

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

А. П. ГУСЕВ

**ТЕХНИЧЕСКАЯ
И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОФИЗИКА
ЧАСТЬ 2. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОФИЗИКА**

Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области горнодобывающей промышленности
пособию «Техническая и экологическая геофизика.
Часть 2. Экологическая геофизика»

В 2 частях

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2025

УДК 550.3(076)
ББК 26.20я73
Г962

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук А. Н. Галкин,
кандидат геолого-минералогических наук А. М. Ефимов

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»

Гусев, А. П.

Г962 Техническая и экологическая геофизика. Часть 2.
Экологическая геофизика : пособие / А. П. Гусев ; М-во
образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им.
Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2025. – 81 с.
ISBN 978-985-32-0074-4

Пособие включает тематику занятий, вопросы для самостоятельной работы, лабораторные работы по дисциплине «Техническая и экологическая геофизика». В части 2 рассмотрены объекты и особенности экологической геофизики, физическое загрязнение окружающей среды, его оценка и нормирование, использование геофизических методов при изучении химического загрязнения окружающей среды.

Адресовано магистрантам специальности 7-06-0532-04 «Геология».

УДК 550.3(076)
ББК 26.20я73

ISBN 978-985-32-0074-4 © Гусев А. П., 2025
© Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1 Эколого-геофизическая функция литосферы.....	7
1.1 Общие сведения.....	7
1.2 Техногенное физическое загрязнение окружающей среды...	12
2 Электромагнитное загрязнение и его оценка.....	15
2.1 Общие сведения.....	15
2.2 Характеристика электромагнитных воздействий.....	17
2.3 Нормирование электромагнитных излучений.....	26
3 Шумовое и вибрационное загрязнение и его оценка.....	34
3.1 Шумовое загрязнение.....	34
3.2 Вибрационное загрязнение.....	39
4 Тепловое загрязнение и его оценка.....	43
4.1 Тепловое загрязнение и его последствия.....	43
4.2 Космическая съемка при изучении теплового загрязнения...	46
5 Геофизические методы при изучении химического загрязнения геологической среды.....	50
5.1 Физические основы использования геоэлектрических методов для изучения химического загрязнения компонентов геологической среды.....	50
5.2 Использование геоэлектрических методов при изучении химического загрязнения геологической среды.....	53
5.3 Каппаметрия при изучении химического загрязнения геологической среды.....	57
6 Лабораторные работы по экологической геофизике.....	60
6.1 Оценка электромагнитного загрязнения в помещениях с помощью тестера электромагнитного поля.....	60
6.2 Оценка электромагнитного загрязнения городского ландшафта с помощью тестера электромагнитного поля.....	61
6.3 Изучение шумового загрязнения городского ландшафта с помощью шумомера.....	63
6.4 Изучение городских «островов тепла» с помощью космической съемки спутников семейства Landsat.....	64
6.5 Оценка теплового загрязнения городского ландшафта с помощью космической съемки спутников семейства Landsat.....	65
6.6 Изучение теплового загрязнения с помощью наземной термометрии.....	66
6.7 Изучение загрязнения поверхностных и подземных вод методом резистивиметрии.....	67

6.8 Изучение засоления почв методом резистивиметрии.....	68
6.9 Геоэлектрические методы при картировании и оценке химического загрязнения зоны аэрации и грунтовых вод.....	69
Литература.....	73
Приложение А. Нормирование электромагнитных излучений....	77
Приложение Б. Нормирование шума и вибраций.....	79

ВВЕДЕНИЕ

Техническая и экологическая геофизика как дисциплина относится к направлению экологической геологии, которое изучает экологические свойства и функции литосферы, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием природных и техногенных факторов в связи с жизнью и деятельностью биоты и, прежде всего, человека. В рамках этого направления литосфера изучается как основной абиотический компонент экосистем.

Следует различать геофизическую экологию и экологическую геофизику.

Геофизическая экология – это раздел экологии, в котором изучают влияние природных и техногенных геофизических полей на живые организмы, в том числе человека.

Экологическая геофизика – это раздел геофизики, в котором геофизические методы применяют для оценки экологического состояния окружающей среды.

По А. Д. Абалакову (2007) экологическая геофизика (экогеофизика) – это научно-прикладной раздел геофизики, предназначенный для решения экологических задач с целью изучения состояния и динамики взаимоотношений человека и биоты («живого вещества») с верхней частью литосферы (каменной оболочки Земли, которую совместно с подземной гидросферой называют гидролитосферой). Взаимоотношения эти устанавливаются на уровне околосемных и земных (естественных), и техногенных (искусственных) физических полей.

Экологические функции литосферы – это все многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение литосферы, включая подземные воды, газ, нефть, геофизические поля и протекающие в ней геологические процессы в жизнеобеспечении биоты и, главным образом, человеческого общества (Трофимов, Зилинг, 2000, 2002).

В экологической геологии все многообразие функциональных зависимостей между природной и техногенно преобразованной литосферой и биотой как биологическим видом, так и общественной социальной структурой – человеческим обществом, сводится к четырем экологическим функциям: ресурсной, геодинамической, геофизической и геохимической.

Ресурсная функция верхних горизонтов литосферы заключается в ее потенциальной способности обеспечения потребностей биоты (экосистем) абиотическими ресурсами, в том числе и потребностей человека (Трофимов, Зилинг, 2000, 2002).

Геодинамическая функция литосферы в экологическом аспекте проявляется в ходе геологических процессов, причем эколого-геодинамические свойства литосферы обусловлены как энергетической составляющей литосферы, так и динамикой ее вещественного состава.

Геохимическая экологическая функция отражает свойство геохимических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения, которое влияет на состояние биоты в целом и человеческое общество.

Геофизическая функция литосферы – это свойство геофизических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения влиять на состояние биоты и здоровье человека.

Экологическая геофизика служит инструментом при изучении всех четырех экологических функций литосферы.

Экологическая геофизика входит в состав более обширного направления геофизики, которое получило название малоуглубинная геофизика.

Малоуглубинная геофизика – это направление разведочной геофизики, которая занимается изучением самой верхней части земной коры – геологической среды.

Геологическую среду следует рассматривать как многоуровневую систему, развивающуюся под влиянием геологических, биологических и техногенных факторов и оказывающую влияние на развитие живых организмов, условия и среду обитания человека (Абалаков, 2007).

Малоуглубинная геофизика отличается небольшой глубиной исследования (от первых метров и первых сотен метров), сложностью условий, высокой пространственной неоднородностью и временной изменчивостью изучаемых объектов, влиянием поверхностных факторов, ориентированием на техногенные процессы.

Малоуглубинная геофизика включает множество различных направлений:

- экологическую геофизика;
- инженерную геофизика;
- гидрогеологическую геофизика;
- техническую геофизика;
- археологическую геофизика и т. д.

Между указанными направлениями часто нет четких разграничений, поскольку они обусловлены различиями в изучаемых объектах. При этом все перечисленные направления малоуглубинной геофизики, решая различные задачи, используют практически одни и те же геофизические методы, методики полевых работ и аппаратуру.

1 ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ

1.1 Общие сведения

В экологической геологии наряду с ресурсной, геодинамической и геохимической функциями литосферы выделена особая геофизическая функция. Содержание этой функции определено так: геофизическая экологическая функция абиотических сфер Земли отражает свойства геофизических полей литосферы, педосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы природного и техногенного происхождения влиять на условия жизни биоты в целом, включая человека (Трофимов, 2005).

Геофизическая экологическая или эколого-геофизическая функция литосферы – это свойство ее геофизических природных и техногенных полей влиять на состояние биоты и здоровья человека (Трофимов, Зилинг, 2000).

Эту функцию следует понимать как «способность» литосферы обеспечивать и поддерживать на поверхности планеты и в приповерхностной ее части энергетические условия, пригодные для существования живых организмов (Абалаков, 2007).

Геофизическая функция отличается от других функций литосферы энергетической природой.

Геофизическая экологическая функция реализуется через природные и техногенные физические поля Земли.

Всякое отклонение от «привычных» окружающих условий может нести с собой опасность возникновения негативных для биоты последствий либо непосредственно при изменяющемся условия воздействия, либо через значительные промежутки времени (отдаленные последствия). Ответной реакцией живых организмов на воздействие является адаптация (полная или частичная, кратковременная или устойчивая) или патологические изменения в них, представляющие собой своего рода «плату» за жизнь в неадекватных по своим параметрам условиях, в том числе и энергетических, отличающихся от нормальных для данной формы жизни (Абалаков, 2007).

Исходя из этого, объектом изучения при исследовании геофизической экологической функции литосферы являются природные и техногенные геофизические поля, их аномальные проявления вплоть до формирования так называемых геопатогенных зон, а предметом

исследования – взаимодействие полей с биотой и влияние, которое они оказывают на состояние биоты в целом и, в частности, на здоровье людей (Абалаков, 2007).

Изучение геофизической экологической функции литосферы имеет три основных аспекта: 1) изучение экологического воздействия геофизических полей на природные экосистемы; 2) изучение воздействия геофизических полей на технические системы; 3) изучение техногенного физического загрязнения окружающей среды.

Суммарный потенциал природных и техногенных физических полей с доминирующей ролью последних следует рассматривать как реальный фактор энергетического регулирования условий существования биосферы и вместе с тем возможной глубокой трансформации природной геофизической экологической функции разных сфер Земли – литосферы, педосферы, гидросферы и атмосферы Трофимов, Жигалин, 2014).

Воздействие природных и техногенных (иногда их называют технологическими) физических полей сводится к передаче энергии от объектов-источников к окружающей среде и другим объектам, находящимся в зоне их воздействия. Природными источниками физического (энергетического) воздействия являются процессы, происходящие на поверхности Земли и в ее недрах, а также в околоземном и отдаленном космическом пространстве. Основные, внешние по отношению к Земле источники – это Солнце (агенты воздействия – сила гравитации, электромагнитное излучение, корпускулярное излучение и магнитное поле) и Луна (агент воздействия – сила гравитации). Влияние других источников, как правило, существенно меньше. Внутренние земные источники энергии, которые могут влиять на условия существования биосферы, представлены тектоническими, сейсмическими, вулканическими процессами, а также процессы, происходящие в магнитосфере, ионосфере и гидросфере Земли.

Большое разнообразие характерно для техногенных источников физических полей – промышленные агрегаты, машины, механизмы, строительная техника, транспортные средства, бытовая техника и многое другое. Кроме того, физические поля генерируют такие виды человеческой деятельности, как строительство, разработка месторождений полезных ископаемых, военные действия и т. д.

Примерные диапазоны природных и техногенных физических полей приведены в таблице 1.

Верхний предел энергетических возможностей современного человечества в количественном выражении сопоставим с энергетикой

проявления природных процессов. Например, суточное потребление энергии человечеством составляет 10^{18} Дж, тогда как энергия вулканов и землетрясений $10^{10} - 10^{18}$ Дж (Трофимов, Жигалин, 2014).

Таблица 1 – Характеристики природных и техногенных физических полей (Богословский и др., 2000)

Вид физического поля	Единица измерения	Уровень поля		
		Фоновый	Технологический	Санитарный предел
Магнитная составляющая электромагнитного поля (магнитная индукция)	мкТл	34–66 (0,07–0,55)	1,6–2,0	100 (0,25)
Акустическое: слышимый диапазон (20–20 ³ Гц); Инfrasoundовой (< 20 Гц)	дБ (А)	25–30	80–120	45–60
		10–130	70–150	75–90
Вибрационное	мм/с (дБ)	< 0,5	0,002–160 (65–130)	0,12 (68–79)
Температурное	°С	От –2 до +10*	От –160 до +1 500	16–24
Радиационное	мЗв/год	0,3–2,2	1,6	1,8
Примечание: * – в грунтовой толще на глубине 1–1,5 м.				

Под воздействием высокого техногенного энергетического потенциала происходит трансформация геофизической экологической функции во всех сферах Земли (литосфере, гидросфере и атмосфере), что может приводить к существенному энергетическому дисбалансу. Это, в свою очередь, проявляется в формировании так называемого техногенного физического (энергетического) загрязнения. Устойчиво сохраняющееся длительное время физическое загрязнение может приводить к негативным изменениям окружающей природы и среды обитания, деструкции инженерных сооружений и, что наиболее важно с экологических позиций, физиологическим изменениям в живых организмах (рисунок 1).

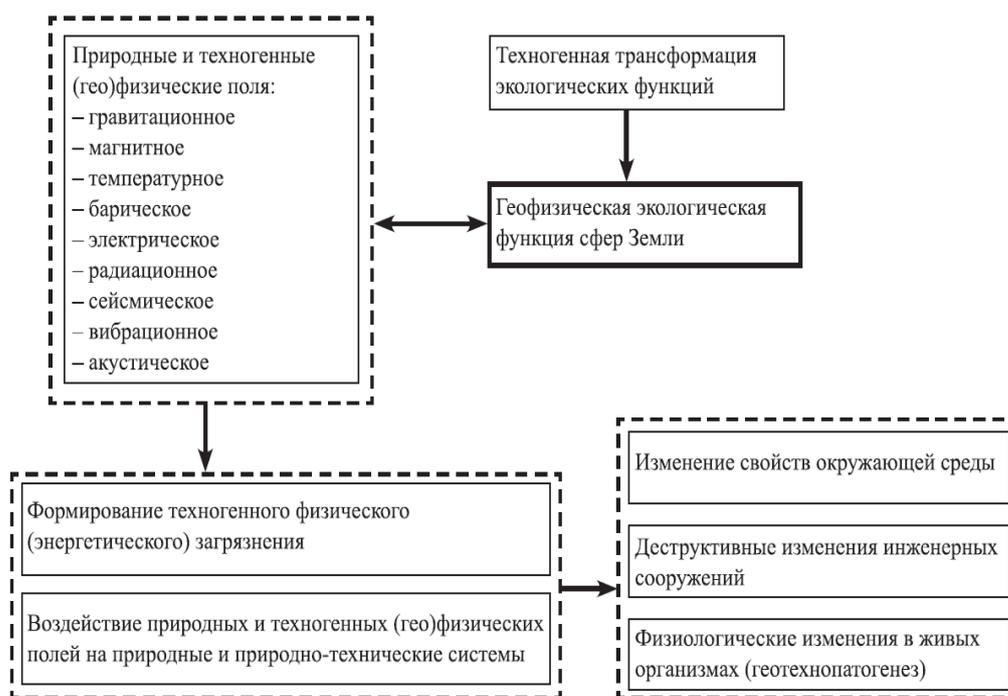


Рисунок 1 – Техногенная трансформация геофизической экологической функции (Трофимов, Жигалин, 2013)

Экологические последствия воздействия природных и техногенных физических полей на организм человека и другие субъекты биосферы выражаются в обнаружении в пределах зоны воздействия аномальной (по видам и численности) заболеваемости населения (медицинский аспект), общей деградации экосистем или отдельных их компонентов в зависимости от изменения экологической обстановки (биологический аспект) или геологических условий с последующим влиянием на биоценозы (геологический аспект). При оценке изменений в медико-санитарной и экологической ситуации используются нормативные документы, действующие применительно к району проводимых обследований. Качественные оценки при этом соотносятся с измеренными величинами воздействующих геофизических полей (Трофимов, Жигалин, 2014).

Последствия техногенного физического (энергетического) воздействия на человека и другие организмы можно оценить, представив их в форме четырехуровневой матрицы, в которой уровень техногенного физического воздействия изменяется от слабого до опасного и соответствующим образом трансформируются техногенное физическое загрязнение, экологическое состояние среды, условия жизнедеятельности человека (комфортность жизнедеятельности) и состояние организма человека в медицинском аспекте (таблица 2).

В таблице 2 показано, что слабым техногенным физическим воздействием (воздействие первого уровня) следует считать такое воздействие, при котором изменения физических полей разного вида не выходят за рамки естественных вариаций и не приводят к заметным нарушениям привычных условий существования живых организмов и человека. Такое воздействие не выводит состояние окружающей среды за пределы экологической нормы, а живые организмы – за пределы их нормального состояния («здоровье»).

Таблица 2 – Оценка физического загрязнения (Богословский и др., 2000; Трофимов и др., 2016)

Показатель	Категория (уровень)			
	I	II	III	IV
Техногенное физическое воздействие	слабое	умеренное	сильное	опасное
Техногенное физическое загрязнение	низкое	среднее	высокое	очень высокое
Экологическое состояние среды	норма	риск	кризис	бедствие
Условия жизнедеятельности человека	комфортные	дискомфортные	очень дискомфортные	опасные
Состояние организма человека	здоровье	напряжение	утомление	болезнь

Умеренное техногенное физическое воздействие (воздействие второго уровня) способно инициировать заметные, выходящие за рамки фоновых изменения окружающей среды и условий существования живых организмов, но не требующие специальных мероприятий для устранения последствий этих изменений.

Сильное техногенное физическое воздействие (воздействие третьего уровня) предполагает возникновение в окружающей среде и в условиях существования живых организмов, и в том числе людей, изменений, требующих специальных мероприятий, направленных на предотвращение возможных негативных последствий воздействия. Состояние окружающей среды в условиях сильного воздействия следует оценивать как экологический кризис, а реакцию живых организмов как «утомление».

Опасное техногенное физическое воздействие (воздействие четвертого уровня) может вызвать в окружающей среде разрушительные и катастрофические изменения, деградацию и уничтожение экосистем разного уровня, патологические изменения в организме человека

с негативными последствиями. С экологических позиций состояние окружающей среды оценивается как экологическое бедствие. Применительно к человеку следует – «болезнь» (Экологические..., 2000).

Последствия существенного техногенного физического воздействия (воздействие третьего и четвертого уровней) на человека и биоты можно представить в виде схемы (рисунок 2).

