

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГОУ ВО «Нижневартковский государственный университет»

Научно-исследовательская лаборатория  
геоэкологических исследований

# ГЕОФИЗИКА

*Учебное пособие*



Издательство  
Нижневартковского  
государственного  
университета  
2016

**ББК 26.2я73**

**Г 35**

Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета  
Нижевартовского государственного университета

**Рецензенты:**

доктор технических наук, доцент,  
главный научный сотрудник ПНИЛ ХМГМА  
*А.В. Нехорошева;*

кандидат географических наук, заведующий кафедрой математики  
и естественных наук Нижевартовского экономико-правового  
института (филиала) Тюменского государственного университета  
*Б.А. Середовских*

*Работа выполнена при финансовой поддержке  
Минобрнауки РФ (проект № 2148)*

**Г 35**     **Геофизика.** Учебное пособие / Авт.-сост. С.Е.Коркин,  
Г.К.Ходжаева. — Нижевартовск: Изд-во Нижеварт. гос. ун-та,  
2016. — 128 с.

**ISBN 978-5-00047-348-1**

В учебном пособии по дисциплине «Геофизика» излагается научно-практическая роль и основы прикладной геофизики, приводятся основные геофизические понятия и определения, рассматриваются теоретические основы геофизического изучения Земли, а также экологические проблемы геофизики. Кроме того, предлагаются методические материалы по организации и рациональному использованию земельных ресурсов с помощью геофизических методов.

Для студентов географических факультетов вузов очной и заочной форм обучения, бакалавров по направлению подготовки 21.03.02 — Землеустройство и кадастры (профиль «Управление земельными ресурсами»).

**ББК 26.2я73**

**ISBN 978-5-00047-348-1**

© Издательство НВГУ, 2016  
© Коркин С.Е., Ходжаева Г.К.,  
составление, 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРОГРАММА КУРСА С КАЛЕНДАРНО-ТЕМАТИЧЕСКИМ ПЛАНОМ .....	4
ВВЕДЕНИЕ .....	7
Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ .....	9
1.1. Основные геофизические понятия.....	11
1.2. Геофизические методы исследования.....	17
1.3. Основы прикладной геофизики .....	43
Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ С ПОМОЩЬЮ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ .....	53
Глава 3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОФИЗИКИ .....	63
3.1. Техногенное воздействие на состав географической оболочки.....	105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	111
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ.....	112
ГЛОССАРИЙ.....	118

## ПРОГРАММА КУРСА С КАЛЕНДАРНО-ТЕМАТИЧЕСКИМ ПЛАНОМ

**Объектом** исследований геофизики является земной шар в целом с его твердой оболочкой, морями и океанами, поверхностными и подземными водами, атмосферой и ближним космосом. Геофизика подразделяется на три крупных обособившихся раздела — физику твердой Земли (или твердого тела), физику гидросферы (или гидрофизику), физику атмосферы и ближнего космоса. Каждый из указанных разделов включает в себя целый ряд отдельных хорошо развитых самостоятельных наук (Мишон, 1993).

**Целью освоения дисциплины «Геофизика»** является подготовка бакалавров, обучающихся по направлению 21.03.02 — Землеустройство и кадастры (профиль «Управление земельными ресурсами»): формирование научного мировоззрения и целостного представления о геофизических исследованиях как теоретической, так и практической направленности. Представленный курс, вместе с другими естественнонаучными дисциплинами, составляет единую систему географической науки. Студенты получают достоверные сведения о строении недр Земли, физических свойствах и процессах, протекающих в литосфере, гидросфере и атмосфере, у них формируется комплекс понятий о происхождении и развитии нашей планеты.

### **Задачи курса:**

1. Проанализировать сложные геологические, геохимические и физико-химические процессы, протекающие в приповерхностных слоях с точки зрения геофизического подхода.
2. Изучить методы геофизических исследований для рационального использования природных ресурсов и инженерно-строительных объектов.
3. Рассмотреть основные понятия и основы прикладной геофизики.
4. Проанализировать геологические и техногенные экологические проблемы геофизики.

Дисциплина «Геофизика» относится к базовой части в структуре ОПОП и тесно взаимосвязана с частными географическими

науками — гидрологией, климатологией и метеорологией, геологией, поэтому является основой для освоения данных дисциплин.

Для изучения данного курса студенты должны знать материал таких учебных дисциплин, как физика, химия, физическая география.

*Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины согласно матрице соответствия компетенций и составляющих ОП.*

Для освоения дисциплины «Геофизика» студент должен:

- *знать*: основные геофизические понятия и определения; методы геофизических исследований; геофизику твердого тела Земли; геофизику атмосферы; геофизику гидросферы;

- *уметь*: использовать геофизические методы в решении профессиональных задач и свободно ориентироваться в подходах, теориях моделирования основных природных процессов;

- *владеть*: навыками проведения геофизических исследований и основными методами измерений и обработки информации.

Курс предназначен для обеспечения учебного процесса, направленного на подготовку специалистов в следующих сферах профессиональной деятельности: проектные, изыскательские, производственные, научно-исследовательские институты; органы охраны природы и управления природопользованием; общеобразовательные и специальные учебные заведения.

Дисциплина «Геофизика» является составной частью профессиональной подготовки широкого круга специалистов, которые должны обладать высоким уровнем знаний в области управления земельными ресурсами и уметь использовать полученные теоретические знания на практике.

Курс «Геофизика» является важной составляющей в подготовке бакалавра специальности 21.03.02 — Землеустройство и кадастры (профиль «Управление земельными ресурсами»).

Наиболее выраженные связи геофизика имеет с *физикой, геологией и тектоникой*, что обусловлено значением дисциплины для формирования у студентов-геологов представлений о связи

физических полей Земли с ее внутренним строением, образованием, развитием в прошлом и настоящем.

Большое внимание в процессе освоения дисциплины уделяется изучению геофизических методов поисков полезных ископаемых, наиболее часто применяемых при решении геологических задач; разъяснению исходных физических законов, лежащих в основе геофизических методов; вопросам методики проведения и последовательности проведения геофизических наблюдений; подходам к решению прямых и обратных задач; приемам качественной и количественной интерпретации геофизических полей.

Основными методами, используемыми в геофизике, являются методы теоретической физики. Как отрасль естествознания она основана на экспериментальных геофизических данных и полностью опирается на данные практики и эксперимента.

#### Распределение часов курса по темам

	Название темы	ВСЕГО ЧАСОВ						
		Общее кол-во часов	Занятия с преподавателем, из них аудиторные				Сам. раб.	За-чет
			Всего	Лек.	Лаб. зан.	Сем. зан.		
1.	Объект, предмет и задачи геофизики	+	+	+	+	+	+	+
2.	Основные геофизические понятия и определения	+	+	+	+	+	+	+
3.	Изотопная геохронология	+	+	+	+	+	+	+
4.	Сейсмология и сейсмичность	+	+	+	+	+	+	+
5.	Геомагнитное поле. Магнитные карты. Палеомагнетизм	+	+	+	+	+	+	+
6.	Геологические и техногенные экологические катастрофы	+	+	+	+	+	+	+
<b>Всего</b>		<b>108</b>	<b>31</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>54</b>	<b>3</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Геофизика — наука о строении, физических свойствах и процессах, происходящих в твердой, жидкой и газообразной оболочках Земли. Подобно другим фундаментальным наукам современная геофизика представляет собой сложную систему обособившихся в разное время ряда научных дисциплин, использующих физические методы, геохимические исследования, а также результаты аэрокосмических наблюдений (Мишон, 1993).

Геофизика находится на стыке наук о Земле, и прежде всего таких фундаментальных наук, как физика, математика, химия и биология. Земля в процессе изучения рассматривается как единое сложное и непрерывно меняющееся физическое тело, являющееся составной частью Солнечной системы и взаимодействующее с ней.

Огромна роль геофизики в изучении процессов, протекающих в теле Земли, начиная с глубин земного ядра и заканчивая водной и газовой оболочками Земли. Без изучения глубоких частей земных недр нельзя вскрыть причины основных геотектонических и магматических процессов; процессов, определяющих лик нашей планеты и причины различий между ликами Земли и других планет земной группы (Трухин и др., 2004, 2005).

Все разделы геофизики имеют самое непосредственное отношение к практической деятельности человека — к разведке и добыче полезных ископаемых, освоению энергии земных недр, океанических глубин и космического пространства, прогнозу неблагоприятных явлений, охране окружающей среды и управлению природными процессами.

Геофизические исследования основываются на инструментальных наблюдениях, проводимых специальными обсерваториями и станциями: сейсмологическими, геомагнитными, гравиметрическими, метеорологическими, гидрологическими. Большую роль в познании Земли играют экспедиционные исследования и аэрокосмические наблюдения и измерения. Геофизические исследования охватывают самые верхние слои земной коры, нижние слои атмосферы и прибрежные зоны Мирового океана. С помощью радиолокаторов, радиотелескопов, телеметрического оборудования, сверхглубоких буровых установок, искусственных

спутников Земли, геофизических ракет и батискафов можно проникнуть в высокие слои атмосферы, глубины океанов и толщи морского дна.

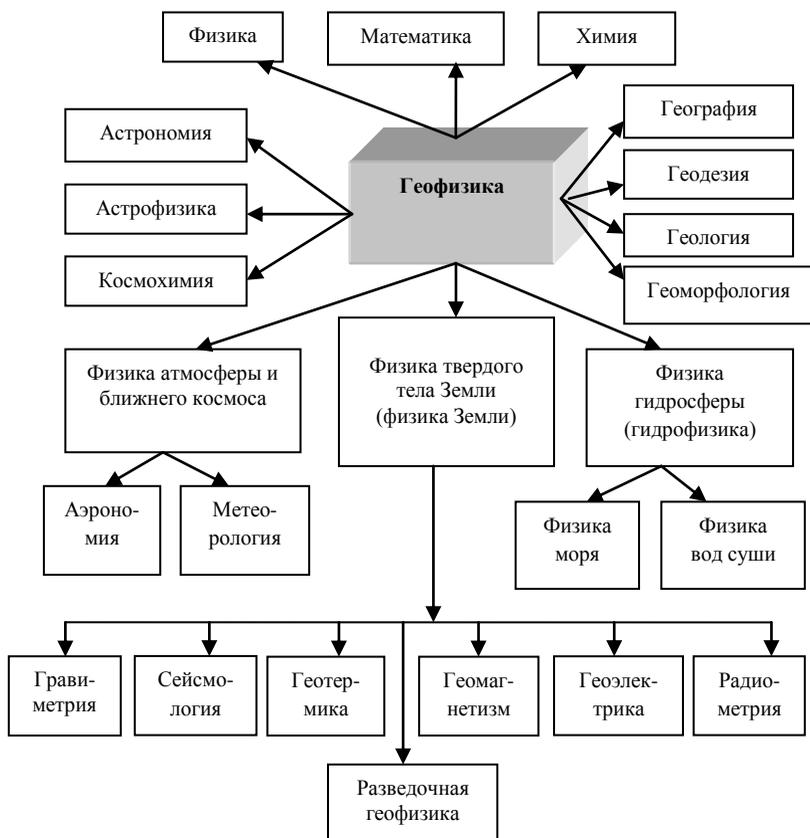
Для студентов-географов недостаточно знаний только об одной из геосфер — литосфере, гидросфере или атмосфере, поскольку нельзя понять сущность геофизических процессов в одной оболочке без знания всех других взаимодействующих между собой геосфер. Необходимо изучение всех трех разделов: физики твердой Земли, физики гидросферы и физики атмосферы. Детальное изучение свойств и процессов какой-либо одной оболочки Земли должно опираться на знание всех других взаимодействующих между собой геосфер.

## Глава 1

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ

Геофизика как обобщающая наука, изучающая Землю и околоземное пространство с помощью естественных и искусственных физических полей занимает среди точных и естественных наук (астрономии, физики, математики, географии, геологии, химии) уникальное стыковое положение. Связь геофизики с другими естественными и техническими науками показана на рисунке 1. Она использует достижения этих фундаментальных наук или родственных им научно-прикладных дисциплин (например, космонавтики, геодинамики, информатики, электроники), ставя перед ними немало проблем теоретического и прикладного плана (Мишон, 1993).

Физика Земли как наука изучает лишь Землю, планету и ее оболочки: каменную — литосферу (мощностью порядка 100 км), астеносферу (простирающуюся до глубин 400 км), мантию (до глубин 2900 км), ядро внешнее (до глубин 5100 км) и ядро внутреннее (до центра Земли). Глобальная геофизика как обобщающая фундаментальная наука включает не только физику Земли, но и геофизику космоса и атмосферы, гидросферы, а также науки, изучающие конкретные физические поля Земли: гравиметрию, магнитометрию, геоэлектрику, сейсмологию, сейсмометрию, термометрию, ядерную геофизику. Из этих фундаментальных геофизических наук выделяются научно-прикладные разделы. Так, геофизика воздушной оболочки включает физику космоса и атмосферы, метеорологию, климатологию и др. Геофизика водной оболочки (гидросферы) состоит из гидрофизики, океанологии, физики моря, лимнологии (изучение озер), гидрологии (изучение рек), подземной гидросферы, гляциологии (изучение ледников).



**Рис. 1. Геофизика и ее связи с другими естественными и техническими науками (Мишон, 1993)**

Из геофизики литосферы выделились разведочная или прикладная геофизика с методами, имеющими большое практическое значение при поисках и разведке полезных ископаемых и называемыми гравиразведкой, магниторазведкой, электроразведкой, сейсморазведкой, ядерно-геофизической, терморазведкой, разведкой, а также геофизическими методами исследования скважин (ГИС) (География, 2006).

Кроме названных выше выделяют и другие оболочки (сферы) Земли: биосферу (сферу жизни), гуманитарную сферу, ноосферу

(сферу разума). Учитывая возрастающую роль природных эндогенных (внутренних) факторов, таких как землетрясения, и экзогенных (внешних) факторов, например, выветривание, а также антропогенно-техногенных сил (взрывов, загрязнений окружающей среды), целесообразно выделить еще одну оболочку — биотехносферу. Это часть атмосферы, гидросферы, земной коры, являющаяся средой обитания человека и испытывающая антропогенно-техногенную нагрузку вследствие деятельности людей.

Земля и все ее сферы являются открытыми, активно живущими, динамическими, нелинейными системами, тесно связанными между собой. Они окружены космическим пространством (физическим вакуумом), насыщенным высокоэнергетическими физическими полями импульсно-ритмичной формы. Эволюция Вселенной, Галактики, Солнца, Земли, биосферы сопровождается циклическим обменом вещества (от корпускулярного излучения космоса до извержения вулканов), энергии (от слабых полей в молекулах до гравитационных полей сверхзвезд), а может быть и обменом информации между биосферой и космосом (например, через многочисленные ритмы Вселенной).

Непрерывно возрастающая роль антропогенно-техногенной нагрузки, сравнимой с природными факторами, приводит к необходимости выделения из глобальной геофизики, наряду с геофизикой космоса и атмосферы, гидросферы и литосферы, новой фундаментальной науки — геофизики биотехносферы (ее можно назвать геофизической экологией), предназначенной для изучения влияния физических полей на экосистемы Земли.

### ***1.1. Основные геофизические понятия и определения***

К основным геофизическим понятиям и определениям относятся геофизическое поле и его характеристики — геофизический параметр (величина), напряженность, градиент и геофизическое явление.

*Геофизическое поле.* Геофизика изучает происхождение, строение различных физических полей Земли, или так называемых геофизических полей, и протекающие в ней и в околоземном пространстве физические процессы и явления. Физическое поле — это конкретная форма существования материи, связывающая

элементарные частицы вещества друг с другом в единые системы и передающая с конечной скоростью действие одних частиц на другие. Физических полей много. Применительно к Земле это гравитационное поле, или поле силы тяготения, сейсмическое поле (поле упругих колебаний), геомагнитное, электрическое, поле радиоактивного излучения (ядерно-физическое поле), тепловое, барическое (поле давления), поле скорости и направления ветра, температуры и влажности воздуха. Если рассматривать Мировой океан, то это еще поля температуры, солености, цвета и прозрачности воды, скорости и направления морских течений, толщины льда, волнения водной поверхности.

Каждое физическое поле численно характеризуется своими параметрами (Геофизические методы исследования, 1988; Геофизика, 2012; Мишон, 1993). Гравитационное поле определяется ускорением свободного падения или силы тяжести ( $g$ ) и его градиентами ( $g_x, g_y, g_z$ ); геомагнитное поле — полным вектором напряженности и различными его элементами (вертикальным  $Z$ , горизонтальным  $H$ ); электромагнитное — векторами магнитной ( $H$ ) и электрической ( $E$ ) составляющих; упругое — скоростями ( $V$ ) распространения различных упругих волн; термическое — температурами ( $TC$ ); ядерно-физическое — интенсивностями естественно ( $J_\gamma$ ) и искусственно вызванных ( $J_{\gamma\gamma}, J_{nn}$ ) гамма- и нейтронных излучений (Мишон, 1993).

Удобно разделение физических полей Земли на два класса — естественного и искусственного происхождения.

К естественным физическим полям Земли относятся: гравитационное (поле силы тяжести), геомагнитное, температурное, электромагнитное, сейсмическое (поле упругих механических колебаний) и радиационное (поле ионизирующих излучений). Через физические поля осуществляется взаимодействие Земли как планеты с Солнцем и со всем остальным макрокосмическим пространством.

Искусственные неуправляемые поля (техногенные физические поля) обусловлены работой механизмов и машин, энергетических установок, транспортных средств, средств связи и других источников антропогенной деятельности.

Все названные естественные (природные) и искусственные (техногенные) геофизические поля являются неуправляемыми, т.е. они существуют помимо воли исследователей, использующих их для решения тех или иных задач по изучению оболочек Земли, в том числе и с экологическими целями. Например, в разведочной геофизике для поиска полезных ископаемых и решения ряда научных вопросов широко практикуется создание следующих физических полей: электрического, электромагнитного, сейсмического (поле упругих колебаний, вызванное путем взрывов), вторичных ядерных излучений.

Как отмечалось выше, экологически аномальные проявления природных физических полей могут быть названы экогеофизическими, а аномальные проявления техногенных — экофизическими (Геофизика, 2012; Мишон, 1993).

Геомагнитное поле подвергалось более радикальным скачкообразным изменениям. Об этом свидетельствует дрейф геомагнитных полюсов и смена магнитной полярности (инверсии геомагнитного поля) с временным интервалом от 0,5 до 10 млн лет, что подтверждают данные палеомагнитных исследований.

Общим для всех физических полей является постоянное взаимодействие элементарных частиц. Так, в гравитационном и барическом полях происходит взаимодействие масс частиц; в электрическом — взаимодействие между движущимися электрическими зарядами; в геомагнитном — между электрическими зарядами и спиновыми (от англ. spin — вращение) носителями магнетизма (электроны, протоны и др.); в сейсмическом — передача упругих колебаний, возникающих при землетрясениях и искусственных взрывах; в термическом — взаимодействие энергий частиц; в радиоактивном — ядерных излучений. Указанные взаимодействия масс, энергий, колебаний, излучений происходят как внутри каждого геологического тела, каждой горной породы и каждой геосферы, так и между ними, и особенно на границах их соприкосновения.

Источниками физических полей являются вся Земля в целом, все геосферы, любое геологическое тело, любая горная порода, любое искусственное сооружение. Все объекты порождают вокруг и внутри себя гравитационное магнитное, тепловое, радиоактивное, электрическое поля, а при механическом и другом воз-

действии на них становятся источником полей упругих колебаний. Измеряя величины (параметры) внешних физических полей, можно судить об источниках этих полей.

Поле может быть стационарным (установившимся), если в каждой точке пространства оно не меняется с течением времени, или нестационарным (неустановившимся), если таковое изменение имеет место. Поле может быть скалярным или векторным в зависимости от характера исследуемой величины. Скалярным полем, например, является поле температур, или поле плотностей. В качестве примера векторных полей можно привести поле скоростей, электромагнитное поле и поле сил тяготения.

Исследование геофизических полей имеет огромное научное значение. Геофизические поля позволяют изучать внутреннее строение и физико-химические свойства Земли, а также вскрывать механизм взаимодействия геосфер между собой. Они определяют характер, направленность миграции электрически заряженных частиц и дифференциацию вещества по плотности. Геофизические поля обуславливают движение воздушных масс и круговорот воды и вещества на Земле, процессы смещения горных пород, их растворение, окисление.

Изучение геофизических полей имеет большое практическое значение. Так, установлены тесные зависимости между магнитной активностью, различными природными процессами и самочувствием людей. В частности, обнаружено, что изменения атмосферного давления, температуры воздуха, уровня засухи, похолодания, потепления и другие процессы на Земле тесно связаны с ее магнитным полем. С помощью геофизических полей в широких масштабах выполняется разведка полезных ископаемых.

Из всех геофизических полей наибольший интерес для географов представляют гравитационное, тепловое, магнитное и электрическое поля, в значительной мере определяющие обмен энергией и веществом в глобальном масштабе (Геофизика, 2012; Мишон, 1993).

*Геофизический параметр.* Каждое геофизическое поле определяется присущими только ему параметрами (величинами). Геофизический параметр — это величина, значения которой служат для различия элементов геофизических полей. Например, гравитационное поле характеризуется ускорением свободного

падения; термическое поле — распределением температур и тепловых потоков; геомагнитное поле — полным вектором напряженности, магнитным склонением, наклонением и другими элементами магнетизма; электромагнитное поле — векторами магнитной и электрической компонент; упругое поле — временем и скоростями распространения продольных, поперечных и другими упругими параметрами; радиационное поле — интенсивностью естественного или искусственного излучения; барическое поле — давлением. В каждой точке и в каждый момент времени геофизические параметры, характеризующие данное поле, имеют определенное значение, неодинаковое в различных частях пространства. Иными словами, геофизическое поле характеризует пространственное распределение геофизических параметров, которые изменяются во времени.

Величина параметров геофизических полей на земной поверхности и под ней, в море и океане, в воздухе и космосе зависит как от общего строения Земли и околоземного пространства, так и от происхождения полей и изменения физических свойств горных пород. Так, величины параметров гравитационного поля зависят от объема масс и расстояния до исследуемого объекта, термического — от теплопроводности и теплоемкости, магнитного — от магнитной восприимчивости и остаточного намагничивания. Параметры электромагнитного поля определяются удельным электрическим сопротивлением пород, диэлектрической и магнитной проницаемостью, электрохимической активностью и поляризуемостью. Упругое (сейсмическое) поле зависит от скорости распространения сейсмических волн, а последние, в свою очередь, от плотности и значений упругих констант горных пород — от модуля Юнга и коэффициента Пуассона, радиоактивное — от радиоактивных, нейтронных и гамма-лучевых свойств (Саваренский, 2003; Мишон, 1993 и др.).

Физические свойства и состояние геосфер, а также происходящие в них процессы характеризуются различными параметрами. Так, основными характеристиками земных недр, кроме параметров сейсмического, электрического, магнитного, теплового, гравитационного полей и радиоактивного излучения, являются плотность, влажность, вязкость и другие характеристики горных пород. Применительно к атмосфере геофизические параметры —

это, например, плотность и прозрачность воздуха, скорость и направление ветра и др. Геофизическими параметрами для рек служат скорость течения, расход воды, толщина льда, количество в речном потоке наносов. Для Мирового океана характеристиками состояния являются глубина, соленость, температура, прозрачность и цвет воды, скорость и направление морских течений, высота, период, длина волн. Как правило, геофизические параметры определяются инструментально, причем ряд из них — с помощью весьма сложных и особо чувствительных приборов.

*Напряженность геофизического поля* — это основная характеристика геофизических полей, определяющая силу, с которой они действуют на единичный источник (электрический заряд, массу, энергию). Напряженность поля — величина векторная, направленная в сторону действия силы. Если сила ориентирована по радиусу от источника, то напряженность считается положительной, а если к источнику — отрицательной. Напряженность электрического поля выражается в вольтах на метр (В/м), магнитного — в амперах на метр (А/м), гравитационного — в метрах на секунду в квадрате ( $\text{м/с}^2$ ) (Геофизические методы исследования, 1988; Геофизика, 2012; Мишон, 1993).

*Потенциал геофизического поля* — это работа, проведенная внешними силами для внесения единичного положительного источника в данную точку поля из бесконечности при условии, что напряженность в бесконечности равна нулю. Эта работа придает источнику некоторый энергетический потенциал  $U$ . Между напряженностью геофизического поля  $E$  и потенциалом  $U$  имеется связь  $E = - \text{grad } U$ . Знак минуса в этом уравнении означает, что градиент направлен в сторону увеличения потенциала, а напряженность — в сторону его падения (Геофизика, 2012).

*Геофизическое явление* — это определенный физический процесс, сопровождающийся резким (качественным) изменением состояния геофизических полей или отдельных их сторон. Спектр геофизических явлений чрезвычайно широк. К ним относятся, например, полярные сияния, магнитные бури, грозы, землетрясения, движение магнитных полюсов, образование и таяние льда и снежного покрова, снежные лавины, сели, земные и морские приливы и т.д.

Несмотря на большое разнообразие геофизических полей, и особенно геофизических явлений, все они имеют общие особенности. К ним относятся неодинаковая направленность и интенсивность изменений в пространстве (по широте, долготе, высоте, глубине), разнообразие изменений во времени (от кратковременных, измеряемых секундами и долями секунд, до изменений за сезон, год, десятилетия, века).

### *1.2. Геофизические методы исследования*

Геофизические методы исследования земной коры — это способы изучения строения, состава и состояния природы путем наблюдения физических полей искусственного или естественного происхождения с последующей обработкой получаемой при этом информации. С одной стороны, по предмету исследований геофизика является геологической дисциплиной, требующей знания всех современных достижений планетарной региональной и исторической геологии, петрографии, гидрогеологии и геологии полезных ископаемых, с другой — это физическая дисциплина, использующая чисто физические методы изучения объектов и базирующаяся на фундаментальных теоретических законах физики. Необходимость использования самой современной теоретической и практической базы вплотную связывает геофизику с такими науками, как математическая физика, радиоэлектроника и автоматика, информатика, а также физхимия, термодинамика, петрофизика (Зыков, 2007).

Физико-математические основы геофизики были заложены в XVII в. Также давно началось использование физических полей Земли для практических целей.

Применение геофизических методов расширилось в 1920-х гг., когда гравиметрические и сейсмические исследования доказали свою эффективность в обнаружении соляных куполов и связанных с ними нефтяных залежей на побережье Мексиканского залива в США и Мексике (Мишон, 1993).

Первыми систематическими разведочными работами в России и в мире были съемки Курской магнитной аномалии (КМА), начатые в 1894 г., а также магнитные съемки, проведенные на Урале и в районе Кривого Рога в конце позапрошлого века. В 1919 г.

будущим профессором МГУ им. М.В. Ломоносова и основателем кафедры геофизики геологического факультета МГУ А.И. Заборовским были начаты систематические магнитные съемки на КМА (Копчиков, 2010). Именно эти работы можно считать началом развития отечественной разведочной геофизики. Теоретические работы начала прошлого века Э. Вихерта (Германия) и Б.Б. Голицина (Россия) в области сейсмологии имели самое непосредственное отношение к созданию сейсморазведки.

