сети гидрометеорологических станций как составная часть Общегосударственной службы наблюдения и контроля за уровнями загрязнений природной среды.

В систему радиационного мониторинга входит мониторинг атмосферного воздуха, почвы в населенных пунктах, на реперных площадках и ландшафтно-геохимических полигонах, сельскохозяйственных и лесных угодий, а также поверхностных и подземных вод.

По регулярным наблюдениям на сети гидрометеорологических станций и реперной сети устанавливаются пространственно-временные закономерности радиоактивного загрязнения природной среды, оценивают трансграничный перенос. На основании результатов радиационного мониторинга проводят оценку радиационной обстановки с картированием и прогнозированием.

Результаты радиационного мониторинга природной среды обеспечивают оценку дозовых нагрузок, которые получает население в результате радиоактивного загрязнения природной среды, и используются для принятия решений по обеспечению радиационной безопасности населения и его информирования.

Государственные кадастры Республики Беларусь

Государственные кадастры природных ресурсов предназначены для обеспечения природопользователей сведениями и природных ресурсах с учетом их экономической оценки, информирования органов государственной власти и управления с целью принятия ими народохозяйственных решений по эффективному использованию этих ресурсов, прогнозирования их изменений под влиянием деятельности человека и осуществления необходимых мер охраны.

В 1993 г. в соответствии с Законом Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» и в целях получения объективной информации о природных ресурсах, унификации действующих и введения новых ка-

дастров в республике установлено 10 государственных кадастров природных ресурсов, в том числе государственный климатический кадастр; государственный земельный кадастр; государственный кадастр атмосферного воздуха и др.

Ведение государственного водного кадастра в то время было возложено на Государственный комитет по экологии и Главное управление по гидрометеорологии при Совете Министров Республики Беларусь, Белорусское производственное объединение по геологоразведочным работам, Министерство здравоохранения.

В 1994г. утверждено «Положение и порядке ведения государственного водного кадастра Республики Беларусь» (утверждено постановлением Кабинета Министров Республики Беларусь от 21 ноября 1994 года, №189).

Государственный водный кадастр Республики Беларусь содержит систему необходимых сведений и документов о количестве и качестве вод, а также об их использовании на территории республики.

Ведение кадастра подземных вод и кадастра использования водных ресурсов, а также координация работ по ведению Государственного водного кадастра возложено на Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды. Ведение кадастра поверхностных вод осуществляет Государственный комитет по гидрометеорологии.

Государственный водный кадастр Республики Беларусь состоит из кадастра поверхностных вод, кадастра подземных вод и кадастра использования водных ресурсов.

Кадастр поверхностных вод содержит сведения о реках, каналах, озерах, водохранилищах и прудах, о пунктах и периодах наблюдения за гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим режимами водных объектов, об изменениях гидрографической сети под влиянием хозяйственной деятельности, а также включает гидрографические и морфометрические характеристики водных объектов и их водосбросов, материалы ежегодных стандартных наблюдений за уровнем и температурой воды, стоком воды и наносов, толщиной льда, теплозапасами водоемов, химическим и биологическим составом воды.

Данные о качестве поверхностных вод публикуются в гидрохимических ежегодниках «Ежегодные данные Государственного водного кадастра о качестве поверхностных вод», ежемесячной «Информации и высоких уровнях загрязнения природной среды», ежегодном экологическом бюллетене «Состояние природной среды Беларуси» и межведомственных изданиях Государственного водного кадастра.

Кадастр подземных вод содержит сведения об эксплуатационных запасах и прогнозных ресурсах подземных вод, о пунктах наблюдения за этими водами (скважинами, родниками, шахтными колодцами), а также

данные наблюдений за режимом подземных вод (уровнем, температурой, качеством, отбором), их химическим и биологическим составом. Сведения о ресурсах и качестве подземных вод собираются и обобщаются подразделениями ПО «Белгеология». Основные данные публикуются в межведомственном издании Государственного водного кадастра. Кадастр использования водных ресурсов содержит сведения о местоположении и основных параметрах водозаборов, сбросов, сточных вод, очистных сооружений, водохранилищ и прудов, об использовании воды без ее изъятия из источника (рекреация, рыбное хозяйство, водный транспорт, гидроэнергетика), включает ежегодные данные о заборах и сбросах воды по количественным и качественным показателям (данные статистической отчетности водопользователей и гидрохимических анализов сточных вод), о режиме работы крупных водозаборов и водохранилищ, сведения об орошаемых, осушаемых, а также увлажненных площадях. Данные кадастра использования водных ресурсов обрабатываются и обобщаются в составе трех взаимоувязанных автоматизированных информационных систем «Статотчетность водопользователей», «Гидрохимия», «Разрешения на спецводопользование».

