

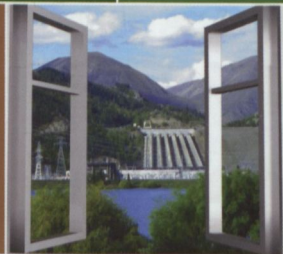
20.1яч
С 30

Высшее профессиональное образование

И. В. Семенова

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Учебное пособие



Безопасность
жизнедеятельности

С 3144БД

И. В. СЕМЕНОВА

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Учебное пособие
для студентов
высших учебных заведений

са-314460

ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
УНИВЕРСАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
им. Н. К. КРУПСКОЙ



Москва

Издательский центр «Академия»

2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	6
Часть I	
Общие вопросы. Природные системы. Производственные процессы	
Глава 1. Современное общество и окружающая среда	9
1.1. Рост народонаселения	9
1.2. Загрязнение окружающей среды	10
1.3. Концепция устойчивого развития	13
1.4. Социально-этические проблемы охраны окружающей среды	14
1.5. Международное сотрудничество и природоохранное законодательство	17
Глава 2. Природные системы	23
2.1. Природные экологические системы	23
2.2. Природно-технические экологические системы	25
2.3. Условия функционирования природно-технических экологических систем	26
Глава 3. Промышленные производства	32
3.1. Структура производства	32
3.2. Технологические параметры и критерии эффективности процесса ...	35
3.2.1. Технологические параметры процесса	35
3.2.2. Критерии эффективности производственного процесса	36
3.3. Экологические показатели производства и порядок их нормирования	40
3.4. Технологические системы	48
3.4.1. Модели технологических систем	51
3.4.2. Анализ технологических систем	53
3.4.3. Синтез и построение технологических систем	55
3.5. Безотходные производства	56
3.6. Принципы создания природоохранных производств	59
3.6.1. Концепция полного использования сырья	60
3.6.2. Разработка новых природоохранных технологий и организация технологических схем	61
3.6.3. Создание замкнутых производственных циклов	64
3.7. Комплексное использование сырья и вторичных ресурсов	65

3.7.1. Характеристика сырья	65
3.7.2. Методы обогащения сырья	66
3.7.3. Комплексное использование сырья	69
3.8. Вторичные энергетические ресурсы	74
3.9. Энерготехнологические схемы	77
3.10. Безотходные территориально-промышленные комплексы	79

Часть II

Техногенные выбросы

Глава 4. Газовые техногенные выбросы	81
4.1. Общая характеристика и масштабы поступления газовых выбросов в атмосферу	82
4.2. Закономерности распространения газов в атмосфере	85
4.3. Химические изменения газовых выбросов в атмосфере	89
4.4. Вещества, вызывающие глобальные изменения окружающей среды	94
4.5. Международное сотрудничество в области ограничения глобальных выбросов	99
4.6. Методы очистки газовых выбросов от гетерогенных примесей	100
4.6.1. Механические методы очистки	102
4.6.2. Метод фильтрации	106
4.6.3. Электростатические методы очистки	107
4.7. Очистка газовых выбросов от гомогенных примесей	108
4.7.1. Метод абсорбции	108
4.7.2. Метод адсорбции	110
4.7.3. Метод конденсации	111
4.7.4. Реагентные методы очистки	111
4.8. Эколого-токсикологическая характеристика основных компонентов газовых выбросов	114
4.8.1. Водород	114
4.8.2. Соединения углерода	116
4.8.3. Соединения серы	120
4.8.4. Соединения азота	124
4.8.5. Соединения фтора	126
4.8.6. Соединения хлора	130
4.9. Методы очистки отходящих газов от сероводорода и сероуглерода	135
4.9.1. Методы абсорбции	136
4.9.2. Окислительные методы очистки газов от сероводорода	137
4.9.3. Совместная очистка газов от сероводорода и сероуглерода	138
Глава 5. Природные и промышленные воды	140
5.1. Природные воды	141
5.1.1. Состав природных вод	142
5.1.2. Макрокомпонентный состав воды	145
5.1.3. Микрокомпонентный состав природных вод	146