Особое место в развитии геофизических методов, начиная со второй половины XX в., занимают физические, информационные и другие модели в геофизике, а также обработка и интерпретация геофизических данных. Это особые направления развития геофизических методов, связанные с внедрением в геофизику современных компьютерных систем, без которых сегодня немыслимо развитие геофизики, как и любой другой геологической науки.

Правильная интерпретация результатов всех геофизических методов возможна лишь на хорошей геологической основе, физической базе, математических теориях.

Основой применения геофизических методов является наличие у всех минералов и горных пород своеобразных, а часто уникальных, сочетаний различных физических (петрофизических) свойств. Изучением этих свойств занимается отдельная ветвь геофизики, тесно связанная с минералогией, минераграфией, петрографией и петрологией, которую называют петрофизика.

Если геологические и геохимические методы являются прямыми методами близкого действия, основанными на непосредственном изучении минерального, петрографического или геохимического состава вскрытых выработками горных пород, то геофизические методы являются косвенными, дальнего действия. Они обеспечивают равномерность, объемный, интегральный характер получаемой объективной информации с теоретически неограниченной глубиной. При этом производительность экспериментальных геофизических работ значительно выше, а стоимость в несколько раз меньше по сравнению с разведкой с помощью неглубоких (до 100 м) и в сотни раз меньше сравнительно с разведкой с помощью глубоких (свыше 1 км) скважин. Повышая геологическую и экономическую эффективность изучения недр, геофизические методы исследования являются важнейшим на-

правлением ускорения научно-технического прогресса в геологии и горном деле.

Выявление геофизических аномалий — сложная техническая и математическая проблема, поскольку оно проводится на фоне не всегда однородного и спокойного нормального поля среди разнообразных помех геологического, природного, техногенного характера (неоднородности верхней части геологической среды, неровности рельефа, космические, атмосферные, климатические, промышленные и другие помехи), т.е. всегда наблюдается интерференция полей разной природы. При этом бывает как простое наложение (суперпозиция) параметров полей, так и их сложные, нелинейные взаимодействия.

Измерив те или иные физические параметры по системам обычно параллельных профилей или маршрутов и выявив аномалии, можно получить сведения как о свойствах пород, так и о геологическом строении исследуемого массива.

Аномалии определяются прежде всего изменением физических свойств горных пород по площади и по глубине. Так, гравитационное поле зависит от изменения плотности пород ( $\sigma$ ); магнитное поле — от магнитной восприимчивости ( $\kappa$ ) и остаточной намагниченности; электрическое и электромагнитное поля — от удельного электрического сопротивления пород, диэлектрической и магнитной ( $\mu$ ) проницаемостей, электрохимической активности ( $\mathcal{B}$ ) и поляризуемости ( $\eta$ ); упругое поле — от скорости распространения ( $V$ ) и затухания различных типов волн, а последнее, в свою очередь, — от плотности упругих констант (модуль Юнга и коэффициент Пуассона ( $\delta$ ) и др.); термическое поле — от тепловых свойств: теплопроводности, теплоемкости ( $C$ ); ядерные поля — от естественной радиоактивности, гамма-лучевых и нейтронных свойств. Физические свойства горных пород меняются иногда в небольших пределах (например, плотность меняется от 1 до 6 г/см<sup>3</sup>), а иногда в очень широких пределах (например, удельное электрическое сопротивление изменяется от 0,001 до 10<sup>15</sup> Ом·м). В зависимости от целого ряда физико-геологических факторов одна и та же порода может характеризоваться разными свойствами, и наоборот — разные породы могут не отличаться по некоторым свойствам (Геофизические методы исследования, 1988; Геофизика, 2012; Мишон, 1993).

Изучение физических свойств горных пород и связи их с минеральным и петрографическим составом, а также водо-, газо-, нефтенасыщенностью является предметом исследований петрофизики.

Каждое физическое поле численно характеризуется своими параметрами. Так, гравитационное поле определяется ускорением свободного падения или силы тяжести и его градиентами ( $g_x, g_y, g_z$ ) и др.; геомагнитное поле — полным вектором напряженности и различными его элементами (вертикальным, горизонтальным и др.); электромагнитное — векторами магнитной и электрической составляющих; упругое — скоростями распространения различных упругих волн; термическое — температурами ( $T$  °C); ядерно-физическое — интенсивностями естественно и искусственно вызванных гамма- и нейтронных излучений.

Принципиальная возможность проведения геологической разведки на основе различных физических полей Земли определяется тем, что распределение параметров полей в воздушной оболочке, на поверхности акваторий или Земли, в горных выработках и скважинах зависит не только от происхождения естественных или способа создания искусственных полей, но и от литолого-петрографических и геометрических неоднородностей земной коры, создающих аномальные поля. Аномалией в геофизике считается отклонение измеренного параметра поля от нормального, за которое чаще всего принимается поле над однородным полупространством. При этом возникновение аномалий связано с тем, что объект поисков, называемый источником аномалий, или возмущений, или аномалосоздающим объектом, либо сам создает поле в силу естественных причин, например, возбуждается естественное постоянное электрическое поле, либо искажает поле вследствие различий физических свойств, например, отражение сейсмических или электромагнитных волн от контактов разных толщ. Интенсивность аномалий определяется контрастностью физических свойств, относительной глубиной объекта, а также уровнем помех.

Геофизические методы исследований — это научно-прикладной раздел геофизики, предназначенный для изучения верхних слоев Земли, поисков и разведки полезных ископаемых,

инженерно-геологических, гидрогеологических, мерзлотно-гляциологических и других изысканий.

Существуют различные классификации методов геофизических исследований. По месту проведения они подразделяются на воздушные, аэрокосмические, наземные, морские и подземные; по видам физических полей и изучаемым физическим свойствам — на гравиметрические, сейсмические, магнитные, ядерно-физические, термические и др.; по способу изучения и передачи информации — на дистанционные и непосредственного измерения на месте (Мишон, 1993).

В зависимости от поставленных целей методы геофизических исследований делятся на две большие группы. Одна из них включает методы изучения строения, состава и свойств геосфер, другая — методы изучения геофизических полей, величин и явлений.

Методы исследования строения, состава и свойств геосфер включают в себя методы прямого и косвенного зондирования оболочек Земли и комплексный метод зондирования геосфер из космического пространства.

Метод прямого зондирования позволяет определять интересный параметр путем непосредственных инструментальных измерений (рис. 2). Обычно прямые измерения применяют для изучения земной коры (в основном верхних ее слоев), приземных и реже верхних слоев атмосферы, поверхностных и реже глубоких слоев Мирового океана, верхней толщи ледников, вечной мерзлоты, рек, озер, водохранилищ, снежного и ледяного покрова.

Косвенное зондирование основано на изучении геофизических явлений и полей, связанных с физическим состоянием, химическим составом и структурой внутренних слоев геосфер. Применяют его обычно там, где по тем или иным причинам использование прямых методов измерений невозможно (например, при исследовании мантии и ядра Земли, ряда свойств верхней атмосферы, природных слоев Мирового океана и т.д.). Косвенное зондирование является основным источником получения информации о физических свойствах, агрегатном состоянии и строении земных недр.



**Рис. 2. Инструментальное измерение эрозийных процессов на Северо-Хохряковском лицензионном участке (август 2015 г.)**

Физическая природа геофизических полей и явлений различна и в связи с этим выделяют шесть основных методов косвенного зондирования: сейсмический, гравиметрический, магнитометрический, электромагнитный, радиоактивный и тепловой. В результате устанавливаются физические неоднородности, оценивается плотность, давление и температура на различных глубинах (рис. 3).

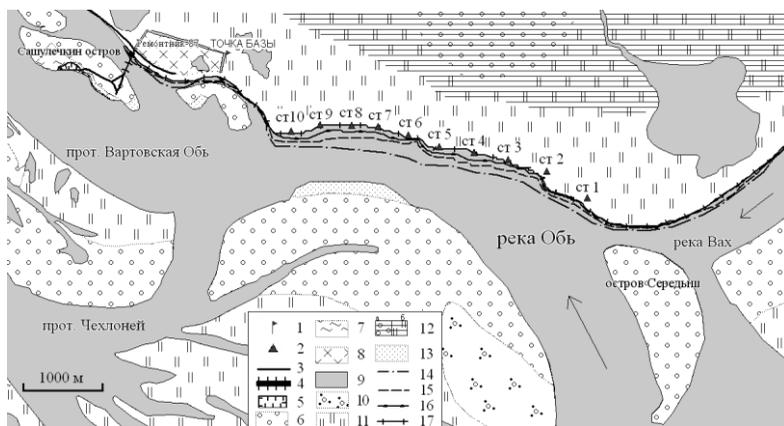
Комплексное зондирование геосфер из космического пространства позволяет получать сведения о строении, составе, динамике и ритмике геосфер, а также об их взаимодействии. Применяют следующие дистанционные съемки: телевизионную, многозональную, инфракрасную или радиолокационную. Наряду с оперативностью, эффективностью, экономичностью и объективностью главным достоинством космического зондирования является возможность интегрировать материалы съемок. Данный метод широко используется в метеорологии, океанографии, гидрологии суши, геологии, геоморфологии, гляциологии, сейсмологии, вулканологии и для охраны биоразнообразия.



**Рис. 3. Измерение температуры горных пород на территории природного парка «Сибирские Увалы»**

Методы исследования геофизических полей, величин и явлений по существу представляет собой полный комплекс методов изучения природы: стационарных наблюдений, экспедиционный, экспериментальный и теоретического анализа. Эти методы взаимно дополняют друг друга, но при решении основных геофизических задач главными являются стационарные наблюдения и теоретический анализ (Геофизические методы исследования, 1988; Геофизика, 2012; Мишон, 1993).

Метод стационарных наблюдений служит для инструментальных измерений параметров геофизических полей и для визуальной оценки геофизических явлений. Сущность метода заключается в том, что в выбранном месте производятся непрерывные многолетние наблюдения за параметрами того или иного геофизического поля или явления. Измерения выполняются на специальных геофизических обсерваториях, станциях и постах. Такая сеть включает сейсмические, гравиметрические, магнитные, электрометрические, ионосферные, радиометрические, метеорологические, агрометеорологические, гидрологические и некоторые другие обсерватории и станции.



**Рис. 4. Карта-схема стационара «Усть-Вахский»**

1 — база; 2 — створы; 3 — дороги; 4 — дороги по насыпи; 5 — места открытых разработок (карьеры); 6 — леса; 7 — вырубка; 8 — заброшенный садовый участок «Романтник-87»; 9 — водные объекты; 10 — кустарники; 11 — луговая растительность; 12 — заболоченные участки (а — леса, б — луговая растительность); 13 — пески; 14 — береговая линия за 1982 г.; 15 — береговая линия за 1994 г.; 16 — береговая линия за 2001 г.; 17 — береговая линия за 2014 г.

В качестве примера рассмотрим стационар Усть-Вахский, созданный для инструментальных измерений эрозионной активности. Расположен стационарный пост на правом берегу реки Оби, в морфодинамическом отношении данный район относится к широкопойменному. Излучины свободные, сегментные, развитые с островами в привершинной части (разветвленно-извилистое русло). Информационный и картографический материал, отображающий особенности морфологии и динамики русел и облика пойм Оби и Иртыша, показан в атласе Ханты-Мансийского автономного округа — Югры (Анисимов и др., 2004). Русло реки Оби в пределах района исследования формируется в условиях активного развития русловых деформаций (Коркин, 2008). В 1974 г. стационар был заложен Тюменской комплексной геологоразведочной экспедицией на правом берегу протоки Вартовская Обь в пределах города Нижневартовска. В 1980 г. данный стационар из-за активного освоения береговой зоны перенесли в район устья реки Вах, где до 1994 г. производились ежегодные промеры. В 2001 г. на-

блюдения на данном ключевом участке были восстановлены студентами и сотрудниками Нижневартковского государственного педагогического института (сейчас НВГУ — Нижневартковского государственного университета). Максимальная скорость отступления берега с 2001 по 2015 гг. была зафиксирована в 2004 г. с показателем в 17,5 м на 5-м створе. Если учитывать активность среднегодовую, то полученные значения варьируют от 7,8 м/год в 2002 г. до 0,7 м/год в 2012 г. (Коркин, 2008; Коркин и др., 2012).

Для регулярных наблюдений в океанах применяются специальные суда, длительно находящиеся в определенных районах океана.

По сравнению с другими методами данной группы метод стационарных наблюдений имеет ряд преимуществ, главным из которых является строгая периодичность измерений и наблюдений и достаточно большая их продолжительность на ряде станций.

Экспедиционный метод представляет собой комплексное синхронное обследование с помощью инструментальных измерений и визуальных наблюдений обширных районов или геофизических объектов по специально разработанным программам. Экспедиционные исследования дают возможность путем кратковременных наблюдений по определенному маршруту сравнительно быстро охватить большие территории и акватории.

Экспериментальный метод позволяет моделировать тот или иной геофизический процесс или явление в лабораторных условиях, чтобы изучить их возникновение, развитие и затухание. На моделях, задавая внешние условия, изучают и сами явления, и влияния на них различных факторов. Экспериментируя, исследователь вмешивается в ход физических процессов, меняет условия, в которых они протекают, вводит один фактор и исключает другие с целью выяснения причинных связей в явлениях. Метод позволяет подыскивать в естественных условиях такое сочетание основных элементов данного явления, что их наблюдение и измерение может привести к получению причинных зависимостей между ними. В физике атмосферы и гидрофизике получены важные сведения о процессах образования облаков, туманов и осадков, заторов, зажоров, о закономерностях формирования и таяния снежного покрова и теплового баланса, о зарождении и движении наносов, селевых потоков, снежных лавин.

Метод теоретического анализа является завершающим звеном обобщения данных наблюдений и измерений. Благодаря данному методу создана геохимическая модель Земли, модель внутреннего ее строения, теория гидромагнитного земного магнетизма. При обобщении измерений и наблюдений в геофизике применяется статистический и физико-математический анализ (Геофизические методы исследования, 1988; Геофизика, 2012; Мишон, 1993).

Изотопная геохронология — направление в науках о Земле, в задачи которого входит определение времени геологических событий методами, основанными на радиоактивном распаде нестабильных изотопов. Практически наиболее широко применяются при исследовании земных горных пород и минералов калий-аргоновый, уран-свинцовый, рубидий-стронциевый, самарий-неодимовый и рений-осмиевый методы изотопной геохронологии. Реже для геохронологических целей применяются лютеций-гафниевый, лантан-цериевый, калий-кальциевый и другие уникальные методы — более сложные в практическом применении, но дающие иногда важную независимую информацию.

Сущность метода заключается в следующем. В состав некоторых минералов входят радиоактивные изотопы. С момента образования такого минерала в нем протекает процесс радиоактивного распада изотопов, сопровождающийся накоплением продуктов распада. Принимая во внимание постоянство скорости распада, для определения возраста достаточно установить количество оставшегося в минерале радиоактивного изотопа и количество образовавшегося при его распаде стабильного изотопа. Эта зависимость описывается главным уравнением геохронологии:

$$t = 1/\lambda \ln(Nk/Nt + 1),$$

где  $Nk$  — число изотопов конечного продукта распада,  $Nt$  — число радиоактивных изотопов, не распавшихся по прошествии времени  $t$ ,  $\lambda$  — постоянная распада (доля распавшихся ядер данного изотопа за единицу времени) — известная для каждого изотопа величина (Мишон, 1993).

Для определения возраста используются многие радиоактивные изотопы:  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{147}\text{Sm}$  и др. Результаты определения возраста геологических объектов выражаются в  $10^6$  и  $10^9$  лет, или в значениях Международной системы единиц (СИ):

*Ma* и *Ga*. Эта аббревиатура означает, соответственно, «млн лет» и «млрд лет» (от лат. *Mega anna* — млн лет, *Giga anna* — млрд лет).

Для примера рассмотрим определение возраста рубидий-стронциевым изохронным методом. В результате распада радиоактивного изотопа  $^{87}\text{Rb}$  происходит образование нерадиоактивного продукта распада —  $^{87}\text{Sr}$ , постоянная распада составляет  $1,42 \cdot 10^{-11} \text{ лет}^{-1}$ . Применение изохронного метода предполагает анализ нескольких образцов, взятых из одного и того же геологического объекта, что повышает точность определения возраста и позволяет рассчитать исходный изотопный состав стронция (используемый для определения условий формирования породы).

В ходе лабораторных исследований определяются содержания  $^{87}\text{Rb}$  и  $^{87}\text{Sr}$ , при этом содержание последнего складывается из суммы стронция, изначально содержащегося в минерале ( $^{87}\text{Sr}$ )<sub>0</sub>, и стронция, возникшего в процессе радиоактивного распада  $^{87}\text{Rb}$  за период существования минерала.

Для решения задачи анализируются несколько образцов, результаты наносятся в виде точек на график в координатах  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - ^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ . В случае корректно отобранных проб все точки ложатся вдоль одной прямой — изохроны (следовательно, имеют один и тот же возраст). Возраст анализируемых образцов рассчитывается по величине угла наклона изохроны, а начальное стронциевое отношение определяется по пересечению изохронной оси  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .

Методами изотопной геохронологии можно непосредственно определять время формирования магматических, метаморфических, метасоматических, жильных и, в ряде случаев, осадочных пород и минералов.

Изотопно-геохронологические методы используются и при исследованиях различных внеземных объектов — метеоритов и лунных образцов, что тесно связывает изотопную геохронологию с космохронологией.

Одной из важнейших и успешно решаемых задач изотопной геохронологии является привязка к реальному геологическому времени относительной хронологической шкалы, основанной на данных стратиграфии и палеонтологии.

Сейсмические методы (сейсмическая разведка) — это геофизический способ исследования строения земной коры, поисков и

разведки месторождений полезных ископаемых, основанный на изучении характеристик поля упругих колебаний. Поле упругих колебаний представляет собой упругие волны, возникшие в результате взрыва или удара и распространяющиеся в толще горных пород. Упругие волны могут отражаться и преломляться на границах пород различных типов и частично возвращаться на поверхность земли, где регистрируются специальной аппаратурой. Измеряя время распространения волн от источника до точки регистрации, скорость движения волн, амплитуду, частоту и другие характеристики, получают информацию о слоях пород (в том числе о стратиграфии и составе) и углах их наклона. При этом используют методы отраженных, преломленных и проходящих волн. В зависимости от условий реализации применяют различные технологические модификации этих методов: на земной поверхности полевую сейсморазведку, на акваториях морей и океанов — морскую, а в скважинах и горных выработках — подземную (Геофизические методы исследования, 1988; Пузырев, 1997; Саваренский, 2003).

Сейсмические процессы в твердой Земле начинают сопоставлять с процессами на Солнце, Земле и Луне, а также анализировать их внутреннюю динамику (Атлас временных вариаций..., 1998).

Особо следует отметить, что в результате сейсмических исследований установлено строение Земли — наличие ядра, мантии и земной коры. Использование цифровых сейсмографов сыграло огромную роль в изучении земных недр и позволило регистрировать землетрясения. По данным об изменениях скоростей волн была составлена трехмерная схема строения мантии. Морская геофизика также решает самые разнообразные задачи, проводя исследования в морях и океанах.

Сейсморазведку широко применяют для решения структурных задач (изучение строения земной коры, структур в осадочном чехле и кристаллических породах, литолого-стратиграфическое картирование осадочной толщи), при поисках и разведке месторождений нефти и газа, каменной соли, бокситов, в рудной геологии, при решении инженерно-геологических (сейсморайонирование, картирование оползневых склонов, прогноз землетрясений), гидрогеологических (поиски и разведка месторождений)

подземных вод) и горно-технических задач (прогноз аварийных ситуаций — внезапных выбросов пород и угля).

Центральное место среди геофизических методов исследования верхней мантии Земли занимает структурная сейсмология. Для сейсмологических данных разработаны хорошо зарекомендовавшие себя технологии извлечения из наблюдаемых сейсмологических данных информации о внутреннем устройстве верхней мантии Земли. Эти технологии можно объединить под общим названием «сейсмическая томография».

Сейсмология занимает особое место во всем спектре наук о Земле. Во-первых, она имеет дело только с механическими свойствами и динамикой процессов в Земле. Во-вторых, она предлагает инструмент, с помощью которого можно изучать внутреннее строение Земли до самых больших глубин и с большей разрешающей способностью и надежностью, чем можно достичь в любой другой области геофизики. Высокая разрешающая способность и надежность достижимы по той причине, что из всех типов волн, которые могут наблюдаться после ослабления при прохождении через различные структуры внутри Земли, сейсмические волны являются наиболее короткими. Третьей отличительной особенностью сейсмологии является то, что она позволяет нам узнать современное состояние недр Земли. Сейсмология вызывает непосредственный интерес общества благодаря тому, что она нацелена на изучение тектонической активности, протекающей в настоящее время.

Методы сейсмологии, подобно другим геофизическим методам, применимы в огромном диапазоне масштабов. Эти масштабы можно классифицировать по размерам сейсмических источников (как искусственных, так и естественных) и по размерам сейсмологической сети наблюдений. Взрывные заряды, применимые при сейсмологических наблюдениях, варьируют по величине от менее одного грамма до более одной мегатонны (диапазон  $10^{12}$ ).

Сейсмичность Земли — подверженность Земли или отдельных ее территорий землетрясениям. Характеризуется территориальным распределением очагов землетрясений различной энергии, оцениваемой магнитудой или по шкале энергетических классов, интенсивностью их проявления по поверхности в баллах, часто-

той сейсмических событий и другими характеристиками землетрясений.

Сильные землетрясения происходят в основном в пределах протяженных сейсмических поясов, а также в районах срединно-океанических хребтов и континентальных рифтовых зон.

Большая часть сейсмической энергии выделяется при землетрясениях, очаги которых расположены на глубинах, не превышающих нескольких десятков километров. Промежуточные по глубине землетрясения и глубокофокусные (до 600—700 км) сосредоточены в очень узких (по ряду оценок, не шире нескольких десятков километров) наклонных зонах, имеющих сложную структуру и отличающихся по физическим характеристикам от вмещающего пространства. Исследования географического распределения землетрясений и особенностей их механизма в различных поясах сыграли важную роль в разработке теории тектоники плит, согласно которой основной причиной сейсмичности Земли является накопление напряжений на границах подвижных литосферных плит. Промежуточные и глубокие землетрясения связываются с высвобождением напряжений в погружающихся в мантию плитах океанической литосферы.

Гравиметрия занимается изучением гравитационного поля Земли. Локальные вариации этого поля, связанные с плотностными неоднородностями в пределах земной коры, используются для определения положения рудных тел. Гравиразведка в этом отношении весьма эффективный метод (Геофизика, 2012; Геофизические методы исследования, 1988).

Гравиразведка — геофизический метод, изучающий изменение ускорения свободного падения в связи с изменением плотности геологических тел. Гравиразведка активно применяется при региональном исследовании земной коры и верхней мантии, выявлении глубинных тектонических нарушений, поиске полезных ископаемых (преимущественно рудных), выделении алмазонасных трубок взрыва. Высокоточные гравиметрические измерения используются для определения рельефа местности, так как с увеличением превышений растет мощность осадочных пород над уровнем моря. Полагают, что рельеф земной поверхности и плотностные изменения внутри земной коры с глубиной взаимно компенсируются, поэтому удовлетворительная корреляция между

гравитационными аномалиями протяженностью 100—1000 км и рельефом не наблюдается.

На поверхности Земли поле притяжения складывается с полем центробежной силы, образуя поле силы тяжести или гравитационное поле. Изучение этого поля позволяет делать выводы о геологическом строении верхних частей Земли. Начало экспериментальному изучению силы тяжести было положено в конце XVI в. итальянским ученым Галилео Галилеем (1564—1642). Галилей показал, что мерой силы тяжести является то ускорение, которое она сообщает свободно падающему телу, и на основании поставленных опытов в г. Пизе определил его численное значение. По современным данным ускорение на экваторе составляет  $9,780318 \text{ м/с}^2$ .

Геомагнетизм исследует магнитное поле Земли (его источники и изменения на протяжении геологической истории Земли), а также магнитные свойства горных пород. Принято считать, что магнитное поле Земли обусловлено электрическими токами в жидком внешнем ядре, его напряженность изменяется с периодичностью от 100 до 10000 лет, а полярность подвержена обращениям (инверсиям). Измерения интенсивности и направления намагниченности горных пород позволяют изучать происхождение и изменения во времени геомагнитного поля и служат ключевой информацией для развития теории тектоники плит и дрейфа материков.

Магниторазведка (магнитная разведка) — метод разведочной геофизики, основанный на изучении пространственных изменений магнитного поля, возникающих вследствие различной намагниченности горных пород и руд — железных и железотитанистых руд, сульфидных, золотых и т.д. Она применяется, главным образом, при геологическом картировании и поисках месторождений полезных ископаемых путем измерения магнитного поля на земной поверхности, на поверхности моря или океана, в воздухе, скважинах и горных выработках.

В любой доступной для измерений точке земного шара, а также вне его действуют магнитные силы, связанные с намагниченностью Земли за счет электрических токов, протекающих в жидком ядре Земли. Земное магнитное поле представляет собой пространство, в котором проявляется действие магнитных сил.

Расчленение пород в буровых скважинах на основании измерений удельного сопротивления горных пород и пористости называется электрокаротаж, на основании измерений их радиоактивности — гамма-каротаж.

Изучение остаточной намагниченности горных пород называют палеомагнитным методом; он основан на том, что магнитные минералы, выпадая в осадок, распластовываются в соответствии с магнитным полем Земли той эпохи, которая, как известно, постоянно менялась в течение геологического времени. Эта ориентировка сохраняется постоянно, если порода не подвергается нагреванию выше 580 °С (так называемая точка Кюри) или интенсивной деформации и перекристаллизации. Следовательно, в различных слоях направление магнитного поля будет различным.

Геоэлектрика (электрическая разведка) основана на изучении существующих на Земле естественных электромагнитных полей или создаваемых искусственно полей с целью изучения ее геологического строения. Взаимодействие вариаций магнитного и электрического полей, обусловленных как естественными, так и искусственно индуцированными токами, используется в магнитотеллурическом зондировании при разведке полезных ископаемых и для изучения строения нижней части коры и верхней мантии. Это предопределило бурное развитие электроразведки.

По характеру изменения во времени естественные (не зависящие от деятельности человека) и искусственные (специально созданные человеком) поля могут быть постоянными и переменными. Если такие поля существуют длительное время (более нескольких секунд), их называют установившимися. Поля, созданные с помощью кратковременных импульсов тока или путем его ступенчатого изменения во времени, называют неустановившимися. Переменные установившиеся поля делят на низкочастотные (с частотой менее 10 кГц) и высокочастотные (с частотой более 10 кГц).