Публикуемые данные Государственного водного кадастра являются официальными и используются органами исполнительной и представительной власти, проектными, научными и другими организациями при решении водно-экологических задач, а также для учебных целей и информирования общественности о состоянии водной среды.

Государственная экологическая экспертиза

Государственная экологическая экспертиза проводится в целях предупреждения возможных неблагоприятных воздействий планируемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду. В 2015 г. специалисты подразделений экологической экспертизы приняли участие в работе 13,6 тыс. комиссий по выбору площадок под размещение различных объектов. В 292 случаях был дан отказ, так как объекты могли быть размещены в водоохранных зонах рек и водоемов, на месторождениях полезных ископаемых, с изъятием лесопокрытых площадей и т. д.

Проведена экологическая экспертиза проектно-сметной документации на строительство 9017 объектов. По 510 объектам сделаны отрицательные экспертные заключения, 871 объект согласован с условием. Было рассмотрено и выдано 148 разрешений на бурение скважин, отказано в выдаче 4 разрешений. Специалисты следили за тем, чтобы при модернизации действующих промышленных объектов и новом строительстве в проектную документацию закладывались технологии, позволяющие снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду.

В 2015 г. было проверено около 10000 строящихся объектов. В ходе проверок выявлено около 3000 объектов, строящихся с нарушениями

природоохранного законодательства. Более 1000 объектов не имели оформленных актов выбора площадок и положительного заключения государственной экологической экспертизы, на многих объектах выявлены нарушения согласованных проектных решений. Приняты необходимые меры по устранению выявленных нарушений.

В компьютерной сети Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды установлена база действующих нормативов и правил в строительстве. Совместно с Министерством архитектуры и строительства разработаны строительные нормы Беларуси: «Градостроительство. Планировка и застройка поселений», «Водоснабжение питьевое. Общие положения и требования», «Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха».

Государственная экологическая сертификация

Экологическая сертификация – это форма подтверждения соответствия объекта экологической сертификации требованиям нормативных актов и технических нормативных актов в области природоохранного законодательства, технического нормирования и стандартизации, обеспечивающих безопасность жизни и охрану окружающей среды. Экологическая экспертиза обеспечивает экологическую безопасность технологических процессов, производств и продукции, улучшает возможности интеграции экономики страны в мировой рынок, позволяет выполнять международные обязательства.

Сертифицированные предприятия имеют право маркировать экологическим знаком соответствия свою продукцию и документацию. Экологический знак соответствия был определен в результате проведения открытого общественного конкурса в 2003г., разработан государственный стандарт СТБ 1458–2004, устанавливающий порядок и правила применения знака.

9.3. Международное сотрудничество в области окружающей среды

Отличительной особенностью экологических проблем является то, что они не признают территориальных и политических границ и для своего решения требуют совместных усилий многих государств. Эти усилия должны быть направлены на взаимодействие экономических, социальных и экологических факторов в интересах устойчивого развития общества, цель которого состоит в том, чтобы обеспечить потребности не только нынешнего, но и будущего поколений.

Следуя рекомендациям и принципам основных документов, принятых ООН по окружающей среде и развитию в 1992 г. в Рио-де-Жанейро и в 2002 г. в Йоханнесбурге, Республика Беларусь постепенно переходит на принципы устойчивого развития. В 2004 г. принята Национальная стра-

тегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г., которая определила расширение международного сотрудничества в области охраны окружающей среды и природопользования в качестве одного из перспективных направлений осуществления экологической политики.

Основными целями международного сотрудничества являются:

- выполнение требований и обязательств в рамках подписанных международных договоров в области охраны окружающей среды;
- привлечение средств международных финансовых институтов и стран-доноров для реализации масштабных мероприятий в рамках международных договоров.