5.1.4. Растворенные газы	148
5.1.5. Взвеси	150
5.1.6. Соединения кремния в природных водах	152
5.1.7. Соединения железа в природных водах	154
5.1.8. Биологические составляющие воды	159
5.1.9. Микробиологические показатели	162
5.2. Сточные воды	163
5.3. Методы водоподготовки и водоочистки	165
5.3.1. Методы коагуляции и флокуляции	166
5.3.2. Примеры применения методов коагуляции и флокуляции в технологических процессах	172
5.3.3. Методы фильтрации	177
5.3.4. Метод адсорбции	180
5.3.5. Метод ионного обмена	183
5.3.6. Окислительно-восстановительные методы	190
5.3.7. Методы очистки, основанные на фазовых превращениях	196
5.3.8. Электрохимические методы очистки	197
5.3.9. Биологические методы очистки воды	204
5.4. Отложения и коррозия в системах водоснабжения	209
5.5. Замкнутые водооборотные циклы	214
5.5.1. Методы создания замкнутых систем водоснабжения	215
Глава 6. Твердые отходы производства и потребления	223
6.1. Твердые бытовые отходы	227
6.2. Твердые промышленные отходы	234
6.3. Радиоактивные отходы	246

Часть III

Технико-экологическая характеристика отраслей народного хозяйства

Глава 7. Энергетическая промышленность	252
7.1. Характеристика отрасли	252
7.1.1. Топливоно-сырьевые ресурсы России	254
7.2. Тепловые электростанции	257
7.2.1. Твердые отходы ТЭС	259
7.2.2. Утилизация твердых отходов ТЭС	262
7.2.3. Сточные воды энергетических предприятий	263
7.2.4. Газовые выбросы. Очистка дымовых газов от взвешенных частиц	269
7.2.5. Снижение содержания серы в топливе	270
7.2.6. Физико-химические способы очистки газов от оксидов серы	276
7.2.7. Образование соединений азота, фтора и мышьяка и очистка от них дымовых газов	285
7.3. Атомные электрические станции	286
7.3.1. Физико-химические основы процесса получения ядерной энергии	287
7.3.2. Экологические аспекты атомной энергетики	289

7.3.3. Очистка газовых и жидких выбросов АЭС	291
7.4. Современные природоохранные технологии в энергетической промышленности	292
7.4.1. Противоточный метод водоподготовки по технологии UP.CO.RE фирмы «Dow Chemical» (США)	293
7.4.2. Метод коррекционной обработки воды по технологии фирмы «HYDRO-X A/S», Дания	295
Глава 8. Газонефтедобывающий комплекс	305
8.1. Экологические аспекты газонефтедобывающей отрасли	307
8.2. Нефть. Состав, свойства, биогеохимическая и эколого- токсикологическая характеристика	309
8.2.1. Состав нефти	309
8.2.2. Биохимическое поведение нефти в водной среде	312
8.2.3. Источники поступления нефти и ее производных в окружающую среду	316
8.2.4. Содержание и распределение нефти в морских экосистемах	317
8.2.5. Содержание нефтепродуктов в донных отложениях	318
8.2.6. Накопления нефтепродуктов в морских организмах	319
8.2.7. Токсикологические и пороговые концентрации нефти	319
8.3. Газовые месторождения. Биогеохимическая и эколого- токсикологическая характеристика	323
8.3.1. Происхождение и состав природного газа	323
8.3.2. Источники поступления газообразных углеводородов в окружающую среду	325
8.3.3. Эколого-токсикологическая характеристика природного газа	327
8.3.4. Эколого-токсикологическая характеристика газоконденсата и газогидратов	329
8.4. Технология освоения и разработки газовых и нефтяных месторождений	330
8.4.1. Этапы освоения и эксплуатации газонефтяных месторождений	330
8.4.2. Отходы производства	332
8.5. Аварийные ситуации	337
8.6. Экологические стандарты и нормативы. Международное сотрудничество	340
8.7. Ресурсосберегающие технологии. Комплексная переработка сырья Астраханского газоконденсатного месторождения (проект фирмы «Текнип», Франция)	342
8.7.1. Общая характеристика процесса	343
8.7.2. Процесс получения товарного газа	346
8.7.3. Процесс стабилизации конденсата	351
8.7.4. Процесс получения серы	352
Глава 9. Нефтеперерабатывающая промышленность	360
9.1. Характеристика отрасли	360
9.2. Технологические процессы переработки нефти	362