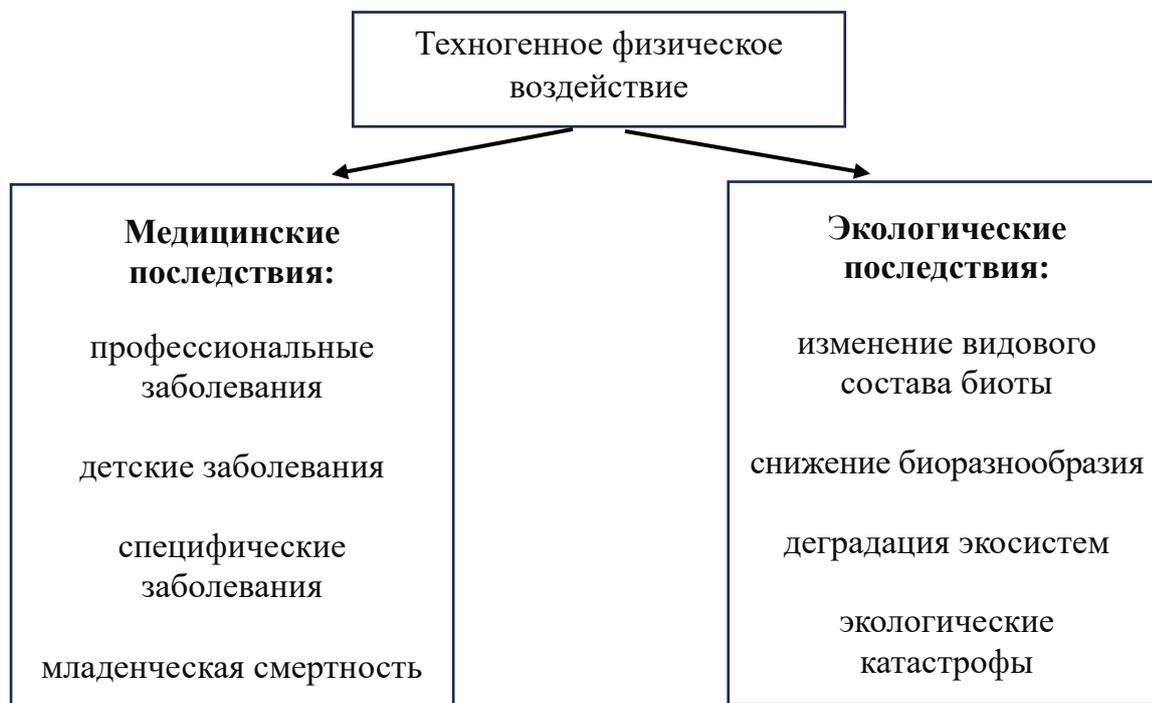


Рисунок 2 – Последствия техногенного физического воздействия

1.2 Техногенное физическое загрязнение окружающей среды

Физическое загрязнение окружающей среды – это изменение ее физических свойств, которое может негативно воздействовать на здоровье человека, состояние биоты, природных экосистем, затруднять и нарушать функционирование технических систем.

Чаще всего различают следующие виды физического загрязнения окружающей среды:

- электромагнитное загрязнение;
- шумовое загрязнение;
- вибрационное загрязнение;
- тепловое загрязнение;
- радиоактивное загрязнение.

Электромагнитное загрязнение – это изменение электромагнитных свойств окружающей среды, которое может оказать негативное воздействие на человека, биоты, технические системы. Виды электромагнитного загрязнения выделяются в зависимости от диапазона частот электромагнитных излучений.

Шумовое загрязнение – это превышение естественного уровня шумового фона или ненормальное изменение звуковых характеристик: периодичности, силы звука и т. п., которые могут негативно отразиться на здоровье человека. В зависимости от диапазона колебаний шумовое загрязнение может быть акустическим, ультразвуковым, инфразвуковым.

Вибрационное загрязнение – это механические колебания в твердых телах, оказывающие негативное воздействие на человека, биоту и технические системы.

Теплое загрязнение – это повышение температуры выше естественного уровня, которое может оказать негативное влияние на человека, биоту, природные экосистемы, технические системы.

Радиоактивное загрязнение – это привнесение в окружающую среду радиоактивных веществ (радиоизотопов), вызывающие увеличение уровня радиоактивного излучения, оказывающие негативное воздействие на человека и биоту.

Любое из перечисленных видов загрязнений проявляется в отклонениях от нормы тех или иных физических свойств – температурных, волновых, радиационных и т. д.

Иногда физическое загрязнение рассматривают как параметрическое, т. е. изменение качественных параметров окружающей среды (Юнусов, Гераскина, 2014). К параметрическому загрязнению, кроме вышеперечисленных, относят световое и информационное.

Световое загрязнение – техногенное изменение уровня наружного света по сравнению с естественными показателями (нарушение естественного светового режима), которое негативно влияет на человека, биоту и природные экосистемы.

Информационное загрязнение – это поток дисгармоничной, хаотической, разрушительной информации, воздействующий на человека, преимущественно, через его зрение и слух.

Вопросы для самоконтроля

1 Что понимается под геофизической экологической функцией литосферы?

2 Какие особенности имеет энергетическое воздействие?

3 Как соотносятся друг с другом природные и техногенные физические поля?

4 В чем выражается техногенная трансформация геофизической экологической функции литосферы?

5 Какие последствия вызывает техногенная трансформация геофизической экологической функции литосферы?

6 Назовите уровни техногенного физического воздействия.

7 Что такое физическое загрязнение окружающей среды?

8 Какие выделяют виды физического загрязнения окружающей среды?

9 Что такое параметрическое загрязнение?

2 ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ЕГО ОЦЕНКА

2.1 Общие сведения

Электромагнитное загрязнение – это изменение электромагнитных свойств окружающей среды, которое может оказать негативное воздействие на человека, биоты, технические системы.

Электромагнитные воздействия разнообразны. Принято различать их следующие разновидности:

- геомагнитное поле;
- статическое электричество;
- постоянное магнитное поле;
- электромагнитное поле промышленной частоты (50 Гц);
- электромагнитное поле радиочастотного диапазона;
- инфракрасное излучение;
- ультрафиолетовое излучение (Окраинская, 2021).

Основными физическими характеристиками электромагнитных излучений являются длина волны λ (в м), частота f (в Гц), а также энергия кванта излучения E (в эВ).

Конец XX века и начало XXI века характеризуются интенсивным развитием электротехнологии, телевизионной техники, компьютеров, мобильных средств связи, электронной бытовой и офисной техники, что вызвало появление большого количества искусственных источников электромагнитного поля и обусловило электромагнитное загрязнение окружающей среды. Мощное электромагнитное загрязнение наблюдается вблизи линий электропередач, тепловых сетей, электрифицированных железных дорог, телевизионных станций, спутниковой и сотовой связи, аэродромов и радаров. Электромагнитное загрязнение в крупных городах уже превышает природные уровни в тысячи раз. Считается, что обычный (фоновый) уровень низкочастотного электромагнитного поля в крупном городе соответствует эффекту природной геомагнитной бури. Электромагнитное загрязнение может считаться самым распространенным видом загрязнения окружающей среды (Задоя, 2014).

В общем случае негативными последствиями электромагнитного загрязнения будут:

- опасное воздействие на организм человека, приводящее к ухудшению здоровья;

– негативное влияние на животных (нарушение ориентировки, мутагенное воздействие);

– негативное влияние на функционирование технических систем (коррозия трубопроводов, нарушение систем электроснабжения, нарушение работы радиоэлектронной аппаратуры и т. д.).

Техногенные источники электромагнитного загрязнения делят на две группы.

Первая группа – генерирующие крайне низкие и сверхнизкие частоты от 0 Гц до 3 кГц.

Вторая группа – генерирующие излучение в радиочастотном диапазоне от 3 кГц до 300 ГГц, включая микроволны (СВЧ-излучение) в диапазоне от 300 МГц до 300 ГГц.

К первой группе относятся все системы производства, передачи и распределения электроэнергии (линии электропередачи, трансформаторные подстанции, электростанции, системы электропроводки, различные кабельные системы и т. д.); различные промышленные технологические установки, бытовая и офисная электро-и электронная техника и т. д.; электрифицированные железные дороги, метро, троллейбусы, трамваи.

Вторая группа источников отличается еще большим разнообразием как по назначению, так и по режимам излучения. Основную массу составляют так называемые *функциональные передатчики* – это источники электромагнитных полей (ЭМП) в цепях передачи или получения информации, излучающие ее контролируемым образом в окружающую среду. К ним относят оборудование, использующее СВЧ-излучение, переменные (50 Гц – 1 МГц) и импульсные магнитные поля; медицинские терапевтические и диагностические установки (20 МГц – 3 ГГц), бытовое оборудование (СВЧ-печи), средства визуального отображения информации на электронно-лучевых трубках (мониторы ПК, видеодисплейные терминалы, телевизоры и т. п.), офисная техника (Задоя, 2014).

Например, персональные компьютеры являются повсеместно распространенными источниками электромагнитного излучения. Все элементы компьютера являются источниками электромагнитных излучений, которые характеризуются широким диапазоном частот (от 50 Гц до 1 000 МГц). Все эти элементы при работе формируют сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя (таблица 3). Электромагнитные излучения компьютера имеют самый сложный волновой и спектральный состав и довольно трудно поддаются измерению и количественной оценке. Эти излучения имеют маг-

нитную, электростатическую и лучевую составляющие (в частности, электростатический потенциал сидящего перед монитором человека может колебаться от -3 до $+5$ В).

Таблица 3 – Компьютер как источник электромагнитного излучения (Задоя, 2014)

Подсистема	Диапазон частот, генерируемого электромагнитного поля
Системный блок (процессор)	От 50 Гц до 1000 МГц
Устройства ввода-вывода	0, 50 Гц
Источники питания, сетевые фильтры, стабилизаторы	50 Гц, 20–100 кГц
Монитор:	
сетевой трансформатор блока питания	50 Гц
преобразователь напряжения в импульсном блоке питания	20–100 кГц
блок кадровой развертки и синхронизации	48–160 Гц
блок строчной развертки и синхронизации	15–110 кГц

2.2 Характеристика электромагнитных воздействий

Геомагнитное поле. Примером негативного воздействия на человека и его технические системы, вызванного изменениями геомагнитного поля, являются геомагнитные бури. Во время геомагнитных бурь в проводящих системах (в том числе стальных трубопроводах, линиях электропередач, линиях связи) образуются особые геомагнитноиндуцированные токи (ГИТ). Эти токи слабо изменяются во времени (их называют квазистационарными), а наибольшую опасность они представляют для трансформаторов, понижающих напряжение при переходе от линий электропередачи к потребителям (Авакян и др., 2012). Их рабочая частота – частота сети переменного тока (50–60 Гц), т. е. сильно превышает частоты паразитного воздействия ГИТ (типичные значения периодов составляют от 0,01 до 1 ч). Индуцированные бурей токи при отключении катодной защиты увеличивают в два раза годовой эффект электрохимической коррозии трубопроводов. В энергетических системах эти токи приводят к таким опасным эффектам: насыщению трансформаторов, их перегреву и разрушению; генерации паразитных гармоник переменного тока; нарушению работы стандартных защитных реле и, как следствие, отключению линий электропередач; колебания активной и реактивной мощности в энергосистеме

и, как следствие, к ложной работе или несрабатыванию автоматики и релейной защиты, массовым нарушениям электроснабжения в узлах нагрузок (Авакян и др., 2012).

Зафиксированы следующие последствия геомагнитных бурь:

– август – сентябрь 1859 г. – вышли из строя телеграфные системы Европы и Северной Америки;

– март 1940 г. – вышли из строя 80 % всех магистральных телефонных сетей в Миннеаполисе, а на нескольких электрических подстанциях северо-востока США вышли из строя силовые трансформаторы; прекратилась подача электроэнергии в штатах Новая Англия, Нью-Йорк, Миннесота, Пенсильвания;

– февраль 1958 г. прекратилась подача электроэнергии в город Торонто (Канада) из-за выхода из строя реле на трансформаторной подстанции Онтарио;

– август 1972 г. – вышел из строя силовой трансформатор на 230 кВ в энергосистеме провинции Британская Колумбия (Канада), нарушено гидро- и энергоснабжение;

– декабрь 1980 г. – вышел из строя трансформатор в Санкт-Джеймс-Бей, Канада;

– март 1989 г. – нарушена работа энергосистемы в провинции Квебек Канады и севера США, 6 млн жителей лишены электроэнергии;

– октябрь 2003 г. – нарушены энергосистемы на юге Швеции в Мальме, в Южной Африке;

– сентябрь 2005 г. – отключение высокочастотной связи во многих районах Северной Америки, резкое снижение точности спутниковой навигации (Авакян и др., 2012).

Во время геомагнитных бурь возрастает число госпитализаций больных с сердечно-сосудистыми и психическими нарушениями, в 1,5–2 раза увеличивается количество проявлений стенокардии, гипертонии, нарушений сердечного ритма, инфарктов миокарда, расстройств мозгового кровообращения и инсультов. Возрастает число вызовов скорой помощи по поводу инфарктов миокарда и внезапных смертей. Наблюдается изменение клинической картины крови, ЭКГ и ЭЭГ (Окраинская, 2021).

Статическое электричество. *Статическое электричество (СЭ)* – это совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности или в объеме диэлектриков или на изолированных проводниках.

Опасность возникновения электростатических зарядов при распылении горючих жидкостей возникает в процессе их налива свободно

падающей струей и слива, при мойке резервуаров нефтепродуктов и грузовых танков нефтяных танкеров водой и водяным паром. Явление электростатической индукции вблизи источников постоянного электрического поля может вызывать появление зарядов статического электричества, что имеет место вблизи воздушных линий электропередачи постоянного тока. Электростатические явления могут приводить к различным опасным последствиям: взрывы газов и паров, воспламенение горючих жидкостей в химической промышленности, взрывы пыли или тумана, проблемы повреждения электронных устройств из-за электростатического разряда в электронной промышленности (Окраинская, 2021).

Физиологическое воздействие статического электричества на организм человека может проявляться в форме малого тока, длительно протекающего через тело человека, кратковременного электрического разряда, а также электрического поля, действующего на организм человека. Статическое электричество, накопленное на теле человека, также может при прикосновении к заземленным конструкциям вызывать электрический разряд и неприятные ощущения или боль, испуг, сопровождающийся произвольными, нескоординированными движениями, что может привести к аварии или несчастному случаю.

Постоянное магнитное поле (ПМП). ПМП создается проводниками с постоянным током, равномерно движущимися электрическими зарядами или заряженными частицами. Характеризуется напряженностью магнитного поля H (А/м) или магнитной индукцией B (Тл). Магнитная индукция и напряженность магнитного поля связаны в вакууме соотношением

$$B = \mu_0 H,$$

где μ_0 – магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ (Гн/м).

Для изотропной среды, отличающейся от вакуума

$$B = \mu_0 \mu H,$$

где μ – магнитная проницаемость среды.

Силовые линии магнитного поля замкнуты (Окраинская, 2021).

Источниками постоянного магнитного поля являются:

- линии передачи постоянного тока;
- электролитные ванны;
- производство и эксплуатация постоянных магнитов и электромагнитов;

- магнитогидродинамические энергогенераторы;
- установки ядерного магнитного резонанса;
- магнитные сепараторы;
- магнитные материалы, применяемые в приборостроении и физиотерапии.

Воздействие ПМП на организм человека слабо изучено. Предполагается негативное влияние на нервную и сердечно-сосудистую системы. Отмечены симптомы: повышение раздражительности, утомляемости, расстройства сна, потери аппетита, головной боли, брадикардия или тахикардия, понижение кровяного давления, изменение электроэнцефалограммы состава крови, гиперемия кожных покровов кистей рук с усилением потоотделения и повышением температуры, боль и онемение пальцев рук.

Электромагнитное поле промышленной частоты (ЭМППЧ). Источниками электромагнитных полей промышленной частоты являются любые электротехнические устройства, питающиеся от сети частотой 50 Гц. Мощными источниками электрических полей промышленной частоты (ЭППЧ) являются, например, воздушные линии электропередачи, оборудование распределительных устройств напряжением 110 кВ и выше (Окраинская, 2021). Мощными источниками магнитных полей промышленной частоты (МППЧ) являются кабельные линии электропередачи, компенсаторы реактивной мощности, электротехнологическое оборудование (например, электродуговые печи).

Множество источников ЭМППЧ находится в непосредственной среде обитания людей – в жилых помещениях (таблица 4).

Таблица 4 – Бытовые источники ЭМППЧ

Источник	Уровень излучения, мкТл
Холодильник на расстоянии 1 м от дверцы	0,2
Электропроводка в квартире	Более 0,2
Электрический чайник	0,6
Стиральная машина	1
Электрическая плита на расстоянии 0,3 м	1–3
Микроволновая печь	8–100
Пылесос	100
Компьютер	1–100
Кофеварка	10

Поскольку облучение человека ЭМППЧ происходит в «ближней зоне» излучения, то принято рассматривать электрическую и магнит-

ную составляющие поля независимо друг от друга. Ближняя зона излучения (зона индукции) – это область пространства, в которой расстояние до источника излучения существенно меньше длины волны. В этой зоне электромагнитная волна не сформирована. На промышленной частоте (50 Гц) длина волны составляет 6 000 км и все объекты, практически на любом удалении от источника, расположены в ближней зоне, а интенсивность поля оценивается значениями напряженности электрического и магнитного полей.

Взаимодействие внешних электромагнитных полей с живыми организмами осуществляется путем наведения внутренних полей и электрических токов, величина и распределение которых зависят от размера, формы, анатомического строения тела, электрических и магнитных свойств тканей, ориентации объекта относительно ориентации поля, характеристик электромагнитного поля (частота, интенсивность). Организм человека в значительной степени видоизменяет пространственное распределение электрического поля. На низких частотах тело является хорошим проводником и искаженные линии электрического поля вне организма практически перпендикулярны поверхности тела. Что касается магнитных полей, то для них проницаемость тканей такая же, как и проницаемость воздуха, поэтому магнитное поле в тканях такое же, как и вне организма (Окраинская, 2021).

ЭППЧ может оказывать вредное воздействие на человека. Для области сверхнизких частот (50/60 Гц) наиболее важным механизмом взаимодействия электрического поля с телом человека является наведение на поверхности тела заряда. Различают следующие виды воздействия ЭППЧ:

- непосредственное воздействие, проявляющееся при пребывании в электрическом поле;

- воздействие электрических разрядов (импульсного тока), возникающих при прикосновении человека к изолированным от земли конструкциям, корпусам машин и механизмов на пневматическом ходу и протяженным проводникам, или при прикосновении человека, изолированного от земли, к заземленным конструкциям и другим заземленным объектам;

- воздействие тока, проходящего через человека, находящегося в контакте с изолированными от земли объектами – крупногабаритными предметами, машинами и механизмами, протяженными проводниками.

ЭППЧ может стать причиной воспламенения или взрыва паров горючих материалов и смесей в результате возникновения электрических разрядов при соприкосновении предметов и людей с машинами и механизмами.

Длительное действие ЭППЧ на человека выражается жалобами на головную боль в височной и затылочной частях головы, вызывает вялость, расстройство сна, снижение памяти, повышенную раздражительность, апатию, боли в области сердца, аритмию.

МППЧ индуцирует в теле человека вихревые токи, которые оказывают биологические эффекты, различающиеся в зависимости от интенсивности и продолжительности воздействия. МППЧ вызывает изменения функционального состояния нервной, сердечно-сосудистой, иммунной систем. Предположительно увеличивает риск развития лейкозов, лимфом, злокачественных новообразований центральной нервной системы, рака молочной железы.

Электромагнитное поле радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ). Радиочастотный диапазон включает частоты электромагнитных колебаний от 3 кГц до 6 000 ГГц.