Естественные электромагнитные поля подразделяют на региональные и локальные. К региональным электромагнитным полям (магнитотеллурическим) относят такие поля, природа которых связана с воздействием на ионосферу Земли потока заряженных частиц. Это поля, как правило, инфранизкой частоты, которые могут проникать на большие глубины. Измеряемыми параметра-

ми магнитотеллурического поля являются электрические компоненты электромагнитной волны. Изучаются также поля грозовых разрядов, причем возникающие с молниями мощные электромагнитные импульсы взаимодействуют с верхними частями литосферы и распространяются на огромные расстояния. К локальным естественным электромагнитным полям относятся поля электрохимической и электрокинетической природы. Электрохимические поля возникают при окислительно-восстановительных реакциях, протекающих на границе электронного (рудные минералы) и ионного (окружающие породы и подземные воды) проводников. К электрокинетическим относятся фильтрационные, диффузионно-адсорбционные и другие поля, обусловленные фильтрацией подземных вод в пористых породах. Наиболее интенсивны естественные поля окислительно-восстановительной природы на сульфидных, угольных, графитовых месторождениях при активном участии подземных вод.

В процессе образования такого поля над сульфидной залежью, верхняя часть которой находится в зоне аэрации, происходят окислительные реакции за счет вод, богатых кислородом и углекислотой. В нижней части залежи происходят восстановительные реакции, вследствие чего нижняя часть ее заряжается отрицательно. Образуется естественный гальванический элемент, и во вмещающей среде начинает протекать электрический ток. Над таким объектом отмечаются отрицательные аномалии естественного электрического поля, достигающие сотен милливольт. При фильтрационных процессах в горных породах ионы разного знака и природы имеют различные размеры и различную подвижность. Это приводит к тому, что катионы увлекаются потоком при его движении через пористый пласт, а анионы адсорбируются на стенках капилляров и между истоком электролита и его стоком образуется электрическое поле.

Изменение электромагнитных полей, измеряемых на разных уровнях (в космосе, воздухе, на поверхности Земли, на уровне моря, в скважинах и выработках), обусловлено дифференциацией горных пород по электромагнитным свойствам. Различные по составу горные породы, находящиеся в электромагнитном поле, по-разному возбуждаются и создают электромагнитные поля, зависящие от размеров геологических объектов, глубины и условий

их залегания. Совокупность геологических тел, пластов, каждый из которых имеет определенные размеры и параметры, называют геоэлектрическим разрезом. От других геофизических методов электроразведка отличается широким набором методов и способов исследования геоэлектрических разрезов за счет разной природы и характера полей, их частотного спектра и способов возбуждения и измерения полей.

Пьезоэлектрический метод разведки (ПЭМ) основан на изменении электромагнитных и сейсмических сигналов от геологических объектов, содержащих минералы — пьезоэлектрики — с целью поисков и разведки таких объектов (Геофизика, 2012; Геофизические методы исследования, 1988).

Физико-геологические основы метода состоят в следующем. Пьезоэлектрический эффект некоторых непроводящих электрический ток минералов (кварц, турмалин, сфалерит, нефелин, киноварь, халькопирит) заключается в электрической поляризации их граней при механических деформациях, вызванных, например, упругой волной. Пьезоэффект наблюдается только у минералов с низкими классами симметрии, т.е. у кристаллов, у которых отсутствует центр симметрии. В таких кристаллах физические свойства вдоль полярных осей различны в разных направлениях. Теоретически пьезоэффект можно ожидать примерно у 330 минералов. Особенно важно, что пьезоэффектив обладает кварц, составляющий около 12% минерального состава земной коры. Он является одним из основных породообразующих минералов ряда горных пород — гранитов, гнейсов, кварцитов, песчаников, жильного кварца и др. Пьезоэлектрический эффект был открыт в 1880 г. Жаном и Пьером Кюри, которые установили основное уравнение пьезоэлектрического эффекта (Геофизика, 2012; Геофизические методы исследования, 1988; Общая геофизика, 1995 и др.):

$$q = d \cdot p,$$

где  $q$  — поверхностная плотность разноименных электрических зарядов, возникающая на противоположных гранях кристаллов под воздействием давления  $p$ ;  $d$  — пьезоэлектрический модуль или пьезоэлектрическая активность породы или руды.

Пьезоэлектрический метод заключается в возбуждении в горных породах поля упругих колебаний, приеме, усилении и реги-

страции электрических и сейсмических сигналов. Значение пьезоактивности пород и руд определяется на образцах в лабораторных условиях и в естественном залегании. Пьезоэлектрический эффект в образцах возбуждается магнитострикционным излучателем, а пьезоэлектрический потенциал измеряют точечным электродом, соединенным с вольтметром. Для определения пьезоактивности в естественном залегании на рудном объекте или вмещающих породах устанавливают пары измерительных электродов симметрично относительно точки возбуждения упругих колебаний. При этом получают относительное значение пьезоактивности как отношение амплитуд электрических сигналов, измеренных на рудном объекте и во вмещающих породах. По значению пьезоактивности удается разделить кварцевые жилы на различные генетические типы в пределах одного и того же месторождения. На хрусталеносных месторождениях различные генетические типы кварца существенно различаются по величине пьезоактивности. Более того, увеличение пьезоактивности кварца закономерно зависит от последовательности формирования кварцевых жил. Кристаллическая киноварь, жильный кварц, окварцованные джаспероиды отличаются по активности от песчано-глинистых сланцев и известняков, однако в природе пока не удается проводить разделение кварцевых жил на рудные (с киноварью, например) и безрудные. Решения прямых задач пьезоэлектрического метода основаны на следующих предположениях. Величина пьезоэлектрического эффекта элементарного объема горной породы определяется направлением действующей силы и величиной деформации. Суммарная напряженность пьезополя равна векторной сумме полей от элементарных объемов. Теоретически было установлено, что глубина обнаружения пьезоактивного объекта составляет примерно  $(60-70)h$ , где  $h$  — мощность объекта. В реальных условиях глубина обнаружения может значительно меняться, т.к. величина регистрируемого пьезоэффекта зависит от соотношения пьезоактивностей объекта и вмещающих пород, а также, причем существенно, от упругих и электрических свойств вмещающих пород. В результате расчетов и физического моделирования были получены основные закономерности распределения пьезоэлектрических сигналов от объектов разной конфигурации. Так, при профилировании над гори-

зонтально залегающим пьезообъектом жильной формы ширина аномалии возрастает по мере увеличения горизонтальной мощности жилы. Характерными особенностями являются смещение аномального максимума в сторону излучателя упругих колебаний и пологий спад над удаленными участками профиля. Эти эффекты обусловлены затуханием продольной волны по мере прохождения через объект и вмещающие породы. Изменение угла падения жилы приводит к асимметрии амплитудного графика. Распределение пьезоэлектрических сигналов по скважине вблизи изометричного объекта характеризуется локальным максимумом.

Геотермические исследования (термическая разведка) основаны на изучении распределения теплового поля Земли с целью исследования строения ее коры, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. По сравнению с другими геофизическими методами терморазведка пока не находит широкого применения, но в определенных геолого-геофизических ситуациях удачно дополняет комплексы геофизических исследований. Ведущим этот метод является при поисках геотермальных источников энергии.

Тепловое излучение Солнца оказывает незначительный эффект на недра Земли. Точно так же энергия, высвобождаемая при землетрясениях и приливном трении, мала по сравнению с геотермальными потерями тепла. Предполагается, что главный источник тепла в Земле обусловлен радиоактивным распадом долгоживущих радионуклидов, а также высвобождением гравитационной энергии и распадом короткоживущих радионуклидов. Современный тепловой поток Земли подвержен большим изменениям. На материках он зависит от радиоактивности коренных пород, причем на долю мантии приходится примерно половина общего теплового потока. В океанах он вдвое больше, чем на материках, и обусловлен, главным образом, конвекцией в мантии. Реология занимается изучением остаточных деформаций и течения вязких и пластичных материалов. Применительно к Земле это обычно означает исследование вязкости внутренних слоев и ее изменений во времени, а также глубинных движений вдоль разломов, перемещений литосферы относительно астеносферы, субдукции литосферных плит, трещинообразования в горных породах, крипа и т.п.

Тепловое поле Земли формируется в основном (50—75%) за счет радиогенного тепла, выделяющегося при распаде радиоактивных ядер  $U$ ,  $Th$ ,  $K$ , содержащихся в земной мантии. Эта гипотеза не противоречит известным экспериментальным данным. Средний тепловой поток, выходящий из недр через земную поверхность, составляет  $0,05 \text{ Вт/м}^2$ , а общие потери тепла Землей оцениваются в  $0,8 \cdot 10^{21} \text{ Дж/год}$ . Количество радиогенного тепла, вычисленное по различным независимым моделям за последние 25 лет, составляет  $(1—2,5) \cdot 10^{21} \text{ Дж/год}$ . Огромная энергия, получаемая Землей от Солнца ( $5,2 \cdot 10^{24} \text{ Дж/год}$ ), практически вся излучается обратно в космическое пространство в виде энергии, отраженной от атмосферы и земной поверхности, и теплового излучения в ночные часы и зимние периоды. Теплоперенос в породах Земли осуществляется на основе корпускулярного, конвекционного и лучистого механизмов. Если в среде происходит диффузионный процесс передачи кинетической энергии от одних молекул другим в определенном направлении, то такой перенос называют молекулярным (теплопроводность). Конвекционный перенос связан с движением среды как целого. Например, втекающая горячая жидкость нагревает холодную, и наоборот. Лучистый теплоперенос обусловлен переносом энергии электромагнитным излучением. Примером может служить перенос энергии от Солнца. В недрах Земли лучистый перенос малосущественен. Распределение температуры в континентальной коре и литосфере определяется главным образом молекулярным выносом на земную поверхность тепла, создаваемого в них при распаде радиоактивных изотопов. Теплоперенос через океаническую кору и литосферу также в основном происходит за счет молекулярного механизма. Но вблизи океанических хребтов значителен и конвекционный теплоперенос, возникающий в результате циркуляции воды в базальтовых породах. Интрузивные магматические тела охлаждаются при молекулярном теплопереносе, а также вследствие конвекции подземных вод. Нагревание погребенных осадочных пород и изменение температуры, сопровождающие процессы эрозии и оледенения, происходят целиком под воздействием молекулярного теплопереноса. Процесс молекулярного теплопереноса описывается законом Фурье, который для одномерного слу-

чая имеет вид (Геофизика, 2012; Геофизические методы исследования, 1988; Общая геофизика, 1995 и др.):

$$q = - \lambda (dT/dy),$$

где  $q$  — тепловой поток, т.е. количество тепла, протекающего через единичную площадь в единицу времени ( $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ с}$ ),  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности пород, характеризующий их способность переносить тепловую энергию [ $\text{Вт}/(\text{мс} \cdot \text{К})$ ],  $y$  — координата в направлении изменения температуры  $T$ . Знак минус в формуле означает, что поток тепла направлен в сторону убывания температуры. Закон Фурье является уравнением прямой линии, и отклонение от нее означает наличие либо источников или стоков тепла, либо нестационарность теплового состояния. В геологическом отношении такие отклонения от закона Фурье могут быть обусловлены различием в теплопроводности пород и руд. Остывание изверженных масс пород (интрузивов, даек, силлов) или нагревание пород в результате процессов окисления, например, сульфидных руд, либо распада локального скопления радиоактивных элементов также приводят к отклонению от закона Фурье. Таким образом, изучая отклонения (термоаномалии) от закона Фурье (нормального теплового поля), можно решать задачи литого структурного картирования, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. В терморазведке основной измеряемой характеристикой теплового поля является температура, поэтому решение прямых задач терморазведки рассматривается для изменения температуры. Из уравнения Фурье следует, что при постоянном тепловом потоке  $q$ , но меняющемся коэффициенте теплопроводности будут наблюдаться изменения температуры  $T$ . Изометричное рудное тело в форме шара, например, будет деформировать распределение теплового поля таким образом, что на профилях измерения, расположенных выше шара, будет наблюдаться положительная температурная аномалия, а на профилях, расположенных ниже, аномалия будет отрицательной. Температурная аномалия отражает особенности антиклинальной структуры, а сброс будет обнаруживаться только в случае смещения пластов пород, отличающихся по теплопроводности. Интрузивные породы, внедрившиеся в осадочные или слабо метаморфизованные комплексы, а также соляные купола из-за их боль-

шей теплопроводности также будут отмечаться положительными термоаномалиями. Наличие локальных тепловых источников внутри геологических образований, например, скоплений радиоактивных элементов в виде отдельных тел или месторождений, процессов окисления сульфидных рудных залежей, нагрев при трении блоков пород на разломах, вулканизм и другие процессы также приводят к дополнительному тепловыделению. В соответствии с законом Фурье, изменение теплового потока при постоянном коэффициенте теплопроводности также вызовет появление температурных аномалий. Предполагается, что в реальном масштабе времени такие процессы, как радиоактивный распад, окисление, вулканизм могут рассматриваться как стационарные. В геологическом масштабе времени эти процессы зависят от времени: радиоактивные элементы распадаются, а вулканы остывают. Многие геологические процессы характеризуются нестационарностью теплопереноса во времени. Такими процессами являются остывание интрузивных изверженных масс, влияние на температуру процессов эрозии и седиментации, временные суточные и сезонные вариации температуры земной поверхности, движение термальных вод и т.д. Во всех этих процессах отсутствуют внутренние источники тепловыделения, поэтому вытекающий или поступающий в геологический объект тепловой поток будет вызывать его охлаждение или нагрев. Для описания нестационарных процессов вводят понятия удельной теплоемкости среды  $C$ , определяемое как количество теплоты, необходимое для повышения температуры единицы массы геологического объекта на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Методы ядерно-геофизической разведки подразделяются на радиометрические методы поисков полезных ископаемых по естественному радиоактивному излучению и ядерно-геофизические методы анализа вещественного состава пород и руд путем их искусственного облучения источниками радиоактивных излучений. Радиометрические и ядерно-геофизические методы основаны на изучении и использовании различных свойств радиоактивных излучений, открытых А. Беккерелем в 1896 г. Атомы всех химических элементов состоят из ядра и окружаются электронными оболочками. Ядро состоит из протонов и нейтронов. Число про-

тонов определяет номер элемента  $Z$ , а сумма числа протонов и нейтронов равна массовому числу  $A$ . Элементы, атомы которых имеют одинаковое число протонов  $Z$ , но различные массовые числа  $A$ , называются изотопами данного химического элемента. Радиоактивными называются элементы, ядра атомов которых обладают способностью к самопроизвольному распаду и с течением времени превращаются в ядра атомов других элементов с иными физическими и химическими свойствами. Все радиоактивные элементы называют также нуклидами. Процесс превращения одного нуклида в другой возможен, когда изменяется соотношение между числом протонов и нейтронов в ядре; это соотношение можно изменить, подвергая стабильные нуклиды бомбардировке нейтронами, протонами и другими частицами, способными проникнуть внутрь ядра и вызвать в нем изменения. Самопроизвольное превращение элементов (распад) называется радиоактивностью. В настоящее время известны следующие виды радиоактивных превращений:  $\alpha$ -распад с испусканием ядер атомов гелия;  $\beta$ -распад с испусканием электронов и позитронов; захват ядром электрона с одной из собственных оболочек (обычно с  $K$  оболочки); самопроизвольное (спонтанное) деление некоторых тяжелых ядер на два близких по массе осколка. Во многих случаях  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы уносят не всю энергию. Остаток ее испускается в виде одного или нескольких  $\gamma$ -квантов (Геофизика, 2012; Геофизические методы исследования, 1988; Общая геофизика, 1995 и др.).

Методы исследования скважин — геофизические исследования в скважинах (ГИС) можно разделить на несколько видов в зависимости от решаемых задач. Геофизические исследования с целью изучения вскрытого скважиной геологического разреза называют каротажем. При каротаже с помощью каротажного зонда измеряют параметры различных физических полей, характеризующих физические, химические и другие свойства пород. В зависимости от изучаемых свойств пород различают электрический, радиоактивный, акустический или другие виды каротажа. Общим для всех видов каротажа является объект исследования — разрез скважины и небольшой радиус исследования — от сантиметров до единиц метров.

При поисках и разведке рудных полезных ископаемых большое значение имеют методы околоскважинных и межскважинных исследований. В отличие от каротажа, объектом этого вида ГИС является массив горных пород в околоскважинном и межскважинном пространстве, а радиус исследования составляет от единиц до десятков метров.

Благодаря этому с помощью околоскважинных и межскважинных исследований могут быть обнаружены и исследованы объекты, не пересеченные скважиной (рудное тело или карстовые пустоты). К геофизическим исследованиям в скважинах относят также отбор образцов пород из стенок скважины с целью изучения их вещественного состава и физических свойств; опробование пластов для отбора проб пластового флюида с целью определения характера насыщения коллекторов; контроль технического состояния скважины, а также разработок и месторождений, необходимый в процессе бурения и эксплуатации скважин.

Скважина представляет собой горную выработку большой глубины и малого диаметра, заполненную промывочной жидкостью с глинистым раствором или технической водой, с удельным электрическим сопротивлением (УЭС), изменяющимся от сотых долей до единиц омметров. Геологический разрез пород, пересекаемых скважиной, представлен толщей осадочных пород, состоящей из прослоев разного состава. Прослой или несколько прослоев, в пределах которых свойства пород постоянны, называют пластом. Породы, залегающие выше или ниже пласта или рудного тела, называют вмещающими породами. В разрезах скважин, бурящихся на газ, нефть и воду, практический интерес представляют пласты пористых проницаемых пород (песчаники, известняки). Такие пласты, способные вмещать или отдавать пластовый флюид (нефть, газ, воду), называют коллекторами. Столб промывочной жидкости, заполняющей скважину, оказывает гидростатическое давление на ее стенки. При пересечении скважиной пласта коллектора наблюдается фильтрация в него промывочной жидкости, в результате чего на стенке скважины против пласта оседает слой глинистых частиц — глинистая корка. Часть пласта, в которую проник фильтрат промывочной жидкости, называют зоной проникновения.

Исследование скважин может осуществляться методами электротометрии (электрический и электромагнитный каротаж), среди которых наибольшее распространение получили методы:

- потенциалов самопроизвольной поляризации (ПС или СП);
- потенциалов вызванной поляризации (ВП);
- сопротивления, проводимого с помощью зондов без фокусировки тока, — метод кажущегося сопротивления (КС) и зондов с фокусировкой тока — метод бокового каротажа (БК);
- индукционного каротажа (ИК);
- диэлектрического каротажа (ДК).

Электротометрические методы исследования скважин отличаются как по характеру происхождения изучаемого электромагнитного поля, так и по его изменению во времени — частоте (Геофизика, 2012). По первому признаку методы делятся на две группы — естественного (ПС) и искусственного электромагнитного поля (ВП, КС, БК, ИК, ДК); по второму признаку — на методы постоянного (квазипостоянного) тока (ПС, ВП, КС, БК) и переменного тока (частота от несколько десятков кГц и выше, ИК, ДК). Такое деление в известной мере условно, так как в основе тех и других методов лежат общие законы электромагнитного поля.

Электрический (ЭК) и электромагнитный (ЭМК) каротаж основаны на измерении электрического поля, самопроизвольно возникающего в скважине или создаваемого в скважине искусственно. Электрический каротаж составляет основу комплекса ГИС; основным ограничением его является невозможность проведения исследования скважин, закрепленных обсадной колонной.

Самопроизвольное образование электрического поля в скважине и вблизи нее называют самопроизвольной поляризацией (ПС). Потенциалы самопроизвольной поляризации  $U_{ПС}$  возникают благодаря явлению диффузии, в меньшей степени фильтрации, а также в связи с окислительно-восстановительными процессами. Промывочная жидкость и пластовая вода имеют различную минерализацию, причем минерализация пластовой воды выше. В связи с этим на границе «скважина — горная порода» возникает диффузионно-адсорбционный потенциал самопроиз-

вольной поляризации (ПС). Измеряют потенциал  $U_{ПС}$  при помощи двухэлектродной схемы: электрод  $N$  находится на поверхности, электрод  $M$  передвигается вдоль скважины, а прибор  $U$  регистрирует их разность потенциалов в милливольтках. Точкой записи кривой является электрод  $M$ . Относительно условно проведенной интерпретатором на кривой ПС линии глин отсчитывают амплитуды ПС. Наибольшие амплитуды наблюдаются против мощных ( $H \gg 4d$ ) и чистых неглинистых пластов. С уменьшением мощности пласта и повышением глинистости амплитуда  $U_{ПС}$  падает. Для проведения каротажа ПС благоприятны песчано-глинистые разрезы с небольшим УЭС пород и пресными промывочными жидкостями. В таких породах кривая ПС — надежное средство выделения песчаных пластов коллекторов и корреляции разрезов скважин. Плохо дифференцированные кривые ПС получаются при высоких УЭС пород (карбонатный разрез), но особенно при наличии в разрезе пластов каменной соли. Соль, растворяясь в промывочной жидкости, повышает ее минерализацию до значений, характерных для пластовых вод. В районах, где скважины бурят на высокоминерализованных промывочных жидкостях, каротаж ПС не проводят. В угольных и рудных скважинах ПС возникает в связи с окислительно-восстановительными процессами. На контакте пород и руд, обладающих естественной электронной проводимостью, с вмещающими породами и буровым раствором возникает электродный потенциал, как на контакте металла с электролитом. На этом основан метод электродных потенциалов (ЭП), предназначенный для изучения пересеченных скважиной сульфидных рудных тел и пластов антрацита.

### ***1.3. Основы прикладной геофизики***

Предметом исследований прикладной геофизики являются глубинные структуры земной коры на суше и океанах (платформенные, геосинклинальные, рифтовые области, океанические впадины и др.), кристаллический фундамент, осадочный чехол, полезные ископаемые в них, верхняя часть земной коры, называемая геологической (геофизической) средой, или верхней частью разреза.

Целью прикладной геофизики является восстановление строения, состава, истории развития этих объектов земной коры на основе косвенной информации о физических полях.

Основными задачами геофизических исследований земной коры являются: изучение состава, строения, состояния и динамики пород, слагающих земную кору, выявление полезных ископаемых и изучение геологической среды как основы для промышленного, сельскохозяйственного, гражданского и военного освоения и сохранения ее экологических функций, как источника жизни на Земле путем косвенного изучения физических полей. Формально перечисленные задачи сводятся к обнаружению геологических объектов, оценке их геометрии, определению их геологической природы.

Следует подчеркнуть, что геофизические исследования часто дают лишь дополнительную объективную информацию при решении множества задач, особенно геологического плана. Геофизика не может обойтись без прямых непосредственных геологических, геодинамических, геохимических, гидрогеологических, инженерно-геологических и других методов. Поэтому необходимо ее комплексирование с другими негеофизическими методами (Геофизика, 2012).

В соответствии с решаемыми задачами основными прикладными направлениями и методами геофизических исследований земной коры являются глубинная, региональная, разведочная (нефтегазовая, рудная, нерудная, угольная), инженерная (инженерно-геологическая, гидрогеологическая, почвенно-мелиоративная, мерзлотно-гляциологическая) и экологическая геофизика.

Методы глубинной геофизики (глубины исследований — десятки, сотни и тысячи километров) дают основную информацию для фундаментальной (планетарной геофизики, физики Земли и ее глубинных оболочек) и прикладной (региональной) геофизики. На фактическом материале глубинной геофизики базируются геодинамика, геотектоника, глубинная геохимия. При региональных и поисково-разведочных работах на нефть, газ, твердые полезные ископаемые применяются среднеглубинные методы (глубины исследований порядка 10 км). Малоглубинная геофизика (до 1 км) используется при картировочных, поисково-разведочных работах, а также при решении гидрогеологических, почвен-

но-мелиоративных, инженерно-геологических, горных, мерзлотно-гляциологических, гидрогеологических, почвенно-мелиоративных, мерзлотно-гляциологических, геотехнических, археологических, экологических и других задач (Геофизика, 2012; Общая геофизика, 1995).

Глубинная геофизика объединяет физические методы изучения различных геофизических полей на поверхности континентов, океанов и морей, изменений физических свойств оболочек Земли по вертикали и горизонтали. Вместе с физикой вещества при высоких давлениях и температурах глубинная геофизика составляет физику Земли, т.е. науку, изучающую Землю, ее строение, происхождение и эволюцию.

В региональную геофизику иногда объединяют глубинные (до 100 км) и среднелюбинные (до 10 км) структурные методы геофизики, предназначенные для решения структурно-геологического объемного картирования суши и акваторий. Она находится на стыке физики Земли и прикладной геофизики, является теоретической дисциплиной для тектоники и геодинамики и практической — для прогноза размещения месторождений полезных ископаемых и очагов опасных природных явлений.

Региональные геофизические работы проводятся по отдельным профилям (геотраверсам) при внеласштабных и мелкомасштабных (1:500 000) съемках или по площади при среднемасштабных (1:100 000—1:200 000) съемках. Картировочно-поисковый вариант региональной геофизики перспективных на полезные ископаемые районов сводится к сплошному (попланшетному) крупномасштабному (1:50 000 и крупнее) картированию (Геофизика, 2012). Используя разумно подобранный применительно к изучаемому району комплекс методов геофизики, можно более эффективно вести изучение литолого-петрографического состава и структурно-тектонического строения осадочных горных пород, подстилающего их кристаллического фундамента и земной коры. Для этого строятся *глубинные разрезы* и *карты-срезы* по опорным геолого-геофизическим горизонтам на разных глубинах. По мере накопления геолого-геофизической информации о районе для ее уточнения масштабы съемок укрупняются, осуществляется переход от профильных работ к площадным более крупного масштаба с повышенной густотой сети геофизиче-

ских наблюдений, привлечением геофизических методов повышенной точности и стоимости (Геофизика, 2012).

Полезные ископаемые: углеводородное сырье (нефть, газ), металлические (рудные), неметаллические (нерудные) и твердые горючие (угли, сланцы) являются объектами поисков и разведки соответственно нефтегазовой, рудной, нерудной и угольной геофизики. Месторождения полезных ископаемых — это прежде всего благоприятная геотектоническая структура. Она вмещает (контролирует) форму и положение аномально высоких концентраций одного или нескольких полезных ископаемых. Структурный контроль месторождения означает закономерную приуроченность полезного ископаемого к определенным типам, формам залегания полезного ископаемого, водовмещающих горных пород. Поиски и разведка полезных ископаемых (разведочная геофизика) — важнейший прикладной раздел геофизики (рис. 5).



**Рис. 5. Археологические работы по раскопке древнего судна на протоке Кирьяс (сентябрь 2015 г.)**

Основные ассигнования на геофизические исследования идут от нефтяных и газовых корпораций, для которых геофизика на суше и в акваториях дает наибольший экономический эффект.

Реже геофизика применяется при поисках и разведке рудных, нерудных и угольных месторождений.

Инженерная геофизика — это раздел прикладной (разведочной) геофизики, предназначенный для изучения геологической среды малоглубинными геофизическими методами с целью решения широкого круга задач гидрологии, почвоведения, инженерной и горной геологии, мерзлотоведения, гляциологии, технической геологии, археологии. Объектом ее исследования является геологическая, точнее, геолого-геофизическая среда мощностью в сотни метров и особенно верхняя часть разреза мощностью в десятки метров (Геофизика, 2012).