9.3. Перегонка нефти	366
9.4. Физико-химические основы высокотемпературной переработки нефти	373
9.4.1. Термический крекинг нефти	374
9.4.2. Каталитический крекинг	375
9.4.3. Каталитический риформинг	376
9.5. Гидроочистка	378
9.6. Пиролиз	378
9.7. Специфические компоненты сточных вод нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности	380
9.8. Отходы производства	382
9.9. Нормы и контроль за сбросом сточных вод	385
9.10. Технология проведения очистки и утилизации отходов нефтеперерабатывающих заводов	386
9.10.1. Технология проведения процесса обезжиривания	387
9.10.2. Физико-химическая очистка масляных вод	388
9.10.3. Биологическая очистка жидких отходов нефтепереработки	389
9.10.4. Переработка промышленных шламов	391
Глава 10. Нефтехимическая промышленность	394
10.1. Характеристика отрасли	394
10.2. Отходы нефтехимических производств	395
10.2.1. Токсичные примеси в сточных водах нефтехимических производств	395
10.2.2. Специальные виды обработки сточных вод	396
10.3. Сточные воды в производстве этилбензола	397
10.4. Производство стирола. Жидкие отходы	399
10.5. Высокомолекулярные соединения	402
10.5.1. Производство полиэтилена	403
10.5.2. Производство полипропилена. Характеристика отходов	404
10.5.3. Производство полистирола. Характеристика отходов	406
10.6. Современные природоохранные технологии. Производство высококачественного моторного топлива по технологии фирмы «ABB Lummus Global», Дания	408
10.6.1. Процесс гидроочистки	410
10.6.2. Производство высокочистого водорода из природного газа	413
Глава 11. Химическая промышленность	420
11.1. Характеристика отрасли	420
11.2. Экологические аспекты химической промышленности	424
11.3. Производство серной кислоты	427
11.3.1. Твердые отходы	429
11.3.2. Жидкие отходы	432
11.3.3. Газовые выбросы	432
11.4. Азотная промышленность	436
11.4.1. Производство аммиака	436
11.4.2. Отходы при производстве азотной кислоты	438
11.5. Производство удобрений	450

11.5.1. Фосфорные удобрения. Характеристика отходов	451
11.5.2. Калийные удобрения. Характеристика отходов	463
11.6. Производство кальцинированной соды, щелочи и хлора	467
11.6.1. Производство кальцинированной соды	467
11.6.2. Производство щелочи и хлора. Характеристика отходов	468
11.6.3. Абгазный хлористый водород и методы его очистки	474
11.7. Современные ресурсосберегающие технологии	478
11.7.1. Безотходная технология производства металлического кальция	478
11.7.2. Технология комплексной переработки газообразных и жидких серосодержащих отходов нефтеперерабатывающих предприятий по технологии «Haldor Topsoe», Дания	483
Список литературы	496
Приложение	500
Список сокращений	503
Основные обозначения	505
Предметный указатель	507

В топках котлоагрегатов электростанций создается температура 1 000 °С, и выход оксида азота существенно ниже.

Содержание оксидов азота в отходящих газах ТЭЦ невелико и специальных методов для очистки газов от этих примесей не применяют.

Основные направления снижения выбросов оксидов азота заключаются в следующем:

- уменьшение коэффициента избытка воздуха;
- рециркуляция дымовых газов;
- внедрение режима двухступенчатого сжигания;
- введение воды или пара в зону горения.

Некоторые угли содержат мышьяк, который может присутствовать в углях в виде как сульфитов — арсениопирита FeAsS , реальгара (красного мышьяка) As_2S_2 , аурипигмента As_2S_3 , так и арсенидов и арсенатов. Соединения мышьяка в значительном количестве (85—88 %) остаются в золе и пыли (см. табл. 7.2). Около 5—6 % общего содержания попадает в выхлопные газы. При наличии в угле хлористых соединений возможно образование хлорида мышьяка. Имея точку кипения 130 °С, хлорид мышьяка может попадать в атмосферу вместе с газами, которые на выходе имеют температуру 145—150 °С.

Специальных методов очистки от мышьяка не предусматривают.