Республика Беларусь является участницей более 20 международных природоохранных конвенций и протоколов. Выполнение любого международного договора начинается с принятия решения об органе государственного управления, который будет отвечать за научное и административное обеспечение деятельности в его рамках. Как правило, таким органом для природоохранных международных договоров является Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды. Органом, ответственным за научное обеспечение, назначается Национальная академия наук Беларуси, как, например, в случае с Конвенцией о биологическом разнообразии, или другое научное учреждение. Это связано с тем, что выполнение положений конвенции требует проведения научных исследований, а также сбора и обработки фактических данных.

Для осуществления положений международного договора создаются рабочие группы, комиссии или советы как на министерском, так и на межведомственном уровнях, которые отвечают за разработку плана действий по выполнению обязательств страной в рамках договора. Такие группы или советы для выполнения Конвенции по борьбе с опустыниванием и Конвенции о стойких органических загрязнителях (Стокгольмская конвенция) и др.

Планы действий по выполнению обязательств разработаны для Конвенции о биологическом разнообразии, Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием, Орхусской конвенции. Ведется разработка планов для Базельской и Стокгольмской конвенций.

Например, для выполнения положений Рамочной конвенции ООН об изменении климата Республика Беларусь изучает изменение климата на своей территории и оценивает влияние глобального потепления на природную и социально-экономическую сферу. Ведется разработка инвентаризации парниковых газов. Готовятся национальные сообщения об изменении климата и выбросах парниковых газов, которые периодически направляются в Секретариат конвенции для оценки степени выполнения национальных обязательств.

В рамках выполнения Республикой Беларусь Венской конвенции об охране озонового слоя над территорией страны с 1996 г. ведется регулярный мониторинг состояния озоносферы. Результаты измерений передаются в Торонто (Канада), в Главный информационный центр Национальной системы мониторинга окружающей среды. С апреля 2004 г. прогноз ультрафиолетового индекса передается также и в национальные средства массовой информации.

К Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния Республика Беларусь присоединилась, поскольку одним из факторов, неблагоприятно влияющих на здоровье людей, является загрязнение воздуха, которое обусловлено выбросами не только собственных источников, но и трансграничным переносом воздушных масс. Республика Беларусь ратифицировала также три протокола в Конвенции. К настоящему времени обязательства, взятые страной по ратифицированным протоколам, выполнены, и Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды рассматривает целесообразность присоединения к ряду новых.

Минприроды Республики Беларусь продолжает совершенствовать нормативную и законодательную базу по выполнению требований Конвенции о контроле за трансграничным перемещением опасных отходов и их удалением.

В рамках Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения (СИТЕС), Республика Беларусь ведет регулирование численности особей различных видов дикой фауны и флоры, которые попадают под действие договора, а также регламентирует вопросы ввоза и вывоза этих видов. Научную основу для деятельности в рамках конвенции обеспечивают научно-исследовательские институты НАН Беларуси. В секретариат Конвенции СИТЕС представляются годовые отчеты о выдаче разрешений на перемещение образцов СИТЕС через таможенную границу республики, сведения о разведении видов СИТЕС в зоопарках страны, о состоянии популяций, охране и использованию ряда видов, попадающих под действие Конвенции.

Научное сопровождение Рамсарской конвенции обеспечивает целый ряд организаций, среди которых НПП по биоресурсам им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Институт природопользования НАН Беларуси, биологический и географический факультеты БГУ, Белгипроводхоз, Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов. В рамках данной конвенции республика ведет деятельность по расширению сети особо охраняемых природных территорий, присвоению им статуса так называемых Рамсарских территорий.

Для реализации принципов Орхусской Конвенции в республике Беларусь осуществлен проект ТАСИС «Экологическая информация, образо-

вание и информированность общественности». Выполнение проекта предусматривало улучшение систем обучения целевых групп (государственные органы управления и общественность), определение процедуры участия общественности в процессе принятия экологически значимых решений.

Для эффективного выполнения требований многосторонних договоров используются не только внутренние ресурсы страны, в республику привлекаются средства международных финансовых институтов. Например, из общей суммы займов (171,2 млн. долларов США), выделенных Беларуси Всемирным банком за 1992–2014 гг., четвертая часть была направлена на нужды, так или иначе связанные с охраной окружающей среды (заем на развитие лесного хозяйства, кредитный аванс на подготовку проекта энергосбережения на объектах социальной сферы). Еще 14 млн. долларов США составила грантовая поддержка экологических проектов Беларуси со стороны Всемирного банка. Половина этой суммы пошла на реализацию проекта по прекращению потребления озоноразрушающих веществ путем технического переоснащения предприятий. Были профинансированы также проекты сохранения биоразнообразия лесов Беловежской пуши и Березинского заповедника, модернизации системы городского водоснабжения и создания противопаводковой инфраструктуры в пойме реки Припять. В настоящий момент Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды при поддержке Всемирного банка и Глобального экологического фонда реализуется проект, направленный на первоочередные мероприятия по выполнению Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях в Республике Беларусь.