Эту часть верхней оболочки земной коры, где в наибольшей степени проявляются природные, экзогенные геологические (рис. 6), биологические и антропогенно-техногенные процессы, можно назвать биотехносферой, или экзотехносферой, поскольку здесь на почвы, грунты, горные породы воздействуют внешние, экзогенные (воздушные и водные) процессы, влияют естественные и искусственные физические поля, проявляются биологическая активность и антропогенная (инженерно-хозяйственная) деятельность человека.



**Рис. 6. Природные экзогенные склоновые процессы в районе протоки Кирьяс**

Инженерная (инженерно-гидрогеологическая) геофизика подразделяется на гидрогеологическую, почвенно-мелиоративную, инженерно-геологическую, горную, мерзлотную, гляциологическую, техническую, археологическую.

Экологическая геофизика (экзогеофизика) — это раздел геофизики, предназначенный для решения прикладных задач экологии, связанных с природными и техногенными изменениями состояния, а также вещественного и энергетического загрязнения отдельных частей биосферы (области обитания биоты и человека).

Объектом исследования экологической геофизики является пространство, где располагается биосфера, т.е. нижняя часть атмосферы, поверхностная гидросфера и верхняя часть литосферы, и техносфера, возникающая в связи с антропогенно-техногенной деятельностью людей. Предметом исследования экологической геофизики являются природные (естественные) и техногенные (искусственные) физические поля биотехносферы. Измеряя параметры этих полей и их динамику (вариации во времени), можно осуществлять мониторинг, т.е. слежение за отклонениями от нормального (устойчивого) состояния биотехносферы.

Следуя научной школе инженерной и экологической геологии МГУ, возглавляемой В.Т. Трофимовым, экологическую геофизику можно считать разделом экологической геологии (Геофизика, 2012).

Медицинская геофизика — это раздел экологической геофизики, в рамках которого проводится исследование влияния естественных (природных) и искусственных (техногенных) геофизических полей на здоровье людей. Эта область геофизики близка к медицинской физике, которая может быть определена как комплекс знаний об использовании физических полей для диагностики и лечения людей (в медицине) и животных (в ветеринарии). Изучение геопатогенной (вредной) и витагенной (полезной) роли геофизических и физических полей, используемых для диагностики и терапии, является целью и основной задачей медицинской физики и геофизики.

Разные части литосферы являются объектом применения различных методов прикладной геофизики (глубинной,

региональной, разведочной и инженерной), а экологические задачи давно решаются этими методами. Однако возрастающая роль экологии в жизни людей и борьба за сохранение окружающей среды, как и сложность поставленных проблем, приводят к необходимости создания специальных целенаправленных научно-прикладных дисциплин — экологической геологии и экологической геофизики, так же тесно связанных между собой, как и фундаментальные науки — геология и геофизика.

Составной частью геофизики литосферы является мерзлотная геофизика, или геофизика криолитозоны, изучающая значительную часть литосферы, которая постоянно или временно пребывает при отрицательных температурах и породы которой обладают рядом специфических свойств. Кроме того, для этой зоны характерно развитие особых процессов чисто криогенного происхождения. Одной из особенностей криолитозоны является повышенная чувствительность ее к внешним, в том числе техногенным, воздействиям. Довольно часто геофизику криолитозоны относят к области инженерной геофизики, занимающейся решением вопросов инженерной геологии, т.е. рассматривают ее как прикладную науку. На самом деле круг задач, решаемых с помощью геофизических методов при изучении криолитозоны, не ограничивается только инженерными аспектами. Таким образом, по объекту исследований данная дисциплина относится к геокриологии, а по методам — к геофизике, точнее, к той ее части, которую называют прикладной или разведочной геофизикой, в отличие от фундаментальных наук: физики Земли, гидросферы, атмосферы, космоса и др. (Зыков, 2007).

Криолитозонной называется область земной коры, в которой присутствуют породы, имеющие нулевую или отрицательную температуру в течение ряда (не менее трех) лет (Общая геокриология, 2002).

Породы при отрицательной температуре обычно подразделяются на мерзлые, морозные и охлажденные. К мерзлым, по определению Н.И. Толстихина и Н.А. Цытовича, относят породы, содержащие хотя бы часть воды в твердом состоянии — в виде льда; к морозным относят породы, не имеющие в своем составе льда (по П.Ф. Швецову), чаще всего из-

за недостатка свободной воды, способной переходить в лед при данных термодинамических условиях; к охлажденным относят влагосодержащие, не содержащие льда из-за того, что их температура выше температуры замерзания поровых растворов (Зыков, 2007).

В пределах криолитозоны несплошное распространение мерзлых пород проявляется как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Хотя в плане выделяют зону сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП). Согласно определению этой зоны, немерзлые породы в ней присутствуют, но площадь, занимаемая ими, существенно меньше. В пределах зоны островного распространения ММП различают подзоны редкоостровного, островного и массивно-островного распространения. Разное пространственное положение немерзлых пород среди мерзлых определяет выделение различных категорий таликов по условиям их залегания и происхождения. Выделяют талики, отличающиеся морфологией (сквозные и несквозные, межмерзлотные и внутримерзлотные) и генезисом (радиационно-тепловые, гидрогенные, хемогенные, техногенные и др.). Существует классификация таликов и внутри этих основных типов.

Зону распространения мерзлых пород обычно оконтуривают южной географической границей, далее которой эти породы обычно не встречаются. В горных областях ей соответствует высотная граница. В качестве критерия для проведения такой границы иногда используется положение нулевой геоизотермы у подошвы слоя сезонных колебаний температуры (геофизическая граница) (Зыков, 2007).

Важной особенностью мерзлых толщ при рассмотрении их строения в вертикальном направлении является присутствие слоя сезонного промерзания и протаивания. Если верхняя поверхность многолетнемерзлой толщи совпадает с нижней поверхностью слоя протаивания, эта толща называется сливающейся, в противном случае — несливающейся. В определенные временные промежутки может наблюдаться двухслойное строение мерзлой толщи. Немерзлые породы, перекрываемые и подстилаемые мерзлыми, могут находиться не только в области слоя сезонного промерзания — протаивания, но и внутри многолетнемерзлой толщи. Это либо зона (интервал разреза) между современными

многолетнемерзлыми породами и реликтовыми, либо зоны гидрогеологического происхождения, либо породы с минерализованным поровым раствором (охлажденным). Возможно не только двухслойное строение мерзлой толщи, но и многослойное.

Большинство экзогенных геологических процессов, протекающих в криолитозоне, связано с промерзанием и протаиванием влагосодержащих рыхлых пород верхней части разреза. Если сами процессы редко исследуются геофизическими методами, то условия их развития представляют несомненный интерес с точки зрения прогнозных оценок их потенциального проявления и способов предотвращения или защиты.

Важнейшие процессы (выпучивание твердых тел из рыхлых отложений, просадки при оттаивании, развитие бугров пучения (рис. 7), наледиобразование, солифлюкция, термокарст, миграция влаги к фронту промерзания, морозобойное растрескивание, а также термоабразия и термоэрозия) могут негативно воздействовать на инженерные сооружения (выпучивание свай, неравномерная осадка зданий, прорыв подмерзлотных вод в техногенные талики с образованием наледей, деформация искусственных насыпей, полотен дорог и др.).



**Рис. 7. Бугры пучения на территории города Нижневартовска в районе авторынка (август 2012 г.)**

Надежные прогнозные оценки могут производиться только на основе знания закономерностей и условий развития процессов. К этим условиям, в частности, относится геологическое и мерзлотное строение массива, характеризуемое литологическим составом и льдистостью мерзлых пород, их засоленностью и температурой, т.е. теми характеристиками, которые могут быть оценены с помощью геофизических методов (Зыков, 2007).

Специальным предметом геофизических исследований могут быть криогенные явления. Это бугры пучения, при изучении которых требуется определение конфигурации и объема ледяного ядра; повторно-жильные льды (картирование полигональных структур с определением горизонтальной мощности и глубины залегания верхней и нижней границ жил); термокарстовые формы (глубина протаивания и наличие льда, подвергающегося вытаиванию) и др.

### *Контрольные вопросы*

1. Перечислите основные геофизические понятия и определения.
2. Охарактеризуйте методику гравиразведочных работ: определение, тип съемки, проектная точность, масштаб съемки, система обхода точек наблюдения, гравитационный рейс, контрольные наблюдения и точность съемки.
3. Охарактеризуйте электромагнитные поля, которые используются в электроразведке, и их параметры.
4. Назовите основные области применения сейсморазведки, сущность, решаемые задачи и методы глубинной геофизики.
5. Что такое региональная геофизика? Перечислите основные ее разделы и решаемые задачи.
6. Какие методы геофизики используются при поисках, разведке и эксплуатации месторождений нефти и газа?
7. Назовите основные задачи и методы инженерно-геологической геофизики.

## Глава 2

### ОРГАНИЗАЦИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ С ПОМОЩЬЮ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Структура земельного фонда Ханты-Мансийского автономного округа — Югры сравнима со структурой земель субъектов Российской Федерации, находящихся в таежной зоне. Высока доля земель лесного фонда (РФ — 64,1%, ХМАО-Югра — 90,9%); примерно одинакова доля земель под населенными пунктами (РФ — 1,1%, ХМАО-Югра — 0,9%). Ниже в округе доля земель под промышленными предприятиями, транспортом, связью (РФ — 1%, ХМАО-Югра — 0,25%). Близки показатели земель запаса (РФ — 6,5%, ХМАО-Югра — 4,1%). Доля земель сельскохозяйственного назначения существенно ниже общероссийской (РФ — 23,8%, ХМАО-Югра — 1,3%). Структура категорий земель устойчива и практически во времени мало меняется (Макеев и др., 2004. С. 135).

Земля, будучи природным ресурсом, в процессе хозяйственной деятельности превращается в средство производства, предмет социально-экономических связей людей, объект земельно-имущественных отношений. При неповторимости регионального качества она повсеместно выполняет функцию общенародного достояния, используемого и охраняемого в интересах населения, социального, экономического и экологического пространства. Рациональное использование и охрана земли независимо от ее свойств — обязательные условия эффективного развития экономики и природопользования.

Если размещение объектов сельского хозяйства определяют природные условия, пригодность земли для ведения земледелия и животноводства, обеспеченность трудовыми ресурсами, то применительно к добывающей промышленности очевиден приоритет наличия и запасов минерального сырья и топлива. Создание производственной базы, привлечение специалистов относится к важным, но сопутствующим задачам.

В северных и сибирских регионах, богатых топливно-сырьевыми ресурсами, все отрасли хозяйствования занимают

подчиненное положение по отношению к освоению недр. Добывающая промышленность предопределяет структуру производства и характер природопользования, инфраструктурную обустроенность территории.

Организация рационального хозяйствования, использования и охраны земель увеличивает потенциал территории, повышает уровень социально-экономического развития региона. В местах индустриального освоения земель, интенсивной добычи нефти и газа это положение справедливо при условии адекватного развития дополнительных отраслей.

Оскудение недр будет замещаться высокотехнологичными предприятиями обрабатывающей промышленности и прямого природопользования (сельского, лесного, рыбного, промыслового хозяйства).

Поскольку земля служит основой любого производства, а в добывающей промышленности — хранилищем недр, организация ее использования относится к первоочередным видам преобразовательной деятельности. Глубина, последовательность, пространственные масштабы преобразований определяют содержание землеустройства, состав его правовых, социально-экономических, организационно-территориальных, экологических и иных мероприятий.

Землеустроительные действия на региональном, отраслевом, административном и хозяйственном уровнях создают определенную структуру территориальной организации производства. Для регионов интенсивного индустриального освоения наибольшую актуальность представляют предпроектные разработки, обеспечивающие выбор перспективных направлений использования и охраны земель, межотраслевое их перераспределение, формирование административно-территориальных подразделений и землепользовании основных отраслей (Исламова, 2000).

Для упорядочения деятельности нефте- и газодобывающих, геологоразведочных предприятий принят закон о лицензировании недр. Недропользователям на правах аренды земли выделены во временное пользование лицензионные участки для работ по поиску, разведке и добыче углеводородного сырья. В основном выделение лицензионных участков осуществляется на землях

лесного фонда, однако значительная часть из них располагается на землях запаса (Январева и др., 2004).

Большая часть нефтяного ресурсного и производственного потенциала Западно-Сибирской нефтегазовой провинции сосредоточена в Ханты Мансийском автономном округе. Территория ХМАО-Югры относится к числу наиболее изученных сейсморазведкой и глубоким поисково-разведочным бурением. Ханты-Мансийский автономный округ — Югра в контуре перспективных земель имеет площадь 514 тыс. км<sup>2</sup>.

Организациями Мингео и Миннефтепрома на территории ХМАО-Югры на начало 1993 г. было пробурено 21 085 тыс. м скважин методами опорного, параметрического и поисково-разведочного бурения.

Средняя величина изученности территории ХМАО-Югры в контуре перспективных земель глубоким бурением составляла 46,5 м/км<sup>2</sup> и 54,7 км<sup>2</sup>/скв.

Площадные сейсморазведочные работы на территории ХМАО-Югры проведены в объеме 407,3 тыс. пог. км, плотность сети профилей составила 0,9 пог. км/км<sup>2</sup>.

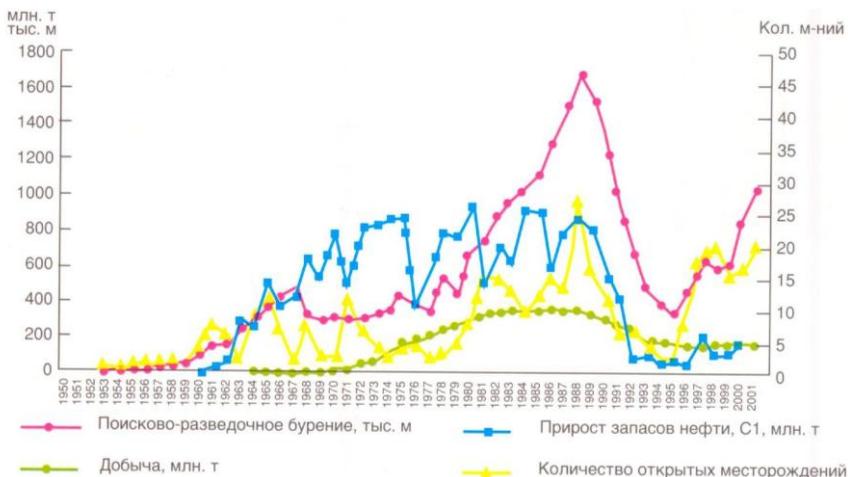
На территории ХМАО-Югры на 1 января 1993 г. было открыто 286 месторождений (Январева и др., 2004).

Начиная с 1993 г., с введением в действие закона «О недрах», в ХМАО-Югре выдано долгосрочных лицензий на добычу и доразведку месторождений по 281 участку. Эта территория называется распределенный фонд недр (РФН). Суммарная площадь участков насчитывает 146,9 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет 32,4% площади перспективных земель.

Площадь перспективных земель нераспределенного фонда недр ХМАО-Югры равна 306,9 км<sup>2</sup>.

В 1993—2001 гг. наиболее изученная территория округа с открытыми месторождениями и месторождениями, находящимися в разработке, передана в распределенный фонд недр.

1993—1995 гг. характеризуются резким спадом геологоразведочных работ, что привело к обвальному падению объемов поисково-разведочного бурения (рис. 8).



**Рис. 8. Динамика поисково-разведочных работ и добычи нефти по ХМАО-Югре (1950—2001 гг.)**

1996 год стал переходным между периодами спада геолого-разведочных работ и относительной стабилизации (в 1997—2001 гг.) благодаря формированию целевого фонда финансирования воспроизводства минерально-сырьевой базы.

В 1993—2001 гг. на территории ХМАО-Югры пробурено 5382,3 тыс. м пород, в том числе на неокомские отложения — 317,6 тыс. м, на юрские — 5064,7 тыс. м.

Закончено строительством 1728 скважин, в том числе пробуренных только на неокомские отложения — 124, на юрские — 1604.

Средняя величина показателя изученности глубоким бурением территории увеличилась и составила  $58,3 \text{ м/км}^2$  и  $45,3 \text{ км}^2/\text{скв.}$

В пределах распределенного фонда недр (РФН) в этот период пробурено 3770,5 тыс. м, в том числе на неокомские отложения 201,1 тыс. м, на юрские — 3569,4 м. Закончено строительством 1218 скважин, в том числе на неокомские отложения — 80, на юрские — 1138.

На территории нераспределенного фонда недр в течение 1993—2001 гг. пройдено 1121,8 тыс. м пород, в том числе на неокомские отложения проходка составила 49 тыс. м, на юрские —

1072,8 тыс. м. Закончено строительством 332 скважины, в том числе на отложения неокома — 17, на юрские — 315. По состоянию на 1 января 2002 г. на территории ХМАО с 1993 по 2001 гг. открыто 106 месторождений

Результаты поисковых работ по Территориальной программе геологоразведочных работ в 1996—2001 гг. позволили уточнить нефтегеологическое районирование центральной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции и существенно повысить перспективы слабо изученных западных и восточных районов округа.

На Северо-Рогожниковском (Шпильмановском) месторождении установлено, что контуры залежей  $BK_1$ ,  $BK_2$  в отложениях викуловской свиты распространяются далеко на север от Красноленинского свода. Преимущество их в том, что залежи нефти находятся на небольших глубинах (1400—1600 м) и в ближайшее время могут быть использованы для поддержания и, возможно, увеличения добычи на западной территории Ханты-Мансийского округа.

Подтверждена промышленная нефтеносность палеозойских отложений в скважине 50 Ханты-Мансийского месторождения, здесь же выявлена нефтеносность более глубоких горизонтов доюрских пород, а также отложений нижней (пласт  $Ю_{10-11}$ ) и средней (пласт  $Ю_{2-3}$ ) юры.

Значимым событием стало открытие Иусского нефтегазоконденсатного и Котыльинского нефтяного месторождений на границе со Свердловской областью. Нефтеносность связана с пластами  $П_1$ ,  $Ю_2$  и корой выветривания, дебиты нефтеносности достигают  $170 \text{ м}^3/\text{сут}$ , газа — до 500 тыс.  $\text{м}^3/\text{сут}$ . Открытие создает предпосылки для расширения границ Шаимского нефтегазоносного района к Уралу, за пределы округа.

В Приобско-Айпимской зоне открыта группа Кондинских месторождений (Чапровское, Западно-Эргинское), расположенных вблизи Приобского. На севере открыты Логачевское, Чанатойское, Мытаяхинское, Западно-Ватлорское, Южно-Лунгорское месторождения. Подтверждена нефтеносность палеозойских и среднеюрских отложений, доказана продуктивность нижнеюрских отложений и нетрадиционных коллекторов абалакской сви-

ты. Эти открытия значительно повысили перспективы обширной Фроловской мегавпадины.

В южной части Центральной зоны, в пределах Юганской впадины открыты Встречное, Токайское, Восточно-Токайское и Мултановское месторождения, расположенные вблизи Угутской группы месторождений, а также Бинштоковское и Западно-Полуньяхское месторождения, укрепившие ресурсный потенциал Тайлаковской группы месторождений.

Особое значение имеет открытие в 2000 г. Борового месторождения нефти в восточной зоне округа. Получены промышленные притоки нефти из верхнеюрских пластов Ю<sub>1</sub><sup>1</sup> и Ю<sub>1</sub><sup>2</sup> (12 и 6 м<sup>3</sup>/сут) на территории, долгое время считавшейся малоперспективной в связи с ее слабой геологической изученностью.

В пределах Александровского мегавала в скважинах 23 и 28 Котыгьганской площади из отложений палеозоя и нижней юры (Ю<sub>10</sub>) получены притоки нефти.

Планомерные геолого-геофизические исследования территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры начались с 1947 г. (Одношевная И.И. и др., 2004).

Первый десятилетний этап исследований (до 1957 г.) был ориентирован на поиск крупных структурно-тектонических элементов и выявление общих закономерностей в геологическом строении района. В результате проведения региональных геологических, гравиметрических, магнитных исследований и сейсмических работ МОВ, СЗ МОВ, ТЗ МПВ были выявлены крупные положительные тектонические элементы II порядка.

С 1957 г. начался целенаправленный поиск структур III порядка. Этот этап характеризуется широким развитием площадных сейсморазведочных работ МОВ в сочетании с большими объемами поискового бурения и сейсмокаротажа. В результате выполненных геолого-геофизических исследований были уточнены структурные планы по различным отражающим горизонтам осадочного чехла.

С 1970 до 2002 гг. проведены региональные сейсмические исследования МОГТ, создана сеть региональных профилей протяженностью порядка 18 тыс. км.

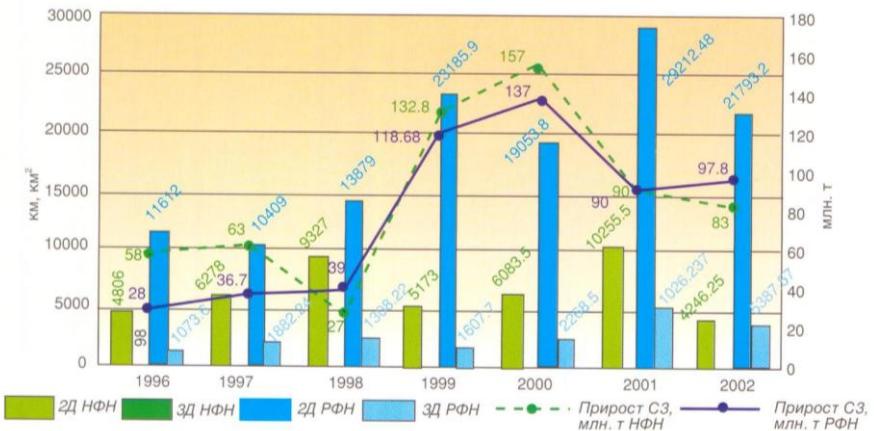
С 1970 г. началось внедрение методики многократного профилирования МОГТ, а съемки МОВ стали резко сокращаться. Мак-

симальная производительность сейсмической съемки МОГТ была достигнута в 1987—1988 гг.

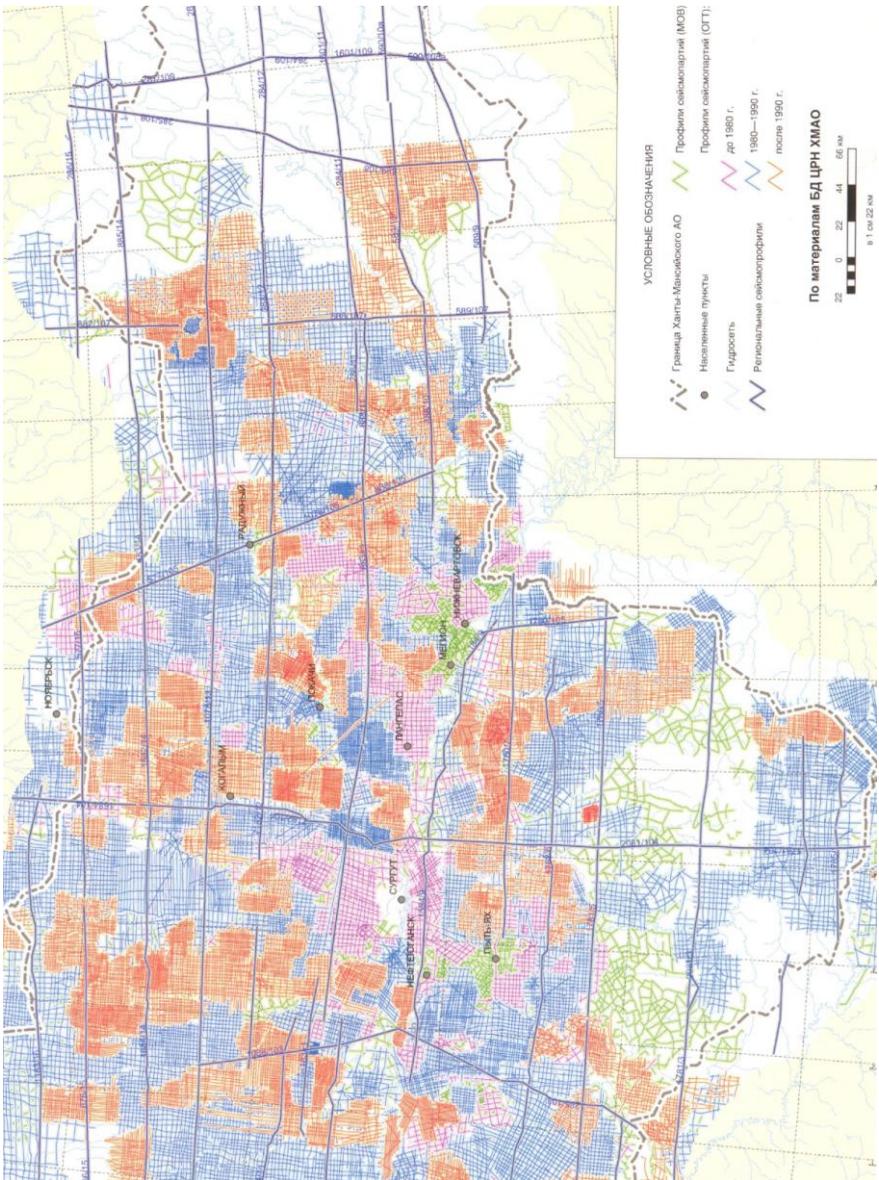
На данном этапе начинают применяться невзрывные источники возбуждения, полевые цифровые регистрирующие системы, методика вертикального сейсмокаротажного профилирования (ВСП), осуществляется переход на работы повышенной кратности. Внедряются современные обрабатывающие комплексы. Это позволило перейти к выявлению, картированию и подготовке к поисковому бурению неструктурных объектов.

С 1984 г. начинается внедрение детальных сейсмических исследований методом 3D с целью уточнения геологического строения и морфологии разведываемых и разрабатываемых месторождений.

К 2002 г. большая часть территории ХМАО-Югры за исключением восточной, северо-западной и юго-западной частей, покрыта геофизической съемкой 2D с плотностью порядка 1,0 км/км<sup>2</sup> (Одношневная И.И. и др., 2004). В пределах распределенного фонда недр сейсморазведка 3D проведена на площади более 20 тыс. км<sup>2</sup> (рис. 9).