Некоторые угли имеют в своем составе соединения фтора. При сжигании таких углей образуется фторид водорода HF , который выбрасывается в атмосферу. Содержание его в газах невелико, но надо учесть, что фторид водорода имеет очень жесткое значение ПДК (см. подразд. 4.8.5).

Специальных методов очистки от HF не разработано. Применение абсорбционных методов очистки от соединений серы и азота способствует очистке газов и от фторида водорода, так как он хорошо растворяется в воде.

7.3. Атомные электрические станции

Состояние и перспективы отрасли. В настоящее время в мире действуют 424 ядерных энергоблока (ЯЭБ) общей установленной мощностью 330 ГВт (э). Вклад атомной энергетики в общее мировое производство энергии составляет 17 %.

В России эксплуатируется 29 ЯЭБ общей установленной мощностью 21,2 ГВт (э). Вклад атомной энергетики в общее производство электроэнергии в Российской Федерации составляет 14,5 %. По уровню развития атомной энергетики Россия существенно отстает от ведущих стран мира. Для сравнения, в США работают 110 ЯЭБ (20 % общей вырабатываемой электроэнергии), в Япо-

Таблица 7.4. Атомные электростанции России

Название	Регион	Мощность, МВт
Балаковская АЭС	Саратовская обл.	4 000
Калининская АЭС	Тверская обл.	2 000
Кольская АЭС	Мурманская обл.	1 760
Нововоронежская АЭС	Воронежская обл.	1 834
Белоярская АЭС	Свердловская обл.	600
Курская АЭС	Курская обл.	4 000
Смоленская АЭС	Смоленская обл.	3 000
Билибинская АЭС	Магаданская обл.	48
Ленинградская АЭС	Ленинградская обл.	3 000

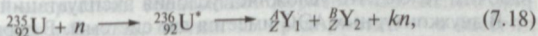
нии — 53 ЯЭБ, во Франции — 57 ЯЭБ (свыше 70 % производимой в стране электроэнергии), в Германии — более 30 %.

В России в настоящее время работают девять АЭС (табл. 7.4).

7.3.1. Физико-химические основы процесса получения ядерной энергии

В процессе осуществления ядерной реакции происходит деление тяжелого ядра на осколки (средние ядра). В этом случае имеет место заметное уменьшение массы нуклонов в ядрах-осколках по сравнению с их массой в тяжелом исходном ядре. Эффект уменьшения массы составляет $\Delta m/m = 10^{-2}$. Поэтому энергия, которая выделяется при ядерной реакции деления, в миллионы раз больше, чем при химической реакции горения. Например, при делении всех ядер, содержащихся в 1 г урана, выделяется энергия, равная 1 МВт·сут. Для получения такой энергии нужно сжечь более 2 т угля. Таким образом, теплотворная способность ядерного топлива почти в 2 млн раз выше органического топлива.

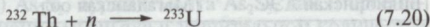
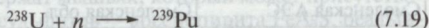
Первичным ядерным топливом для атомной энергетики является уран, точнее его делящийся изотоп ${}^{235}_{92}\text{U}$. Содержание этого изотопа в природном уране составляет 0,7 %. В результате захвата нейтрона ядром урана происходит ядерная реакция деления:



где $\frac{1}{2}\text{Y}_1$ и $\frac{1}{2}\text{Y}_2$ — продукты деления (средние ядра); kn — число вторичных электронов ($k = 0, 1, 2, \dots$). Реакция сопровождается уменьшением массы нуклонов в ядрах-осколках Y_1 и Y_2 по сравнению с исходным ядром ${}^{235}_{92}\text{U}$. Поэтому происходит выделение

свободной энергии $E_{\text{дел}} \approx 200 \text{ МэВ} \approx 3 \cdot 10^{11} \text{ Вт} \cdot \text{с}$. Эта энергия проявляется сначала в виде кинетической энергии осколков ($v_0 \approx 10 \text{ тыс. км/с}$). Затем в результате торможения вещества кинетическая энергия переходит в тепловую энергию.