Источниками ЭМП РЧ являются:

- радиостанции низкочастотного (НЧ) (130–285 кГц), средневолнового (СВ) (415–1 606 кГц), коротковолнового (КВ) (3,95–26,1 МГц) и ультракоротковолнового диапазонов (УКВ, FM) (87,5–108 МГц);

- телевизионные передатчики (47–68 МГц, 174–239 МГц, 470–890 МГц);

- индивидуальные и мобильные средства связи, в том числе ручные телефоны и телефоны, установленные в автомобилях, системы мобильной радиосвязи и системы спутниковой связи;

- системы охраны и радиолокационные системы службы слежения авиатранспорта (9–35 ГГц);

- установки СВЧ-нагрева (2,45 ГГц);

- медицинское диагностическое и терапевтическое оборудование;

- видеодисплейные терминалы и персональные компьютеры (Окраинская, 2021).

Характеристики наиболее важных источников ЭМП РЧ приведены в таблице 5.

ЭМП РЧ обладают выраженным биологическим действием, характер которого зависит от интенсивности поля, времени облучения, частоты и характера электромагнитного сигнала, с одной стороны, и состава тканей (в частности, содержание в ней воды), формы организма, подвергающегося облучению с другой стороны. Могут вызывать существенные изменения в состоянии практически всех систем организма человека как обратимые, так и достаточно стойкие.

При воздействии ЭМП РЧ сверхвысокочастотного диапазона в биологических тканях возникают эффекты, которые можно разделить

на тепловые, наблюдаемые при мощных потоках СВЧ-излучений, и нетепловые, происходящие при малых уровнях мощности излучения. К тепловым эффектам относится местное воспаление или даже разрушение (ожог) кожи и расположенной под ней ткани. Эти ожоги имеют, как правило, большую глубину (ожоги четвертой степени). Наиболее подвержены перегреву ткани с плохой циркуляцией крови и недостаточной терморегуляцией: глаза, желчный пузырь, участки желудочно-кишечного тракта, семенники. Облучение глаз может привести к помутнению хрусталика (катаракте).

Таблица 5 – Параметры источников ЭМП РЧ (Задоя, 2014)

Источник излучения	Частота излучения	Расстояние до точки излучения, м	Уровень ЭМП	Мощность источника
Радиостанции НЧ	130–285 кГц	300	90 В/м	1,8 МВт
Радиостанции СВ	415–1 606,5 кГц	50	450 В/м	1,8 МВт
Радиостанции КВ	3,95–26,1 МГц	50	121 В/м	750 кВт
Ручные радиостанции	27 МГц	0,05	Менее 1 000 В/м	1–10 Вт
Радиотелефоны	20 МГц–2 ГГц	0,1	300 В/м	–
Телевизионные передатчики	47–68 МГц 174–230 МГц 470–890 МГц	1,5	5–20 мВт/м ²	100 кВт
Радиостанции FM	87,5–108 МГц	1,5	50 мВт/м ²	–
Радиолокационные станции	9–35 ГГц	0,03	До 250 мВт/м ²	0,5–1 000 кВт

При воздействии на человека ЭМП РЧ нетепловые эффекты выражаются в изменения функций центральной нервной системы и других систем: гипоталамо-гипофизарно-эндокринной, иммунобиологической, крови и кроветворения. При этом выделяют комплекс симптомов, включающий три основных синдрома: астенический, астеновегетативный и гипоталамический.

Могут возникать резонансные эффекты при воздействии на биобъекты, в том числе и на человека, модулированного электромагнитного поля. Наиболее опасно излучение с частотой модуляции 6–16 Гц, которая соответствует биоритмам мозга человека (Окраинская, 2021).

Инфракрасное излучение (ИКИ). ИКИ охватывает область спектра с длиной волны, лежащей в пределах от 780 нм до 540 мкм. Оно является функцией теплового состояния источника излучения и свойственно всем телам, температура которых выше абсолютного нуля.

Инфракрасное излучение оказывает в основном тепловое воздействие на организм человека. Эффект его действия зависит от длины волны, которая обуславливает глубину его проникновения. В связи с этим инфракрасное излучение подразделяется на три области:

- область А – длина волны от 780 до 1 400 нм;
- область В – от 1 400 до 3 000 нм;
- область С – более 3 000 нм.

Первая область инфракрасных излучений обладает большой проникаемостью через кожу и обозначается как коротковолновое инфракрасное излучение, а следующие две области – как длинноволновые.

Наиболее активно коротковолновое инфракрасное излучение, так как оно обладает наибольшей энергией фотонов, способно глубоко проникать в ткани организма и интенсивно поглощаться водой, содержащейся в тканях.

Наиболее чувствительны к инфракрасному излучению кожный покров и органы зрения человека. При остром повреждении кожи возможно появление ожогов различной степени тяжести, резкое расширение кровеносных капилляров, усиление пигментации кожи. К острым поражениям органов зрения относятся ожог конъюнктивы, помутнение и ожог роговицы, ожог тканей передней камеры глаза. При интенсивном инфракрасном излучении и длительном облучении возможно образование катаракты. Коротко-волновая часть инфракрасного излучения может фокусироваться на сетчатке, вызывая ее повреждение.

Инфракрасное излучение влияет и на функциональное состояние человека, его центральную нервную систему, вызывает изменения в сердечно-сосудистой системе. Отмечаются резкое учащение сердцебиения, повышение максимального и понижение минимального артериального давления, учащение дыхания, повышение температуры тела и усиление потоотделения. Инфракрасное излучение воздействует на состояние верхних дыхательных путей, вызывая пересыхание слизистых оболочек, снижающее защиту от возбудителей инфекционных заболеваний и вирусов (в результате развивается хронический ларингит, ринит, синусит).

Ультрафиолетовое излучение (УФ). УФ имеет диапазон длин волн от 200 до 400 нм. Искусственными источниками УФ-излучения являются газоразрядные источники света, электрические дуги, лазеры, ртутные выпрямители и т. д. Тела начинают генерировать УФ-излучение при температуре нагрева выше 1 200 °С, интенсивность растет с увеличением температуры.

УФ является физическим фактором, воздействие которого на биологические объекты может приводить как к положительным, так и к отрицательным последствиям в зависимости от спектрального состава излучения и от значения экспозиции поверхностной (или объемной) плотности энергии излучения.

Весь диапазон УФ-излучения разделяют на следующие области:

- область А: $\lambda = 400\text{--}315$ нм;
- область В: $\lambda = 315\text{--}280$ нм;
- область С: $\lambda = 280\text{--}200$ нм.

УФ-излучение области А отличается слабым биологическим действием, вызывающим преимущественно флуоресценцию. Основное биологическое действие оказывает УФ-излучение области В: оно вызывает основные изменения в коже (загарное и антирахитическое действие), крови, нервной системе, кровообращении и других органах. УФ-излучение области С отличается большим разрушительным действием на клетку, так как обладает бактерицидным действием, вызывает коагуляцию белков. Наиболее уязвимы для УФ глаза (страдает роговица и слизистая оболочка). Острые поражения глаз (электроофтальмия) представляют собой острый конъюнктивит, который проявляется ощущением постороннего тела или песка в глазах, светобоязнью, слезотечением. Нередко наблюдается эритема (покраснение) кожи лица и век. К хроническим заболеваниям относят хронический конъюнктивит, блефарит, катаракту, помутнение хрусталика. Роговица глаза наиболее чувствительная к излучению волны длиной 270–280 нм; наибольшее воздействие на хрусталик оказывает излучение в диапазоне 295–320 нм. Возможность поражающего действия УФ-излучения на сетчатку невелика, однако не исключена.

Кожные поражения протекают в форме острых дерматитов с эритемой, иногда отеком и образованием пузырей. Могут возникнуть общетоксические явления с повышением температуры, ознобом, головными болями. На коже после интенсивного УФ развиваются гиперпигментация и шелушение. Длительное воздействие УФ приводит к «старению» кожи, атрофии эпидермиса, возможно развитие злокачественных новообразований. При повторном воздействии УФ имеет место кумуляция биологических эффектов.

УФ оказывает влияние на центральную нервную систему, вызывая головную боль, головокружение, повышение температуры, нервное возбуждение.

УФ ухудшает состав производственной атмосферы: образуется озон, оксид азота и пероксид водорода, ионизируется воздух.

2.3 Нормирование электромагнитных излучений

В качестве предельно допустимых уровней (ПДУ) электромагнитных излучений принимаются такие значения, которые при ежедневном облучении в свойственном для данного источника излучения режиме не вызывают у населения без ограничения пола и возраста заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования в период облучения или в отдаленные сроки после его прекращения.

Основной критерий определения уровня воздействия электромагнитного излучения как предельно допустимого – воздействие не должно вызывать у человека даже временного нарушения гомеостаза (включая репродуктивную функцию), а также напряжения защитных и адаптационно-компенсаторных механизмов ни в ближайшем, ни в отдаленном периоде времени. Это означает, что в качестве ПДУ принимается дробная величина от минимального уровня электромагнитного поля, способного вызвать какую-либо реакцию (Задоя, 2014).

В случае отдельных условий облучения установлены специально разработанные Санитарные правила и нормы (СанПиН):

- элементы систем сотовой связи и других видов подвижной связи, все типы стационарных радиотехнических объектов (включая радиоцентры);
- радио- и телевизионные станции, радиолокационные и радиорелейные станции;
- земные станции спутниковой связи, объекты транспорта с базированием мобильных передающих радиотехнических средств при их работе в штатном режиме в местах базирования;
- видеодисплейные терминалы и мониторы персональных компьютеров;
- СВЧ-печи, индукционные печи.

Нормирование ПДУ интенсивности электростатического поля. Оценка и нормирование электростатического поля, согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания». Предельно допустимый уровень напряженности электростатического поля $E_{пду}$ зависит от времени его воздействия на работника за смену следующим образом:

- если время воздействия на работника $t \leq 1$ ч за смену, то $E_{пду} = 60$ кВ/м;

– если время воздействия на работника $t > 1$ ч за смену, то $E_{пду}$ определяется по формуле:

$$E_{пду} = \frac{60}{\sqrt{t}},$$

где t – время воздействия на работника за смену.

При напряженностях электростатического поля, превышающих 60 кВ/м, работа персонала без применения средств защиты не допускается.

Нормирование постоянного магнитного поля. Нормативным документом, устанавливающим требования к уровню постоянных магнитных полей (ПМП) на рабочих местах персонала, являются санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Оценка и нормирование ПМП осуществляется по уровню магнитного поля дифференцированно, в зависимости от времени его воздействия на работника за смену, для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье) воздействий.

Предельно допустимые уровни напряженности (индукции) ПМП на рабочих местах приведены в таблице 6.

Таблица 6 – ПДУ постоянного магнитного поля

Время воздействия, минут	Условия воздействия			
	Общее		Локальное	
	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
0–10	24	30	40	50
11–60	16	20	24	30
61–480	8	10	12	15

Нормирование интенсивности электрического и магнитного полей промышленной частоты. Основными нормативными документами, регламентирующими требования к уровням электрических (ЭП) и магнитных (МП) полей промышленной частоты являются:

– ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ «Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах»;

– СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Для ЭППЧ в производственных условиях установлены следующие допустимые уровни:

– пребывание в ЭП напряженностью до 5 кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня;

– при напряженности ЭП от 20 и до 25 кВ/м время пребывания персонала в ЭП не должно превышать 10 мин;

– предельно допустимый уровень напряженности воздействующего ЭППЧ – 25 кВ/м, пребывание в ЭППЧ с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допустимо.

Для населения установлены ПДУ ЭППЧ и МППЧ, величины которых приведены в таблице 7.

Таблица 7 – ПДУ воздействия электрического и магнитного поля промышленной частоты на население

Тип воздействия, территория	Напряженность электрического поля, кВ/м	Индукция (напряженность) магнитного поля, мкТл (А/м)
Жилые здания, детские, дошкольные, школьные, общеобразовательные учреждения	0,5	5,0 (4,0)
Внутри здания (на расстоянии 0,2 м от стен и окон на высоте 0,5–1,8 м от пола)	0,5	10,0 (8,0)
На территории жилой застройки	1,0	10,0 (8,0)

Измерения напряженности ЭППЧ должны проводиться на высоте 0,5; 1,0 и 1,7 м от поверхности земли, пола помещения или площадки обслуживания оборудования и на расстоянии 0,5 м от оборудования и конструкций, стен зданий и сооружений. На рабочих местах, расположенных на уровне земли и вне зоны действия экранирующих устройств, напряженность ЭППЧ допускается измерять лишь на высоте 1,7 м. Измерения уровней ЭППЧ следует проводить приборами, не искажающими поле, в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора при обеспечении необходимых расстояний от датчика до земли, тела оператора, проводящего измерения, и объектов, имеющих фиксированный потенциал.

Измерения напряженности МППЧ должны проводиться на высоте 0,5; 1,0 и 1,7 м от поверхности земли, пола помещения или площадки обслуживания оборудования и на расстоянии 0,5 м от оборудования и конструкций, стен зданий и сооружений. При расположении нового рабочего места над источником МППЧ его напряженность (индукция) должна измеряться на уровне земли, пола помещения, кабельного канала или лотка.

Нормирование ЭМП РЧ. Перечень нормативных документов в области электромагнитных полей различных частот включает:

– ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»;

– СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»;

– СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи»;

– СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов».

ПДУ ЭМП РЧ – это значения, которые при ежедневной (кроме выходных дней), но не более 40 ч в неделю, в течение рабочего стажа не должны вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

В диапазоне частот от 10 кГц до 30 кГц оценка и нормирование ЭМП РЧ осуществляется отдельно по напряженности электрического (E , В/м) и магнитного (H , А/м) полей в зависимости от времени воздействия. ПДУ напряженности электрического и магнитного поля при воздействии в течение всей смены составляет 500 В/м и 50 А/м соответственно. ПДУ напряженности электрического и магнитного поля при продолжительности воздействия до 2 ч за смену составляет 1 000 В/м и 100 А/м соответственно.

В диапазоне частот от 30 кГц до 300 ГГц оценка воздействия на людей осуществляется отдельно:

1) для лиц, работа и обучение которых связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния источников ЭМП РЧ;

2) для лиц, работа и обучение которых не связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния ЭМП РЧ, а также для работаю-

щих или учащихся, лиц, не достигших 18 лет, для беременных женщин и остального населения, подвергающихся воздействию внешнего ЭМИ РЧ в жилых, общественных и служебных зданиях и помещениях, на территории жилой застройки и в местах массового отдыха.

Для первой нормирование ведется по энергетической экспозиции, которая определяется интенсивностью электромагнитного поля и временем его воздействия на человека, а для второй группы (население) – по значениям интенсивности поля.

Интенсивность электромагнитного поля в диапазоне частот:

– от 30 кГц до 300 МГц оценивается значениями напряженности электрического поля (E , В/м) и магнитного поля (H , А/м);

– от 300 МГц до 300 ГГц – значениями плотности потока энергии (ППЭ), Вт/м².

В диапазоне частот от 30 кГц до 300 МГц энергетическая экспозиция (ЭЭ) определяется как произведение квадрата напряженности электрического или магнитного поля на время воздействия на человека.

Измерения уровней ЭМИ РЧ должны проводиться для всех рабочих режимов установок при максимальной используемой мощности и после выведения работника из зоны контроля. Измерения проводят в зависимости от рабочей позы на высоте: 0,5; 1,0 и 1,7 м от опорной поверхности при выполнении работ стоя и 0,5; 0,8 и 1,4 м при выполнении работ сидя. Во время измерений фиксируются максимальные значения E и H или ППЭ для каждого рабочего места. В случае если имеет место локальное облучение рук работников, контроль интенсивности ЭМИ РЧ следует дополнительно проводить на уровне кистей и середины предплечья.

Контроль интенсивности ЭМИ РЧ, создаваемых вращающимися или сканирующими антеннами, осуществляется на рабочих местах и местах временного пребывания персонала при всех рабочих значениях угла наклона антенн. Для оценки уровней ЭМП РЧ используют приборы направленного приема (однокоординатные) и приборы ненаправленного приема, оснащенные изотропными (трехкоординатными) датчиками.

Измерения интенсивности ЭМИ РЧ в помещениях жилых и общественных зданий следует проводить при условии работы их источника на полной мощности в точках помещения, наиболее приближенных к этому источнику (на балконах, лоджиях, у окон), а также у металлических изделий, находящихся в помещениях, которые могут являться пассивными ретрансляторами ЭМИ РЧ. Измерения ЭМИ РЧ в жилых помещениях от внешних источников целесообразно проводить при открытых окнах.

Нормирование инфракрасного излучения. Нормирование ИК излучения осуществляется по интенсивности допустимых интегральных потоков излучения с учетом спектрального состава, размера облучаемой площади, защитных свойств спецодежды.

Нормативные документы:

– ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;

– СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Предельно допустимый уровень интенсивности инфракрасного излучения устанавливается для постоянных рабочих мест с учетом:

– спектрального состава излучения;

– размера облучаемой площади поверхности тела.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.), должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 8.

Таблица 8 – ПДУ теплового облучения поверхности тела работников от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²
50 и более	35
25–50	70
До 25	100

Интенсивность теплового излучения на рабочем месте необходимо измерять от каждого источника, располагая приемник прибора перпендикулярно падающему потоку. Измерения проводят на высоте 0,5; 1,0 и 1,5 м от пола или рабочей площадки. Величина интенсивности теплового облучения оценивается по его максимальному значению.

Нормирование интенсивности ультрафиолетового излучения. Основными документами, устанавливающими ПДУ УФ являются:

– СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»;

– МУ № 5046-89 «Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей (с применением искусственных источников ультрафиолетового излучения)»;

– Р 3.5.1904-04. Руководство «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях».

В качестве нормативной величины УФ-излучения в производственных помещениях согласно СанПиН 1.2.3685-21 устанавливаются допустимые плотности потока излучения в зависимости от длины волн при условии защиты органов зрения и кожи.

Допустимая интенсивность облучения работающих при наличии незащищенных участков поверхности кожи не более $0,2 \text{ м}^2$ и периода облучения до 5 мин, длительности пауз между ними не менее 30 мин и общей продолжительности воздействия за смену до 60 мин не должна превышать:

- $50,0 \text{ Вт/м}^2$ – для области УФ-А;
- $0,05 \text{ Вт/м}^2$ – для области УФ-В;
- $0,001 \text{ Вт/м}^2$ – для области УФ-С.

Допустимая интенсивность УФ-излучения для работающих при наличии незащищенных участков поверхности кожи не более $0,2 \text{ м}^2$ (лицо, шея, кисти рук и др.), общей продолжительности воздействия УФ 50 % рабочей смены и длительности однократного облучения свыше 5 мин и более не должна превышать:

- $10,0 \text{ Вт/м}^2$ – для области УФ-А;
- $0,01 \text{ Вт/м}^2$ – для области УФ-В.