**Рис. 9. Объем сейсморазведочных работ на территории ХМАО-Югры в период 1996—2002 гг.**



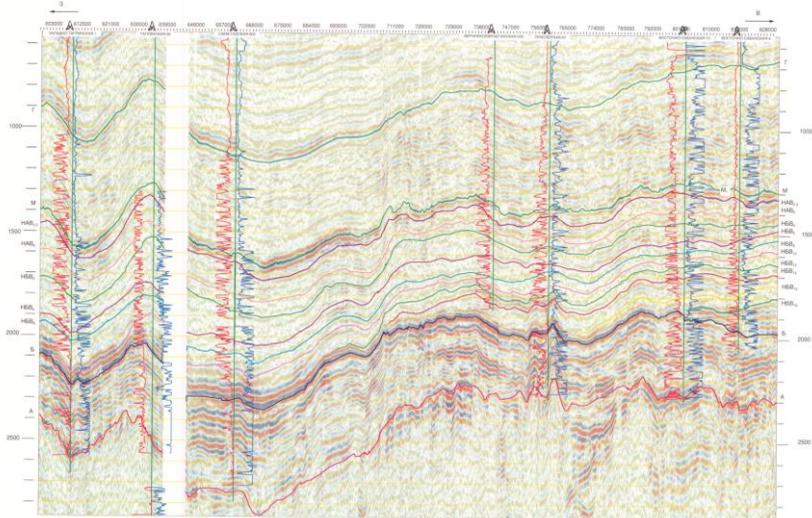
**Рис. 10. Изученность сейсмозональными работами восточной части территории ХМАО-Югры (Одношневная И.И. и др., 2004)**

С 1956 по 2001 гг. геофизические исследования в пределах нераспределенного фонда недр систематически увеличивались, что положительно отразилось на количестве подготовленных объектов и на приросте ресурсов категории  $C_3$ .

С 1993 по 2001 гг. проведены площадные сейсморазведочные работы в объеме 191,8 тыс. пог. км. Изученность перспективных земель территории ХМАО-Югры увеличилась с 0,9 до 1,3 км/км<sup>2</sup> (рис. 10).

В то же время территория ХМАО-Югры при достигнутой относительно высокой изученности бурением и сейсморазведкой характеризуется неравномерностью исследований как по территории, так и по разрезу (Горбачева и др., 2004).

Наиболее изучена центральная ее часть — Среднее Приобье (Геофизическая характеристика разреза, 2004). Запад и крайний восток не изучены даже в региональных научных исследованиях. Результатами работ геофизиков являются сейсмические разрезы, где можно наглядно увидеть наличие нефтеносных горизонтов (рис. 11).



**Рис. 11. Фрагмент сейсмического разреза от Западно-Тагринской до Восточно-Сабунской скважин (Геофизическая характеристика разреза, 2004)**

С 1997 по 2001 гг. здесь были проведены региональные сейсморазведочные исследования в рамках ранее запланированного каркаса сети профилей, но для выбора наиболее перспективных зон этого недостаточно. Для постановки поисковых работ необходимо создание надежной региональной сейсмогеологической основы.

### ***Контрольные вопросы***

1. Назовите структуру категорий земель Нижневартовского района.
2. Охарактеризуйте организацию рационального хозяйствования, использования и охраны земель на территории округа и Нижневартовского района.
3. Назовите основные геолого-геофизические исследования на территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры.
4. Раскройте вопрос изученности территории Ханты-Мансийского округа — Югры сейсморазведочными работами.

## Глава 3

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОФИЗИКИ

Экологическая геофизика (экогеофизика) — научное направление (раздел) экологической геологии, исследующее морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением геофизических полей природного и техногенного происхождения, их отклонением от нормы и воздействием на биоту (живые организмы, включая человека) (Вахромеев, 1995). Для этого привлекаются методы геофизики, геотектоники, сейсмотектоники и данные медико-биологических дисциплин. При этом также необходимо тесное сотрудничество с представителями медико-санитарной службы.

Объектом исследования экологической геофизики является пространство, где располагается биосфера, т.е. нижняя часть атмосферы, поверхностная гидросфера и верхняя часть литосферы, и техносфера, возникающая в связи с антропогенно-техногенной деятельностью людей. Предметом исследования экологической геофизики являются природные (естественные) и техногенные (искусственные) физические поля биотехносферы (Геофизика, 2012), а также экологические функции литосферы, свойство литосферы поддерживать на земной поверхности условия, пригодные для существования жизни в прошлом, настоящем и будущем (Экологические функции литосферы, 2000).

Измеряя параметры этих полей и их динамику (вариации во времени), можно осуществлять мониторинг, т.е. слежение за отклонениями от нормального (устойчивого) состояния биотехносферы (рис. 12).

При этом под экологическими функциями литосферы (понятие введено В.Т. Трофимовым и Д.Г. Зилингом в 1994 г.) понимается все многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение литосферы, включая подземные воды, нефть, газ, геофизические поля и протекающие в ней геологические процессы, в жизнеобеспечении биоты и, главным образом, человеческого сообщества (Теория и методология экологической..., 1997).



**Рис 12. Освоение новых лицензионных участков**

К экологическим функциям литосферы относятся:

— ресурсные, обеспечивающие существование биоты и человека благодаря минеральным, водным и энергетическим ресурсам;

— геодинамические, т.е. способность литосферы влиять на биоту и человека через природные и техногенные процессы и явления (вулканизм, землетрясения, обвалы, карст, оползни, промышленные катастрофы и др.);

— вещественные, геохимические (химические) неоднородности распределения химических элементов в почвах, горных породах, подземных водах, снеге, дожде, воздухе и др., влияющие на биоту и являющиеся источниками загрязнения окружающей среды (рис. 13);

— энергетические, геофизические (физические) неоднородности полей или загрязнения окружающей среды, опасные для живых организмов.



**Рис. 13. Загрязнение геохимической природы**

Практическими разделами экологической геологии являются:

- 1) экологическая геология территорий влияния городских агломераций;
- 2) экологическая геология зон влияния гидротехнических объектов;
- 3) экологическая геология территорий влияния месторождений полезных ископаемых;
- 4) экологическая геология территорий влияния мелиоративных объектов;
- 5) экологическая геология зон влияния линейных объектов;
- 6) экологическая геология зон влияния теплоэнергетических объектов;
- 7) экологическая геология зон влияния атомно-энергетических объектов;
- 8) экологическая геология территорий влияния сельскохозяйственных объектов;
- 9) экологическая геология территорий влияния лесохозяйственных объектов;

10) экологическая геология территорий влияния промышленных объектов и др. (Экологические функции литосферы, 2000).

Структура научного метода экологической геологии включает в себя: общую структуру методики эколого-геологических исследований; специальные методы исследований: эколого-геологическое картирование, функциональный анализ эколого-геологической обстановки, эколого-геологическое моделирование, эколого-геологический мониторинг, инженерно-экологические изыскания (рис. 14).



**Рис. 14. Мониторинг загрязненных земель**

У экологической геофизики и экологической геологии общий объект исследований — верхняя часть литосферы, характеризующаяся нелинейностью свойств и изменчивостью во времени определяющих ее параметров.

Экологические проблемы давно являются предметом исследований общей, или фундаментальной, геофизики, состоящей из физики Земли, геофизики атмосферы, литосферы, гидросферы. Примером может служить изучение землетрясений, медленных

подъемов и опусканий суши, имеющее важное значение в экологической геодинамике. Другой пример — изучение периодических изменений солнечной активности и магнитных бурь (Дьяконов, 1988; Учебно-методический комплект., 2007).

Развитие технологий экспериментальных исследований и накопление данных натуральных измерений, касающихся огромного множества процессов, протекающих в твердой Земле, происходит стремительными темпами и значительно опережает развитие соответствующих теоретических представлений, способных охватить множество накопленной информации. В связи с этим все очевиднее становятся еще нереализованные возможности геофизики в развитии технологии комплексного освоения минеральных и углеводородных ресурсов, изучение и прогнозирование природных катастроф (Володин, 2003). Прогностические функции науки в этой области, теоретическая база для описания процессов, протекающих в недрах Земли, недостаточны, и требуется их существенное развитие. Главной проблемой геофизики является то, что для понимания геофизических процессов необходимо создание новой парадигмы, которая бы существенно приблизила к природе модели геосреды и геодинамических процессов.

При исследовании динамики геосреды на первый план выходят не статистические параметры, а межмасштабные связи. Они могут исследоваться, например, на основе комбинированного искусственного воздействия сразу в нескольких частотных диапазонах как на геосреду в натуральных условиях, так и на лабораторные образцы горных пород. Это позволит получить новые, недоступные для традиционных методов параметры и разработать новые методы исследований образцов и горных пород в естественном залегании (Володин, 2003).

*Проблема озонового слоя.* В настоящее время истощение озонового слоя признано всеми как серьезная угроза глобальной экологической безопасности. Снижение концентрации озона ослабляет способность атмосферы защищать все живое на земле от жесткого ультрафиолетового излучения (УФ-радиации). Живые организмы весьма уязвимы для ультрафиолетового излучения, ибо энергии даже одного фотона из этих лучей достаточно, чтобы разрушить химические связи в большинстве органических молекул. Не случайно в районах с пониженным содержанием озона

многочисленны солнечные ожоги, наблюдается рост заболеваемости людей раком кожи и др.

*Проблема глобального потепления.* Глобальное изменение климата стало одной из главных научных проблем человечества (Ганьшин и др., 1995; Глобальное потепление, 1993; Крученицкий и др., 1998; Показеев и др., 1998; Ревель и др., 1995; Экологические проблемы..., 1997 и др.). В 1990 г. сорок девять выдающихся ученых мира обратились к мировому сообществу с призывом ограничить выбросы в атмосферу парниковых газов, так как, по их мнению, глобальное потепление, обусловленное этими выбросами, представляет собой самую серьезную экологическую проблему человека. В этом же году крупнейшие климатологи планеты подготовили доклад для межправительственной группы экспертов по проблемам изменения климата, образованной Генеральной Ассамблеей ООН, в котором пришли к заключению, что выбросы в атмосферу парниковых газов приводят к дополнительному нагреву земной поверхности. По мнению экспертов, при сохранении современных темпов потепления через полвека на планете может быть достигнута температура, которой не знало человечество за весь период своего существования. В конце 90-х гг. категоричность мнения о глобальном потеплении ослабла, широкое распространение получила, прежде всего среди ученых, точка зрения о недоказанности исключительно антропогенного происхождения глобального потепления и его реальности. С конца XIX в., когда появились первые метеорологические станции, проводятся систематические измерения температуры приповерхностного воздуха. За прошедшие сто с лишним лет непрерывных метеорологических измерений был отмечен заметный рост средней температуры на величину около одного градуса (Трухин и др., 2004).

Механизм парникового эффекта заключается в следующем. Земля находится под воздействием потока излучения Солнца. Атмосфера Земли, ее поверхность частично отражают падающее излучение, частично поглощают. Поглощение энергии вызывает нагрев земной поверхности. Земная поверхность также излучает, но так как ее температура много ниже солнечной, основное излучение энергии происходит на частотах инфракрасного диапазона. Часть этого излучения поглощается парниковыми газами атмо-

сферы. Парниковые газы пропускают излучение в видимом диапазоне и поглощают в инфракрасном. Таким образом, парниковые газы удерживают на Земле дополнительное количество энергии.

Парниковые газы — газы, задерживающие инфракрасные лучи, которые нагревают поверхность Земли и атмосферу. Парниковые газы могут иметь естественное и антропогенное происхождение. Соответственно, следует различать естественный парниковый эффект и влияние на парниковый эффект, обусловленное газами, потупившими в атмосферу в результате человеческой деятельности.

Климат Земли определяется не только атмосферными процессами. В формировании климата участвуют океан, криосфера (ледовое покрытие планеты), литосфера, растительный и животный мир (биота).

Необходимо отметить, что важнейшим парниковым газом является водяной пар, а его роль в системе солнечно-земных связей полностью не исследована. В последнее время получены новые экспериментальные данные, указывающие на особую связь облачного покрова (воды) с солнечной активностью. Тропические широты Земли получают за год примерно в 2 раза больше тепла, чем остальная часть земной поверхности. В тропической части атмосферы содержится основная масса водяного пара атмосферы. Поэтому тропическая зона является более энергонасыщенной, чем внетропические зоны.

Измерения температуры поверхности Земли характеризуются существенными неоднородностями, самой яркой неопределенностью является эффект городских «островов тепла». Метеорологи многих стран приводят убедительные доказательства влияния крупных городов, жилых массивов на температуру поверхности. Повышение температуры в районах крупных городов может достигать 1—2 °С. Поэтому многие метеорологи считают более достоверным получать оценки изменения температуры на основе измерений температуры нижней тропосферы (до 4 км), а не поверхностных температур. В настоящее время ученые располагают более чем 20-летними рядами температуры нижней тропосферы, полученной на основе спутниковых данных и шаров-зондов, т.е. двумя независимыми способами.

*Экологические проблемы энергетики.* У человека есть в резерве мощные источники энергии. Энергетика техногенных процессов уже стала соизмеримой с энергетикой крупных геофизических процессов.

Наряду с ростом энергопотребления имеют место четкий рост стоимости производства энергии и рост загрязнений и отрицательного воздействия на окружающую среду. Причем в последние годы выявлена тенденция влияния загрязнений образующейся в процессе выработки энергии на природные процессы в глобальном масштабе — это, прежде всего, влияние энергетики на глобальное потепление. Топливо-энергетический комплекс РФ является главным поставщиком загрязнений в окружающую среду. На долю топливо-энергетического комплекса приходится 50% выбросов вредных веществ в атмосферу, 27% загрязнений водоемов, 30% твердых отходов.

Основные формы влияния энергетики на окружающую среду состоят в следующем:

1) основной объем энергии человечество пока получает за счет использования невозобновимых ресурсов;

2) загрязнение атмосферы: тепловой эффект, выделение в атмосферу газов и пыли, причем имеет место глобальное воздействие (парниковый эффект, разрушение озонового слоя);

3) загрязнение гидросферы: тепловое загрязнение водоемов, выбросы загрязняющих веществ, изменение режима подземных и поверхностных вод;

4) загрязнение литосферы при транспортировке энергоносителей и захоронении отходов, при производстве энергии;

5) загрязнение радиоактивными и токсичными отходами окружающей среды;

6) изменение гидрологического режима рек гидроэлектростанциями и, как следствие, загрязнение на территории водотока;

7) создание электромагнитных полей вокруг линий электропередач;

8) изменение видового разнообразия в районах размещения объектов топливо-энергетического комплекса (рис. 15);

9) инициирование геологических процессов.

Топливо-энергетический комплекс в огромных количествах поставляет в окружающую среду оксид углерода, сернистый

ангидрид, оксиды азота, углеводороды, сажу, тяжелые металлы, нефтепродукты, фенолы, хлориды, сульфаты и др. (рис. 15).



**Рис. 15. Инфраструктурные объекты топливно-энергетического комплекса**

При производстве электроэнергии и тепловой энергии в окружающей среде рассеивается в виде горящих газов и теплой воды до 60% исходной энергии. При этом для охлаждения циркуляционных вод станций нужны водохранилища большой площади. Обычно водоемы используются не только для охлаждения, но и для водоснабжения, рекреации, рыбного и сельского хозяйства. Тепловое действие затрудняет использование водоемов для задач перечисленных отраслей. Для тепловых электростанций (ТЭС) характерно высокое радиационное и токсичное загрязнение окружающей среды. Это обусловлено тем, что обычный уголь, его зола содержат микропримеси урана и ряда токсичных элементов (кадмий, кобальт, мышьяк и др.) в больших концентрациях, чем земная кора. При работе ТЭС радионуклиды и токсичные элементы поступают в атмосферу, почву, водоемы. Как следствие, ра-

диационное загрязнение и загрязнение токсичными элементами вокруг ТЭС, работающей на угле, выше фонового загрязнения в среднем в 10—100 раз.

Значительные территории вокруг ТЭС подвергаются действию кислотных дождей, золы, содержащей токсичные примеси. В зонах размещения ТЭС наблюдается хроническое угнетение растительности, в результате чего происходит сокращение сельхозпродукции, накопление токсичных элементов в растениях.

Атомные электростанции (АЭС) не вырабатывают углекислый газ. При нормальном режиме работы АЭС радиоактивное загрязнение не оказывает заметного влияния на население и биоту. Количество радиоактивных веществ сравнительно невелико.

В РФ тепловые электростанции дают 90—95% общего поступления выбросов в атмосферу от объектов энергетики твердых и жидких загрязнений, сернистого ангидрида, оксида азота. Наземные и водные экосистемы загрязняются, в основном, тепловыми электростанциями.

При строительстве крупных тепловых станций или их комплексов загрязнение окружающей среды еще более значительно. При этом могут возникать новые эффекты, например, обусловленные превышением скорости сжигания кислорода над скоростью его образования за счет фотосинтеза земных растений на данной территории или вызванные увеличением концентрации углекислого газа в приземном слое.

Сооружение гидроэлектростанций (ГЭС) на равнинных реках приводит ко многим экологическим проблемам. Водоохранилища, необходимые для обеспечения равномерной работы ГЭС, вызывают изменения климата на прилегающих территориях на расстояниях до сотен километров, являются естественными накопителями загрязнений, в том числе радиоактивных. Если реализовать некоторые проекты ликвидации водоохранилищ, то возникнет не менее сложная задача утилизации загрязнений, которые были накоплены в водоохранилищах за длительное время. В водоохранилищах развиваются сине-зеленые водоросли, ускоряются процессы эвтрофикации, что приводит к ухудшению качества воды, нарушению функционирования экосистем. Более перспективным является сооружение ГЭС на горных реках. Это обусловлено более высоким гидроэнергетическим потенциалом горных рек по

сравнению с равнинными реками. При сооружении водохранилищ в горных районах не изымаются из землепользования большие площади плодородных земель.

Наиболее перспективным видом нетрадиционной энергетики является солнечная энергетика. Однако она имеет особенности, которые затрудняют ее широкое использование. Ведь при эксплуатации фотоэлектрических преобразователей возникают экологические проблемы, обусловленные большими размерами установок и использованием при производстве, эксплуатации, утилизации фотоэлектрических преобразователей ряда вредных веществ.

Другой хорошо известный способ получения энергии — ветряные мельницы. Ветровая энергетика не потребляет ископаемое топливо, не использует воду для охлаждения и не вызывает теплового загрязнения водоемов, не загрязняет атмосферу. И тем не менее она оказывает, как выяснилось, отрицательное воздействие на окружающую среду.

Ветровые генераторы являются мощными источниками шума. Значительная часть звуковой энергии приходится на инфразвуковой диапазон, для которого характерно отрицательное воздействие на организм человека. Ветровые генераторы являются также источниками радиопомех.

Ветровая энергетика требует больших площадей для размещения установок. При близком размещении ветровых энергетических установок имеет место их взаимовлияние, приводящее к снижению мощности. Считается, что расстояние между отдельными установками должно быть не менее 10—20 диаметров ветрового колеса. Поэтому системы ветровых установок стараются размещать в безлюдной местности, что в свою очередь удорожает стоимость передачи энергии.

Геотермальная энергия — это энергия, внутренних областей Земли, запасенная в горячей воде или водяном паре. Она используется для выработки электроэнергии и для получения тепла. Однако использование такой энергии имеет отрицательные экологические последствия.

Строительство геотермальных станций нарушает «работу» гейзеров, что наносит невосполнимый ущерб национальным паркам и природным заповедникам. Для конденсации пара на гео-

термальных станциях используется большое количество охлаждающей воды, поэтому геотермальные станции являются источниками теплового загрязнения.

Наиболее эффективным методом защиты окружающей среды от воздействия геотермальных станций является реинфекция теплоносителя в коллектор и переход от фонтанной технологии подачи теплоносителя к циркуляционной.

*Экологические последствия стихийных бедствий.* Стихийные бедствия, несмотря на рост человеческих возможностей, продолжают оказывать огромное влияние на уровень жизни многих жителей планеты. Стихийные бедствия отрицательно влияют на миграцию населения, в ряде регионов Земли сводят на нет борьбу с бедностью и болезнями, ухудшают экологическую ситуацию.

Представить сложность ситуации на планете, обусловленную влиянием стихийных бедствий, можно на основе следующих данных. Каждые десять лет бедствия уносят более 1 миллиона человеческих жизней, десятки миллионов человек остаются без крова.

Вулканические извержения оказывают мощное прямое воздействие за счет лавы, пепла, камнепадов, выделения газов. В зоне вулканической деятельности разрушаются инженерные сооружения, выпадают кислотные дожди, нарушается почвенный покров, происходит массовое падение скота. Выброс большого количества пепла приводит к уменьшению поступления солнечной радиации на поверхность Земли, наблюдаются значительные отклонения от средноклиматических значений температуры.

При землетрясениях изменяются русла рек, происходят оползни и лавины, нарушается почвенный покров. Часто землетрясения сопровождаются голодом и эпидемиями.

При наводнениях разрушается почвенный покров, смываются плодородные почвы, затопляются сельскохозяйственные угодья, разрушаются здания и сооружения, изменяется гидрологический режим водных объектов.

Ураганы, сильные ветры не только разрушают здания, но и вызывают эрозию почвы. В прибрежных районах ураганы генерируют штормовые нагоны и огромные ветровые волны, которые затопляют значительные территории, вызывают сильные наводнения.

*Загрязнение атмосферы.* Существует два вида источников загрязнения атмосферы: естественные и антропогенные. К естественным источникам загрязнения атмосферного воздуха относятся космическая пыль, которая образуется из остатков сгоревших в атмосфере метеоритов, природная пыль, вулканы и флюидная активность Земли (Лыков и др., 2005).

Основными источниками антропогенного загрязнения атмосферы являются промышленность, сельское хозяйство, транспорт, энергетика и другие отрасли.

Антропогенное воздействие на атмосферу может быть прямым и косвенным.

Источниками прямого воздействия на атмосферу являются теплоэнергетика, транспорт, промышленность, нефтепереработка и др. Косвенное воздействие — результат нарушения человеком экологического равновесия, отражающегося в конечном итоге на состоянии атмосферы. К нему могут быть отнесены сведения лесов на больших площадях, мелиоративные работы, добыча полезных ископаемых открытым способом.

На всех стадиях своего развития человек был тесно связан с окружающим миром. Но с тех пор как появилось высокоиндустриальное общество, опасное вмешательство человека в природу резко усилилось, расширился объем этого вмешательства, оно стало многообразнее и сейчас грозит стать глобальной опасностью для человечества. Расход невозобновимых видов сырья повышается, все больше пахотных земель выбывает из экономики, так как на них строятся города и заводы. Человеку приходится все больше вмешиваться в биосферу. Биосфера Земли в настоящее время подвергается нарастающему антропогенному воздействию. При этом можно выделить несколько наиболее существенных процессов, любой из которых не улучшает экологическую ситуацию на планете. Наиболее масштабным и значительным является химическое загрязнение среды несвойственными ей веществами химической природы. Среди них — газообразные и аэрозольные загрязнители промышленно-бытового происхождения. Прогрессирует и накопление углекислого газа в атмосфере. Дальнейшее развитие этого процесса будет усиливать нежелательную тенденцию в сторону повышения среднегодовой температуры на планете. Вызывает тревогу у экологов и продолжаю-

щееся загрязнение Мирового океана нефтью и нефтепродуктами, достигшее уже 1/5 его общей поверхности. Нефтяное загрязнение таких размеров может вызвать существенные нарушения газо- и водообмена между гидросферой и атмосферой. Не вызывает сомнений и значение химического загрязнения почвы пестицидами и ее повышенная кислотность, ведущая к распаду экосистемы. В целом все рассмотренные факторы, которым можно приписать загрязняющий эффект, оказывают заметное влияние на процессы, происходящие в биосфере.

*Промышленное загрязнение.* Человек загрязняет атмосферу уже тысячелетиями, однако последствия употребления огня, которым он пользовался весь этот период, были незначительны. Приходилось мириться с тем, что дым мешал дыханию, что сажа ложилась черным покровом на потолке и стенах жилища. Получаемое тепло было для человека важнее, чем чистый воздух и незакопченные стены пещеры. Это начальное загрязнение воздуха не представляло проблемы, ибо люди обитали тогда небольшими группами, занимая обширную нетронутую природную среду. И даже значительное сосредоточение людей на сравнительно небольшой территории, как это было в классической древности, не сопровождалось еще серьезными последствиями.

В основном существуют три основных источника загрязнения атмосферы: промышленность, бытовые котельные, транспорт. Доля каждого из этих источников в общем загрязнении воздуха сильно различается в зависимости от места. Сейчас общепризнанно, что наиболее сильно загрязняет воздух промышленное производство. Источники загрязнения — теплоэлектростанции, которые вместе с дымом выбрасывают в воздух сернистый и углекислый газ; металлургические предприятия, особенно цветной металлургии, которые выбрасывают в воздух оксиды азота, сероводород, хлор, фтор, аммиак, соединения фосфора, частицы и соединения ртути и мышьяка; химические и цементные заводы. Вредные газы попадают в воздух в результате сжигания топлива для нужд промышленности, отопления жилищ, работы транспорта, сжигания и переработки бытовых и промышленных отходов. Атмосферные загрязнители разделяют на первичные, поступающие непосредственно в атмосферу, и вторичные, являющиеся результатом превращения последних. Так, поступающий в атмо-

сферу сернистый газ окисляется до серного ангидрида, который взаимодействует с парами воды и образует капельки серной кислоты. При взаимодействии серного ангидрида с аммиаком образуются кристаллы сульфата аммония. Подобным образом в результате химических, фотохимических, физико-химических реакций между загрязняющими веществами и компонентами атмосферы, образуются другие вторичные признаки. Основным источником пирогенного загрязнения на планете являются тепловые электростанции, металлургические и химические предприятия, котельные установки, потребляющие более 170% ежегодно добываемого твердого и жидкого топлива. Основными вредными примесями пирогенного происхождения являются следующие:

1) Оксид углерода. Получается при неполном сгорании углеводородных веществ. В воздух он попадает в результате сжигания твердых отходов, с выхлопными газами и выбросами промышленных предприятий. Ежегодно в атмосферу поступает 7 млрд т оксида углерода, выделяющегося при сгорании углеводородного топлива для автомобилей, заводов и т.п. (Лыков и др., 2005). Оксид углерода является соединением, активно реагирующим с составными частями атмосферы и способствующим повышению температуры на планете и созданию парникового эффекта.

2) Сернистый ангидрид. Выделяется в процессе сгорания серосодержащего топлива или переработки сернистых руд (до 70 млн т в год). При окислении сернистого ангидрида в атмосфере образуется серный ангидрид, а затем аэрозоль или раствор серной кислоты в дождевой воде. Выпадение кислотных атмосферных осадков способствует вымыванию кальция, гумуса и микроэлементов из почв, нарушению процессов фотосинтеза, приводящих к замедлению роста и гибели растений, исчезновению лесов. Кислотные атмосферные осадки способствуют интенсивному выветриванию горных пород и ухудшению качества несущих грунтов, а также химическому разрушению техногенных объектов, включая памятники культуры и наземные линии связи (Лыков и др., 2005).

3) Сероводород и сероуглерод. Поступают в атмосферу раздельно или вместе с другими соединениями серы. Основными источниками выброса являются предприятия по изготовлению искусственного волокна, сахара, коксохимические, нефтеперера-

батывающие, а также нефтепромыслы. В атмосфере при взаимодействии с другими загрязнителями подвергаются медленному окислению до серного ангидрида.

