
Г. Д. КОВАЛЕНКО



**РАДИОЭКОЛОГИЯ
УКРАИНЫ**



ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «ИНЖЕК»

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «ИНЖЭК»



**УКРАИНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ**

Г. Д. КОВАЛЕНКО

РАДИОЭКОЛОГИЯ УКРАИНЫ

**Харьков
2008**

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ	10
ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ	11
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	12
ВВЕДЕНИЕ	13
РАЗДЕЛ 1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ УКРАИНЫ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЕЕ ТЕРРИТОРИИ	16
РАЗДЕЛ 2. ФОРМИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ	19
2.1. Вклад космического излучения в формирование радиационной обстановки	19
2.2. Роль естественных радионуклидов в формировании радиационной обстановки	23
2.2.1. Примордиальные радионуклиды	23
2.2.2. Космогенные радионуклиды	40
2.2.3. Формирование гамма- фона за счет примордиальных радионуклидов, рассеянных в почве	45
РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАДИОНУКЛИДАМИ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ	47
3.1. Анализ радиоэкологического состояния окружающей природной среды	49
3.1.1. Мощность дозы излучения	49
3.1.2. Радиоактивное загрязнение приземного слоя атмосферного воздуха	49
3.1.3. Радиоактивное загрязнение поверхностных вод	52
3.1.3.1. Калий-40	54
3.1.3.2. Суммарная объемная альфа-активность воды	59
3.1.3.3. Объемная бета-активность воды	59
3.1.3.4. Радионуклиды уранового и ториевого рядов в донных отложениях	72
3.1.3.5. Тритий в воде	73
3.2. Ядерные взрывы как источник загрязнения радионуклидами окружающей природной среды	83
3.3. Атомные электрические станции	86
3.3.1. Запорожская АЭС	93
3.3.2. Южно-Украинская АЭС	95
3.3.3. Ровенская АЭС	97
3.3.4. Хмельницкая АЭС	99
3.3.5. Чернобыльская АЭС	99
3.3.6. Анализ радиоактивных выбросов и сбросов АЭС	102

3.4. Пункты захоронения радиоактивных отходов	107
3.4.1. Днепропетровский ПЗРО	108
3.4.2. Львовский ПЗРО	108
3.4.3. Одесский ПЗРО	109
3.4.4. Донецкий ПЗРО	109
3.4.5. Харьковский ПЗРО	109
3.4.6. Киевский ПЗРО	109
3.4.7. Пункты захоронения в Чернобыльской зоне.....	110
3.5. Горнодобывающие и перерабатывающие предприятия.....	112
3.5.1. Добыча и переработка урана.....	112
3.5.2. Производство и применение удобрений, стройматериалов и другого сырья	140
3.6. Топливо-энергетические комплексы	144
3.7. Радиационные аварии	148
3.7.1. Авария на Чернобыльской АЭС	148
3.7.1.1. Развитие аварии	148
3.7.1.2. Формирование радиационной обстановки на территории Украины	151
3.7.1.3. Радиоактивное загрязнение территории Украины	151
3.7.2. Радиационная авария на Киевском ПЗРО	164
3.7.2.1. Краткая характеристика ПЗРО КГМСК	164
3.7.2.2. Характеристика отходов, содержащих тритий	165
3.7.2.3. Загрязнение атмосферного воздуха тритием	166
3.7.2.4. Загрязнение тритием грунтов зоны аэрации	167
3.7.2.5. Содержание трития в водоносном горизонте	168
3.7.3. Радиационная авария на Харьковском ПЗРО	169
3.7.3.1. Общая характеристика ПЗРО ХГМСК	169
3.7.3.2. Источники загрязнения и степень загрязненности зоны аэрации тритием	172
3.7.3.3. Загрязнение тритием грунтовых вод	174
3.7.3.4. Перенос трития через водоупор	177
РАЗДЕЛ 4. ОБЛУЧЕНИЕ ОТ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ	180
4.1. Внешнее облучение от космического излучения	181
4.2. Внешнее облучение от естественных радионуклидов	184
4.3. Внутреннее облучение от естественных радионуклидов	187
4.3.1. Космогенные радионуклиды	192
4.3.2. Примордиальные радионуклиды	192
4.3.3. Внутреннее облучение за счет радона, торона и продуктов их распада	193
4.4. Полная доза облучения от естественных источников	197

4.5. Облучение от техногенных источников излучения.....	197
4.5.1. Дозовая нагрузка, обусловленная испытаниями ядерного оружия.....	198
4.5.2. Дозовая нагрузка на население, обусловленная радиационной аварией на ЧАЭС.....	201
4.5.2.1. Внешнее облучение.....	201
4.5.2.2. Внутреннее облучение.....	204
4.5.2.3. Полная доза.....	209
4.5.3. Дозовые нагрузки на население, обусловленные работой предприятий ядерно-топливного цикла.....	210
4.5.3.1. Добыча и переработка урановой руды.....	210
4.5.3.2. Производство электроэнергии на АЭС.....	223
4.5.3.2.1. Описание программных комплексов для расчета доз.....	224
4.5.3.2.2. Индивидуальные и коллективные дозы облучения населения за счет радиоактивных выбросов от АЭС.....	225
4.5.4. Дозовая нагрузка на население, обусловленная работой предприятий топливно-энергетического комплекса.....	229
РАЗДЕЛ 5. РАДИАЦИОННЫЙ РИСК И ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ УКРАИНЫ.....	234
5.1. Общие положения.....	234
5.2. Взаимодействие излучения с веществом.....	234
5.3. Воздействие излучения на клетки живого организма.....	236
5.4. Стохастические и детерминированные эффект ионизирующего излучения.....	239
5.5. Воздействие радионуклидов на организм.....	240
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	246
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	249