Излучение в области УФ-С при указанной продолжительности не допускается.

Допустимая интенсивность УФ-облучения при использовании специальной одежды и средств защиты лица и рук не должна превышать в области: 1 Вт/м^2 – для областей УФ-В + УФ-С (200–315 нм).

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что такое электромагнитное загрязнение?
- 2 Какие последствия может иметь геомагнитная буря?
- 3 Назовите источники статического электричества. Как статическое электричество воздействует на организм человека?
- 4 Назовите источники постоянного магнитного поля. Как постоянное магнитное поле воздействует на организм человека?
- 5 Назовите источники электромагнитного поля промышленной частоты, дайте им характеристику.
- 6 Какие последствия для здоровья человека вызывает воздействие электромагнитного поля промышленной частоты?

7 Назовите источники электромагнитного поля радиочастотного диапазона, дайте им характеристику.

8 Какие последствия для здоровья человека вызывает воздействие электромагнитного поля радиочастотного диапазона?

9 Назовите источники инфракрасного излучения, дайте им характеристику. Какие последствия для здоровья человека вызывает воздействие инфракрасного излучения?

10 Назовите источники ультрафиолетового излучения, дайте им характеристику. Какие последствия для здоровья человека вызывает воздействие ультрафиолетового излучения?

11 Что такое предельно допустимый уровень электромагнитного излучения?

12 Характеризуйте ПДУ электростатического поля и постоянного магнитного поля.

13 Характеризуйте ПДУ электромагнитного поля промышленной частоты.

14 Характеризуйте ПДУ электромагнитного поля радиочастотного диапазона.

15 Характеризуйте ПДУ инфракрасного и ультрафиолетового излучения.

3 ШУМОВОЕ И ВИБРАЦИОННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ЕГО ОЦЕНКА

3.1 Шумовое загрязнение

Шумовое загрязнение – это превышение естественного уровня шумового фона или ненормальное изменение звуковых характеристик: периодичности, силы звука и т. п., которые могут негативно отразиться на здоровье человека.

Весь частотный диапазон слышимых звуков разбит на 9 октавных полос: 22,5–45; 45–90; 90–180; от 180–360 до 5 600–11 200 Гц со среднегеометрическими частотами соответственно: 31,5; 63; 125; 250–8 000 Гц.

Звуковой диапазон:

- 1) частота от 20 Гц до 20 000 Гц (20 кГц);
- 2) около 20 000 Гц – верхний порог слуха ребёнка;
- 3) около 14 500 Гц – верхний порог слуха взрослого человека;
- 4) 7 040 Гц – «ля» 5-й октавы;
- 5) 3 520 Гц – «ля» 4-й октавы;
- 6) 1 760 Гц – «ля» 3-й октавы;
- 7) 880 Гц – «ля» 2-й октавы;
- 8) 440 Гц – «ля» 1-й октавы;
- 9) 220 Гц – «ля» Малой октавы;
- 10) 110 Гц – «ля» Большой октавы;
- 11) 17–20 Гц – нижний порог слуха взрослого человека (зависит от человека);
- 12) менее 20 Гц – инфразвук;
- 13) более 20 000 Гц – ультразвук.

Шумовое загрязнение характерно практически для любых техногенных ландшафтов. Источниками шума являются:

- 1) автомобильный транспорт;
- 2) железнодорожный транспорт;
- 3) воздушный транспорт;
- 4) промышленные предприятия;
- 5) строительные машины и механизмы;
- 6) бытовые источники.

Каждый источник характеризуется определенным диапазоном уровня шума (таблица 9).

Последствиями воздействия шумового загрязнения на организм человека могут быть:

- нарушение сна;
- сердечно-сосудистые и нервные расстройства;
- чувство усталости;
- повышенная утомляемость;
- понижение настроения;
- снижение производительности труда;
- ухудшение слуха.

Таблица 9 – Источники шума

Непроизводственный шум	Уровень, дБ	Производственный шум	Уровень, дБ
Шепот, шелест листьев на деревьях	10	Машиностроительный завод	80
Жилая комната	35	Строительство	95
Улица	55	Металлургический завод	99
Магазин	60	Компрессорная станция	100
Легковой автомобиль	77	Газотурбинная энергоустановка	105
Автобус	80	Дисковая пила	105
Грузовой автомобиль	90	Пескоструйный аппарат	115
Железнодорожный транспорт	100	Реактивный двигатель	120–140
Самолет	100	Выстрел из артиллерийского орудия	160–170
Гром	120		
Болевой порог	130		

В общем, в зависимости от уровня и характера шума можно выделить несколько ступеней его воздействия на человека:

1 Отсутствие шума – полное отсутствие шума противостоит, абсолютная тишина угнетает, пребывание в полной тишине более нескольких суток ведет к психическим расстройствам.

2 Шум 20–60 дБА – шумовой фон, постоянно действующий на человека в его повседневной деятельности. Степень вредности такого шума зависит от индивидуального отношения к нему. Первичный шум или шум, воспроизводимый самим человеком, не беспокоит. Шум, превышающий 40 дБА, может создавать повышенную нагрузку на нервную систему, особенно при умственной работе. Воздействие на психику возрастает с увеличением частоты и уровня шума, а также с уменьшением ширины полосы частот шума.

3 Шум 60–80 дБА оказывает психологическое воздействие, создает значительную нагрузку на нервную систему человека (особенно при умственной работе). В результате наблюдается повышенная утомляемость, раздражительность, ослабление внимания, замедление психической реакции, снижение производительности и качества труда. При импульсных и нерегулярных шумах степень воздействия шума повышается.

4 Шум 80–110 дБА оказывает физиологическое воздействие на человека, приводит к видимым изменениям в его организме. Под влиянием шума свыше 80 дБА наблюдается ухудшение слуха. Однако изменения в функциональном состоянии нервной системы и ряда органов наступают значительно раньше, их совокупность характеризуется как шумовая болезнь.

5 Шум выше 110 дБА оказывает травматическое действие на органы слуха. При шуме, превышающем 140 дБА, возможен риск разрыва барабанной перепонки (Егоров, Хабаров, 2016).

Источниками инфразвукового воздействия могут быть землетрясения, бури, ураганы, цунами, мощное оборудование (станки, компрессоры, дизельные двигатели, вентиляторы, реактивные двигатели, транспортные средства). Инфразвук может вызвать боли в ушах, беспричинный страх, утомление, головную боль, головокружение, снижение остроты зрения. Особенно опасны для человека инфразвуковые колебания 4–12 Гц.

Источниками ультразвукового воздействия могут быть ультразвуковое технологическое оборудование, ультразвуковые приборы и аппаратура промышленного, медицинского, бытового назначения, генерирующие ультразвуковые колебания в диапазоне частот от 18 кГц до 100 МГц и выше. К источникам ультразвука относится также оборудование, при эксплуатации которого ультразвуковые колебания возникают как сопутствующий фактор. Негативное влияние ультразвука выражается в нарушении деятельности нервной системы, в снижении болевой чувствительности, в нарушении сосудистого давления, в изменении состава и свойств крови, в нарушении капиллярного кровообращения в кистях рук, в изменении костной структуры с разрежением плотности костной ткани. Кроме того, ультразвук повреждает молекулы ДНК и вызывает мутации.

При нормировании шума используются следующие термины и их определения:

– допустимый уровень (далее – ДУ) шума – такой уровень шума, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к шуму;

– звуковое давление – переменная составляющая давления воздуха или газа, возникающая в результате звуковых колебаний (измеряется в Паскалях, Па);

– максимальный уровень звука – уровень звука, соответствующий максимальному показанию измерительного прибора при визуальном отсчете, или значение уровня звука, превышаемое в течение 1 % времени измерения при регистрации автоматическим устройством (измеряется в децибелах по частотной характеристике А, дБА);

– предельно допустимый уровень шума – уровень шума, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 ч в неделю в течение всей трудовой деятельности, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья человека;

– уровень звука – выраженное в логарифмических единицах отношение среднего квадратического значения звукового давления, скорректированного по стандартизованной частотной характеристике «А», к стандартизованному исходному значению звукового давления, равному 2×10^{-5} Па (дБА);

– уровень звукового давления – выраженное в логарифмических единицах отношение среднего квадратического значения звукового давления в определенной полосе частот к стандартизованному исходному значению звукового давления, равному 2×10^{-5} Па (дБ);

– шум (звук) – упругие колебания в частотном диапазоне, воспринимаемом органом слуха человека, распространяющиеся в виде волн в газообразных средах или образующие в ограниченных областях этих сред стоячие волны;

– эквивалентный по энергии уровень звука непостоянного шума (далее – эквивалентный уровень звука) – уровень звука постоянного широкополосного шума, который имеет такое же среднее квадратическое звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение заданного интервала времени (дБА).

По характеру спектра шум следует подразделять на широкополосный и тональный. Широкополосный шум – шум с непрерывным спектром шириной более одной октавы. Тональный шум – шум, в спектре которого имеются выраженные дискретные (тональные) составляющие. Тональный характер шума для практических целей устанавливается измерением в третьоктавных полосах частот по превышению уровня звукового давления в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ.

По временным характеристикам различают постоянный и непостоянный шум. Постоянный шум – шум, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день (рабочую смену) или за время измерения

в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется во времени не более чем на 5 дБА при измерениях на стандартизованной временной характеристике измерительного прибора «Медленно».

Непостоянный шум – шум, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день (рабочую смену) или за время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется во времени более чем на 5 дБА при измерениях на стандартизованной временной характеристике измерительного прибора «Медленно».

Непостоянный шум подразделяют на колеблющийся, прерывистый и импульсный. Колеблющийся шум – шум, уровень звука которого непрерывно изменяется во времени. Прерывистый шум – шум, уровень звука которого изменяется во времени ступенчато (на 5 дБА и более). При этом длительность интервалов, в течение которых уровень звука остается постоянным, составляет 1 с и более. Импульсный шум – шум, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов. При этом уровни звука, измеренные на стандартизованных временных характеристиках измерительного прибора «Импульс» и «Медленно», отличаются на 7 дБА и более.

Нормируемыми параметрами постоянного шума на рабочих местах и в транспортных средствах являются:

- уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1 000; 2 000; 4 000; 8 000 Гц;

- уровни звука в дБА.

Оценка постоянного шума на рабочих местах на соответствие ПДУ должна проводиться как по уровням звукового давления, так и по уровню звука.

Нормируемыми параметрами непостоянного шума на рабочих местах являются:

- эквивалентный уровень звука в дБА;

- максимальный уровень звука в дБА.

Нормируемыми параметрами постоянного шума в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки являются:

- уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1 000; 2 000; 4 000; 8 000 Гц;

- уровни звука в дБА.

Оценка постоянного шума на соответствие ДУ должна проводиться как по уровням звукового давления, так и по уровню звука.

Нормируемыми параметрами непостоянного шума в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки являются:

- эквивалентный уровень звука в дБА;
- максимальный уровень звука в дБА.

Оценка непостоянного шума на соответствие ДУ должна проводиться как по эквивалентному по энергии, так и по максимальному уровням звука.

Количественные нормативы шума приводятся в таблицах Б.1 и Б.2 Приложения Б.

Измерения шума включают:

- измерение эквивалентного уровня звука;
- измерение максимального уровня звука;
- измерение уровня звука;
- измерение уровня звукового давления в октавных полосах частот;
- измерение уровней звукового давления в третьооктавных полосах частот.

Уровень шума измеряют в помещениях жилых и общественных зданиях с целью определения соответствия допускам по санитарным нормам. При проведении измерения уровня шума используют шумомер, калибратор звука, специальный микрофон, а также штатив. В помещениях площадью менее 20 м² производят измерения в одной точке, если помещение больше 20 м² – в трёх точках, при этом шумомер устанавливается не ближе 1 м от стен и не ближе 1,5 м от окон на высоте 1,2–1,5 м. На территории проводят измерения шума не менее чем в трёх точках, расположенных на расстоянии 2 м от здания, если источник шума внешний.

Для профессионального измерения шума используются специальные приборы – цифровые шумомеры (Mastech MS6701, DT-85A, testo 816-2, BSWA 308, CENTER-326, МЕГЕОН 92132 и многие другие), для относительно грубых измерений могут применяться микрофоны смартфонов и мобильные программы-анализаторы (Шумомер, Шумомер-децибелометр, Decibel Meter), компьютеры (необходимая программа Decibel Reader) с внешними микрофонами.

3.2 Вибрационное загрязнение

Вибрации – механические колебания, возникающие в твердых (упругих) телах. *Вибрационные загрязнения* – это механические колебания в твердых телах, оказывающие негативное воздействие на человека, биоту и технические системы.

В зависимости от способа передачи колебаний человеку вибрацию подразделяют на:

1) общую – передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека (диапазон частот 1–63 Гц);

2) локальную – передающуюся через руки человека; воздействующая на ноги сидящего человека, на предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями рабочих столов, диапазон частот 8–1 000 Гц.

Источники вибрационного загрязнения:

- оборудование промышленных предприятий;
- транспорт;
- строительные машины и механизмы;
- техническое оборудование зданий.

Последствия вибрационного загрязнения:

- изменение рельефа земной поверхности;
- снижение механической прочности грунтов;
- уплотнение грунтов;
- активизация оползней и обвалов;
- проседание поверхности, образование полостей;
- разрушение фундаментов зданий и инженерных сооружений, коммуникаций;

– физиологическое воздействие на человека: нарушение сердечной деятельности, расстройство нервной системы, спазмы сосудов, уменьшение подвижности суставов; при явлении резонанса – механическое повреждение органов вплоть до разрыва;

- беспокоящее и отпугивающее воздействие на животных.

При нормировании вибраций используются следующие термины:

1) допустимый уровень вибрации в жилых помещениях и помещениях административных и общественных зданий – уровень параметра вибрации, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к вибрационному воздействию;

2) локальная вибрация – вибрация, передающаяся через руки человека, воздействующая на ноги сидящего человека или предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями;

3) общая вибрация – вибрация, передающаяся через опорные поверхности на тело стоящего или сидящего человека;

4) предельно допустимый уровень вибрации – уровень параметра вибрации, при котором ежедневная (кроме выходных дней) ра-

бота, но не более 40 ч в неделю в течение всего трудового стажа, не должна вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений;

5) производственная вибрация – вибрация, воздействующая на работника при осуществлении трудовой деятельности;

6) фоновая вибрация – вибрация, регистрируемая в точке измерения и не связанная с исследуемым источником.

По характеру спектра вибрация подразделяется на:

– узкополосную вибрацию, для которой уровень контролируемого параметра в одной третьоктавной полосе частот более чем на 15 дБ превышает уровень в соседних третьоктавных полосах;

– широкополосную вибрацию с непрерывным спектром шириной более одной октавы.

По частотному составу вибрация подразделяется на:

– низкочастотную вибрацию (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1–4 Гц – для общей вибрации, 8–16 Гц – для локальной вибрации);

– среднечастотную вибрацию (8–16 Гц – для общей вибрации, 31,5–63 Гц – для локальной вибрации);

– высокочастотную вибрацию (31,5–63 Гц – для общей вибрации, 125–1 000 Гц – для локальной вибрации).

По временным характеристикам вибрация подразделяется на:

1) постоянную вибрацию, для которой величина нормируемых параметров изменяется не более чем в 2 раза (6 дБ) за время наблюдения при измерении с постоянной времени 1 с;

2) непостоянную вибрацию, для которой величина нормируемых параметров изменяется более чем в 2 раза (6 дБ) за время наблюдения при измерении с постоянной времени 1 с, в том числе:

– колеблющуюся во времени вибрацию, для которой величина нормируемых параметров непрерывно изменяется во времени;

– прерывистую вибрацию, когда контакт человека с вибрацией прерывается, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет более 1 с;

– импульсную вибрацию, состоящую из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов), каждый длительностью менее 1 с при частоте их следования менее 5,6 Гц.

Нормируемыми параметрами постоянной производственной вибрации являются:

– средние квадратические значения виброускорения и виброскорости, измеряемые в октавных или третьоктавных полосах частот, или их логарифмические уровни;

– скорректированные по частоте значения виброускорения или их логарифмические уровни.

Нормируемыми параметрами непостоянной производственной вибрации являются эквивалентные по энергии скорректированные по частоте значения виброускорения или их логарифмические уровни.

Нормируемыми параметрами постоянной и непостоянной вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий являются средние квадратические значения виброускорения и виброскорости и скорректированные по частоте значения виброускорения и (или) их логарифмические уровни (таблица Б.3 Приложение Б).

Для измерения вибраций используются специальные приборы – виброметры. В настоящее время на рынке присутствуют виброметры марок Вибротест-МГ4, ВИБРАН-2.1, ВИБРАН-3.1, ViAna-1, СМ-21 и многие другие.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что такое шумовое загрязнение?
- 2 Какие имеются источники шумового загрязнения?
- 3 Какие последствия для здоровья человека вызывает шумовое загрязнение?
- 4 Какие параметры шума нормируются санитарными службами?
- 5 Что такое вибрационное загрязнение?
- 6 Какие имеются источники вибрационного загрязнения?
- 7 Какие последствия для здоровья человека вызывает вибрационное загрязнение?
- 8 Какие параметры вибраций нормируются санитарными службами?

4 ТЕПЛОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ЕГО ОЦЕНКА

4.1 Тепловое загрязнение и его последствия

Тепловое загрязнение – это форма физического загрязнения, происходящего в результате повышения температуры окружающей среды, главным образом в связи с промышленными выбросами нагретого воздуха, отходящих газов и вод. Может возникать и как вторичный результат изменения химического состава среды. В более широком смысле под тепловым загрязнением понимают один из видов физического загрязнения среды, характеризующийся периодическим или длительным повышением температуры выше естественного уровня. Основными источниками теплового загрязнения являются выбросы в атмосферу нагретых отработанных газов и воздуха, сбрасывание в водоприемники нагретых сточных вод, отработанных вод ТЭЦ.

Теплоэлектростанции, работающие на угле, природном газе, атомной энергии или на биомассе и других отходах, являются серьезными причинами теплового загрязнения. Электростанции обычно строятся рядом с водным объектом, который обеспечивают стабильную подачу воды. Вода преобразуется в пар, который приводит в действие турбины для выработки электроэнергии. Далее вода используется для охлаждения машин, которые сильно нагреваются. Также вода поглощает тепло, а то, что не испаряется, обычно отводится обратно к источнику.

Помимо электростанций, в тепловое загрязнение вносят свой вклад и другие промышленные объекты, такие как нефтеперерабатывающие, целлюлозно-бумажные, химические и сталелитейные заводы. Они также используют воду для охлаждения оборудования и осуществляют сброс воды при повышенных температурах.

Поступление тепла от техногенных источников в окружающую среду приводит к изменению температурного режима ее компонентов: атмосферы, поверхностных вод, почв.