4) Оксиды азота. Основными источниками выброса являются предприятия, производящие азотные удобрения, азотную кислоту и нитраты, анилиновые красители, нитросоединения, вязкий шелк, целлулоид. Количество оксидов азота, поступающих в атмосферу, составляет 20 млн т в год.

5) Соединения фтора. Источниками загрязнения являются предприятия по производству алюминия, эмалей, стекла, керамики, стали, фосфорных удобрений. Фторсодержащие вещества поступают в атмосферу в виде газообразных соединений — фтороводорода или пыли фторида натрия и кальция. Соединения характеризуются токсическим эффектом. Производные фтора являются сильными инсектицидами.

6) Соединения хлора. Поступают в атмосферу от химических предприятий, производящих соляную кислоту, хлорсодержащие пестициды, органические красители, гидролизный спирт, хлорную известь, соду. В атмосфере встречаются как примеси молекулы хлора и паров соляной кислоты. Токсичность хлора определяется видом соединений и их концентрацией. В металлургической промышленности при выплавке чугуна и при переработке его на сталь происходит выброс в атмосферу тяжелых различных металлов и ядовитых газов.

Кроме перечисленных вредными примесями пирогенного происхождения являются пыль и сажа, техногенные радионуклиды, тяжелые металлы, полициклические ароматические углеводороды.

К источникам антропогенного загрязнения атмосферы тяжелыми металлами относят предприятия по добыче и переработке металлов, предприятия черной и цветной металлургии, машиностроения, заводы по переработке аккумуляторных батарей, автомобильный транспорт. Но самым мощным источником поступления в атмосферу многих металлов является процесс сжигания угля и нефти.

*Загрязнение транспортными средствами.* В последние десятилетия в связи с быстрым развитием автотранспорта и авиации существенно увеличилась доля выбросов, поступающих в атмо-

сферу от подвижных источников: грузовых и легковых автомобилей, тракторов, тепловозов и самолетов. Согласно оценкам, в городах на долю автотранспорта приходится (в зависимости от развития в данном городе промышленности и числа автомобилей) от 30 до 70% общей массы выбросов.

Основное влияние на загрязнение атмосферы оказывают автомобили, работающие на бензине, затем самолеты, автомобили с дизельными двигателями, тракторы и другие сельскохозяйственные машины, железнодорожный и водный транспорт. К основным загрязняющим атмосферу веществам, которые выбрасывают подвижные источники (общее число таких веществ превышает 40), относятся оксид углерода, углеводороды и оксиды азота. Оксид углерода и оксиды азота поступают в атмосферу только с выхлопными газами, тогда как не полностью сгоревшие углеводороды поступают как вместе с выхлопными газами (он составляет примерно 60% от общей массы выбрасываемых углеводородов), так и из картера (около 20%), топливного бака (около 10%) и карбюратора (примерно 10%); твердые примеси поступают в основном с выхлопными газами (90%) и из картера (10%) (Лыков и др., 2005).

Большое влияние на качество и количество выбросов примесей оказывает режим работы двигателя, в частности соотношение между массами топлива и воздуха, момент зажигания, качество топлива, отношение поверхности камеры сгорания к ее объему и др.

В последнее время в качестве автомобильного топлива используется бензин, не содержащий свинец. Свинец наряду с бензолом добавлялся в топливо в качестве антидетонатора для предотвращения преждевременного возгорания. При переходе на бензин, не содержащий свинец, количество выбросов свинца в атмосферу уменьшилось (Лыков и др., 2005). Но вместо свинца в бензин стали добавлять повышенное количество ароматических углеводородов, таких как бензол, толуол. Это привело к резкому увеличению фотохимического смога и накоплению в атмосфере канцерогенных органических соединений. По своему физиологическому воздействию на организм человека фотохимический смог крайне опасен для дыхательной и кровеносной системы и часто становится причиной преждевременной смерти городских жителей с ослабленным здоровьем. Альдегиды фотохимического смога раздражают слизистую глаз, а в высоких концентрациях

канцерогенны. Вместе с другими компонентами фотохимического смога альдегиды приводят к увяданию растительности, болезням и гибели животных, птиц и насекомых.

Хотя суммарный выброс загрязняющих веществ двигателями самолетов сравнительно невелик (для города, страны), в районе аэропорта эти выбросы вносят определяющий вклад в загрязнение среды. К тому же турбореактивные двигатели (как и дизельные) при посадке и взлете выбрасывают хорошо заметный на глаз шлейф дыма. Значительное количество примесей в аэропорту выбрасывают и наземные передвижные средства, подъезжающие и отъезжающие автомобили.

В последние 10—15 лет большое внимание уделяется исследованию тех эффектов, которые могут возникнуть в связи с полетами сверхзвуковых самолетов и космических кораблей. Эти полеты сопровождаются загрязнением стратосферы оксидами азота и серной кислотой (сверхзвуковые самолеты), а также частицами оксида алюминия (транспортные космические корабли). Поскольку эти загрязняющие вещества разрушают озон, то первоначально создалось мнение (подкрепленное соответствующими модельными расчетами), что планируемый рост числа полетов сверхзвуковых самолетов и транспортных космических кораблей приведет к существенному уменьшению содержания озона со всеми губительными последующими воздействиями ультрафиолетовой радиации на биосферу Земли. Однако более глубокий подход к этой проблеме позволил сделать заключение о слабом влиянии выбросов сверхзвуковых самолетов на состояние стратосферы. Так, при современном числе сверхзвуковых самолетов и выбросе загрязняющих веществ на высоте около 16 км относительное уменьшение содержания  $O_3$  может составить примерно 0,60; если их число возрастет до 200 и высота полета будет близка к 20 км, то относительное уменьшение содержания  $O_3$  может подняться до 17%. Глобальная приземная температура воздуха за счет парникового эффекта, создаваемого выбросами сверхзвуковых самолетов, может повыситься не более чем на 0,1 °С.

Более сильное воздействие на озонный слой и глобальную температуру воздуха могут оказать хлорфторметаны (ХФМ фреон-11 и фреон-12 — газы, образующиеся, в частности, при испа-

рении аэрозольных препаратов, которые используются для окрашивания волос). Поскольку ХФМ очень инертны, то они распространяются и долго живут не только в тропосфере, но и в стратосфере. Обладая довольно сильными полосами поглощения в окне прозрачности атмосферы (8—12 мкм), фреоны усиливают парниковый эффект. Наметившиеся в последние десятилетия темпы роста производства фреонов могут привести к увеличению содержания фреона-11 и фреона-12 в 2030 г. до 0,8 и 2,3 млрд (при современных значениях 0,1 и 0,2 млрд). Под влиянием такого количества фреонов общее содержание озона в атмосфере уменьшится на 18%, а в нижней стратосфере даже на 40; глобальная приземная температура возрастет на 0,12—0,21 °С.

Экологическое загрязнение в рамках понятия, определенного ЮНЕСКО, включает не только прямое, непосредственное введение сторонних веществ или энергии в окружающую среду, но и косвенное нарушение экологической целостности природного ландшафта, которое приводит к быстро или медленно проявляющимся отрицательным последствиям в отношении человека и различных популяций флоры и фауны (Мазур и др., 1990).

Загрязнением среды считается внесение в нее новых, не свойственных ей физических, химических, биологических составляющих или превышение естественного среднего уровня за многолетний период этих составляющих в среде (Трухин и др., 2004, 2005).

С экологической точки зрения поступление загрязнений изменяет функционирование экосистемы. Изменяются потоки энергии и вещества, продуктивность, численность популяции. Загрязнение природной среды может происходить от естественных источников и в результате человеческой деятельности. Таким образом, следует различать природные и антропогенные загрязнения. Загрязнение может иметь физическую, химическую, биологическую природу.

Существует определение загрязнения, которое было сформулировано группой экспертов по научной проблеме глобального загрязнения морей при ООН. Хотя определение касается морей, оно хорошо раскрывает сущность понятия загрязнения. «Загрязнение означает внесение человеком прямо или косвенно, веществ или энергии в морскую среду, в результате чего возникают такие

пагубные последствия, как ущерб живым ресурсам, опасность для здоровья человека, помехи морской деятельности, изменение полезных свойств водного объекта». В биологическом энциклопедическом словаре загрязнение определяется следующим образом. К загрязнениям биосферы относятся поступление и накопление как стойких загрязняющих веществ, которые почти не разрушаются в природных средах, так и веществ, имеющих естественные механизмы размножения и усвоения (например, удобрений), в количествах, превышающих способность биосферы к их переработке, нарушающих сложившиеся в ходе длительной эволюции природные системы и связи в биосфере и подрывающих способность природных компонентов к саморегуляции.

Тепловое загрязнение обычно связано с промышленными выбросами теплой воды и различных газов. Тепловое загрязнение водоемов вызывает их эвтрофикацию, изменяется видовой состав в водоеме. Тепловое загрязнение атмосферы может происходить также в результате поступления в атмосферу парниковых газов. Такое тепловое загрязнение носит вторичный характер.

Физическое загрязнение связано с изменением физических параметров: тепловых, световых, электромагнитных, радиационных, звуковых.

Хорошо известный вид физического загрязнения — шумовое (Гордиенко и др., 1998; Физические проблемы экологии, 1997, 1998; Худолей, 1996). Развитие транспорта, промышленности обуславливает шумовое загрязнение, проявляющееся в превышении естественного уровня шума, изменении спектра шума, появлении новых частот звуковых колебаний, не характерных для окружающей среды. Фактически любые звуки, генерируемые неприродными источниками, могут рассматриваться как шумовые, поскольку подобные источники отсутствовали в период эволюции человека. Шумовое загрязнение снижает производительность труда, вызывает различные заболевания.

Электромагнитное загрязнение возникает в результате работы мощных электроустановок, линий электропередач, радиопередающих устройств, в том числе мобильных средств связи. Действие электромагнитного излучения во всем его спектре на человека еще не исследовано. В литературе описаны многочисленные факты отрицательного действия искусственных электромагнит-

ных полей на человека. Установлен факт отрицательного влияния электромагнитного излучения на структуру почвы, высокий уровень подобного загрязнения наблюдается при прокладке линий электропередач над сельхозугодьями. В России сохраняется тенденция роста электромагнитного и шумового загрязнений.

Химическое загрязнение представляет собой поступление в экосистему тех или иных веществ, количественно или качественно чуждых экосистеме. При этом изменяются не только химические свойства среды, но может нарушиться функционирование экосистемы (рис. 16).



**Рис. 16. Пример нарушений функционирования экосистемы в верховьях реки Малый Юган**

В результате деятельности человека в окружающую среду попадают соединения, которых раньше в ней не было, поэтому отсутствует естественный путь их нейтрализации. Примерами химического загрязнения являются загрязнения тяжелыми металлами, пестицидами, хлорбифинилами и др. Отрицательные влияния химических загрязнений на метаболизм живых организмов называют «экологическими ловушками». В качестве такой ловушки можно упомянуть явление накопления метилртути в организме человека. Отходы производства, содержащие метилртуть, сбрас-

сывались в залив, откуда с морепродуктами, выловленными рыбаками, поступали в организм человека. Более 40 лет понадобилось природе для того, чтобы устранить последствия сбросов ядовитых отходов в залив.

Биологическое загрязнение является не менее опасным, чем химическое. Эпидемии гриппа, других болезней являются примерами проявления микробиологического загрязнения, вызванного микроорганизмами. Распространение патогенных организмов со сточными водами часто являлось и продолжает являться причинами эпидемий.

Случайное переселение животных или растений в экосистемы может привести к значительному нарушению их функционирования. Колорадский жук, завезенный из Америки в Европу, нанес колоссальный вред пасленовым растениям.

Разделение загрязнений на физические, химические, биологические имеет определенную условность и ограниченность. Например, тепловое загрязнение водоема, возникающее при использовании воды для отвода избыточного тепла, относится к физическому загрязнению. Однако тепловое загрязнение приводит к интенсификации и перестройке процессов биотической компоненты экосистемы, нарушаются процессы переноса химических веществ, изменяется видовой состав. Таким образом, возникает вторичное химическое и биологическое загрязнение.

Антропогенные загрязнения имеют, как правило, локальный характер поступления в среду. Распределение по большей территории происходит за счет множественности путей миграции (рис. 17).

Загрязняющие вещества, поступающие в атмосферу, участвуют в глобальной атмосферной циркуляции. Осаждение атмосферных загрязнений на поверхность растений вызывает загрязнение биоты.

Загрязняющие вещества, поступившие в водный объект, участвуют в циркуляции водной массы (рис. 18). За счет испарения воды может происходить загрязнение атмосферы, переход загрязненной воды в почву или биоту вызывает их загрязнение.



**Рис. 17. Антропогенное загрязнение территорий Нижневартовского района**



**Рис. 18. Загрязнение водных объектов Нижневартовского района**

Работа наземных радиопередатчиков, промышленных объектов вызывает локальное электромагнитное загрязнение. При этом происходит также загрязнение околоземного и космического пространства в длинноволновом и коротковолновом диапазонах. Суммарный вклад искусственных источников электромагнитного излучения составляет, по разным оценкам, от 1 до 10% от вклада естественных источников. Локальная напряженность искусственных полей может превышать напряженность естественных полей на 1—3 порядка. В случае регионального загрязнения наблюдается превышение естественного среднеклиматического уровня концентрации тех или иных веществ или возникновение новых, не характерных для нее физических, химических, биологических агентов в окружающей среде в пределах значительных областей, но не всей поверхности Земли.



**Рис. 19. Участки локального изменения экосистем**

В случае локального загрязнения происходит загрязнение только вокруг промышленного объекта, города, животноводческой фермы, в части водоема (рис. 19).

Гидрогеохимическое загрязнение геологической среды, связанное с накоплением отходов энергетических, химических и сельскохозяйственных комплексов, приводит к увеличению минерализации подземных вод и к изменению параметров электромагнитных полей. Одновременно могут возникать локальные тепловые поля, меняться нейтронные и гамма-лучевые свойства отложений, уровень содержания в них радионуклидов.

Важнейшей характеристикой загрязняющих веществ является предельно допустимая концентрация (ПДК), определяющая максимальную концентрацию загрязнения, отнесенную к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного воздействия. Иногда загрязнение в меньших концентрациях может оказывать более сильное воздействие на окружающую среду, чем на человека. В таких случаях нормирование проводят исходя из порога действия не на человека, а на окружающую среду. Первые критерии ПДК для загрязнений в атмосфере были разработаны в СССР еще в 30-е гг.

Нормирование загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, воде, почве существенно различается между собой.

Для каждого источника загрязнения атмосферы устанавливаются предельно допустимые выбросы и сбросы (ПДВ и ПДС).

ПДВ устанавливаются из расчетов, чтобы суммарная концентрация с учетом работы других предприятий не превышала ПДК.

Проблема загрязнения воздуха в городах и общее ухудшение качества атмосферного воздуха вызывает серьезную озабоченность. Для оценки уровня загрязнения атмосферы в 506 городах России создана сеть постов общегосударственной службы наблюдений и контроля за загрязнением атмосферы как части природной среды. На сети определяется содержание в атмосфере вредных различных веществ, поступающих от антропогенных источников выбросов. Наблюдения проводятся сотрудниками местных организаций Госкомгидромета, Госкомэкологии, Госсанэпиднадзора, санитарно-промышленных лабораторий различных предприятий. В некоторых городах наблюдения проводятся

одновременно всеми ведомствами. Контроль качества атмосферного воздуха в населенных пунктах организуется в соответствии с ГОСТом 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов», для чего устанавливаются три категории постов наблюдений за загрязнением атмосферы: стационарный, маршрутный, передвижной, или подфакельный. Стационарные посты предназначены для обеспечения непрерывного контроля за содержанием загрязняющих веществ или регулярного отбора проб воздуха для последующего контроля, для этого в различных районах города устанавливаются стационарные павильоны, оснащенные оборудованием для проведения регулярных наблюдений за уровнем загрязнения атмосферы. Регулярные наблюдения проводятся и на маршрутных постах, с помощью оборудованных для этой цели автомашин. Наблюдения на стационарных и маршрутных постах в различных точках города позволяют следить за уровнем загрязнения атмосферы. В каждом городе проводят определения концентраций основных загрязняющих веществ, т.е. тех, которые выбрасываются в атмосферу почти всеми источниками: пыль, оксиды серы, оксиды азота, оксид углерода и др. Кроме того, измеряются концентрации веществ, наиболее характерных для выбросов предприятий данного города. Для изучения особенностей загрязнения воздуха выбросами отдельных промышленных предприятий проводятся измерения концентраций с подветренной стороны под дымовым факелом, выходящим из труб предприятия на разном расстоянии от него. Подфакельные наблюдения проводятся на автомашине или на стационарных постах. Чтобы детально ознакомиться с особенностями загрязнения воздуха, создаваемого автомобилями, проводятся специальные обследования вблизи магистралей.

*Химические методы очистки от газо- и паробразных выбросов в атмосферу.* Процессы очистки технологических и вентиляционных выбросов машиностроительных предприятий от газо- и паробразных примесей характеризуются рядом особенностей: во-первых, газы, выбрасываемые в атмосферу, имеют высокую температуру и содержат большое количество пыли, что существенно затрудняет процесс газоочистки и требует предварительной подготовки отходящих газов; во-вторых, концентрация газо-

образных и парообразных примесей чаще в вентиляционных и реже в технологических выбросах обычно переменна и очень низка.

Методами очистки промышленных выбросов от газообразных примесей по характеру протекания физико-химических процессов являются следующие.

*Метод абсорбции* заключается в разделении газо-воздушной смеси на составные части путем поглощения одного или нескольких газовых компонентов этой смеси поглотителем (называемых абсорбентом) с образованием раствора. Поглощаемую жидкость (абсорбент) выбирают из условия растворимости в ней поглощаемого газа, температуры и парциального давления газа над жидкостью. Решающим условием при выборе абсорбента является растворимость в нем извлекаемого компонента и ее зависимость от температуры и давления. Если растворимость газов при 0 °С и парциальном давлении 101,3 кПа составляет сотни граммов на 1 кг растворителя, то такие газы называются хорошо растворимыми.

Для удаления из технологических выбросов таких газов, как аммиак, хлористый или фтористый водород, целесообразно применить в качестве поглотительной жидкости воду, т.к. растворимость их в воде составляет сотни граммов на 1 кг воды. При поглощении же из газов сернистого ангидрида или хлора расход воды будет значительным, т.к. растворимость их составляет сотые доли грамма на 1 кг воды. В некоторых специальных случаях вместо воды применяют водные растворы таких химических веществ, как серная кислота (для улавливания водяных паров), вязкие масла (для улавливания ароматических углеводородов из коксового газа) и др. Применение абсорбционных методов очистки, как правило, связано с использованием схем, включающих узлы абсорбции и десорбции. Десорбция растворенного газа (или регенерация растворителя) производится либо снижением общего давления (или парциального давления) примеси, либо повышением температуры, либо использованием обоих приемов одновременно. В зависимости от конкретных задач применяются абсорбенты различных конструкций: пленочные, насадочные, трубчатые и др. Наибольшее распространение получили скрубберы, представляющие собой насадку, размещенную в полости верти-

кальной колонны. В качестве насадки, обеспечивающей большую поверхность контакта газа с жидкостью, обычно используются кольца Ролинга, кольца с перфорированными стенками и другие материалы.

*Метод адсорбции* основан на физических свойствах некоторых твердых тел с ультрамикроскопической пористостью селективно извлекать и концентрировать на своей поверхности отдельные компоненты из газовой смеси. В пористых телах с капиллярной структурой поверхностное поглощение дополняется капиллярной конденсацией. Наиболее широко в качестве адсорбента используется активированный уголь. Он применяется для очистки газов от органических паров, удаления неприятных запахов и газообразных примесей, содержащихся в промышленных выбросах, а также летучих растворителей и целого ряда других газов. В качестве адсорбентов применяются также простые и комплексные оксиды (активированный глинозем, силикагель, активированный оксид алюминия, синтетические цеолиты или молекулярные сита), которые обладают большей селективной способностью, чем активированные угли. Однако они не могут использоваться для очистки очень влажных газов. Некоторые адсорбенты иногда пропитываются соответствующими реактивами, повышающими эффективность адсорбции, т.к. на поверхности адсорбента происходит хемосорбция. В качестве таких реактивов могут быть использованы растворы, которые за счет химических реакций превращают вредную примесь в безвредную.

Конструктивно адсорбенты выполняются в виде вертикальных, горизонтальных либо кольцевых емкостей, заполненных пористым адсорбентом, через который фильтруется поток очищаемого газа.

Выбор конструкции определяется скоростью газовой смеси, размером частиц адсорбента, требуемой степенью очистки и рядом других факторов.

*Метод хемосорбции* основан на поглощении газов и паров твердыми или жидкими поглотителями с образованием малолетучих или малорастворимых химических соединений.

Примером хемосорбции может служить очистка газовой смеси от сероводорода путем применения мышьяково-щелочного, этаноламинового и других растворов. При мышья-

ково-щелочном методе извлекаемый из отходящего газа сероводород связывается оксисульфомышьяковой солью, находящейся в водном растворе.

Методы абсорбции и хемосорбции, применяемые для очистки промышленных выбросов, называются мокрыми методами. Преимущество абсорбционных методов заключается в возможности экономической очистки большого количества газов и осуществления непрерывных технических процессов.

Основной недостаток мокрых методов состоит в том, что перед очисткой и после ее осуществления сильно понижается температура газов, что приводит в конечном итоге к снижению эффективности рассеивания остаточных газов в атмосфере.

С помощью *каталитического метода* превращают токсичные компоненты промышленных выбросов в вещества безвредные или менее вредные для окружающей среды путем введения в систему дополнительных веществ, называемых катализаторами. Каталитические методы основаны на взаимодействии удаляемых веществ с одним из компонентов, присутствующих в очищаемом газе, или со специально добавленным в смесь веществом на твердых катализаторах. Действие катализаторов проявляется в промежуточном (поверхностном химическом) взаимодействии катализатора с реагирующими соединениями, в результате которого образуются промежуточные вещества и регенерированный катализатор.

Методы подбора катализаторов отличаются большим разнообразием, но все они базируются в основном на эмпирических или полуэмпирических способах. Об активности катализаторов судят по количеству продукта, получаемого с единицы объема катализатора, или по скорости каталитических процессов, при которых обеспечивается требуемая степень превращения. В большинстве случаев катализаторами могут быть металлы или их соединения (платина и металлы платинового ряда, оксиды меди и марганца и т.д.). Для осуществления каталитического процесса необходимы незначительные количества катализатора, расположенного таким образом, чтобы обеспечивать максимальную поверхность контакта с газовым потоком. Катализаторы обычно выполняются в виде шаров, колец или проволоки, свитой в спираль.

В последние годы каталитические методы очистки нашли применение для нейтрализации выхлопных газов автомобилей. Для комплексной очистки выхлопных газов — окисления продуктов неполного сгорания и восстановления оксида азота — применяют двухступенчатый каталитический нейтрализатор.

*Термический метод.* Большое развитие в отечественной практике нейтрализации вредных примесей, содержащихся в вентиляционных и других выбросах, имеет высокотемпературное дожигание (термическая нейтрализация). Для осуществления дожигания (реакции окисления) необходимо поддержание высоких температур очищаемого газа и наличие достаточного количества кислорода.

Одним из простейших устройств, используемых для огневого обезвреживания технологических и вентиляционных выбросов, является горелка, предназначенная для сжигания природного газа.

При оценке геологических и других природных процессов все чаще обращаются к оценке их экологических последствий. По степени воздействия на человека и биоту геологические процессы и природные явления подразделяются на опасные, включая катастрофические, и неблагоприятные (Лыков и др., 2005).

К опасным относятся процессы, представляющие угрозу для жизни человека как непосредственно, так и опосредованно, например, через разрушение зданий и сооружений. Эти процессы характеризуются неопределенностью момента возникновения и высокой скоростью проявления.

Природные геодинамические процессы развиваются или в виде плавных ритмичных эволюционных изменений с периодами от секунд до миллионов лет, что является признаком «порядка» в литосфере и на Земле, или в виде быстрых (минуты или сутки) катастрофических проявлений — «хаоса». Результатом являются существования ритмов, вызванных космосом, Солнцем, планетами, Луной, фазовое сложение которых может привести к резонансам, вызывающим катастрофы. Поскольку геологическая среда и литосфера неоднородны и состоят из твердых частиц, пустот, флюидов, слоев, белков и т.п. с разным напряженным состоянием, то ритмы и катастрофы передаются по-разному и фиксируются в породах неодинаково (Геофизика, 2012).

Изучение и оценка геодинамической активности земной коры и ее частей является фундаментальной проблемой наук о Земле (геологии, географии, экологии, экономики). В урбанизированных, горно- и нефтедобывающих районах с каждым годом усиливается вероятность возникновения и развития чрезвычайных ситуаций с экологическими последствиями, обусловленных геодинамическими процессами, в частности, рельефообразующими (Копылов и др., 2012).

Крайней степенью неблагоприятных и опасных природных явлений является катастрофа. Катастрофа (греч. *katastrophe* — переворот, гибель) означает внезапное событие, быстротекущий процесс, влекущий тяжелые последствия, разрушения и жертвы.

Природные катастрофы, как правило, имеют тяготение к определенным регионам, где они чаще всего происходят и приводят к наибольшему количеству жертв. Для Африки характерны засухи, для Индии — наводнения, для Тихоокеанского побережья Америки — ураганы и тайфуны. Такие зоны выделяются и на территории России: извержения вулканов и цунами происходят чаще всего в Курило-Камчатской зоне, а сели, оползни и обвалы — в горах Кавказа и Урала (Лыков и др., 2005).

Катастрофы природного характера происходили в течение всего периода существования нашей планеты. В результате природных катаклизмов сформировались громадные горные массивы, разломы земной коры, достигающие глубины нескольких сотен километров, а также астроблемы — метеоритные кратеры диаметром во многие десятки километров. Поэтому природные катастрофы представляют собой закономерные этапы формирования нашей планеты, способствующие ее прогрессивному развитию.

Катастрофы, опасные своей неожиданностью, могут вызываться не только естественными природными процессами, но и техногенными. Катастрофы, возникающие за счет техногенного вмешательства в процесс развития природной системы, более опасны. Они характеризуются высокой скоростью и необычностью естественного развития этой системы.

С появлением на Земле техногенных систем количество катастроф, вызывающих человеческие жертвы, резко возросло. Увеличение численности людей на Земле и возрастание

потребностей цивилизации в природных ресурсах заставляет человека осваивать новые территории, все менее и менее благоприятные для жизни. Кроме того, активная техногенная деятельность человека обуславливает появление большого количества факторов, провоцирующих катастрофы (Лыков и др., 2005).

Тяжесть последствий катастроф тесно связана с уровнем развития системы их прогнозирования, предупреждения и предотвращения. Если такая система создана и технически развивается, то человеческих жертв можно избежать, хотя социально-экономические последствия будут весьма ощутимы.