Продукты деления урана являются радиоактивными, так как нарушается протонно-нейтронный баланс в образовавшихся средних ядрах. Другие делящиеся изотопы ^{239}Pu и ^{233}U в природе не встречаются. Они могут быть получены в ядерном реакторе на быстрых нейтронах из топливного сырья — изотопа урана ^{238}U , которого в естественном уране содержится 99,3 %, и природного элемента тория ^{232}Th



Уран является распространенным элементом на Земле, но он относится к категории рассеянных элементов. Промышленная руда имеет концентрацию урана 0,1—0,5 %. Если принять экономически приемлемую себестоимость добычи урана, то его запасы оцениваются величиной $10^{15}—10^{16}$ т условного топлива, что в 1 000 раз больше запасов угля. Таким образом, запасы ядерного топлива таковы, что позволят обеспечить развитие атомной энергетики в течение многих столетий. Дополнительно надо учесть, что производство электроэнергии на АЭС в два раза ниже, чем на традиционных (ТЭС).

Ядерные реакторы бывают двух типов — на тепловых или медленных нейтронах и на быстрых нейтронах (реакторы-размножители). Большинство АЭС работают, используя реакторы на медленных нейтронах. Значительная часть из них применяет уран со степенью обогащения 2—4 %. Особенностью реакторов этого типа является использование в качестве замедлителей нейтронов воды. Если применяется тяжелая вода, то можно работать на необогащенном уране.

Существующие АЭС, работающие по этому принципу, подразделяются на одноконтурные и двухконтурные. В одноконтурной АЭС контуры теплоносителя и рабочего тела совмещены. Образование пара осуществляется непосредственно в реакторе. Все оборудование АЭС работает с радиоактивным теплоносителем и рабочим телом, что усложняет условия эксплуатации.

В двухконтурных АЭС имеется две системы. В первом контуре циркулирует теплоноситель, который является радиоактивным. Он отдает свое тепло рабочему телу, которое находится во втором контуре. Вода второго контура не загрязнена радиоактивными изотопами, не опасна и используется для получения электроэнергии в паровой турбине.

Одним из значительных недостатков реакторов на медленных нейтронах является очень низкий коэффициент использования урана — всего 1,0—1,5 % потенциальной энергии урана.

Для другого варианта реакторов с медленными нейтронами в качестве замедлителей нейтронов применяют графит, а в качестве теплоносителя — воду. Такие реакторы эксплуатировались на Чернобыльской АЭС.

Реакторы на быстрых нейтронах называют реакторами-размножителями. В таких реакторах наблюдается не уменьшение, а увеличение количества ядерного горючего, способного к делению, что позволяет увеличить коэффициент использования топлива до 30—40 %. Такой тип реакторов имеет более сложную конструкцию. В них нет замедлителей нейтронов, поэтому в активной зоне реактора высвобождается большое количество энергии. В качестве теплоносителя применяется металлический натрий. В реакторах на быстрых нейтронах используется трехкорпусная система защиты.

Первая АЭС на быстрых нейтронах мощностью 350 МВт была построена в СССР в 1973 г. в г. Шевченко. В 1979 и 1982 гг. введены в строй АЭС с реакторами на быстрых нейтронах мощностью 600 МВт.

7.3.2. Экологические аспекты атомной энергетики

Атомная энергетика по сравнению с традиционными энерготехнологиями обладает следующими преимуществами:

- возможностью реализации топливного цикла с воспроизводством нового ядерного топлива, которое способно удовлетворить потребности в энергии человечества при любом прогнозируемом сценарии его развития;
- возможностью осуществления замкнутого топливного цикла, при котором воздействие атомной энергетики на окружающую среду будет существенно меньше, чем от других производителей электроэнергии;
- энергообеспечением отдаленных регионов со слабой транспортной сетью ввиду высокого удельного теплосодержания ядерного топлива.

Вместе с тем атомные электростанции являются чрезвычайно сложными техническими объектами. Ежегодно 54 предприятия атомной энергетики сбрасывают загрязненные воды в природные водные объекты, из них 15 предприятий — в бассейн Каспийского моря, 7 — Балтийского моря, 2 — в Черное море, 27 — в Арктические моря, 2 предприятия — в воды Тихого океана. В водные открытые объекты сбрасывается около 30 тыс. Ки радионуклидов, из которых 99 % имеют период полураспада от нескольких часов до 1 сут. Сбрасываемые изотопы достаточно

быстро распадаются и не повышают радиоактивный фон в водоемах.

Поступление радионуклидов в открытую гидрографическую сеть на уровне 10 ПДС стабильно фиксируется только у ПО «Маяк».