Мощные техногенные источники тепла в случае их высокой концентрации на небольших территориях могут оказывать заметное влияние на тепловой режим этих территорий, пространств, акваторий. Установлено, что температура воздуха зимой в крупных городах обычно на несколько градусов выше, чем поблизости расположенных небольших населенных пунктах.

Любой город представляет собой «остров тепла», который характеризуется повышением температуры относительно прилегающих территорий (рисунок 3).

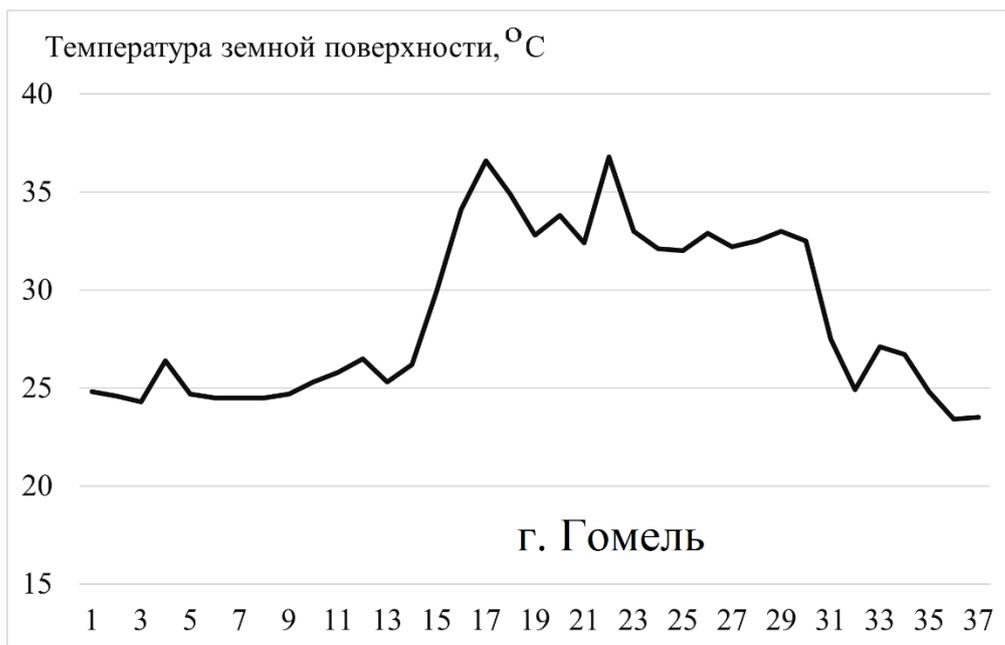


Рисунок 3 – «Остров тепла» над городом Гомелем
(по данным съемки спутника Landsat-8, 20 июня 2022 г.)

Существенно изменяется тепловой режим рек и озер при сбросе в них сточных нагретых вод от тепловых электростанций. В таких водоемах резко меняются условия обитания водных организмов и структура экосистемы.

Наиболее опасно тепловое загрязнение водоемов, так как представители водной биоты неспособны регулировать температуру тела. В результате последствиями теплового загрязнения будут: тепловой шок (вплоть до гибели организмов); смена видов водных биоценозов; заморы; изменение поведения рыб и других живых организмов; изменение процесса нереста и появление нового маршрута перемещения; повышенный рост водорослей (цветение водоема).

Техногенные изменения температурного режима почв и грунтов могут способствовать усилению коррозии материалов и повреждение подземных трубопроводов.

Повышенная температура воздуха в городе, обусловленная эффектом городского острова тепла, это форма теплового загрязнения, вызывающего тепловой дискомфорт, повышенное потребление энергии и ухудшающего здоровье населения. Повышение температурных параметров может угрожать здоровью людей. Особо опасно сочетание теплового загрязнения с волнами тепла.

Волны тепла – это опасное климатическое явление, характеризующееся периодом аномально жаркой погоды, которая проявляется на определённой территории (температура воздуха превышает положен-

ную в этот годовой период норму в течение пяти и более дней подряд). Во время этих периодов возрастает смертность населения, обострение сердечно-сосудистых заболеваний и ухудшение состояния здоровья людей в целом, растёт количество лесных пожаров, падает урожайность сельскохозяйственных культур, происходит загрязнение водных ресурсов. Тепловая волна может стать причиной повышения смертности населения от инфарктов, инсультов или даже суицидов.

Волны тепла часто сопровождаются высоким атмосферным давлением, что создает застойный слой воздуха над уровнем земли и благоприятствует росту загрязнения атмосферы химическими веществами. Тепло также приводит к большему потреблению энергии кондиционерами в зданиях и автомобилях, и это дополнительное энергопотребление приводит к большему загрязнению воздуха.

В криолитозоне тепловое загрязнение ведет к протаиванию многолетнемерзлых пород и активизации соответствующих экзогенных геологических процессов – термокарста, термоэрозии, солифлюкции. *Термокарст* – это процесс вытаивания подземных льдов, сопровождающийся просадкой земной поверхности – котловинами, которые называются *термокарстовыми*. Следствием вытаивания ледяных включений и оттаивания грунтов являются просадки, формирование впадин и других форм специфического отрицательного рельефа местности. Солифлюкция представляет собой процесс вязкого и вязкопластичного течения дисперсного материала, пропитанного водой, вниз по склону. Ее развитию способствуют наличие мерзлого субстрата и накопление на нем воды, которая не может уходить в глубь отложений. Развитие этих процессов на территории городов приводит к деградации оснований и фундаментов зданий и сооружений, повреждениям трубопроводов.

Другим следствием таяния многолетнемерзлых пород может являться вскрытие скотомогильников, которые содержат различные болезнетворные микроорганизмы (например, сибирскую язву), что потенциально несет угрозу распространения эпидемий.

Основная измеряемая характеристика при изучении теплового загрязнения – температура воздуха, почвы, грунта, воды, земной поверхности. Для измерения температур применяются термометры, которые могут быть контактными и неконтактными. Контактные термометры представлены волюметрическими (основаны на взаимосвязи температуры и объема жидкости или газа), диламетрические (основаны на взаимосвязи температуры и объема твердых тел), термоэлектрические (основаны на взаимосвязи температуры и электрического

сопротивления). Неконтактные термометры представлены радиометрами (измерение температуры по собственному тепловому излучению тел), тепловизорами (радиометрическое измерение температуры с пространственной разрешающей способностью и с превращением температурного поля в телевизионное изображение, иногда с цветовым контрастом), пирометры (используют принцип сравнения либо яркости объекта со стандартом яркости, либо цвета объекта с цветом стандарта, либо тепловой энергии, излучаемой объектом, с энергией, испускаемой стандартным излучателем).

Важное значение в мониторинге, картировании, пространственно-временном анализе и оценке, а также в прогнозировании теплового загрязнения имеет дистанционная тепловая (инфракрасная) съемка, выполняемая сенсорами, установленными на космических аппаратах, вертолетах, самолетах, беспилотных летательных аппаратах.

4.2 Космическая съемка при изучении теплового загрязнения

Тепловая съемка (инфракрасная съемка, съемка в ИК диапазоне) – это регистрация электромагнитного излучения объектов в тепловой инфракрасной (ИК) области спектра и представление его в виде изображения. Тепловое излучение, интенсивность которого зависит от температуры, может быть обнаружено приёмниками теплового излучения и преобразовано в видимое изображение, представляющее различия в температуре объектов. Тепловая съемка может осуществляться как в дневное, так и в ночное время. Инфракрасная тепловая съемка может выполняться в диапазоне от 3 до 30 мкм. Однако успешное проведение дистанционных наблюдений земной поверхности со спутников и самолетов, в данном диапазоне, во многом зависит от правильного выбора окон прозрачности атмосферы, т. е. участков электромагнитного спектра, на которых влияние паров воды, атмосферных газов и аэрозолей на излучение Земли минимально. В инфракрасном тепловом диапазоне выделяются два окна прозрачности: 3–5, 8–14 мкм. В этом диапазоне проявляется собственное излучение объектов земной поверхности. На второе окно прозрачности приходится максимум теплового излучения, абсолютный максимум приходится на 10 мкм. Однако в окрестностях полосы 9,6 мкм находится участок сильного поглощения атмосферой, которое связано со стратосферным слоем озона. Поэтому с этим необходимо считаться при дистанцион-

ном зондировании Земли (ДЗЗ). Практически в основном используются окна прозрачности 3–5 мкм, 8–12 или 10–14 мкм. В диапазоне 3–5 мкм тепловую съемку целесообразно проводить в ночное время, так как в дневное время существенные помехи вносит солнечная радиация. Кроме того, учитывая, что рассеяние в инфракрасном диапазоне меньше, чем в видимом, тепловую съемку можно проводить в условиях сильной дымки (обусловленной пожарами или промышленными выбросами) или слабого тумана, в данном случае она имеет существенное преимущество перед телевизионной и фотографической съемкой и позволяет получать снимки с изображением хорошего качества.

При тепловой съемке следует учитывать, что тепловые свойства земной поверхности изменяются в течение суток. Суточный температурный контраст характеризует амплитуду изменения теплового излучения и позволяет выявлять неоднородности, обусловленные различиями тепловых свойств объектов земной поверхности.

Первые системы регистрации теплового излучения были созданы в 1930-х гг. и нашли применение в период Второй мировой войны для обнаружения военных и промышленных объектов. Первые тепловые снимки земной поверхности были получены с метеорологических спутников TIROS, Метеор, дававшими тепловые снимки Земли с пространственным разрешением около 10 км.

Так, снимки с космических спутников «Метеор» были получены в масштабе 1:15000000 с разрешением 17 км. Несколько с более высоким пространственным расширением в 6 км и температурном разрешении 1° С были получены снимки со спутника МОАА. Совершенствование аппаратуры для съемок позволило даже с геостационарных спутников получить инфракрасные тепловые снимки с пространственным разрешением 5 км, а у спутников «Метеостат» нового поколения – 2,5 км.

В СССР с 1978 г. для проведения тепловой съемки с самолета применяли серийный тепловизор «Вулкан», имеющий два спектральных диапазона 3–5 и 8–13 мкм. Для существующих в то время типов летательных аппаратов такая система записи строк обеспечивает получение тепловых аэроснимков масштабов от 1:3000 до 150000, причем оптико-технические показатели позволяют использовать вертолеты Ми-8 и КА-26 для съемок масштаба 1:3000–1:25000, самолеты АН-2, Л-410 – для съемки масштаба 1:20000–1:100000 и АН-30 – для съемок масштаба 1:50000–1:100000. В 1982 г. в США для изучения природных ресурсов Земли создан сканирующий радиометр (ТИМЗ), который имеет шесть спектральных каналов: 8,2–8,6; 8,6–9,0; 9,0–9,4; 9,4–10,2; 10,2–12,2 мкм.

Для тепловой космической съемки используются специальные сканирующие радиометры или же оптико-механические сканеры, которые в отдельных каналах ведут тепловую съемку. В качестве приемников инфракрасного теплового излучения используются фотонные детекторы. Принцип работы которых основан на фотографическом эффекте (фотодиоды) и явлении фотопроводимости (фоторезисторы) в твердых телах. Следует отметить, что максимально достигаемая разрешающая способность по спектру зависит от степени охлаждения детектора. Для получения высокой разрешающей способности в диапазоне 8–13 мкм требуется охлаждение до $-77\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже. Для охлаждения приемников излучения применяют жидкий и газообразный азот. Наиболее перспективный метод охлаждения до $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$ на основе термоэлектрического эффекта при трехкаскадных термоэлектрических охладителях. В основном ИК радиометры поперечного сканирования имеют разрешающую способность по температуре порядка $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и позволяют различать до 10–12 градаций температур их контрастов поверхности с точностью менее $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ при аэросъемке и $2\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ИСЗ. В последнее время отмечена тенденция по разработке систем, где совмещены функции радиометра, спектрорадиометра и тепловизора, позволяющие получать тепловые изображения земной поверхности в нескольких спектральных каналах и одновременно измерять спектральное распределение энергии излучения.

Однако на возможность измерения в инфракрасном диапазоне сильно влияют метеорологические условия (облака, дождь), и поэтому обзор всей поверхности часто оказывается невозможным. Таким образом, при наличии облаков приборы, предназначенные для работы в окнах прозрачности атмосферы ИК диапазона, регистрируют верхнюю поверхность облаков как источник излучения. Поэтому есть специальные радиометры для установления распределения водяного пара работающих на волне 6,7 мкм и облаков на волне 10–12 мкм.

В 2000-х гг. используются спутники, осуществляющие многозональную и гиперспектральную съемки, в том числе в тепловом диапазоне (ASTER, MODIS), установленная на спутниках Terra и Aqua, а пространственное разрешение тепловых снимков повысилось до 1 км у метеорологических систем (MODIS), до 60–90 м – у ресурсных (Landsat, ASTER). Спутники семейства Landsat стали оснащаться сенсором, ведущим съемку в тепловом диапазоне с Landsat-7. Тепловой канал (6 Thermal) спутника Landsat-7 работал в диапазоне 10,4–12,5 мкм с разрешением 120 м. Спутники Landsat-8 и Landsat-9 оснащены 2 тепловыми каналами (TIRS – Thermal Infrared Sensor), которые снимают

соответственно в диапазонах 10,60–11,19 и 11,50–12,51 мкм с разрешением 100 м. Съёмочная система ASTER спутника Terra оснащена подсистемой для ведения съёмки в тепловом диапазоне – TIR, включающей 10 (8,125–8,475 мкм), 11 (8,475–8,825 мкм), 12 (8,925–9,275 мкм), 13 (10,25–10,95 мкм), 14 (10,95–11,65 мкм) каналы. Разрешающая способность 90 м. На основе многозональной съёмки сенсора MODIS спутника Terra разработан продукт MOD11_A2, содержащий композит из средних температур за 8 суток с разрешением 1 км (в градусах Кельвина).

Основные направления использования ИК тепловой съёмки при решении экологических задач:

- оценка влажности массивов грунтов;
- изучение выходов подземных вод;
- изучение процессов подтопления;
- выявление мест утечек сточных вод из трубопроводов;
- выявление мест сброса сточных вод в водные объекты;
- выявление мест поступления загрязнённого стока в водные объекты – реки, озера, моря;
- картирование температуры земной и водной поверхности;
- картирование и оценка теплового загрязнения;
- картирование загрязнения нефтью и нефтепродуктами;
- диагностика состояния теплосетей, газопроводов, нефтепроводов, продуктопроводов для выявления аварийно-опасных и аварийных участков;
- обнаружение очагов возгорания, мониторинг пожаров;
- изучение «островов тепла» городских ландшафтов.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что такое тепловое загрязнение окружающей среды?
- 2 Назовите источники теплового загрязнения.
- 3 Назовите экологические последствия теплового загрязнения.
- 4 Какова роль космических методов в картировании и мониторинге теплового загрязнения окружающей среды?
- 5 Какой диапазон электромагнитного спектра используется для тепловой космической съёмки?
- 6 Какие спутниковые системы и сенсоры могут быть использованы для тепловой (инфракрасной) съёмки земной поверхности?
- 7 Назовите примеры использования космической тепловой съёмки для изучения загрязнения поверхностных вод.

5 ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

5.1 Физические основы использования геоэлектрических методов для изучения химического загрязнения компонентов геологической среды

Геоэлектрические методы (электроразведка) являются наиболее надежным методом геофизики, который используется для картирования и оценки загрязнения компонентов геологической среды – почв, грунтов, подземных вод различными техногенными источниками.

Геологическая среда характеризуется следующими электромагнитными свойствами:

- удельной электропроводностью σ или удельным электрическим сопротивлением (УЭС) $\rho = \frac{1}{\sigma}$;
- диэлектрической проницаемостью ϵ ;
- магнитной проницаемостью μ ;
- естественная электрохимическая активность среды α – способность породы поляризоваться под действием различных процессов;
- вызванная поляризуемость среды η – способность породы поляризоваться при протекании через среду электрического тока.

Основной электромагнитный параметр, который используется при изучении химического загрязнения, – удельное электрическое сопротивление. В основе метода сопротивлений лежит зависимость электрического поля, наблюдаемого на земной поверхности, от удельного электрического сопротивления геологического разреза.

Корреляционные связи между удельным электрическим сопротивлением и параметрами геологической среды описываются общей формулой зависимости ρ от основных влияющих факторов (Электроразведка..., 2013):

$$\rho = P_{\Pi} \cdot P_{В} \cdot P_{Г} \cdot P_{Т} \cdot \rho_{В},$$

- где P_{Π} – параметр пористости;
 $P_{В}$ – параметр влажности;
 $P_{Г}$ – параметр глинистости;
 $P_{Т}$ – температурный параметр;
 $\rho_{В}$ – сопротивление поровой влаги.

Для описаний указанной зависимости (для неглинистых пород) используется также более простая формула Арчи (Электроразведка..., 2013):

$$\rho_{\Pi} = P_{\Pi} \cdot \rho_{\text{в}},$$

т. е. сопротивление породы прямо пропорционально сопротивлению воды в порах.

Необходимо отметить, что параметры пористости, влажности, глинистости и температуры уменьшаются с увеличением, соответственно, пористости, влажности, глинистости и температуры. Таким образом, повышение каждого из указанных факторов ведет к уменьшению сопротивления породы.

Использование электроразведки при оценке и картографировании загрязнения подземных вод основано на взаимосвязи между их электрическим сопротивлением и засолением, т. е. содержанием солей. Удельное электрическое сопротивление воды зависит от ее минерализации и состава растворенных веществ (рисунок 4), а электрическое сопротивление рыхлых грунтов – от минерализации воды в порах и глинистости (рисунок 5).