Кроме того, в последние годы в области выполнения обязательств по международным договорам активизировалось сотрудничество Республики Беларусь с такими странами, как Германия (управление водными ресурсами), Швеция (мониторинг окружающей среды, развитие системы экологического регулирования), Латвия, Литва, Польша, Украина. Особое внимание Минприроды Республики Беларусь уделяет налаживанию сотрудничества с Россией в рамках Союзного государства, а также со странами СНГ в рамках Межгосударственного экологического совета, решения которого охватывают практически все направления природоохранной деятельности.

Таким образом, развивая международное сотрудничество, Республика Беларусь улучшает состояние окружающей среды как на национальном уровне, так и в региональном контексте, а также привлекает в страну средства для решения экологических проблем.

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ¹

Агроэкосистемы – экосистемы, измененные человеком в процессе сельскохозяйственного производства.

Альтернативное земледелие – концепция, новый подход к земледелию, группа методов, этика отношения к земле.

Антропогенный ландшафт – ландшафт, преобразованный хозяйственной деятельностью человека настолько, что изменена связь природных (экологических компонентов) в степени, ведущей к сложению нового по сравнению с ранее существующим на этом месте природным комплексом.

Антропосистема – человечество как развивающееся целое, включающее людей как биологический вид, производительные силы и производственные отношения общества.

Атмосфера – газообразная оболочка планеты, состоящая из смеси различных газов, водных паров и пыли.

Биотический (биологический) круговорот – циркуляция химических элементов в экологической системе в результате синтеза и распада органических веществ.

Воды сточные – воды, используемые на бытовые, промышленные или сельскохозяйственные нужды или прошедшие через какую-то загрязненную территорию.

Географическая среда – широкое понятие, объединяющее природную и окружающую среды.

Гидросфера – совокупность всех вод Земли: материковых (глубинных, почвенных, поверхностных), океанических, атмосферных.

Животный мир – совокупность сообществ животных какой-либо территории.

Загрязнение окружающей среды – любое внесение в ту или иную экологическую систему не свойственных ей живых или неживых компонентов, физических или структурных изменений, прерывающих или нарушающих процессы круговорота и обмена веществ, потоки энергии со снижением продуктивности или разрушением данной экосистемы.

Зона экологического бедствия – территории с очень сильным и устойчивым загрязнением (содержание загрязняющих веществ более чем в 10 раз выше ПДК), разрушительной потерей продуктивности, необратимой

¹ Многие термины и понятия разными авторами понимаются неодинаково, поэтому приведенные формулировки и определения терминов и понятий не могут рассматриваться как строго нормативные.

трансформацией экосистем, практически исключая их из хозяйственного использования. Дegradaция земель превышает 50 % территории.

Зона экологического кризиса – территории с сильным загрязнением (содержание загрязняющих веществ в 5–10 раз выше ПДК), резким снижением продуктивности экосистем. Дegradaция земель проявляется на 20–50 % территории.

Зона экологического риска – территории с повышенным загрязнением (содержание загрязняющих веществ в 2–5 раз выше ПДК), заметным снижением продуктивности экосистем. Дegradaция земель захватывает 5–20 % территории.

Качество среды – степень соответствия природных условий потребностям людей или других живых организмов.

Кислотные осадки – любые атмосферные осадки (дожди, туманы, снег), кислотность которых выше нормальной.

Ландшафт – это имеющий естественные границы участок земной поверхности, в пределах которого все природные компоненты (горные породы, рельеф, воды, почвы, растительный и животный мир) образуют взаимосвязанное единство.

Моделирование – метод исследования сложных объектов, явлений и процессов путем их упрощенного имитирования (натурного, математического, логического). Основывается на теории подобия (сходства) с объектом-аналогом.