CONTENS

PREFACE TO THE FIRST EDITION.....	10
PREFACE TO THE SECOND EDITION.....	11
LIST OF ABBREVIATIONS AND SYMBOLS.....	12
INTRODUCTION.....	12
CHAPTER 1. GEOGRAPHIC LOCATION OF UKRAINE AND ITS GEOLOGICAL STRUCTURE.....	16
CHAPTER 2. NATURAL RADIATION BACKGROUND IN THE TERRITORY OF UKRAINE.....	19
2.1. Cosmic radiation and its contribution to the background radiation pattern.....	19
2.2. Contribution of natural radionuclides to the radiation pattern.....	23
2.2.1. Primordial radionuclides.....	23
2.2.2. Cosmogeneous radionuclides.....	40
2.2.3. Contribution of primordial radionuclides present in soil to the ambient gamma-background.....	45
CHAPTER 3. INDUSTRIAL SOURCES OF RADIONUCLIDE CONTAMINATION OF THE ENVIRONMENT.....	47
3.1. Analysis of radioecological status of natural environment.....	49
3.1.1. Radiation exposure rate.....	49
3.1.2. Radioactive contamination of the near-ground ambient air layer.....	49
3.1.3. Radioactive contamination of surface waters.....	52
3.1.3.1. Potassium-40.....	54
3.1.3.2. Total volumetric alpha-activity levels in water.....	59
3.1.3.3. Volumetric beta-activity levels in water.....	59
3.1.3.4. Uranium and thorium radionuclides in bottom sediments.....	72
3.1.3.5. Tritium in water.....	73
3.2. Nuclear tests as the source of environmental contamination by radionuclides.....	83
3.3. Nuclear power plants.....	86
3.3.1. Zaporizhzhia NPP.....	93
3.3.2. South-Ukrainian NPP.....	95
3.3.3. RovnoNPP.....	97
3.3.4. Khmelnytsk NPP.....	99
3.3.5. ChornobylNPP.....	99
3.3.6. Analysis of radioactive emissions and releases from NPP sites.....	102
3.4. Radioactive waste disposal sites.....	107
3.4.1. Dnipropetrovsk RWDS.....	108
3.4.2. LvivRWDS.....	108
3.4.3. Odessa RWDS.....	109
3.4.4. Donetsk RWDS.....	109
3.4.5. KLharkiv RWDS.....	109
3.4.6. Kyiv RWDS.....	109
3.4.7. Radioactive waste disposal sites within the Chornobyl zone.....	110
3.5. Mining and refining plants.....	112
3.5.1. Uranium mining and processing.....	112
3.5.2. Manufacture and application of fertilizers, construction materials and other raw materials.....	140

3.6. Fuel and energy facilities.....	144
3.7. Radiation accidentsn.....	148
3.7.1. Chernobyl accident.....	148
3.7.1.1. The progress of the accident.....	148
3.7.1.2. Post-Chernobyl radiation situation within the territory of Ukraine.....	151
3.7.1.3. Radioactive contamination across Ukraine.....	151
3.7.2. Radiation accident at the Kyiv Radioactive Waste Disposal Site (RWDS).....	164
3.7.2.1. Brief description of Kyiv Radioactive Waste Disposal Site.....	164
3.7.2.2. Description of tritium-rich waste.....	165
3.7.2.3. Ambient air contamination by tritium.....	166
3.7.2.4. Tritium contamination in soil within aeration zone.....	167
3.7.2.5. Tritium levels in the aquifer.....	168
3.7.3. Radiation accident at the Kharkiv Radioactive Waste Disposal Site (RWDS).....	169
3.7.3.1. General description of Kharkiv RWDS site.....	169
3.7.3.2. Sources of contamination and tritium levels within the aeration zone.....	172
3.7.3.3. Groundwater contamination by tritium.....	174
3.7.3.4. Tritium transport through the confining bed.....	177
CHAPTER 4. NATURAL AND TECHNOGENIC SOURCES OF EXPOSURE.....	180
4.1. External exposure to cosmic radiation.....	181
4.2. External exposure to radionuclides of natural origin.....	184
4.3. Internal exposure to radionuclides of natural origin.....	187
4.3.1. Cosmogeneous radionuclides.....	192
4.3.2. Primordial radionuclides.....	192
4.3.3. Internal exposure to radon, tharon and their decay products.....	193
4.4. Total exposure dose from natural sources.....	197
4.5. Exposure to technogenic sources of radiation.....	197
4.5.1. Exposure dose resulting from nuclear tests.....	198
4.5.2. Human exposure dose resulting from the Chernobyl accident.....	201
4.5.2.1. External exposure.....	201
4.5.2.2. Internal exposure.....	204
4.5.2.3. Total exposure dose.....	209
4.5.3. Human exposure dose levels associated with the operation of nuclear fuel facilities.....	210
4.5.3.1. Uranium ore mining and processing.....	210
4.5.3.2. Electricity generation at the nuclear power plants.....	223
4.5.3.2.1. Description of software for exposure dose estimation.....	224
4.5.3.2.2. Individual and collective exposure dose levels associated with the NPP operation.....	225
4.5.4. Human exposure dose levels associated with the operation of fuel and energy facilities.....	229
CHAPTER 5. RADIATION EXPOSURE RISK AND POTENTIAL CONSEQUENCES TO HUMAN HEALTH IN UKRAINE.....	234
5.1. General provisions.....	234
5.2. The «radiation-substance» interaction.....	234
5.3. Radiation effects to human cells.....	236
5.4. Stochastic and deterministic effects.....	239
5.5. Impact on a human organism.....	240
CONCLUSION.....	246
LIST OF REFERENCES.....	249