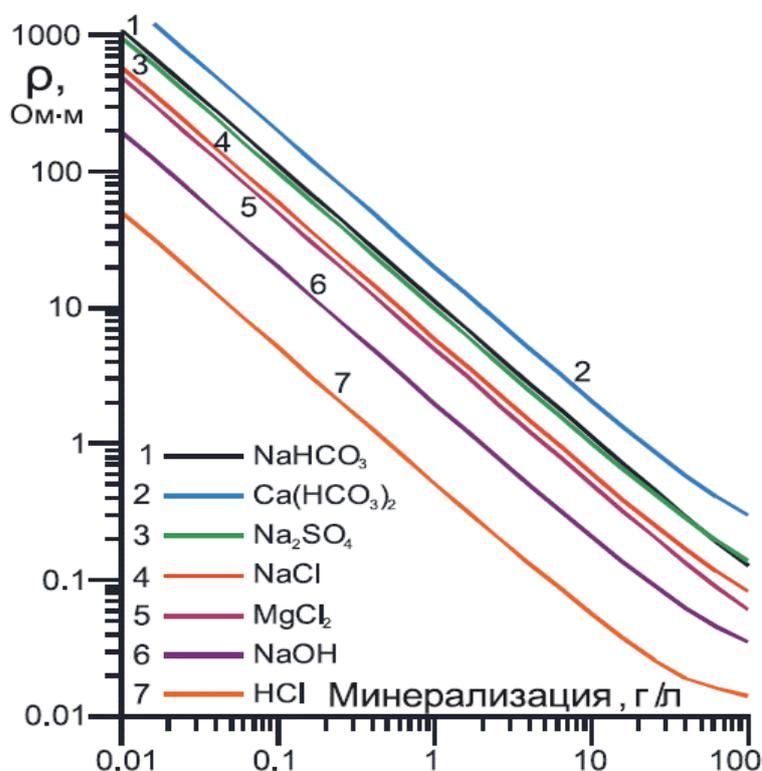


Рисунок 4 – Зависимость удельного электрического сопротивления воды от минерализации и химического состава (цит. по Электроразведка..., 2013)

Присутствие в горной породе глинистой составляющей, как правило, приводит к уменьшению УЭС. В терригенных отложениях (пески, супеси, суглинки, глины) соотношение между фракциями глин и песков может меняться в больших пределах – от 0 % глинистости до 100 %. Чистые пески без примеси глины встречаются довольно редко. Такая же ситуация имеет место в карбонатных породах, где можно наблюдать постепенный переход от глин через мергели к известнякам (Электроразведка..., 2013).

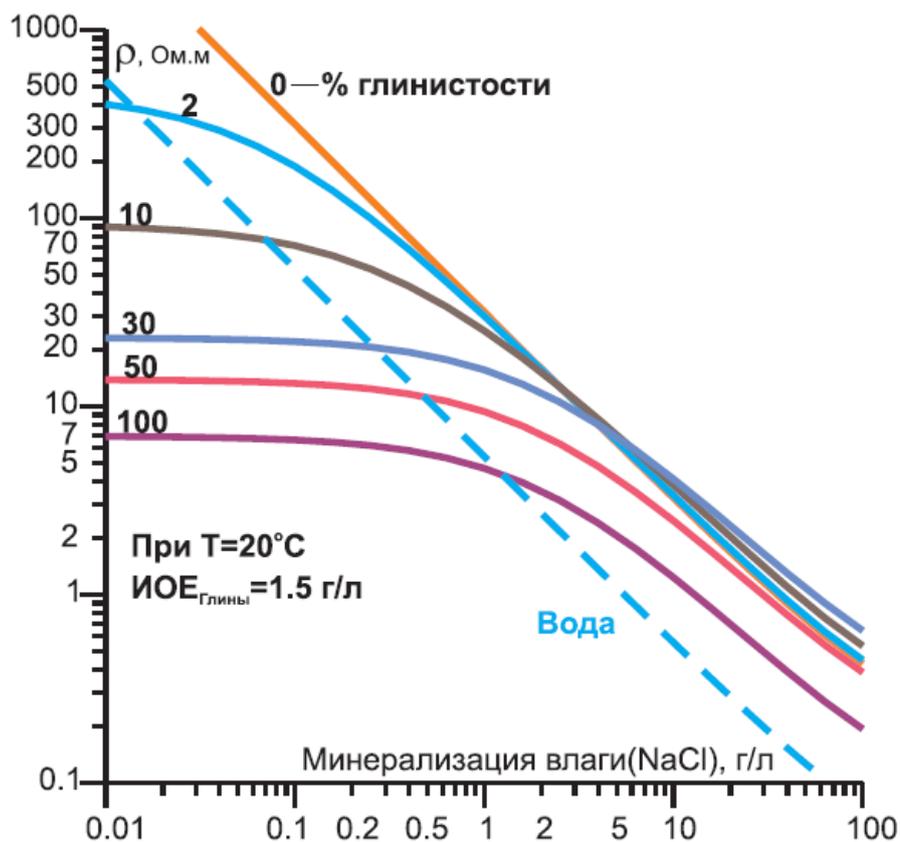


Рисунок 5 – Зависимость удельного электрического сопротивления грунтов от минерализации воды в порах (цит. по Электроразведка..., 2013)

Технологические разновидности метода сопротивлений:

1 Электропрофилирование (ЭП) – измерительная установка перемещается по профилю без изменения своей конфигурации. Так как геометрия установки не меняется, глубина исследования остается примерно постоянной. Эта методика предназначена для картирования горизонтальных неоднородностей геоэлектрического разреза.

2 Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) – на каждой точке наблюдений проводятся измерения при возрастающих размерах

(разносах) установки. С помощью электрических зондирований исследуют распределение удельного электрического сопротивления пород с глубиной.

3 Круговое (азимутальное) электропролирование и зондирование – в каждой точке проводятся измерения при различных направлениях оси установки (ее азимута). Эта специальная методика используется для исследования сред с азимутальной анизотропией сопротивления.

4 Электротомография объединяет методики зондирования и профилирования. Особенностью такой методики является применение автоматической двумерной инверсии при интерпретации.

5 Резистивиметрия – измерения удельного электрического сопротивления поверхностных и подземных вод, почв, грунтов. Может проводиться как в полевых условиях, так и в лабораторных (измерения сопротивления проб воды, водных вытяжек и паст проб почв и грунтов).

Изучение явлений поляризации (естественное электрическое поле – ЕП) в комплексе с методами сопротивлений расширяют возможности электроразведки при изучении загрязнения, а именно позволяя решать следующие задачи:

- 1) определение мест инфильтрации и разгрузки загрязненных вод;
- 2) определение направления движения фронта загрязненных вод по горизонтали;
- 3) определение скорости движения загрязненных вод;
- 4) выявление металлических техногенных объектов, которые могут являться источниками загрязнения.

5.2 Использование геоэлектрических методов при изучении химического загрязнения геологической среды

При изучении химического загрязнения геологической среды геоэлектрическими методами решаются следующие задачи:

- 1) картирование и оценка загрязнения поверхностных вод методом резистивиметрии;
- 2) картирование и оценка загрязнения почв методом резистивиметрии;
- 3) картирование и оценка загрязнения грунтов зоны аэрации методами ВЭЗ и ЭП;
- 4) картирование и оценка загрязнения подземных вод методами ВЭЗ и ЭП;

5) определение происхождения источника загрязнения (комплекс методов – ВЭЗ, ЭП, резистивиметрия, ЕП);

6) определение глубины, направления, скорости движения фронта загрязнения в геологической среде (комплекс методов – ВЭЗ, ЭП, резистивиметрия, ЕП).

Кроме того, геоэлектрические методы используются при изучении защищенности подземных вод от воздействия поверхностных источников загрязнения.

Резистивиметрия поверхностных вод позволяет определить фоновые значения минерализации в водоемах различного типа, выявить водоемы с аномально высокой минерализацией, которые могут быть источниками загрязнения грунтовых вод (при инфильтрации) или, наоборот, образовываться при разгрузки загрязненных подземных вод.

Резистивиметрия почв (почвогрунтов) является оперативным и малозатратным экспресс-методом диагностики их загрязнения. На рисунке 6 показаны результаты площадной резистивиметрии почвенного покрова в зоне влияния озера-отстойника сточных вод химического предприятия. Четко видны направления движения загрязненного поверхностного стока, происходящие в весенний период. Зона с УЭС менее 25 Ом·м характеризуется максимальным засолением почв, которое отражается на растительном покрове. Фоновые значения УЭС для почв в данном ландшафте составляют более 100 Ом·м.

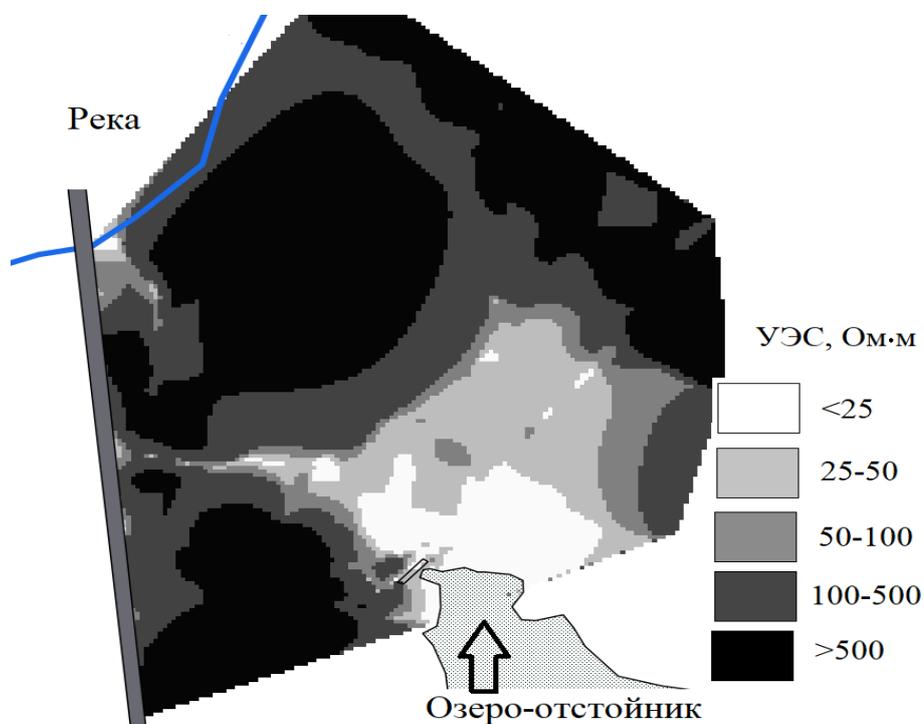


Рисунок 6 – Оценка загрязнения почв методом резистивиметрии

Широко распространенной в геологической среде городов проблемой является засоление почв и грунтов при использовании песчано-солевых смесей в зимний период для борьбы с гололедом. Песчано-солевая смесь (пескосоль) представляет собой смесь технической соли (хлористый натрий) и песка в различных пропорциях (доля соли составляет до 10–30 %). Пескосоль активно используется на автомобильных дорогах, пешеходных частях улиц, площадях. Эта смесь быстро плавит лед и улучшает коэффициент сцепления. После таяния снега солевая часть может задерживаться в почвах (техноземах, урбоземах), близлежащих к полотну дороги участках.

Для оценки засоления городских почв вдоль дорог предложен комплекс, включающий метод резистивиметрии (измерение сопротивления почв на глубине 5–10 см) и фитоиндикацию (оценку жизненного состояния деревьев – Ln индекс). На примере города Гомеля и Гомельского района было установлено, что в лесных массивах дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы характеризовались высокими значениями УЭС – сотни и тысячи Ом·м, тогда как на территории города УЭС урбоземов изменялось от 13,0 до 1 666,7 Ом·м (среднее 257,4). Снижение УЭС (т. е. рост засоления) сопровождается уменьшением значений индекса Ln (коэффициент детерминации R^2 составил 0,58). Взаимосвязь между индексом жизненного состояния и УЭС почв описывается логарифмической зависимостью (рисунок 7).

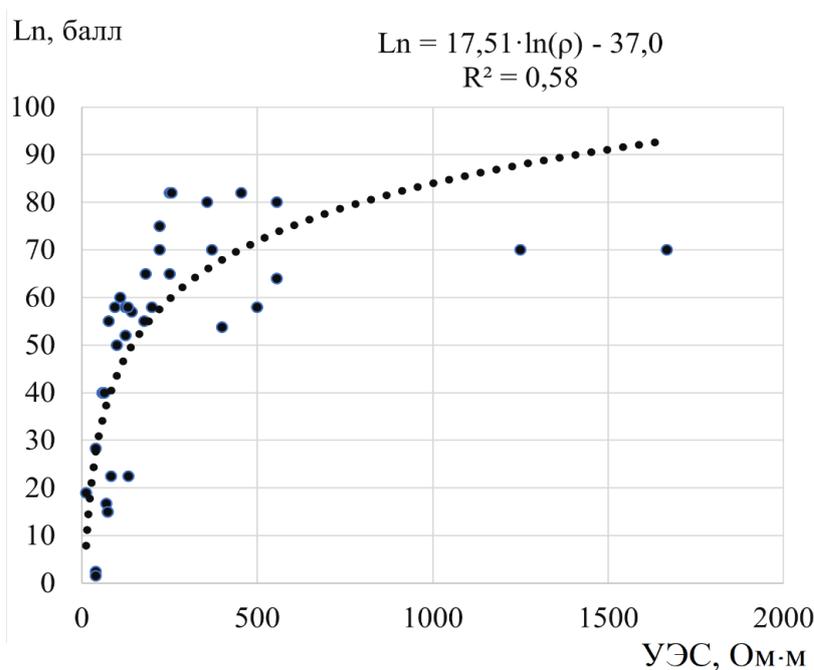


Рисунок 7 – Взаимосвязь между жизненным состоянием деревьев (Ln) и УЭС городских почв

Преимуществом геоэлектрических методов перед геохимическими методами является их возможность изучать распространение загрязнения по вертикали, оценивать глубину проникновения фронта загрязняющих веществ. На рисунке 8 показан разрез кажущегося электрического сопротивления, полученный на основе шести точек ВЭЗ, которые расположены по профилю, пересекающему поток загрязненного поверхностного стока от полигона отходов химического производства. Непосредственно под поверхностным потоком имеет место аномалия низкого сопротивления, указывающая на инфильтрации загрязненных вод в грунтовые воды.



Рисунок 8 – Разрез кажущегося электрического сопротивления (КЭС) в зоне влияния загрязненного поверхностного стока

Анализ геоэлектрического разреза позволяет выявлять как поверхностные, так и глубинные (эндогенные) источники загрязнения (рисунок 9).

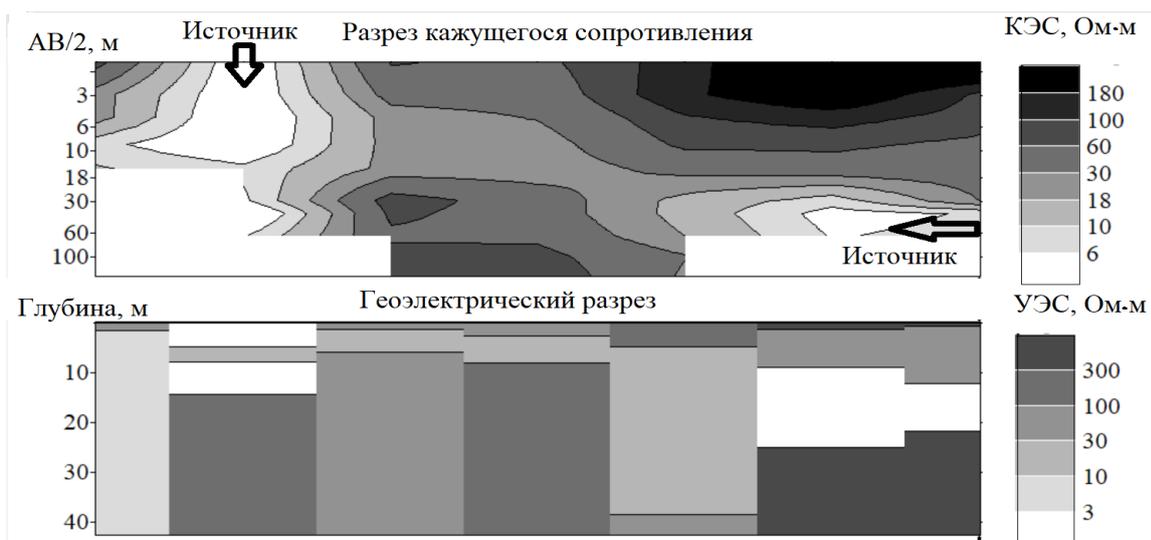


Рисунок 9 – Диагностика поверхностного и глубинного источников загрязнения геологической среды на основе ВЭЗ

Поверхностный источник загрязнения характеризуется аномалией низкого сопротивления, в которой минимальные значения КЭС и УЭС приурочены в верхнему слою (слева на рисунке 9). С глубиной сопротивление возрастает. По геоэлектрическому разрезу можно оценить глубину проникновения загрязнения: в рассматриваемом примере – около 15 м.

Глубинный источник загрязнения проявляется в аномалии низкого сопротивления, приуроченной к горизонтам напорных подземных вод (справа на рисунке 9). При этом выше по разрезу наблюдаются относительно высокие значения сопротивления. Направление движения вод уточняется по результатам метода ЕП: положительные аномалии потенциала или градиента потенциала естественного электрического поля указывают на разгрузку подземных вод; отрицательные аномалии – на инфильтрацию с поверхности.

5.3 Каппаметрия при изучении химического загрязнения геологической среды

Каппаметрия может служить экспресс-методом приближенной оценки уровня загрязнения почв тяжелыми металлами (Миков, 1999). Метод каппаметрии основан на измерении магнитной восприимчивости (т. е. способности намагничиваться) почв и грунтов, величина которой положительно коррелирует с содержанием тяжелых металлов. Магнитная восприимчивость зависит от концентрации ферромагнитных компонентов (ферромагнетиков). К ферромагнетикам относятся: минералы – магнетит, титаномагнетит, пирротин; металлы – железо, кобальт, никель.

Для измерения магнитной восприимчивости в полевых условиях используются специальные приборы – каппаметры. Глубинность исследования – несколько сантиметров.

Наилучшие результаты каппаметрия показывает при изучении загрязнения почв техногенным магнетитом, поступающим туда с выбросами металлургии, теплоэнергетики на угле, автомобилей (Водяницкий, Шоба, 2015). Весьма значительную величину магнитной восприимчивости имеет пыль сталеплавильного производства и зола, образующегося при сжигании каменного угля. Содержание магнетита и других магнитных минералов в техногенных почвах превышает фоновое значения в десятки и сотни раз, что в свою очередь обуславливает аномально высокие значения магнитной восприимчивости.

Имеются примеры использования каппаметрии для изучения загрязнения почв городов тяжелыми металлами (Водяницкий, Шоба, 2015; Гладышева и др., 2007; Магнитная восприимчивость..., 2021; Гончаров и др., 2023). Так, на территории города Междуреченск Кемеровской области проведено исследования магнитной восприимчивости и содержания тяжелых металлов в дорожной пыли и почвах (Магнитная восприимчивость..., 2021). Была установлена корреляция между содержанием железа в дорожной пыли и величиной магнитной восприимчивости (коэффициент детерминации составил 0,52), между содержанием хрома и величиной магнитной восприимчивости (коэффициент детерминации составил 0,335), между магнитной восприимчивостью пыли и почв (0,705). Связь между магнитной восприимчивостью и содержанием кобальта оказалась недостоверной (рисунок 10).

На территории Уфы исследования показали, что зонам опасного загрязнения тяжелыми металлами соответствуют аномалии высокого содержания магнитной восприимчивости в почвах в зоне влияния выбросов металлургических и металлообрабатывающих предприятий (Гончаров и др., 2023).