В конце второго тысячелетия человечество осознало, что его дальнейшему существованию угрожает глобальный экологический кризис, возникший прежде всего в результате антропогенных воздействий на окружающую среду. Ученые расходятся в оценках сроков наступления глобального экологического кризиса. Согласно некоторым оценкам кризис еще не наступил, согласно другим — уже начался, согласно третьим кризис начался еще в начале XX в. Нет единого мнения по поводу его причин (Козин и др., 2008).

Нефтегазодобывающая (НГД) промышленность является одной из наиболее экологически опасных отраслей народного хозяйства и характеризуется большой землеемкостью, высокой токсичностью применяемых химреактивов, добываемых нефтепродуктов, сильной загрязняющей способностью, повышенной взрыво-, пожароопасностью и аварийностью промышленных объектов (Чижов, 1998).



**Рис. 20. Загрязнение земельных ресурсов нефтяными разливами**

Изъятие земельных угодий из регулярного землепользования наиболее активно происходит на стадии обустройства углеводородных месторождений. Вследствие аварий на трубопроводном транспорте ежегодно на объекты окружающей среды попадают сотни и тысячи тонн загрязняющих веществ в виде разливов нефти и подтоварной воды (Исследование современного состояния..., 2010; О состоянии окружающей среды..., 2008; Экологическая и промышленная безопасность, 2010). В результате разливов подтоварной воды и нефти происходит загрязнение десятков гектаров земельных ресурсов (рис. 20).

Ни один загрязнитель, как бы опасен он ни был, не может сравниться с нефтью по широте распространения, количеству источников загрязнения, величине одновременных нагрузок на все компоненты природной среды во время аварий на скважинах и нефтепроводах (Пиковский, 1993).

Особенностью нефти как загрязнителя является постоянное наличие спутников, без которых нефть в природе не существует, таких, например, как пластовые воды. Попадание их в окружающую

щую среду нередко оказывает более сильное негативное воздействие, чем сами углеводороды. Основную часть нефтепромысловых стоков составляют пластовые воды, характеризующиеся высокой минерализацией (до 230 мг/л), наличием взвешенных веществ (до 1,7 г/л), брома, йода, железа и др. (Исследование современного состояния..., 2010).

При работе нефтепровода в обычном режиме воздействие на окружающую среду минимально. При нормальном режиме эксплуатации в основном происходит загрязнение атмосферного воздуха (испарение при хранении нефти в резервуарах, сливно-наливные операции на перекачивающих станциях и т.д.). При аварийных ситуациях пространственные масштабы и интенсивность воздействий многократно возрастают (Говорушко, 2002). При авариях на нефтепроводе происходит выброс под давлением опасных химических и пожаро- и взрывоопасных веществ, приводящий к возникновению чрезвычайной техногенной ситуации — загрязнению воздуха, вод, почвы, повреждению или гибели представителей растительного и животного мира, людей в месте нанесения вреда и его проявления (Завьялов, 2005).

Трубопроводы относятся к категории энергонапряженных объектов, отказы в работе которых сопряжены, как правило, со значительным материальным и экологическим ущербом (Мазур и др., 1990).

Сеть магистральных нефтепроводов Западной Сибири, обеспечивающая транспортировку товарной нефти от пунктов подготовки нефти недропользователей к нефтеперерабатывающим предприятиям, расположена в основном в Среднем Приобье на западной части Нижневартовского, в Сургутском, Нефтеюганском и Кондинском районах.

Трубопроводы Западной Сибири имеют более высокую категорию аварийности. В первую очередь это объясняется большими объемами перекачки нефти и газа, которые по величине равняются аналогичным трубопроводным системам Северной Америки и Западной Европы (Справочник инженера по эксплуатации..., 2006).

Аварийные ситуации многообразны и зависят от многих факторов, таких как конструкция и назначение трубопроводов, свой-

ства нефтепродукта, климат, рельеф местности, величина утечки, размер повреждения, давление в трубопроводе и т.д.

Кроме технических причин и внешних воздействий часто аварии происходят еще и по причине так называемого «человеческого фактора». Огромное число катастроф происходит в результате халатности как работников, так и руководства предприятий: недостаточная проработка планов производства работ, низкая производственная и технологическая дисциплина, нарушения персоналом производственных инструкций по причине их плохого знания, отсутствие практических навыков и др.

Согласно положению Всемирной организации здравоохранения, аварийные ситуации имеют следующую классификацию:

1. По степени воздействия на окружающую среду:

— незначительные, с небольшим уровнем загрязнения окружающей среды, но требующие оздоровительных мер;

— значительные, включающие уровни загрязнения окружающей среды, пагубно влияющие на жизнь населения и требующие активных оздоровительных мер;

— чрезвычайно сильные, приводящие к катастрофическому загрязнению окружающей среды, при котором никакая жизнедеятельность человека невозможна.

2. По сроку действия вредных последствий:

— кратковременно (в течение часов или нескольких дней) влияющие на окружающую среду;

— вызывающие длительное (от нескольких недель до нескольких месяцев) загрязнение окружающей среды;

— вызывающие постоянное (в течение нескольких лет и более) загрязнение окружающей среды.

3. По уровню требуемых ремонтно-восстановительных работ:

— требующие незначительных ремонтных работ на уровне оператора;

— связанные с длительным сроком выполнения ремонтно-восстановительных работ с привлечением сил сторонних организаций;

— требующие восстановления как производственного объекта, так и прилегающей территории (Справочник инженера по эксплуатации..., 2006).

По мнению В.Б. Галеева и др. (1986), аварии, в зависимости от потерь углеводородного сырья и вызываемых ими последствий, можно подразделить на 3 категории:

1) аварии с потерей нефти более 100 т или порчей качества более 200 т, или аварии, связанные с простоями перекачивающих станций или отдельных агрегатов продолжительностью более 8 часов;

2) аварии с потерей нефти от 10 до 100 т или порчей качества от 100 до 200 т, выходом из строя связи, что может привести к остановке перекачки, простоями перекачивающих станций или отдельных агрегатов более 8 часов;

3) аварии из-за коррозионных свищей, трещин сварных швов и стыков нефтепроводов, течи сальников, задвижек и других дефектов, не приводящие к остановке перекачки и сопровождающиеся потерями нефти и нефтепродуктов до 10 т (Справочник инженера по эксплуатации..., 2006).

Нефтяное загрязнение, обусловленное аварией, отличается от многих других техногенных воздействий тем, что оно дает не постепенную, а, как правило, залповую нагрузку на среду, вызывая быструю ответную реакцию, сопровождающуюся негативными экологическими последствиями. Ежегодно из 300 млн т нефти, добываемой в России, в процессе транспортировки и хранения теряется 1,5—10% от общего объема добытой нефти, т.е. по самым минимальным оценкам около 4,5 млн т нефти в год, а по максимальным — около 30 млн т нефти в год (Исмаилов, 2006, 2009).

Начисляемые предприятиями суммы ущерба далеко не полностью отражают величину реального урона, наносимого окружающей природной среде в виде накопления в почве и донных отложениях токсичных веществ, ухудшения качества воды, снижения биопродуктивности и деградации экосистем (рис. 21).



**Рис. 21. Геохимическое загрязнение земель вдоль трубопроводов**

Объективной оценке воздействия нефтедобывающего комплекса на окружающую среду препятствует искажение информации о действительных размерах аварийных разливов загрязняющих веществ, а также сокрытие самих аварий. Никто толком не ведет учет нефтяных разливов, а главное — учет количества вытекшей нефти. Регулирующий государственный орган — Росприроднадзор — располагает только данными, предоставленными организациями и добывающими компаниями о таких происшествиях и об устранении их последствий. Однако, по свидетельствам общественных экологических организаций, эти данные не являются объективными, поскольку показатели сильно занижены (Экология и экономика природопользования, 2003). Компании не хотят выплачивать компенсации и стремятся уменьшить цифры или же устраняют последствия разливов лишь частично, например, только в районе порыва трубы.

К тому же официальная статистика фиксирует только те разливы, при которых выливается более 8 т нефти, а разливы до 7 т включительно считаются просто инцидентом, который не

нужно декларировать и о котором можно не оповещать власти (Экология и экономика природопользования, 2003).

Меры смягчения воздействия нефтепроводов на окружающую природную среду разнообразны. Они могут заключаться в отказе от строительства трубопровода, усовершенствовании имеющихся трубопроводов, предпочтении другого способа доставки нефти и газа (танкеры, суда для перевозки сжиженного газа); выборе других трасс для них и участков под насосные и перекачивающие станции, внесении изменений в конструкцию (например, сооружение подземных трубопроводов вместо наземных); использовании других материалов; частных защитных мерах (строительство переходов для животных, правильный выбор створа и конструкции берегоукрепления при сооружении подводных переходов через реки и т.д.) (Говорушко, 2002).

Вынужденная остановка промыслов может обойтись нефтегазодобывающему предприятию в десятки раз дороже, чем прямые потери от аварийных ситуаций в системе транспорта, в связи с чем необходимо своевременно оценивать риск потенциально наиболее опасных повреждений и возможность дальнейшей эксплуатации этого участка трубопровода, т.е. необходимо своевременно принять в качестве меры риска вероятность наступления нежелательного явления, а не минимизировать величину среднего ущерба от уже совершившегося (Ходжаева, 2013, 2016).

Все нарушения, которые технологически не регламентированы и связаны с авариями, неконтролируемой деятельностью человека и вторичным косвенным действием промышленных объектов на сопредельные экосистемы, образуют совокупность явлений, которые можно назвать антропогенным воздействием (рис. 22). Сюда входят нефтяные разливы, нефтяные и солевые загрязнения, подтопления, осушки, площади внедорожного проезда, а также механические нарушения, возникающие при устранении различного рода аварий и связанные с ненормированным использованием техники (Кочуров, 2003).



**Рис. 22. Результаты изменения окружающей среды углеводородным сырьем**

Самым важным этапом в экологической оценке территории являются анализ и синтез экологических проблем и определение границ (ареалов) экологического неблагополучия разной категории остроты, проведение которых осуществляется одновременно с картографированием территории (Кочуров, 1999). Объектом картографирования при этом являются экологические проблемы, возникшие в результате изменения окружающей среды под воздействием антропогенных факторов, и их пространственно-временные сочетания — ситуации.

В условиях равнинного рельефа оценка инженерного риска проведения и эксплуатации проводных коммуникаций требует несколько иных оценочных действий, чем это предлагается для условий с горным рельефом (Динамическая и инженерная геоморфология., 2012).

В исследованиях Д.В. Лопатина и др. (2011) в качестве оценочного теста приводится шкала балльной геолого-геоморфологической вероятности возникновения аварийных ситуаций на нефтепроводах. На ее основе формируется прогноз ак-

тивизации аварийных ситуаций и возникновения новых очагов и форм проявления при техногенном воздействии. При наличии достаточно длительных рядов наблюдений или исторических данных вероятность аварийных ситуаций той или иной степени тяжести оценивается количественно как число возможных ситуаций в год или как обратная величина — возможность возникновения чрезвычайной ситуации один раз за определенный ряд лет.

Определяющим критерием экологической безопасности трубопроводов является их надежность.

Под конструктивной надежностью магистральных трубопроводов следует понимать их свойство сопротивляться внешним и внутренним нагрузкам и воздействиям, сопутствующим транспортировке продукта без нарушения герметичности и оговоренных предельных состояний, при соблюдении правил эксплуатации, технического обслуживания и ремонта (Мазур и др., 1990).

Основной проблемой промышленной безопасности на объектах нефтяной и газовой промышленности остаются недостаточные темпы обновления устаревшего оборудования, а также слабое оснащение производства надежными системами автоматики и телемеханики.

В целях снижения аварийности трубопроводов, а также эксплуатационных и аварийно-ремонтных затрат К.И. Лопатиным и др. (2008, 2012) разработана классификация ранжирования заболоченных территорий для застройки нефтепромысловыми объектами. Данная классификация учитывает, помимо несущей способности залежи, специфические особенности болотных микроландшафтов, дифференцируя условия застройки.

Министерством промышленности и энергетики России в 2006—2007 гг. была организована разработка федерального закона о специальном техническом регламенте «О безопасности магистрального трубопроводного транспорта, внутрипромысловых и местных распределительных трубопроводов». К.И. Лопатиным и др. (2012) предложено внести в него ряд исправлений и дополнений, касающихся проектирования и строительства трубопроводов на торфяных болотах.

*Предложение первое.* Прокладка трубопроводов по поверхности земли в насыпи (наземная прокладка) или на опорах (надземная прокладка) допускается только как исключение для промыш-

словых трубопроводов или для прокладки трубопроводов в особых природных (горных) условиях, а также на сильнообводненных торфяных болотах, с учетом специальных мероприятий, обеспечивающих надежную и безопасную эксплуатацию трубопроводов.

В этой связи подземная прокладка возможна лишь при полном выторфовывании (удалении торфа) в теле технологической насыпи. Безопасная эксплуатация промысловых нефтепроводов, прокладываемых на торфяных болотах, возможна лишь при надземной прокладке, когда несущим основанием служит минеральный грунт (рис. 23).



**Рис. 23. Пример торфяной залежи с глубиной более 2 м**

*Предложение второе.* Подземная прокладка трубопроводов на торфяных болотах не обеспечивает устойчивой безаварийной работы, поэтому определять глубину заглубления не имеет смысла. Если и определять глубину заглубления с учетом деформационных свойств неоднородного торфяного основания, то ее следует

назначать различной на разных линейных участках, что практически неосуществимо.

*Предложение третье.* При прокладке трубопроводов по торфяным болотам глубиной до двух метров предусматривать подземную прокладку трубопроводов по дну обязательной заменой торфа минеральным грунтом.

Как исключение при прокладке трубопроводов по торфяным болотам глубиной более двух метров допускается укладка трубопроводов по поверхности болота в теле насыпи, опирающейся на минеральное дно (наземное прокладка), на опорах или других конструкциях, обеспечивающих вертикальную и горизонтальную устойчивость трубопроводов (надземная прокладка) (Геоэкологические основы использования..., 2012).

Изменение условий теплообмена поверхности с атмосферой, свойств поверхности и почвенно-грунтового комплекса, снежного покрова сопровождается изменением температурного режима грунтов, мощности слоя сезонного промерзания — протаивания, ослаблением или усилением ряда экзогенных физико-геологических процессов.

Несмотря на то, что при равной нагрузке на различные экосистемы характер действия ее агентов одинаков, глубина вызываемых последствий может быть различной, что определяется свойствами не только действующего агента, но и объекта, испытывающего это действие. Поэтому характер и интенсивность воздействия следует измерять количеством тех изменений, которые происходят внутри экосистемы, например, сокращением численности популяций или снижением видового разнообразия. Последнее связано еще и с тем, что нагрузка на отдельные особи и виды растений и животных внутри экосистемы может быть различной.

При совместном действии антропогенных и природных факторов происходят медленные количественные изменения параметров развивающейся геосистемы, а затем наступает лавинообразный переход в новое устойчивое состояние (Рянский, 1992).

Для сохранения современного уровня экологической напряженности при интенсификации добычи топливно-энергетических

ресурсов необходимо строгое соблюдение экологических требований, предъявляемых предприятиям ведущих отраслей.

Чтобы предупредить аварийные ситуации и темпы нарастания экологических проблем, угрозы крупномасштабных изменений природной среды, необходимо разработать и внедрить новые эффективные методы предупреждения и ликвидации аварий и аварийных ситуаций (Карабалин, 2008; Мазур, 1993).

Разработка специальных методов визуализации и средств математического моделирования систем с такими сложными многомерными характеристиками объектов, как экологические, является актуальной для глубокого исследования структуры системы как единства компонентов и связей, осуществления контроля над сложной экологической обстановкой при одновременном учете огромного количества разнородных параметров (Сердюцкая, 2004, 2005, 2009).

Рассматривая динамику отказов во времени в системе внутрипромысловых трубопроводов Нижневартовского района общей протяженностью 21 тыс. км и анализируя поток аварий, поступающих в эту систему за определенный период времени (за сутки, от 1 до 6 месяцев и от 1 до 10 лет), можно сделать следующие выводы (Азизов и др., 2012; Ходжаева, 2013):

1) для понижения риска аварийности и минимизации ущерба от аварийных разливов нефти необходимо в первую очередь повышать надежность трубопроводной системы;

2) следует учитывать природно-климатические условия территорий при создании высоконадежных технологий и технических средств для диагностики, локализации и ликвидации аварий на нефтепроводах; планомерно и своевременно производить замену изношенных участков трубопроводов, а также расширять и поощрять научно-прикладные исследования надежности и долговечности подобных систем.

### ***3.1. Техногенное воздействие на состав географической оболочки***

Техногенез — происхождение и изменение ландшафтов под воздействием производственной деятельности человека. Прямое техногенное воздействие на природную среду осуществляется

хозяйственными объектами и системами при непосредственном контакте с ней в процессе природопользования или сбрасывания в нее отходов. Состав природных компонентов, подверженных техногенному воздействию, включает в себя в различных сочетаниях воздух атмосферы, биоту и почвенный покров, подземные и поверхности воды, литологический фундамент, сюда же можно отнести и рельеф.

Проявление техногенного воздействия сводится к следующим основным группам: изменение водного режима, нарушение поверхности (оползни, просадки, обвалы, осыпи), изменение скорости направления процессов рельефообразования, изменение процессов почвообразования, загрязнение атмосферы, почвы, поверхностных и подземных вод продуктами дефляции отвалов; изменение микроклимата, изменение условий существования и развития биологического мира (рис. 24).



**Рис. 24. Нарушение поверхности техногенным воздействием в районе Сибирских увалов**

Касаясь вопроса воздействия техногенных энергоемких процессов на географическую оболочку Земли, следует уделить внимание неизбежному реагированию литосферных глубин на импульсные (взрывы) и статические (например, вес супергородов и искусственных водохранилищ) воздействия.

Согласно поиску экономических откликов геолого-геофизической среды на техногенное воздействие, отметим особое значение сейсмических процессов, протекающих в земной коре. Именно сейсмический режим Земли становится наиболее чувствительным элементом при техногенном вмешательстве.

Вполне вероятно, что энергоемкие техногенные воздействия могут влиять на интенсивность и амплитуды вертикальных подвижек участков земной коры. В случае развития технических линейных электропередач (линии высоковольтных передач, электрофицированных железных дорог) в тектонофизически напряженных зонах могут возникать дополнительные подземные токи, на порядок превосходящие естественные (особенно на территориях мегаполисов).

Значительное воздействие оказывают ядерные взрывы (особенно подземные,  $E \geq 50$  кт) на мантийные глубины Земли. Серии прошедших высокомагнитудных землетрясений в районе боев и прилегающих площадях вполне могут быть результатом импульсной накачки упругой энергии от бомбовых ударов. Вопросы модификации сейсмического режима Земли крайне важны, поскольку землетрясения по масштабу разрушений занимают в списке катастроф третье место.

*Техногенное воздействие на состав атмосферы.* Биосфера не является статичным, неизменным объектом, с течением времени она эволюционирует. Значительные изменения биосфера претерпела с момента появления человека.

Геокосмос представляет собой сложную динамическую систему, а именно газовые и плазменные оболочки Земли: атмосферу, ионосферу, магнитосферу. Самая ближняя — атмосфера — непосредственно окружает и накладывается на твердую земную кору. Следует подчеркнуть, что она служит источником вещества и энергии для возникновения и существования всех жизненных форм биосферы.

Вторая половина XX в. характеризуется созданием антропогенной системы энергоемких разнообразных процессов. По видам активных воздействий их можно подразделить на два типа:

— глобальные энергоемкие воздействия, постоянно действующие или со значительными для геокосмоса и земной коры функциональными последствиями;

— энергоемкие воздействия локального и эпизодического характера.

К энергоемким техногенным воздействиям относятся:

— электровыработка и электропотребление как постоянно действующий фактор техногенной модификации электромагнитной системы Земли, выявленной свойствами и особенностями геофизических полей;

— ракетные пуски всех систем базирования, мощности и предназначения как основной фактор внесения помех в процессы естественных плазменных неоднородностей в ионосфере и физико-химической модификации ионосферы с термодинамическими и погодными следствиями;

— ядерные и химические ряды взрывов в верхнем и нижнем полупространстве Земли как источник огромных электромагнитных импульсов и возможный фактор модификации последовательности и интенсивности сейсмических процессов, глубинной геодинамики и локальных процессов энерго- и массопереносов, что еще требует серьезных и трудоемких доказательств и существует как острая экологическая проблема;

— вещественные перераспределения в верхней части земной коры и локальное изменение гравитационного поля за счет изъятия огромных масс (добыча полезных ископаемых (рис. 25) и весовой перегрузки на отдельных участках суши (супергорода и гидросооружения).



**Рис. 25. Добыча углеводородного сырья**

Арсенал искусственных локальных и глобальных воздействий на геокосмос достаточно обширен. Приведем эколого-ориентированные справки для наиболее распространенных:

- применение химических взрывчатых веществ;
- инъекция плазмообразующих и плазмогасящих веществ в надземное пространство;
- электрические источники плазмы и производство пучков заряженных частиц;
- источники ультрафиолетового излучения и электронных пучков.

Тенденции последних трех-четырех десятилетий свидетельствуют о том, что активные воздействия с небольшими количественными флуктуациями будут продолжаться, и будет наращиваться их география.

Наиболее распространенный способ воздействия на геокосмос — использование магнитоплазменного компрессора как наиболее эффективного средства искусственной плазмогенерации, работающего с помощью собственного азимутального магнитного поля.

Набор искусственных глобальных воздействий на геокосмос и нижние оболочки является основополагающим в экспансии тех-

носферы. Глобальные воздействия на земные оболочки можно подразделить на следующие виды:

- 1) взрывы ядерных зарядов, общая радиоактивность;
- 2) ракетные пуски и космический мусор;
- 3) электромагнитные воздействия;
- 4) ресурсная добыча полезных ископаемых.

Результатами энергоемких процессов преднамеренных воздействий на оболочки Земли являются повсеместные снижения естественного уровня и разнообразия естественных закономерностей геолого-геофизической среды.

### ***Контрольные вопросы***

1. Охарактеризуйте принципы нормального и аварийного функционирования технических систем и их экологические последствия.

2. Назовите основные экономические концепции устойчивости и важные этапы в экологической оценке территории.

3. Перечислите мероприятия, применяемые в нефтегазопромысловых районах для повышения надежности и устойчивого функционирования техники.

4. Дайте классификации техногенных аварий, охарактеризуйте критерии их оценки.

5. Охарактеризуйте методы проведения специальных исследований по рискам.

6. Перечислите основные группы проявления техногенного воздействия на состав географической оболочки и на атмосферу.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Техногенные воздействия на атмосферу и ближний космос носят глобальный характер и разрушают природную среду обитания человечества.

Требуются огромные усилия всего человеческого сообщества для кардинального снижения, а в идеале — полного устранения вредных воздействий на природную среду.

Все разделы геофизики имеют самое непосредственное отношение к практической деятельности человека — к разведке и добыче полезных ископаемых, освоению энергии земных недр, океанических глубин и космического пространства, прогнозу неблагоприятных явлений, охране окружающей природной среды и управлению природными процессами.

После изучения геофизики студенты начинают оперировать основными геофизическими понятиями и определениями, осваивают методы геофизических исследований, основополагающие принципы прикладной геофизики.

Изучение курса позволяет использовать геофизические методы в решении профессиональных задач и свободно ориентироваться в подходах, теориях моделирования основных природных процессов.

В процессе знакомства с геофизикой студенты овладевают навыками проведения геофизических исследований и основными методами измерений, а также приобретают способность использовать знания о земельных ресурсах для организации их рационального применения и определения мероприятий по снижению антропогенного воздействия на территорию.

Курс геофизики в рамках обеспечения учебного процесса подготавливает специалистов в следующих сферах профессиональной деятельности: проектные, изыскательские, производственные, научно-исследовательские институты; органы охраны природы и управление природопользованием; общеобразовательные и специальные учебные заведения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Азизов Х.Ф., Гребенюк Г.Н., Ходжаева Г.К. Практические рекомендации по оценке геоэкологических рисков возникновения аварийных ситуаций при транспортировке нефтепродуктов: Монография. Нижневартовск, 2012. Вып. 4. 80 с. (Региональная география. Сер. науч. тр. и моногр.).
2. Анисимов Н.В., Завадский А.С., Рулева С.Н., Сурков В.В., Тарбеева А.М., Чернов А.В. Русловые процессы на реках // Атлас Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. Ханты-Мансийск; М., 2004. Т. 2. С. 61—62.
3. Атлас временных вариаций природных антропогенных и социальных процессов. М., 1998. Т. 2. 429 с.
4. Вахромеев Г.С. Экологическая геофизика: Учеб. пособие для вузов. Иркутск, 1995. 216 с.
5. Володин И.А. Нелинейность и многомасштабность в сейсмоакустике // Проблемы геофизики XXI века: В 2 кн. / Отв. ред. А.В. Николаев. М., 2003. 333 с.
6. Ганьшин В.А., Борисов А.Г. Общая экология: Учеб. пособие. М., 1995. 80 с.
7. Галеев В.Б., Карпачев М.З., Храменко В.И. Магистральные нефтепродуктопроводы. М., 1986. 256 с.
8. География. Современная иллюстрированная энциклопедия / Под ред. проф. А.П. Горкина. М., 2006.
9. Геофизика: Учебник / Под ред. В.К. Хмелевского. 3-е изд. М., 2012. 320 с.
10. Геофизические методы исследования / В.А. Богословский, Ю.И. Горбачев, А.В. Калинин, Э.Н. Кузьмина, М.Г. Попов, В.И. Фадеев; под ред. В.К. Хмелевского. М., 1988. 523 с.
11. Геофизическая характеристика разреза // Атлас. Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа. Ханты-Мансийск, 2004. С. 22.
12. Геоэкологические основы использования торфяных болот и лесов Среднего Приобья: Монография / Под общ. ред. К.И. Лопатина. Тверь, 2012. 296 с.
13. Глобальное потепление: Доклад Гринпис / Под ред. Дж. Легетта. М., 1993. 272 с.

14. Говорушко С.М. Эколого-географические основы оценки взаимодействия природы и общества: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Владивосток, 2002. 50 с.

15. Горбачева Г.И., Одношевная И.И., Южакова В.М. Сведения о геолого-геофизической изученности территории ХМАО // Атлас. Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа. Ханты-Мансийск, 2004. С. 12.

16. Гордиенко В.А., Гончаренко Б.И. Особенности метрологического обеспечения измерения уровней инфразвука // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физика. Астрономия. 1998. № 4. С. 66—71.

17. Динамическая и инженерная геоморфология суши: Учеб. пособие / А.И. Жиров, Д.В. Лопатин, А.С. Макаров и др.; под ред. А.И. Жирова. СПб., 2012. 272 с.

18. Дьяконов К.Н. Геофизика ландшафтов: Метод балансов. Учеб.-метод. пособие. М., 1988. 95 с.

19. Завьялов В.В. Проблемы эксплуатационной надежности трубопроводов на поздней стадии разработки месторождений. М., 2005. 332 с.