Атомная энергетика предъявляет высокие требования к чистоте и свойствам материалов, квалификации обслуживающего персонала, надежности работы оборудования.

После чернобыльской аварии развитие атомной энергетики в России приостановлено. Прекращено проектирование 20 новых АЭС и строительство 15 АЭС (в том числе Костромской, Горьковской и Ростовской). Прекращена реконструкция и расширение четырех АЭС.

Основная опасность эксплуатации АЭС — наличие потенциальной возможности аварии с большим негативным экологическим эффектом и накопление долгоживущих радиоактивных отходов.

Поэтому необходимо разработать стратегию безопасного развития атомной энергетики России. Она должна базироваться на следующих положениях:

- радиационно-эквивалентное захоронение радиоактивных отходов;
- разработка технологий, исключающих возможность возникновения серьезных аварий.

Стратегия радиационно-эквивалентного захоронения радиоактивных отходов заключается в обеспечении баланса между радиационной опасностью урана, добываемого из недр, и радиоактивных отходов, подлежащих захоронению. Для этого предлагается проводить извлечение при добыче урана долгоживущих продуктов его распада (например, радия), а перед захоронением осуществлять предварительную очистку отходов от долгоживущих изотопов до уровня природных минералов. Радиоактивные отходы должны быть обработаны таким образом, чтобы им была придана минералоподобная форма, устойчивая к миграции отдельных компонентов в грунте. Захоронение радиоактивных отходов следует проводить в естественные радиоактивные геологические формации, остающиеся после добычи урана (см. подразд. 6.3).

Новая стратегия развития атомной энергетики заключается в создании ядерных реакторов с «внутренне присущей безопасностью». В большинстве современных реакторов безопасность обеспечивается за счет технических систем и средств защиты. В новой концепции предлагается учитывать физические и химические свойства веществ, участвующих в работе реактора, чтобы полностью (детерминистски) исключить возникновение и развитие аварий до катастрофических размеров.

Исследования последних лет показали, что быстрые реакторы с жидкометаллическим охлаждением по физическим и техниче-

ским свойствам в наибольшей степени отвечают этим принципам. Использование дисперсного микротоплива без металлических оболочек и ряд других факторов также создают возможность для реализации резервов «внутренне присущей безопасности» для тепловых реакторов некоторых типов.

7.3.3. Очистка газовых и жидких выбросов АЭС

На АЭС различают два основных потока газов, загрязненных радиоизотопами:

- технологические газы, образующиеся при стационарном режиме работы оборудования и на стадиях перегрузки топлива в реактор;
- вентиляционные газы, поступающие в атмосферу из помещений АЭС.

Существует два способа очистки технологических газов:

1) выдерживание газов в газгольдерах до тех пор, пока не произойдет естественный распад радиоактивных изотопов. После этого газы выбрасывают в атмосферу. Недостатком этого способа является необходимость длительного хранения больших количеств газов в газгольдерах;

2) сорбция радиоактивных элементов на активированном угле или других сорбирующих материалах. Через какое-то время, когда произойдет распад на сорбенте радиоактивных элементов, газ выделяют в атмосферу, а сорбирующие материалы вновь используют в процессе.

Вентиляционный воздух очищают на фильтрах. Наибольшее распространение получили фильтры, выполненные на основе тканевых материалов ФПП и ФПА. Они представляют собой слой ультратонких (1,5—2,5 мкм) волокон перхлорвинила, нанесенных на марлевуую подкладку.

Жидкими отходами АЭС являются кубовый остаток, образующийся при выпарке высокоминерализованных трапных вод и дезактивационных растворов, отработанные ионообменные смолы и дебалластные воды. Для очистки различных видов отработанных вод применяют традиционные методы очистки — ионный обмен, фильтрацию и выпаривание. Отработанные ионообменные смолы подлежат захоронению как радиоактивные отходы. Кубовый остаток битумируют, а потом передают на хранение.

В настоящее время имеется 257 мест хранения и поверхностного захоронения радиоактивных отходов, на которых сосредоточено 405 млн м³ жидких и около 300 млн т твердых отходов, суммарная активность которых превышает 1 000 млн Ки. Кроме того, в глубоких геологических формациях сосредоточено свыше 1,05 млрд Ки жидких отходов.