Мониторинг окружающей среды – регулярные, выполняемые по заданной программе наблюдения природных сред, природных ресурсов, растительного и животного мира, позволяющие выделить их состояние и происходящие в них процессы под влиянием антропогенной деятельности.

Охрана окружающей среды – система мер, направленная на поддержание рационального взаимодействия между деятельностью человека и окружающей природной средой, обеспечивающая сохранение и восстановление природных богатств, рациональное использование природных ресурсов, предупреждающая прямое и косвенное вредное влияние результатов деятельности общества на природу и здоровье человека.

Парниковый эффект – разогрев приземного слоя атмосферы, вызванный поглощением длинноволнового (теплого) излучения земной поверхности.

Полезные ископаемые – горная порода, непосредственно используемая в народном хозяйстве, а также природные минеральные образования, из которых могут быть извлечены минералы, ценные для различных отраслей.

Почва – часть окружающей человека природной среды, возникла в результате сложного взаимодействия атмосферы, гидросферы, литосферы, растительного и животного мира.

Природа – совокупность естественных условий существования человеческого общества, на которую прямо или косвенно воздействует человечество, с которой оно связано в хозяйственной деятельности.

Природная среда – сложное и разнообразное сочетание и взаимодействие абиотических и биотических систем и компонентов литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы в целом.

Природные ресурсы (естественные) – природные объекты и явления, используемые в настоящем, прошлом и будущем для прямого и непрямого потребления, способствующие созданию материальных богатств, воспроизводству трудовых ресурсов.

Природопользование – совокупность всех форм эксплуатации природно-ресурсного потенциала и мер по его сохранению.

Предельно-допустимая концентрация загрязняющих веществ (ПДК) – количество вредного вещества в окружающей среде, отнесенное к массе или объему ее конкретного компонента, которое при постоянном контакте или при воздействии в отдельный промежуток времени практически не оказывает влияния на здоровье человека и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства.

Предельно-допустимые выбросы – максимальный объем выбросов веществ в единицу времени, который не ведет к превышению их ПДК.

Природно-ресурсный потенциал – та часть природных ресурсов, которая реально может быть вовлечена в хозяйственную деятельность при данных технических и социально-экономических возможностях общества при условии сохранения жизни человека.

Природно-территориальный комплекс (ПТК) – исторически сложившаяся и пространственно обоснованная единая система, образованная множеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы.

Рекультивация земель – процесс восстановления нарушенных земель.

Санитарно-гигиенические нормативы – устанавливаемые в законодательном порядке, обязательные для исполнения всеми ведомствами, органами и организациями допустимые уровни содержания химических и других соединений в объектах окружающей среды.

Техносфера – часть биосферы, коренным образом преобразованная человеком в инженерно-технические сооружения: города, заводы и фабрики, карьеры и шахты, дороги, плотины и водохранилища и т. п.

Экологический аудит – систематический документально оформленный процесс проверки объективно получаемых данных для того, чтобы определить, соответствуют ли его критериям определенные виды деятельности, события, условия или информация о них.

Экологическая катастрофа – природная аномалия (длительная засуха, массовый мор, например, скота и т. д.), зачастую возникающая на основе прямого или косвенного воздействия человеческой деятельности на природные процессы и ведущая к остросо неблагоприятным экономическим последствиям или массовой гибели населения определенного региона.

Экологический кризис – обратимое изменение равновесного состояния природных комплексов.

Экологический менеджмент – называется безопасное управление процессами, которое определяется как биологическими особенностями объекта управления, так и социально-экономическими возможностями управляющего.

Экологический прогноз – предсказание изменений в природной среде в результате воздействия на нее хозяйственной деятельности.

Экологическое прогнозирование – предсказание возможного поведения природных систем, определяемого естественными процессами и воздействием на них человека.

Экологическая сертификация – это подтверждение соответствия продукции установленным экологическим требованиям.

Экологическая ситуация – локальное или региональное ухудшение окружающей среды, рассматриваемое как общественно неоправданное или опасное.

Экологическая экспертиза – система комплексной оценки всех возможных экологических и социально-экономических последствий осуществления проектов, функционирования народнохозяйственных объектов, принятия решений, направленных на предотвращение их отрицательного влияния на окружающую среду и на решение намеченных задач с наименьшей затратой ресурсов и минимальными последствиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

Логинов В. Ф. Природная среда Беларуси: монография / В. Ф. Логинов. – Минск: НОООО «БИП-С», 2002. – 424 с.