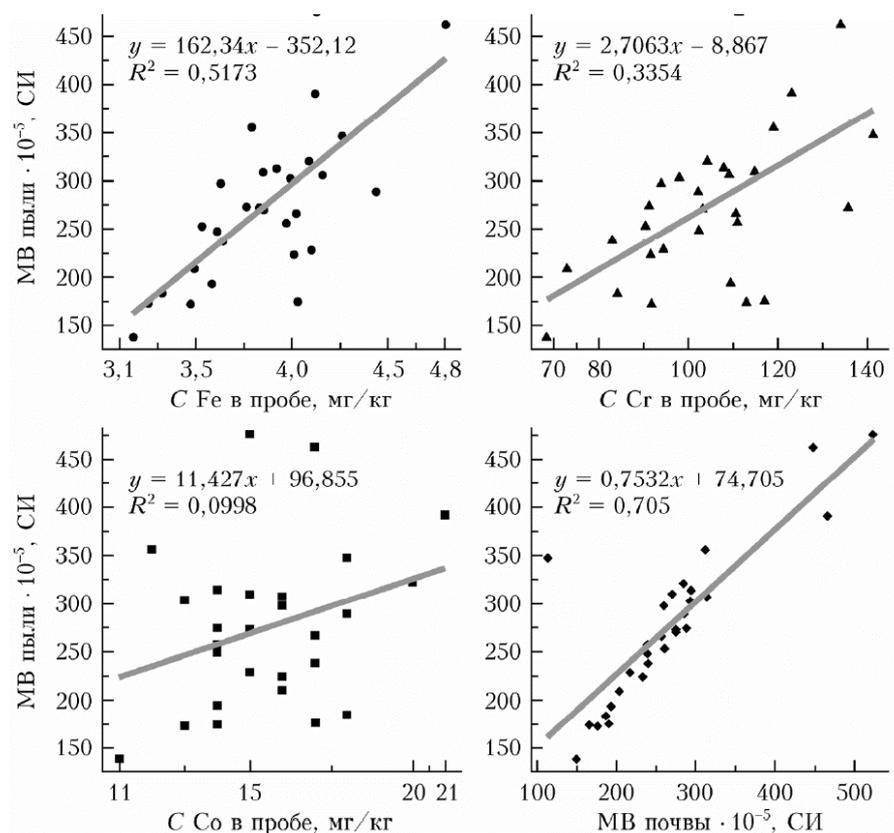


Рисунок 10 – Взаимосвязь между магнитной восприимчивостью (МВ) и содержанием тяжелых металлов (Магнитная восприимчивость..., 2021)

Вопросы для самоконтроля

- 1 От каких факторов зависит удельное электрическое сопротивление геологической среды?
- 2 Как удельное электрическое сопротивление пород связано с минерализацией воды в породах?
- 3 Какие модификации имеет метод сопротивлений?
- 4 Какие задачи решают геоэлектрические методы сопротивлений при изучении загрязнения геологической среды?
- 5 Как по геоэлектрическому разрезу можно различить влияние поверхностных и глубинных источников загрязнения?
- 6 Какие задачи решает метод естественного электрического поля при изучении загрязнения геологической среды?
- 7 Что такое капаметрия и как она может использоваться при изучении загрязнения геологической среды?
- 8 Какие другие методы геофизики по вашему мнению могут быть использованы для изучения химического загрязнения геологической среды? Обоснуйте.

6 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКЕ

6.1 Оценка электромагнитного загрязнения в помещениях с помощью тестера электромагнитного поля

Цель работы: оценить напряженность электромагнитного поля в помещениях от разных источников.

Материалы: тестер электромагнитного поля (5 Гц – 500 МГц).

Ход работы:

1 Изучить порядок работы с аппаратурой для измерения электромагнитного поля бытовой частоты.

2 Измерить характеристики электромагнитного поля (напряженность электрического поля, напряженность магнитного поля) на различном расстоянии от следующих источников излучения:

- микроволновая печь;
- компьютер;
- холодильник;
- утюг;
- телевизор;
- электрощит;
- электрическая розетка и другие.

3 Занести полученные результаты в таблицу 10.

4 Выводы:

- какие из рассмотренных источников характеризуются наибольшими значениями напряженности электрического поля;
- какие из рассмотренных источников характеризуются наибольшими значениями напряженности магнитного поля;
- оценить полученные данные относительно установленных предельно-допустимых уровней;
- провести анализ, как изменяется напряженность электрического поля с расстоянием от источника;
- провести анализ, как изменяется напряженность магнитного поля с расстоянием от источника.

Таблица 10 – Результаты измерения электромагнитного поля от бытовых источников в помещении

Источник	Показатель	Расстояние от источника, м				
		0,1	0,5	1,0	2,0	3,0
Микроволновая печь	Напряженность электрического поля, V/m					
	Напряженность магнитного поля, μT					
Компьютер	Напряженность электрического поля, V/m					
	Напряженность магнитного поля, μT					
Холодильник	Напряженность электрического поля, V/m					
	Напряженность магнитного поля, μT					
Утюг	Напряженность электрического поля, V/m					
	Напряженность магнитного поля, μT					
Телевизор	Напряженность электрического поля, V/m					
	Напряженность магнитного поля, μT					
Электрощит	Напряженность электрического поля, V/m					
	Напряженность магнитного поля, μT					
Электрическая розетка	Напряженность электрического поля, V/m					
	Напряженность магнитного поля, μT					

6.2 Оценка электромагнитного загрязнения городского ландшафта с помощью тестера электромагнитного поля

Цель работы: оценка напряженности электрического и магнитного поля, создаваемого различными техногенными источниками в городе.

Материалы: тестер электромагнитного поля (5 Гц – 500 МГц).

Ход работы:

1 Изучить порядок работы с аппаратурой для измерения электромагнитного поля бытовой частоты.

2 Измерить характеристики электромагнитного поля (напряженность электрического поля, напряженность магнитного поля) на различном расстоянии от линии электропередач.

3 Измерить характеристики электромагнитного поля (напряженность электрического поля, напряженность магнитного поля) на различном расстоянии от подземной кабельной линии напряжения, кабельной линии связи.

4 Измерить характеристики электромагнитного поля (напряженность электрического поля, напряженность магнитного поля) на различном расстоянии от воздушной контактной сети троллейбусной линии.

5 Занести полученные в результате в таблицу 11.

6 Выводы:

– какие из рассмотренных источников характеризуются наибольшими значениями напряженности электрического поля;

– какие из рассмотренных источников характеризуются наибольшими значениями напряженности магнитного поля;

– оценить полученные данные относительно установленных предельно-допустимых уровней;

– провести анализ, как изменяется напряженность электрического поля с расстоянием от источника;

– провести анализ, как изменяется напряженность магнитного поля с расстоянием от источника.

Таблица 11 – Результаты измерения электромагнитного поля в городском ландшафте

Источник	Показатель	Расстояние от источника, м				
		0	5	10	20	30
1	2	3	4	5	6	7
Воздушная линия электропередач	Напряженность электрического поля, V/m					
	Напряженность магнитного поля, μT					
Подземная кабельная линия напряжения	Напряженность электрического поля, V/m					
	Напряженность магнитного поля, μT					

Окончание таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7
Подземная кабельная линия связи	Напряженность электрического поля, В/м					
	Напряженность магнитного поля, мТ					
Воздушная контактная сеть троллейбусной линии	Напряженность электрического поля, В/м					
	Напряженность магнитного поля, мТ					

6.3 Изучение шумового загрязнения городского ландшафта с помощью шумомера

Цель работы: оценка шумового загрязнения на улицах города.

Материалы: шумомер.

Ход работы:

1 Изучить устройство и порядок работы с шумомером.

2 Измерить уровень шума в помещениях: аудитории, коридор, жилые помещения.

3 Измерить уровень шума на улицах: вблизи проезжей части, в дворах домов, на перекрестках.

4 Занести полученные в результаты в таблицу 12.

5 Выводы:

– как изменяется уровень шума в помещениях;

– как изменяется уровень шума на улицах;

– где обнаружены превышения предельно допустимого уровня шума;

– провести анализ, как изменяется уровень шума с расстоянием от проезжей части автомобильной магистрали.

Таблица 12 – Результаты измерения шума в городском ландшафте

Объект	Средняя величина уровня шума, дБ	Максимальная величина уровня шума, дБ
1	2	3
Жилые помещения		
Аудитории университета		

1	2	3
Коридор		
Улица		
.....		

6.4 Изучение городских «островов тепла» с помощью космической съемки спутников семейства Landsat

Цель работы: картирование, анализ и оценка городских «островов тепла» на территории региона на основе анализа снимков спутника Landsat-8 (Landsat-9).

Материалы: снимки спутника Landsat-8 (Landsat-9).

Ход работы:

1 Скачать летние и зимние снимки спутника Landsat-8 (Landsat-9), сцены которых показывают города, указанные в таблице 13.

2 Загрузить снимки в проект QGIS.

3 Провести атмосферную коррекцию снимков в модуле SemiAutomatic Classification Plugin (SCP), задав опцию пересчета температур земной поверхности в градусах Цельсия.

4 Загрузить базовую карту (OpenStreetMap или Яндекс.Карты или любой аналог).

5 В пределах сцены создать векторные полигональные объекты, представляющие города (городская застройка) и их периферийные зоны 10 км в радиусе (лесные массивы, сельскохозяйственные земли).

6 С помощью модуля «Зональная статистика» определить статистические характеристики (среднее, медиана, стандартное отклонение, минимум, максимум) температуры земной поверхности городов и их периферийных зон (таблица 13).

7 Выводы:

– какие перепады температур земной поверхности характерны между городской застройкой и периферийной зоной;

– дать сравнительную характеристику тепловых аномалий разных городов;

– для каких городов характерен наибольший контраст температур земной поверхности и почему;

– как меняются перепады температур земной поверхности между городской застройкой и периферийной зоной в зависимости от времени года;

– каковы причины обнаруженных тепловых аномалий.

Таблица 13 – Результаты изучения «островов тепла» городов (средняя температура земной поверхности, градусы Цельсия)

Город	Лето			Зима		
	1	2	ΔT	1	2	ΔT
Гомель						
Ветка						
Добруш						
Речица						
Светлогорск						
Жлобин						
Буда-Кошелево						
Калинковичи						

Примечание: 1 – городская застройка; 2 – периферийная зона; ΔT – амплитуда температур

6.5 Оценка теплового загрязнения городского ландшафта с помощью космической съемки спутников семейства Landsat

Цель работы: анализ и оценка теплового загрязнения на территории города на основе анализа снимков спутника Landsat-8 (Landsat-9).

Материалы: снимки спутника Landsat-8 (Landsat-9).

Ход работы:

1 Скачать летние и зимние снимки спутника Landsat-8 (Landsat-9), сцены которых показывают крупный город.

2 Загрузить снимки в проект QGIS.

3 Провести атмосферную коррекцию снимков в модуле SemiAutomatic Classification Plugin (SCP), задав опцию пересчета температур земной поверхности в градусах Цельсия.

4 Загрузить базовую карту (OpenStreetMap или Яндекс.Карты или любой аналог).

5 В пределах городской территории создать векторные полигональные объекты, представляющие районы и (или) функциональные зоны города.

6 С помощью модуля «Зональная статистика» определить статистические характеристики (среднее, медиана, стандартное отклонение, минимум, максимум) температуры земной поверхности для каждого района и (или) функциональной зоны (таблица 14).

7 Выводы:

- какая из функциональных зон (районов) города характеризуется наибольшим тепловым загрязнением;
- дать сравнительную характеристику температур земной поверхности с разных функциональных зон (районов) города;
- с какими объектами связаны максимумы температур.

Таблица 14 – Пространственная структура теплового загрязнения городского ландшафта

Функциональная зона	Температура земной поверхности, °С				
	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум
Селитебная					
Промышленная					
Рекреационная					
Складская					
Коммунальная					
Транспортная инфраструктура					

6.6 Изучение теплового загрязнения с помощью наземной термометрии

Цель работы: выявление температурных аномалий в городском ландшафте на основе измерений ИК-термометром (пирометром).

Материалы: портативный ИК-термометр (пирометр), термометры для измерения температуры воздуха, почв, воды.

Ход работы:

1 Изучить устройство и принцип работы термометров, методику измерения температуры различных объектов.

2 Провести термометрические исследования объектов в городском ландшафте (асфальтовые покрытия, тротуары, газоны, клумбы, пустыри, парки, стены зданий); измерить температуру поверхности, почвы на глубине 5 см и воздуха на высоте 1,5 м.

3 Провести термометрические исследования в пригородном ландшафте (сады, огороды, луга, леса); измерить температуру поверхности, почвы на глубине 5 см и воздуха на высоте 1,5 м.

4 Провести термометрические исследования водоемов в пределах городской застройки и за ее пределами.

5 Занести полученные результаты в таблицу 15.

6 Выводы:

– в каких пределах колеблется температура воздуха для объектов одного типа;

– в каких пределах колеблется температура поверхности для объектов одного типа;

– в каких пределах колеблется температура почв для объектов одного типа;

– как коррелируют между собой температура воздуха, поверхности и почв;

– влияет ли городская застройка на температуру воды в водоемах;

– дайте объяснения причин неоднородности температур в пространстве;

– выделите объекты с наиболее высокими температурами, дайте им характеристику.

Таблица 15 – Результаты термометрических исследований

Объект	Температура, °С			Время измерения
	Воздух	Поверхность	Почва	
.....				
.....				
.....				
.....				
....				

6.7 Изучение загрязнения поверхностных и подземных вод методом резистивиметрии

Цель работы: оценка химического загрязнения поверхностных и подземных вод с помощью резистивиметрии.

Материалы: портативный резистивиметр (солемер), пробы воды.

Ход работы:

1 Изучить принцип действия, устройство и порядок измерения резистивиметра.

2 Отобрать пробы воды из различных водных объектов (лужи, пруды, озера, ручьи, реки, родники, колодцы).

3 Измерить удельное электрическое сопротивление (удельную электропроводность) проб вод.

4 Определить минерализацию проб воды.

5 Занести данные в таблицу 16.

6 Выводы:

– в каких пределах изменяется электрическое сопротивление воды, отобранной из различных объектов;

– в каких пределах изменяется минерализация воды, отобранной из различных объектов;

– где обнаружены наибольшие значения минерализации воды;

– превышает ли предельно допустимая для питьевых вод величина минерализации;

– дайте объяснения причин повышения минерализации вод.

Таблица 16 – Результаты резистивиметрии проб воды

Объект	Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	Минерализация, г/дм ³
Пруд 1		
Пруд 2		
Залив реки Сож		
Ручей Лесной		
Колодец в деревне Цыкуны		
Родник по улице Подгорной		

6.8 Изучение засоления почв методом резистивиметрии

Цель работы: оценка засоления почв с помощью резистивиметрии.

Материалы: портативный резистивиметр.

Ход работы:

1 Изучить принцип действия, устройство и порядок измерения резистивиметра.

2 Провести измерения удельного электрического сопротивления почв и грунтов на глубине 5 см в различных условиях: вблизи проезжей части автомобильных дорог, на газонах, клумбах, в огородах и садах, на пустырях, лугах и в лесу.

3 Провести статистическую обработку полученных результатов.

4 Занести данные в таблицу 17.

5 Выводы:

- в каких пределах изменяется электрическое сопротивление почв;
- в каких пределах изменяется электрическое сопротивление в городе и вне города;
- где обнаружены наименьшие значения электрического сопротивления почв;
- дайте объяснения аномалий низкого сопротивления почв и свяжите их с вероятным засолением.

Таблица 17 – Результаты резистивиметрии почв

Объект	Удельное электрическое сопротивление, Ом·м				
	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Минимальное	Максимальное
....					
....					
....					
....					
.....					

6.9 Геоэлектрические методы при картировании и оценке химического загрязнения зоны аэрации и грунтовых вод

Цель работы: выявить ареал химического загрязнения грунтовых вод на основе электрического профилирования, определить направление его движения методом естественного электрического поля.

Материалы: данные электрического профилирования на расстояниях $AB = 10$ м и $AB = 20$ м (таблица 18) и данные съемки потенциала естественного электрического поля (таблица 19).

Ход работы:

1 Используя таблицы 18 и 19 построить карты в изолиниях кажущегося электрического сопротивления на разносах АВ = 10 м и АВ = 20 м, карту в изолиниях потенциала естественного электрического поля.

2 Выделить аномалии пониженного электрического сопротивления, соответствующие загрязненной зоне аэрации и загрязненным грунтовым водам.

3 Изучить, как изменяется сопротивление с глубиной.

4 На карте изолиний потенциала естественного электрического поля выделить места разгрузки и питания грунтовых вод.

5 Определить направление движения фронта загрязнения по вертикали и по горизонтали.

6 Выводы:

– в каких пределах изменяется кажущееся электрическое сопротивление зоны аэрации;

– как изменяется кажущееся электрическое сопротивление в грунтовом водоносном горизонте;

– установить характеристики аномалии низкого кажущегося электрического сопротивления, связанной с загрязнением.