20. Зыков Ю.Д. Геофизические методы исследования криолизотоны: Учебник. М., 2007. 272 с.

21. Исламова З.М. Организация рационального использования и охраны земельных ресурсов в районах интенсивной добычи нефти и газа (На материалах Сургутского района Ханты-Мансийского автономного округа): Дис. ... канд. экон. наук. М., 2000. 182 с.

22. Исмаилов Н.М. Практическая экотехнология. Баку, 2006. 144 с.

23. Исмаилов Н.М. Ремедиация нефтезагрязненных почвогрунтов и буровых шламов. Баку, 2009. 582 с.

24. Исследование современного состояния водохозяйственного комплекса в бассейне р.Вах: Кол. моногр. Нижневартовск, 2010. Вып. 3. 133 с. (Региональная география. Сер. науч. тр. и моногр.).

25. Карабагин У.С. Методы ликвидации и предупреждения аварийных ситуаций при освоении месторождений углеводородного сырья. Алматы, 2008. 185 с.

26. Козин В.В., Маршинин А.В., Осипов В.А. Техногенные системы и экологический риск: Учеб. пособие. Тюмень, 2008. 256 с.

27. Коркин С.Е. Природные опасности долинных ландшафтов Среднего Приобья: Монография. Нижневартовск, 2008. 226 с.

28. Коркин С.Е., Исыпов В.А. Фиксация и мониторинг изменения береговой линии реки Обь // Научные исследования: от теории к практике: Мат-лы III Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 30 апр. 2015 г.) / редкол.: О.Н. Широков [и др.]. Чебоксары, 2015. С. 44—46. URL: [https://interactive-plus.ru/discussion\\_platform.php?requestid=8394](https://interactive-plus.ru/discussion_platform.php?requestid=8394).

29. Копчиков М.Б. Геофизические методы исследований. Энциклопедия. URL: [lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:0129046](http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:0129046). 2010.

30. Копылов И.С., Ликутов Е.Ю. Структурно-геоморфологический, гидрогеологический и геохимический анализ для изучения и оценки геодинамической активности // Фундаментальные исследования. Сер. 3. Геолого-минералогические науки. 2012. № 9. С. 602—606.

31. Кочуров Б.И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории. Смоленск, 1999. 154 с.

32. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие. М.; Смоленск, 2003. 384 с.

33. Крученицкий Г.М., Бекорюков В.И., Перов С.П. Проблема изменчивости озонового слоя Земли, климата, УФ-воздействия на биосферу и предлагаемая концепция государственной политики России // Физическая экология. 1998. № 1. С. 19—25.

34. Лопатин Д.В., Томилов Б.В. Научные школы геологии, геоморфологии, палеографии и геодинамики кайнозоя (г. Иркутск). СПб., 2011. 143 с.

35. Лопатин Д.В. Теория и методология геоморфологии. Учеб. пособие для магистратуры по направлению «География» / Под ред. А.И. Жирова. СПб., 2013. 106 с. (Сер. Магистратура).

36. Лопатин К.И., Сладкопевцев С.А. Проблемы геоэкологии. М., 2008. 260 с.

37. Лыков И.Н., Шестакова Г.А. Техногенные системы и экологический риск: Учеб. пособие для студ. высш. учеб.заведений. М., 2005. 262 с.

38. Мазур И.И., Иванцов О.М., Молдаванов О.И. Конструктивная надежность и экологическая безопасность трубопроводов. М., 1990. 264 с.

39. Макеев В.Н., Москвина Н.Н. Использование земель и земельные ресурсы // Атлас Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. Ханты-Мансийск; М., 2004. Т. 2. С. 135
40. Мишон В.М. Основы геофизики: Учебник. Воронеж, 1993. 240 с.
41. Общая геокриология / Под ред. Э.Д. Ершова. М., 2002.
42. Общая геофизика. Под ред. В.А. Магницкого. М., 1995.
43. Одношневная И.И., Шпильман А.В. Изученность сейсморазведочными работами // Атлас. Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа. Ханты-Мансийск, 2004. С. 15.
44. О состоянии окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа — Югры в 2006—2007 годах: Обзор / НПЦ «Мониторинг». Ханты-Мансийск, 2008. 112 с.
45. Пиковский Ю. И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М., 1993. 208 с.
46. Показеев К.В., Медведев А.М. Основы экологии. М., 1998. 136 с.
47. Пузырев Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований. Новосибирск, 1997.
48. Ревель П., Ревель Ч. Среда нашего обитания. М., 1995. Кн. 3: Энергетические проблемы человечества. 291 с.
49. Рянский Ф.Н. Фрактальная теория пространственно-временных размерностей: естественные предпосылки и общественные последствия / Отв. ред. Л.А. Маслов. Биробиджан, 1992. 50 с.
50. Саваренский Е.Ф. Сейсмические волны. М., 2003.
51. Сердюцкая Л.Ф. Математико-картографическое моделирование в задачах экологии // Геоинформатика. 2005. № 2. С. 59—65.
52. Сердюцкая Л.Ф. Математическое моделирование влияния техногенных нагрузок на экологические системы: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Киев, 2004. 42 с.
53. Сердюцкая Л.Ф., Яцишин А.В. Техногенная экология: Математико-картографическое моделирование. М., 2009. 232 с.
54. Справочник инженера по охране окружающей среды (эколога): Учеб.-практ. пособие / В.П. Перхуткин и др. М., 2006. 864 с.
55. Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т. Трофимова. М., 1997. 210 с.

56. Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е., Шрейдер А.А. Основы экологической геофизики. 2-е изд., перераб. и доп. СПб., 2004. 384 с. (Учебники для вузов. Специальная литература).
57. Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Общая и экологическая геофизика. М., 2005.
58. Учебно-методический комплект дисциплины: Геофизика / Авт.-сост. К.Н. Дьяконов, В.А. Богословский. Саранск, 2007. С. 142—144.
59. Физические проблемы экологии (физическая экология): Тез. докл. II Всерос. конф. Москва, 23—27 июня 1997 г. М., 1997. № 1. 87 с.
60. Физические проблемы экологии (физическая экология): Тез. докл. II Всерос. конф. Москва 23—27 июня 1997 г. М., 1997. № 2. 102 с.
61. Физические проблемы экологии (физическая экология): Тез. докл. II Всерос. конф. М., 1998. 224 с.
62. Ходжаева Г.К. Геоэкологическая оценка воздействия аварийных ситуаций нефтепроводов на окружающую природную среду (на примере Нижневартовского района): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Томск, 2013. 19 с.
63. Ходжаева Г.К. Оценка риска аварийности нефтепроводных систем в аспекте геодинамических процессов: Монография. Нижневартовск, 2016. 132 с.
64. Худолей В.В., Мизгирев И.В. Экологически опасные факторы. СПб., 1996. 186 с.
65. Чижов Б.Е. Лес и нефть Ханты-Мансийского автономного округа / Предисл. В.В. Козина // Экологический фонд ХМАО. Тюмень, 1998. 144 с.
66. Экологическая и промышленная безопасность в ХМАО-Югре. Нижневартовск, 2010. 284 с.
67. Экология и экономика природопользования / Отв. ред. Э.В. Гирусов, В.Н. Лопатин. М., 2003. 519 с.
68. Экология Ханты-Мансийского автономного округа / Под ред. В.В. Плотникова. Тюмень, 1997. 228 с.
69. Экологические проблемы: что происходит, кто виноват и что делать? / Под ред. В.И. Данилова-Данильяна. М., 1997. 332 с.

70. Экологические функции литосферы / В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг, Т.А. Барабошкина и др.; под ред. В.Т. Трофимова. М., 2000. 432 с.

71. Январева Л.Ф., Макеев В.Н., Москвина Н.Н. Лицензионные участки недропользования // Атлас Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. Ханты-Мансийск; М., 2004. Т. 2. С. 135.

## ГЛОССАРИЙ

### А

*Аллювиальная равнина* — регион, сложенный наносами водного потока, образующимися при его разливах.

*Аллювиальные отложения* — совокупность отложений различного гранулометрического состава, образованных водными, большей частью речными, потоками.

*Аллювий* — однородные и неоднородные отложения речных вод. Могут перемещаться на большие расстояния.

*Антропоген* — см. *Четвертичный период*.

### Б

*Базис эрозии* — горизонтальная поверхность, на уровне которой прекращается эрозия. Всеобщий базис эрозии — уровень Мирового океана.

*Бобовая руда (болотная руда, дерновая руда)* — скопления главным образом железистых соединений в виде крупных стяжений (желваков) или сплошных плит значительной мощности.

*Боксит* — комплекс различных оксидов и гидрооксидов алюминия (бёмита, гиббсита) и связанных с ними оксидов железа (гетита и др.). Основная алюминиевая руда.

*Болотная руда* — см. *Бобовая руда*.

*Боровые пески* — дерново-подзолистые иллювиально-железистые почвы, формирующиеся на коренных и аллювиальных песчано-супесчаных отложениях преимущественно в лесной, лесостепной и значительно реже в степной зонах.

### В

*Валдайское оледенение* — см. *Оледенение Вюрм, Оледенения*.

*Валуны* — окатанные обломки пород размером более 10 см. Разделяются на мелкие (10—25 см), средние (25—30 см), крупные (50—100 см) и глыбы (>100 см).

*Водно-ледниковые отложения* — см. *Флювиогляциальные отложения*.

*Водораздел* — линия, разделяющая водосборные бассейны смежных рек, водоемов. Часто употребляется как тип рельефа,

характеризующий микро-, мезо- и макроводоразделы различной формы и крутизны.

*Выветривание* — 1. Частичная или полная трансформация пород, минералов, почв или рыхлых отложений без изменения или с изменением их объема, сопровождающаяся переменой цвета, текстуры, твердости или формы. 2. (По А.Г. Черняховскому) климатически обусловленные изменения физических свойств и минерального состава горных пород, испытываемые ими в субаэральных условиях, отличных от первоначальных. Выделяют морозное, температурное, гидратационное и биохимическое выветривание.

## Г

*Геофизические аномалии* — отклонение значений физического поля Земли от нормального, обусловленное различием физических свойств и неоднородностью ее состава и строения. По геофизическим аномалиям изучают внутреннее строение Земли и земной коры, особенно ее верхней части, проводят поиск и разведку месторождений полезных ископаемых, решают гидрогеологические и инженерные задачи. Различают естественные нормальные поля (магнитное, гравитационное и геотермическое) и искусственно возбуждаемые (например, электрические поля постоянных токов). В последнем случае нормальным считают поле заданного источника в однородной среде.

*Геоморфология* — наука о рельефе, его внешнем облике, происхождении, истории развития, современной динамике и закономерностях географического распространения. Формы рельефа выделяют согласно их генезису и размеру. Рельеф формируется под влиянием эндогенных (тектонических движений, вулканизма и кристаллохимического разуплотнения вещества недр), экзогенных (денудация) и космогенных процессов.

*Геоморфологический ландшафт (ГМЛ)* — совокупность развитых в регионе или районе форм рельефа, свойственных области господства и проявления в новейшее время определенного геодинамического режима, климатических и физико-географических условий. Главнейшими типами эндогенных ГМЛ на континентах являются *горные и равнинные страны*. Для океанических и мор-

ских пространств геоморфологическими единицами этого ранга являются *подводные горные системы и равнины*.

*Гидратация* — образование оболочки из ориентированных молекул воды вокруг ионов, молекул и коллоидных частиц почвы, находящихся в растворе, а также вокруг твердых частиц почвы при соприкосновении их с влагой.

*Гидрогенез* (по А.Е. Ферсману) — совокупность геохимических процессов в зоне гипергенеза, связанных с проникновением воды в литосферу и сопровождающихся растворением, переносом и вторичным выпадением из растворов различных минералов.

*Гидрогетит (лепидокрокит)* — минерал из группы оксидов-гидрооксидов металлов, имеющий состав:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 90%,  $\text{H}_2\text{O}$  — 10%. Совместно с гетитом входит в состав лимонита. Гидрогетит характерен для латеритов, болотных руд, где присутствует в небольших количествах.

*Гидролиз* — химическое взаимодействие сложного вещества (минерального, органического) с водой, сопровождающееся его распадом на составляющие части и присоединением к ним ионов воды (H и OH).

*Гидрооксиды* — совокупность минералов (содержащих преимущественно железо и алюминий), преобразующихся в оксиды под действием высоких температур [гиббсит —  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , гетит —  $\text{FeOOH}$ , бемит —  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ].

*Гидрослоуды* — см. *Иллиты*.

*Гипергенез* — совокупность процессов химического и физического преобразования пород в верхних слоях земной коры и на ее поверхности.

*Голоцен* — см. *Четвертичный период*.

*Гравий* — 1. Окатанная элементарная почвенная частица размером 1—3 мм. 2. Обломки пород диаметром 0,2—2 см.

## Д

*Дезинтеграция* — 1. Разрушение горных пород до обломков разного размера без заметного изменения химического и минералогического состава. 2. Разрушение почвенных агрегатов до элементарных почвенных частиц (диспергирование, пептизация).

*Денудация* — совокупность процессов разрушения и переноса продуктов горных пород и почв в понижения рельефа, приводящих к его постепенному выравниванию.

*Дефляция* — вынос рыхлого и тонкого материала ветром, при котором более грубые частицы остаются на месте и образуют «реги» (слой грубого материала — песка или щебня, который остается на поверхности почвы после выноса тонких частиц).

*Днепровское оледенение* — см. *Оледенение Рисе, Оледенения*.

*Донское оледенение* — см. *Оледенения, Оледенение Гюнци*.

*Дресва* — хрящеватые неокатанные остроугольные продукты разрушения кристаллических плотных пород (граниты, гнейсы и др.).

*Друзы* — новообразования, представляющие собой сростки из кристаллов; в почве встречаются друзы гипса, кальцита, кварца и др.

*Дюны* — в России — параболические формы эолового рельефа, обратные формам барханов высотой от нескольких до сотен метров; за рубежом — это холмы, гряды или возвышенности, сложенные перевиваемым песком.

## Ж

*Железо свободное* — совокупность кристаллических и аморфных минеральных, а также органических соединений железа, образующихся в процессе педогенеза и способных участвовать в современном почвенном процессе дифференциации порода — почва. Источником железа служат вторичные железосодержащие минералы или органические комплексные соединения.

## З

*Зандры* — равнинные поверхности у концов и окраин ледников, покрытые продуктами перемыывания и переотложения морены (главным образом песком). Образованы слившимися друг с другом конусами выноса приледниковых потоков. Широко развиты в областях плейстоценового покровного оледенения и служат почвообразующими породами.

## И

*Известкование* — способ химической мелиорации кислых почв путем внесения в них извести для повышения плодородия и

устранения избыточно вредной для сельскохозяйственных культур кислотности. Например, для увеличения рН на единицу надо в суглинистые почвы внести от 2 до 3 т/га гашеной или негашеной извести — СаО.

*Известняк* — порода с преобладанием карбоната кальция. Известняк растворим в воде, особенно содержащей растворенный диоксид углерода, способен к закарстовыванию, легко выветривается.

## К

*Кайнозой* — геологическая эра, которая началась 67 млн лет назад и продолжается до настоящего времени, делится на палеоген, неоген и четвертичный период (квартер).

*Камы* — отдельные крутосклонные холмы высотой от 2—5 до 30 м, округлой или продолговатой (в плане) формы и их скопления, которые встречаются в районах плейстоценового материкового оледенения. Состоят из слоистого сортированного почвообразующего материала, отложенного проточными тальными ледниковыми водами.

*Карст* — комплекс отрицательных (воронки, котловины, провалы, пещеры, колодцы) и положительных (останцы — моготы, хумы, мозоры) форм карстового рельефа. Возникает в растворимых водными растворами осадочных горных породах (известняки, гипс). По периферии тропического башенного карста на продуктах выветривания известняков формируются красные ферралитные почвы.

*Концентрация* — количество загрязнения в объеме среды.

*Кора выветривания* — верхние слои литосферы, преобразованные *in situ* под действием различных процессов выветривания (морозного, температурного, гидратационного и биохимического). Характерные, но необязательные признаки коры выветривания — наследование структурно-текстурных признаков материнской породы, а также ее профильное строение. По времени образования различают современную и древнюю кору выветривания.

## Л

*Лёсс* — рыхлая пылеватая суглинистая карбонатная порода палевого или серо-желтого цвета. В гранулометрическом составе преобладает фракция крупной пыли (0,05—0,01 мм). Лёсс харак-

теризуется большой пористостью, хорошей водопроницаемостью, прочной микроструктурой, значительной просадочностью. Часто образует вертикальные трещины.

*Лёссовидный суглинок* — некарбонатные или декарбонатизированные лёссы, переработанные во время или после отложения, генезис которых остается неясным.

*Литогенез* — совокупность процессов образования и последующей трансформации осадочных горных пород.

## М

*Материковое (континентальное) подножие* — полого наклонная (первые градусы) к океану, часто слабоволнистая равнина, окаймляющая в ряде районов основание материкового склона полосой до 1000 км в ширину.

*Материковый (континентальный) склон* — относительно крутой (от 3—5° до 10—15°) склон между бровкой (внешнем краем шельфа) и ложем океана до глубины 2000—2500 м и более.

*Мезозой* — геологическая эра, продолжавшаяся с 230 до 65 млн лет назад. Включает триасовый, юрский и меловой периоды.

*Монтмориллонит* — глинистый минерал; характерен для черноземов (смектит), вертисолей и климатических условий с засушливым периодом (субтропический и умеренный континентальный). Емкость катионного обмена (ЕКО) монтмориллонита 80—130 мг-экв/100 г почвы.

*Морена* — смесь камней и грунта, переносимая и аккумуляруемая в результате деятельности ледников. Морены по составу очень разнообразны, неотсортированы; формируются по краям ледника (поверхностная боковая морена), на месте слияния ледников (срединная морена), перед ледником (конечная морена), в ложе ледника (основная морена).

*Московское оледенение* — см. *Оледенение Вюрм, Оледенения*.

*Мочажина* — 1. Участок болота или заболоченного луга с водой, близкой к поверхности или выше ее. 2. Залитое водой понижение между кочками на болоте или мокром луге.

## Н

*Надпойменная терраса* — терраса, расположенная выше поймы.

## О

*Окремнение* — метасоматическая трансформация (замещение) известняков в кремнистые породы под действием кремнистых растворов.

*Окское оледенение* — см. *Оледенение Миндель*, *Оледенения*.

*Оледенение Вюрм* — четвертая и последняя стадия четвертичного оледенения в альпийской Европе, которая состоялась 70—13 тыс. лет назад (верхний плейстоцен) и состояла из трех самостоятельных периодов оледенения и межледниковий. Соответствует Висконсинскому оледенению в Северной Америке и Московскому и Валдайскому в Европейской России.

*Оледенение Гюнц* — первая стадия четвертичного оледенения в Альпийской Европе, которая состоялась приблизительно 1 млн 200 тыс. — 700 тыс. лет назад (нижний — ранний плейстоцен). Соответствует оледенению Небраски в Северной Америке и приближенно Донскому оледенению в Европейской России.

*Оледенение Миндель* — вторая стадия четвертичного оледенения в Альпийской Европе, которая имела место 650—350 лет назад (средний плейстоцен). Соответствует Канзасу в Северной Америке и Окскому в Европейской России.

*Оледенение Рисс* — третья стадия четвертичного оледенения в Альпийской Европе, которая происходила 300—120 тыс. лет назад (средний плейстоцен). Соответствует Иллинойскому оледенению в Северной Америке и Днепровскому оледенению в Европейской России.

*Оледенения* — по данным А.А. Величко и других, с конца эоплейстоцена по характеру строения лёссово-почвенной формации Русской равнины в объеме плейстоцена к настоящему времени выделяют не менее 7 крупных теплых (межледниковых) и 9 холодных (перигляциальных) эпох. Для четырех холодных циклов (Окского, Днепровского, Московского и Валдайского) достаточно надежно установлены покровные оледенения. Эти данные подтверждаются бурением материковых льдов Антарктиды (станция «Восток») до глубины 3300 м, показавших в последние 420 тыс. лет на отрезках 25, 140, 250 и 350 тыс. лет резкие похолодания (максимумы оледенений). Кроме этих покровных оледенений на территории Русской равнины выявлены еще два более

ранних в нижнем плейстоцене (в частности Донское). Диагностируют эти оледенения горизонты лёссов, ископаемые почвы и криогенные феномены.

*Органический углерод* — углерод, входящий в состав клеток живых организмов. Содержание органического углерода в почвенном гумусе и органическом веществе определяют путем мокрого сжигания почвенной пробы в избытке смеси серной кислоты и бихромата калия с последующим оттитровыванием неиспользованного окислителя.

*Осадочные горные породы (обломочные горные породы)* — экзогенные породы, образовавшиеся на поверхности Земли, генезис которых зависит от многих факторов: типа выветривания, переноса, зоны отложения и т.д. Выделяют: 1) обломочные осадочные горные породы — конгломераты, песчаники, лессы, вулканические обломки и др.; 2) биогенные осадочные горные породы — кремнь, окремнёный кавернозный известняк, каменный уголь, торф, нефть, галит, гипс и др.

## II

*Палеопочвы* (ископаемые почвы, погребенные почвы) — древние почвы, сформированные в экологических условиях, отличных от современных, погребенные под более свежими наносами.

*Педиплен* — форма рельефа аридных зон и саванн, представляющая собой плоскую поверхность, практически лишенную уклона во всех направлениях.

*Пенеплен (поверхность выравнивания)* — слабодифференцированные по высоте возвышенные равнины, образующиеся как на платформах, так и в горах, там, где процессы денудации опережают процессы тектонических подъемов.

*Перигляциальная область* — область вокруг ледниковой зоны, в пределах которой верхняя часть почвенного профиля оттаивает в течение лета, а подпочва постоянно остается замерзшей.

*Платформы* — обширнейшие участки земной коры, с устойчивым малоподвижным фундаментом, который сложен магматическими и метаморфическими породами и перекрыт чехлом осадочных пород. Древними платформами считаются те, которые

имеют докембрийский фундамент, у молодых платформ фундамент сформировался позже.

*Плиты* — участки платформ, где фундамент погружен под толщей осадочных пород в несколько сот метров и глубже.

*Плейстоцен* — наиболее длительная эпоха четвертичного периода в эволюции Земли. Характеризуется неоднократными периодами оледенений и межледниковий.

## Р

*Равнины* — обширные невысокие ровные пространства с малыми колебаниями высот (до 50—200 м) и крайне малыми уклонами. Крутые склоны и обрывы встречаются и на равнинах, но они обычно невысоки и занимают второстепенное место в рельефе. По видам формирования рельефа равнины подразделяются на денудационные и аккумулятивные.

## С

*Сапропель* — ил, образующийся из разложившихся растительных и животных остатков на дне застойных водоемов (озер, лагун).

*Себха* — замкнутое бессточное понижение рельефа с плоским глинистым днищем, занятым солончаками, в пустынях Северной Африки. Зимой заполнена водой, летом пересыхает и покрывается выцветами солей. В Средней Азии носит название сор, или шор.

*Седиментация (осадконакопление)* — процесс образования всех видов отложений в природных условиях путем перехода осаждаемого материала из подвижного, взвешенного или растворенного состояния (в водной или воздушной среде) в неподвижное (осадок).

*Складчатые области и пояса* — протяженные горные районы, в которых породы сильно смяты в складки, нарушены разрывами.

*Суффозия (просадка)* — опускание участков дневной поверхности вследствие уменьшения объема почвенно-грунтовой массы, вызванного выщелачиванием растворимых солей, переупаковкой минеральных частиц и таянием ледяных линз. Часто возникает при орошении и дополнительном увлажнении естественных микронеровностей рельефа за счет атмосферных осадков.

## Т

*Тектонические структуры* — закономерно повторяющиеся формы залегания горных пород. Тектонические структуры образуются в результате внутренних процессов, происходящих в литосфере: тектонических движений, прорывов магмы и т.п. Различают: 1) простейшие тектонические структуры (складки, трещины, сбросы, лакколиты и др.); 2) глубинные тектонические структуры, достигающие верхних слоев мантии Земли (литосферные плиты, платформы, складчатые пояса, островные дуги, глубинные разломы и др.).

*Терморезистор (термистор)* — полупроводниковый прибор, электрическое сопротивление которого изменяется в зависимости от его температуры. Терморезистор был изобретен Самюэлем Рубеном в 1930 г. Термисторы изготавливаются из материалов с высоким температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), который обычно на порядок выше, чем ТКС металлов и металлических сплавов.

*Термокарст* — образование просядочных, провальных форм рельефа в результате вытаявания подземного льда или оттаивания мерзлого грунта или почв. Типичный рельеф: озерные котловины, атласы, западины, блюдца, ямы и др. В почвенном покрове мерзлотных областей территории с развитием термокарст образуют микроструктуры — пятнистые, западинные, бугорковые комплексы почв.

*Техногенез* — совокупность геохимических и геофизических процессов, связанных с деятельностью человека, в результате которой изменяется геохимическая обстановка в биосфере. Техногенез включает: извлечение элементов из природной среды, перегруппировку элементов, создание новых соединений и т.д., в результате чего загрязняется окружающая среда.

## У

*Углерод органический* — углерод, входящий в состав клеток живых организмов. Определение содержания органического углерода в почвенном гумусе и в органическом веществе проводят методом мокрого сжигания почвенной пробы в избытке смеси серной кислоты и бихромата калия с последующим титрованием неиспользованного окислителя.

*Уровень грунтовых вод (УГВ)* — изменяющаяся во времени и пространстве линия расположения грунтовых вод на определенном расстоянии от земной поверхности (поверхности почв).

#### Ч

*Четвертичный период* — заключительная эра кайнозоя в стратиграфии продолжительностью около 1,8 млн лет, характеризующаяся неоднократными периодами оледенений и межледниковий, включающая современный период времени — голоцен продолжительностью около 12 тыс. лет.

#### Щ

*Щиты* — участки древних платформ, где кристаллический фундамент выходит на поверхность.

#### Э

*Элювий* — 1. Продукты разрушения (выветривания) коренных пород, остающиеся на месте своего образования. В таком понимании является синонимом термина кора выветривания. 2. Горные породы, слагающие геологическое тело коры выветривания.

*Эоловые отложения* — продукты почв и горных пород, отложенные ветром. Обычно это пески и другие мелкообломочные минеральные отложения.

*Учебное издание*

## **ГЕОФИЗИКА**

*Учебное пособие*

Редактор *Н.В. Титова*  
Технический редактор *Н.В. Титова*

---

Изд. лиц. ЛР № 020742. Подписано в печать 20.10.2016  
Формат 60×84/16. Бумага для множительных аппаратов  
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. листов 8,0  
Тираж 300 экз. Заказ 1805

*Отпечатано в Издательстве  
Нижевартковского государственного университета  
628615, Тюменская область, г.Нижевартовск, ул.Дзержинского, 11  
Тел./факс: (3466) 43-75-73, E-mail: izd@nvsu.ru*