Логинов В. Ф., Сачок Г. И., Хомич В. С. Климат Беларуси / В. Ф. Логинов, Г. И. Сачок, В. С. Хомич. – Минск: ИГН НАН Беларуси, 1996. – 235 с.

Савенок А. Ф., Савенок Е. И. Основы экологии и рационального природопользования: для учреждений, обеспечивающих получение среднего специального образования / А. Ф. Савенок, Е. И. Савенок. – Минск: Сэр-Вит, 2004. – 432 с.

Степановских А. С. Прикладная экология: учебник / А. С. Степановских. – М.: ЮНИТИ, 2012. – 751 с.

Ясовеев М. Г., Гледко Ю. А., Антипин Е. Б. Экология рационального природопользования / М. Г. Ясовеев, Ю. А. Гледко, Е. Б. Антипин. – Минск: Право и экономика, 2005. – 373 с.

Ясовеев М. Г., Губин В. Н., Ковалев А. А. Экология геологической среды / М. Г. Ясовеев, В. Н. Губин, А. А. Ковалев. – Минск: БГУ, 2002. – 132 с.

Ясовеев М. Г., Дубман А. В., Силук А. В. Радиоэкология и радиационная защита населения / М. Г. Ясовеев, А. В. Дубман, А. В. Силук. – Минск: БГПУ, 2016. – 196 с.

Ясовеев М. Г., Стреха Н. Л., Пацыкайлик Д. А. Экология урбанизированных территорий: пособие / М. Г. Ясовеев, Н. Л. Стреха, Д. А. Пацыкайлик. – Москва: ИНФРА-М, 2017. – 293 с.

Ясовеев М. Г., Стреха Н. Л., Шевцова Н. С. Методика геоэкологических исследований: пособие / М. Г. Ясовеев, Н. Л. Стреха, Н. С. Шевцова. – Москва: ИНФРА-М, 2014. – 292 с.

Ясовеев М. Г., Таранчук В. Б., Томина Н. М. Геоэкология Беларуси / М. Г. Ясовеев В. Б. Таранчук, Н. М. Томина. – Минск: Право и экономика, 2006. – 366 с.

Ясовеев М. Г., Шевцова Н. С., Галай Е. И. Основы геоэкологии: пособие / М. Г. Ясовеев Н. С. Шевцова, Е. И. Галай. – Минск: БГПУ, 2007. – 240 с.

Ясовеев М. Г., Шершнев О. В., Андрухович А. И. Основы инженерной геоэкологии: научное издание / М. Г. Ясовеев, О. В. Шершнев, А. И. Андрухович; под ред. М. Г. Ясовеева. – Минск: БГПУ, 2013. – 352 с.

Практическое естествознание, или Экология на каждый день / М. Г. Ясовеев [и др.]; под ред. М. Г. Ясовеева. – Минск: БГПУ, 2016. – 196 с.

Дополнительная

Елизарова Л. В. Экологические проблемы г. Минска и пути их решения / Л. В. Елизарова. – Минск, 1996. – 51 с.

Логинов В. Ф. Причины и следствия климатических изменений / В. Ф. Логинов. – Минск: Наука и техника, 2012. – 326 с.

Марцинкевич Г. И., Клицунова Н. К. Ландшафты Белоруссии / Г. И. Марцинкевич, Н. К. Клицунова. – Минск : Университетское, 1989. – 259 с.

Моисеев Н. Н. Судьба цивилизации / Н. Н. Моисеев. – М.: МНЭПУ, 1998. – 360 с.

Ясовеев М. Г., Щербин Г. Т. Инженерная геология с основами геоэкологии / М. Г. Ясовеев Г. Т. Щербин. – Минск: Право и экономика, 2006. – 235 с.

Учебное издание

Ясовеев Марат Гумерович,
Калашникова Анна Ивановна

МЕТОДИКА
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Компьютерная верстка *З. Ф. Кафарова*
Техническое редактирование *А. В. Красуцкая*

Подписано в печать 27.12.2018. Формат 60×90 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 14,5. Уч.-изд. л. 12,86.
Тираж 100 экз. Заказ № 17.

Республиканское унитарное предприятие «Информационно-
вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распростра-
нителя печатных изданий
№ 1/161 от 27.01.2014, № 2/41 от 29.01.2014.
ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.