Таблица 18 – Результаты электрического профилирования (кажущееся электрическое сопротивление, Ом·м)

№ пикета	Профиль				
	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
1	350,2* 120,0**	350,2 110,2	350,2 120,0	350,6 110,4	350,2 104,5
2	310,5 230,0	310,5 201,0	310,5 200,0	310,1 190,0	310,5 140,0
3	300,3 220,0	300,3 232,0	300,3 230,0	310,2 190,0	300,3 129,0
4	300,2 250,0	300,2 240,0	300,2 120,0	290,3 145,0	300,2 101,9
5	290,6 201,0	230,0 200,0	299,0 120,9	280,3 145,0	290,0 100,0
6	300,0 210,0	190,0 110,0	267,0 120,0	250,4 100,0	120,5 56,0
7	290,0 200,0	150,9 120,0	288,0 120,0	300,1 130,0	101,4 30,5

Окончание таблицы 18

1	2	3	4	5	6
8	310,0	100,0	210,0	250,1	45,8
	200,0	30,4	170,0	200,0	30,9
9	230,0	50,9	120,0	130,0	30,8
	110,0	30,3	89,0	100,0	25,7
10	210,0	30,6	85,0	90,4	22,5
	55,6	30,1	45,5	86,5	20,5
11	190,0	20,8	14,5	12,8	14,5
	12,8	9,7	20,0	2,5	5,5
12	120,9	10,1	4,5	10,1	9,0
	12,5	9,5	4,5	4,5	6,5
13	12,1	9,6	5,5	3,5	13,0
	5,5	5,5	5,0	2,5	9,0
14	4,5	6,7	7,6	8,5	120,0
	4,5	5,7	5,2	9,5	100,0
15	3,2	5,6	3,1	12,7	130,0
	3,2	5,1	3,1	4,5	90,0
16	2,5	14,5	10,1	29,9	120,0
	2,5	9,5	3,5	6,6	50,0
17	1,5	12,4	16,9	50,0	290,0
	1,5	9,5	2,5	4,5	80,5
18	4,5	45,7	28,9	110,1	310,0
	4,3	20,1	12,6	12,1	290,0
19	10,5	90,7	40,9	120,1	201,0
	5,5	45,0	33,7	130,5	233,0
20	90,0	120,0	50,1	167,0	200,0
	80,0	90,0	50,2	145,0	190,0
Примечание: * – АВ = 10 м; ** – АВ = 20 м					

Таблица 19 – Результаты съемки потенциала естественного электрического поля (мВ)

№ пикета	Профиль				
	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
2	0	0	-4,5	-5,5	-5,8
3	-1,0	-1,0	-1,0	-4,5	-1,5
4	0	-1,5	-5,5	-1,0	-1,0
5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0

Окончание таблицы 19

1	2	3	4	5	6
6	-1,0	+1,0	+1,0	0	0
7	-2,0	+1,0	+1,0	0	0
8	-2,0	0	-1,5	-1,0	0
9	-1,0	0	-1,0	-1,0	0
10	0	0	+1,0	0	0
11	+1,0	+1,6	0	+5,0	+2,0
12	+14,5	+22,1	+11,5	+12,5	+1,0
13	+10,1	+12,6	+12,0	+10,1	+5,0
14	+5,0	+7,0	+7,0	+8,1	+4,5
15	+5,0	+7,0	+5,0	0	0
16	+5,2	+8,9	+10,1	0	-1,0
17	+9,5	+5,0	+5,0	0	0
18	+10,0	+1,0	+1,0	+12,0	0
19	+2,9	+1,0	0	+1,0	0
20	0	0	-1,5	-3,0	-3,1

ЛИТЕРАТУРА

1 Абалаков, А. Д. Экологическая геология / А. Д. Абалаков. – Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. – 267 с.

2 Авакян, С. В. Влияние магнитных бурь на аварийность систем электроэнергетики, автоматики и связи / С. В. Авакян, Н. А. Воронин, К. А. Дуборенко // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. – 2012. – № 3–2. – С. 253–266.

3 Александров, В. В. Электрофизика пресных вод / В. В. Александров. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 183 с.

4 Богословский, В. А. Экологическая геофизика : учебное пособие / В. А. Богословский, А. Д. Жигалин, В. К. Хмелевской. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 256 с.

5 Вахромеев, Г. С. Экологическая геофизика / Г. С. Вахромеев. – Иркутск : ИрГТУ, 1995. – 216 с.

6 Водяницкий, Ю. Н. Магнитная восприимчивость как индикатор загрязнения тяжелыми металлами городских почв / Ю. Н. Водяницкий, С. А. Шоба // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2015. – № 1. – С. 13–20.

7 Гладышева, М. Н. Выявление ареалов техногенно-загрязненных почв Москвы по их магнитной восприимчивости / М. Н. Гладышева, А. В. Иванов, М. Н. Строганова // Почвоведение. – 2007. – № 2. – С. 235–242.

8 Гончаров, Г. А. Эколого-геохимическая оценка состояния почвенного покрова на территории города Уфы / Г. А. Гончаров, Б. Р. Соктоев, И. М. Фархутдинов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 11. – С. 61–79.

9 Геоэлектрическая диагностика загрязнения геологической среды в зоне влияния полигона токсичных отходов / А. П. Гусев [и др.] // Вестник Пермского университета. Геология. – 2019. – Т. 18. – № 1. – С. 79–85.

10 Малоглубинная геофизика при оценке состояния геологической среды промышленных зон (на примере полигона твердых отходов Гомельского химического завода) / А. П. Гусев [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2021. – № 4. – С. 63–70.

11 Гусев, А. П. Комплексирование космической съемки и геоэлектрических методов при диагностике химического загрязнения геологической среды / А. П. Гусев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2023. – № 3. – С. 133–140.

12 Гусев, А. П. Комплекс геоэлектрических методов диагностики химического загрязнения подземных вод в зоне влияния техногенных объектов / А. П. Гусев, Е. И. Кулыба, И. О. Прилуцкий // Вестник Пермского университета. Геология. – 2024. – Т. 23. – № 1. – С. 68–75.

13 Гусев, А. П. Техническая и экологическая геофизика. Часть 1. Техническая геофизика : пособие : в 2 ч. / А. П. Гусев. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2024. – 86 с.

14 Гусев, А. П. Комплексование геоэлектрических методов и дистанционного зондирования Земли при оценке состояния окружающей среды в зоне влияния экологически опасных объектов / А. П. Гусев // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2024. – Vol. 335. – No. 10. – P. 134–145.

15 Егоров, В. Н. Измерение уровней шума: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / В. Н. Егоров, Д. А. Хабаров. – М. : МИИГАиК, 2016. – 26 с.

16 Задоя, Н. И. Электромагнитная безопасность / Н. И. Задоя. – Рубцовск : Рубцовский индустриальный институт, 2014. – 108 с.

17 Колесников, В. П. Электроразведка в условиях урбанизированных территорий / В. П. Колесников, Т. А. Ласкина // Геофизика. – 2014. – № 5. – С. 33–40.

18 Магнитная восприимчивость дорожной пыли как индикатора загрязнения территории в зоне воздействия предприятий угледобычи / Е. Г. Язиков [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2021. – Т. 34. – № 6. – С. 434–439.

19 Манштейн, А. К. Малоуглубинная геофизика. Пособие по спецкурсу / А. К. Манштейн. – Новосибирск : НГУ, 2002. – 135 с.

20 Методические рекомендации по применению комплекса геофизических методов при гидрогеологических и геоэкологических исследованиях на акваториях. – М. : ГИДЭК, 2002. – 55 с.

21 Модин, И. Н. Электроразведка в технической и археологической геофизике : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук : 25.00.10 / И. Н. Модин. – М. : МГУ, 2010. – 48 с.

22 Никитин, А. А. Комплексование геофизических методов : учебник для вузов / А. А. Никитин, В. К. Хмелевской. – М. : ВНИИ-геосистем, 2012. – 346 с.

23 Огильви, А. А. Основы инженерной геофизики / А. А. Огильви. – М. : Недра, 1990. – 501 с.

24 Окраинская, И. С. Электромагнитные поля и излучения : учебное пособие / И. С. Окраинская. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2021. – 105 с.

25 Оценка засоления почв и грунтовых вод методами электрического сопротивления / А. И. Поздняков [и др.]. – Астрахань : Астраханский университет, 2013. – 71 с.

26 Павлова, А. М. Применение малоуглубинной электроразведки для изучения трехмерно неоднородных сред : дисс. ... канд. техн. наук : 25.10.10/ А. М. Павлова. – М. : Типография ООО «Ай-клуб», 2014. – 128 с.

27 Поздняков, А. И. Электрогеофизика почв / А. И. Поздняков, А. Д. Позднякова. – М. : МГУ, 2004. – 54 с.

28 Прохоров, Н. Н. Оценка состояния земляных дамб шламохранилищ по результатам геофизических исследований / Н. Н. Прохоров // Горный журнал. – 2003. – № 7. – С. 86–88.

29 Постолова, Е. М. Оценка экологического состояния городских почв центра Санкт-Петербурга методами каппаметрии и элементной геохимии / Е. М. Постолова, Е. М. Нестеров, Н. Б. Попков // Проблемы региональная экологии. – 2017. – № 5. – С. 123–128.

30 Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь 16.11.2011 № 115. – 20 с.

31 Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий», Гигиенического норматива «Предельно допустимые и допустимые уровни нормируемых параметров при работах с источниками производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий» и признании утратившими силу постановлений Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 31 декабря 2022 г. № 159 и от 22 ноября 2006 г. № 151 [Электронный ресурс] : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь 26 декабря 2013 г., № 132 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21428310p>. – Дата доступа: 30.12.2024.

32 Трофимов, В. Т. Современное состояние, задачи и сложности дальнейшего развития экологической геологии / В. Т. Трофимов // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2013. – № 3. – С. 19–28.

33 Трофимов, В. Т. Экологическая геология / В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг. – М. : Геоинформмарк, 2002. – 415 с.

34 Место эколого-геофизических исследований в системе урбо-экологии / В. Т. Трофимов [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2016. – № 6. – С. 3–9.

35 Трофимов, В. Т. Трансформация геофизической экологической функции абиотических сфер Земли под влиянием техногенеза и ее последствия / В. Т. Трофимов, А. Д. Жигалин // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2014. – № 2. – С. 44–49.

36 Хмелевской, В. К. Геофизические методы исследования земной коры. Книга 2. Региональная, разведочная, инженерная и экологическая геофизика : в 2 кн. / В. К. Хмелевской. – Дубна : Международный университет природы, общества и человека, 1999. – 184 с.

37 Шувалов, В. М. Комплексное применение методов геофизики на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений и коммуникаций / В. М. Шувалов // Вестник Пермского университета. Геология. – 2011. – Вып. 4 (13). – С. 46–60.

38 Экологические функции литосферы / В. Т. Трофимов [и др.]; под ред. В. Т. Трофимова. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2000. – 432 с.

39 Электроразведка : пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. Том 2. Малоглубинная электроразведка / под ред. В. А. Шевнина, А. А. Бобачева. – М. : МГУ, 2013. – 123 с.

40 Электроразведка. Справочник геофизика : в 2 кн. Кн. 2 / под ред. В. К. Хмелевского и В. М. Бондаренко. – М. : Недра, 1989. – 378 с.

41 Юнусов, Х. Б. Параметрическое загрязнение окружающей среды как тема для самостоятельной работы студентов при изучении экологии / Х. Б. Юнусов, Г. В. Гераскина // Вестник МГОУ. Серия : Естественные науки. – 2014. – № 3. – С. 86–92.

42 Loke, M. H. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion / M. H. Loke, R. D. Barker // Geophysical Prospecting. – 1996. – V. 44. – 499–523.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Нормирование электромагнитных излучений

Таблица А.1 – Стандарты предельно допустимых уровней электромагнитных излучений

Страна	Частотный диапазон, МГц	Предельно допустимый уровень	
		Напряженность электрического поля E , В/м	Напряженность магнитного поля H , А/м
США	0,003–0,1	614	163
	0,1–1,34	614	$16,3/f$
	1,34–30	$823,8/f$	$16,3/f$
	30–100	27,5	$158,3/f^{1,668}$
	100–300	27,5	0,0729
ФРГ	0,01–0,03	1 500	350
	0,03–2	1 500	$7,5/f$
	2–300	$3\,000/f$	$7,5/f$
Россия	0,005	500	4
	0,03–0,3	25	–
	0,3–3	15	–
	3–30	10	–
	30–300	3	–

Таблица А.2 – Предельно допустимые уровни электромагнитных полей радиочастот (ЭПМ РЧ) для населения (СанПин 2.1.2.2645-10)

Диапазон частот (МГц)	0,03–0,3	0,3–3	3–30	30–300	300–300 000
Нормируемый параметр	Напряженность электрического поля (E), В/м				Плотность потока энергии, (ППЭ), мкВт/см ²
Предельно допустимый уровень	25	15	10	3	10

Таблица А.3 – Гигиенические нормативы магнитного поля для населения (Гигиенический норматив 2.1.8/2.2.4.2262-07)

Тип воздействия, территория	Интенсивность магнитного поля частотой 50 Гц, мкТл (А/м)
Жилые помещения, детские, дошкольные, школьные, общеобразовательные, медицинские учреждения	5 (4)
Нежилые помещения нежилых зданий, общественные и административные здания, селитебная территория	10 (8)
Населенная местность вне зоны застройки, в том числе зона воздушных и кабельных линий электропередачи с напряжением выше 1 кВ	20 (16)
Ненаселенная и труднодоступная местность с эпизодическим пребыванием людей	100 (80)

Таблица А.4 – Предельно допустимые уровни электрической составляющей поля токов промышленной частоты (СанПин №2971-84)

Территория	Напряженность электрического поля, кВ/м
Внутри жилых зданий	0,5
Открытая территория зоны жилой застройки	1
Населенная местность вне зоны жилой застройки (земли городов в пределах городской черты, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа, сельских населенных пунктов, территория садов и огородов)	5
Участки пересечения высоковольтных линий с автомобильными дорогами I–IV категорий	10
Незастроенные территории, эпизодически посещаемые людьми, доступные для транспорта, сельскохозяйственные угодья	15
Труднодоступная местность (недоступная для транспорта и сельскохозяйственных машин), участки без доступа населения	20

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Нормирование шума и вибраций

Таблица Б.1 – Нормирование шума

Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звука и эквивалентные по энергии уровни звука непостоянного шума, дБА	Максимальные уровни звука, дБА
1	2	3	4
Палаты больничных организаций и санаториев	С 7 до 23 часов	35	50
	С 23 до 7 часов	25	40
Кабинеты поликлиник, больничных организаций, санаториев		35	50
Учреждения образования, библиотеки		40	55
Жилые комнаты квартир	С 7 до 23 часов	40	55
	С 23 до 7 часов	30	45
Гостиницы, жилые комнаты общежитий	С 7 до 23 часов	45	60
	С 23 до 7 часов	35	50
Кафе, рестораны, столовые		55	70
Магазины, вокзалы, аэропорты		60	75
Территории, прилегающие к зданиям больниц и санаториев	С 7 до 23 часов	45	60
	С 23 до 7 часов	35	50
Территории, прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, домов отдыха, учреждений образования, библиотек	С 7 до 23 часов	55	70
	С 23 до 7 часов	45	60

Окончание таблицы Б. 1

1	2	3	4
Территории, прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	С 7 до 23 часов	60	75
	С 23 до 7 часов	50	65
Площадки отдыха на территории больниц и санаториев		35	50
Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, площадки учреждений образования		45	60

Таблица Б.2 – Критерий оценки и степень риска неблагоприятного воздействия на человека акустической нагрузки территорий населенных мест

Критерий оценки – удельная акустическая нагрузка, дБА	До 50	51–60	61–70	71–80	Более 80
Риск неблагоприятного воздействия	отсутствует	малый	средний	высокий	очень высокий
Оценка в баллах	1	2	3	4	5

Таблица Б.3 – Нормативные уровни вибрации в жилых помещениях, дБ

Частоты октавных полос, Гц	2	4	8	16	31,5	63
Уровни виброскорости	79	73	67	67	67	67
Уровни виброускорения	25	25	25	31	37	43
Уровни вибросмещения	133	121	109	103	97	91

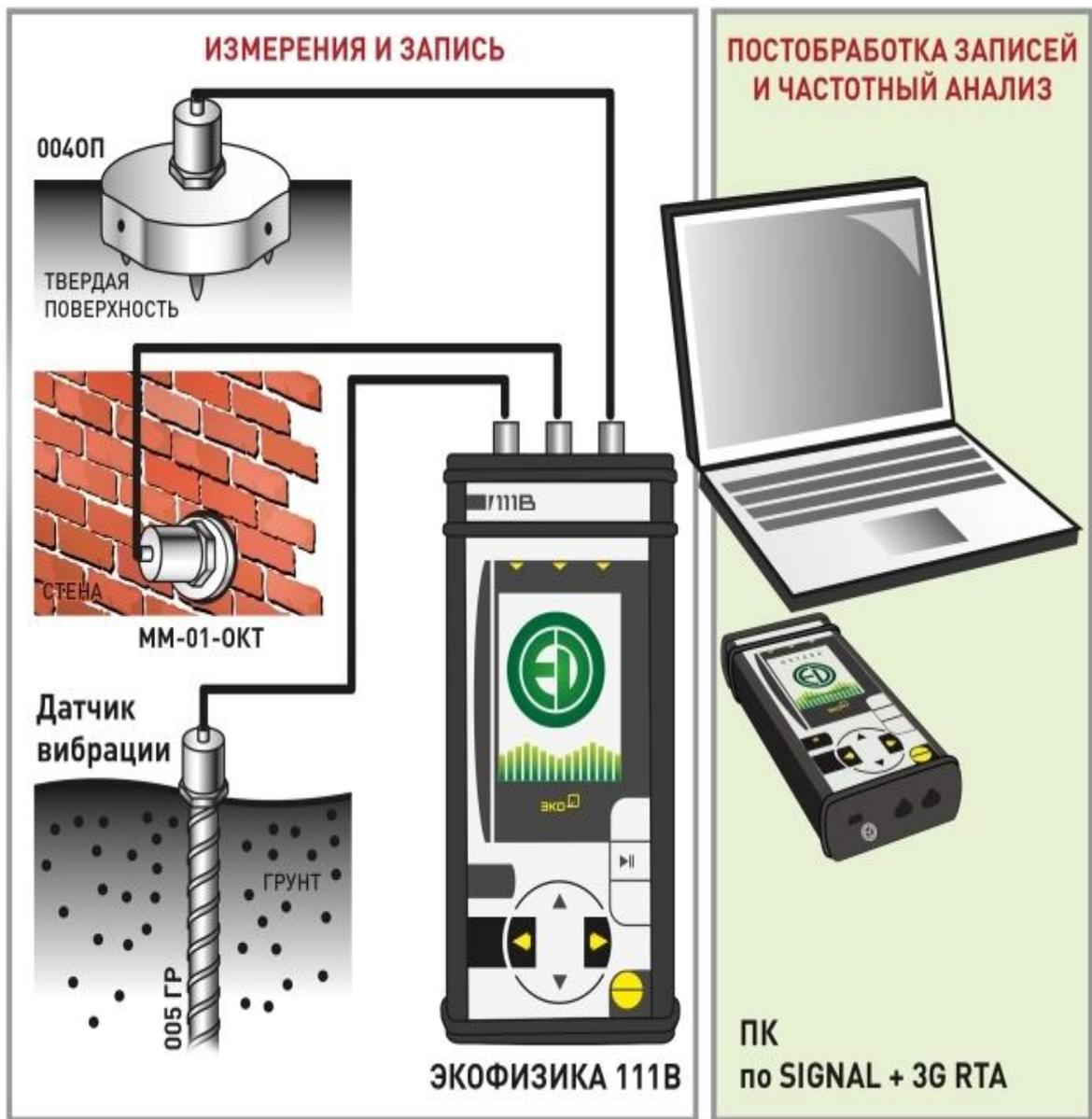


Рисунок Б.1 – Измерение вибраций

Учебное издание

Гусев Андрей Петрович

**ТЕХНИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОФИЗИКА
ЧАСТЬ 2. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОФИЗИКА**

Пособие

В 2 частях

Редактор Е. С. Балашова
Корректор В. В. Калугина

Подписано в печать 28.01.2025. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 4,88. Уч.-изд. л. 5,34.
Тираж 25 экз. Заказ 46.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий в качестве:
издателя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013 г.;
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017 г.
Ул. Советская, 104, 246028, Гомель.

