

Розділ 3. Природа та властивості речовин, забруднюючих навколишнє середовище

3.1. Класифікація забруднюючих речовин

Проблема забруднення навколишнього середовища нараховує багато століть (відомий указ Карла VI від 1382 р., який забороняв випускати у Парижі “дим тошнотворний та дурно пахнувший”). Однак до розвитку промисловості забруднення середовища носило обмежений характер, як по місцю і у часі розповсюдження, так і по кількості та шкідливій дії забруднюючих речовин на живі організми. Обстановка різко змінилась із ростом промислового виробництва та населення міст, тобто із розвитком урбанізації.

У загальному вигляді проблема зводиться до того, що людина в процесі господарської діяльності створює відходи, які не входять у подальший кругообіг (завдяки недосконалості сучасних технологій або з огляду економічної доцільності).

До цього слід додати різке збільшення споживання та поширену звичку викидати речі не тільки тоді коли вони відслужили свій термін, а й з огляду на моду. Серед відходів виробництва та життєдіяльності людини багато таких речовин (мінеральних та органічних) які не піддаються біологічному розкладу (пластики, деякі пестициди, кераміка, нержавіючі метали, радіоактивні ізотопи і т. ін.).

Перш ніж переходити до аналізу забруднюючих речовин, дамо визначення терміну “забруднення”.

Під забрудненням в екології розуміють несприятливу зміну навколишнього середовища, яке цілком або частково є результатом діяльності людини, безпосередньо або опосередковано змінює фізико – хімічні властивості середовища та умови існування живих організмів.

Такі зміни можуть впливати на людину безпосередньо, або через воду та продукти харчування. Вони також можуть впливати на людину, погіршуючи властивості речей, які вона використовує, умови відпочинку та роботи.

Забруднюючі речовини по їх дії на організм людини діляться на фізичні та хімічні. До фізичних відносяться

Радіоактивні елементи, які є джерелом ядерної радіації;

Теплове забруднення (підвищення температури);

Шум та низькочастотні вібрації (інфразвук);

До хімічних відносяться:

Газоподібні похідні вуглецю та рідкі вуглеводи;

Миючі засоби;

Пластмаси;
 Пестициди та інші синтетичні речовини;
 Похідні сірки;
 Похідні азоту;
 Важкі метали;
 Сполуки фтору;
 Тверді домішки;
 Органічні речовини

За умовами свого утворення всі забруднюючі речовини діляться на домішки природного та штучного походження.

Домішки природного походження надходять в атмосферу в результаті вулканічної діяльності, вивітрювання ґрунту та гірських порід, лісових пожеж, відмирання рослин, коливання моря та згоряння метеоритів.

Домішки антропогенного походження утворюються перш за все у процесі спалювання палива (у двигунах внутрішнього згоряння, на теплових електростанціях, в опалювальних системах), а також при спалюванні промислових та побутових відходів і в результаті ядерних вибухів та ін.

У повсякденній практиці прийнято виражати кількість газоподібного забруднювача у повітрі в частинах на мільйон (млн.⁻¹):

$$\frac{1 \text{ об'єм газоподібного забруднювача}}{10^6 \text{ об'ємів (забруднювач + повітря)}} = 1 \text{ млн}^{-1}$$

Вагова концентрація виражається в мікрограмах забруднювача на 1 м³ повітря:

$$\frac{\text{мікрограми}}{\text{кубічний метр}} = \text{мкг} / \text{м}^3$$

При 25 °С та тиску 760 мм рт. ст. (1 атм.) співвідношення між млн.⁻¹ та мкг/м³ наступне:

$$\text{мкг} / \text{м}^3 = \frac{\text{млн}^{-1} \cdot \text{молекулярна вага}}{24,5} (10^3)$$

У випадку радіоактивного забруднення кількісною його мірою є величина питомої активності, а саме: у повітрі величина забруднення вимірюється в Бк/м³, а забруднення інших компонентів екосистеми в Бк/кг, або Бк/л.

3.2. Хімічні забруднювачі.

На першому місці серед джерел забруднення середовища знаходяться вуглеводи (вугілля, нафта, газ), оскільки при їх згорянні утворюється велика кількість відходів. Невідновлювальні вуглеводи в основному спалюють з ме-

тою отримання енергії - у Франції, наприклад, тільки 7% використовується як первинна сировина у органічній хімії.

За умовами свого утворення всі забруднюючі речовини діляться на домішки природного та штучного походження.

Домішки природного походження надходять в атмосферу в результаті вулканічної діяльності, вивітрювання ґрунту та гірських порід, лісових пожеж, відмирання рослин, коливання моря та згорання метеоритів.

Домішки антропогенного походження утворюються перш за все в процесі спалювання палива (у двигунах внутрішнього згорання, на теплових електростанціях, в опалювальних системах), а також при спалюванні промислових та побутових відходів, ядерних вибухів і ін.

Загальна маса промислово – побутових відходів складає приблизно 600 Гт за рік. За останні 100 років у атмосферу надійшло 1,35 Мт кремнію, 1,5 Мт миш'яку, більше 1 Мт нікелю і стільки ж кобальту, по 0,6 Мт цинку та сурми.

По складу домішки, які надходять в атмосферу діляться на газоподібні, тверді та рідкі. При цьому на долю газоподібних речовин (оксид вуглецю, діоксид та інші похідні сірки, вуглеводи, оксиди азоту, органічні сполуки) приходить біля 90%, а на долю твердих (пил, важкі метали, мінеральні та органічні сполуки, радіоактивні речовини) – біля 10%; Маса рідких домішок мала порівнюючи із масою газоподібних та твердих домішок.

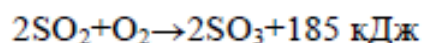
Уявлення про співвідношення різних домішок, які надходять в атмосферу внаслідок природних та антропогенних процесів можна скласти по даних таблиці 3.1

При спалюванні всіх видів палива утворюються і надходять в атмосферу водяна пара та діоксид вуглецю, які зустрічаються в атмосфері і в природних умовах і не впливають шкідливо на людину. По цій причині дані гази не відносяться до забруднюючих, хоч вони складають значну частину всіх антропогенних викидів.

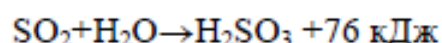
Основна маса оксиду вуглецю утворюється при спалювання палива, при цьому основним джерелом оксиду вуглецю є двигуни внутрішнього згорання. Об'єм оксиду вуглецю може сягати 10% об'єму вихлопних газів.

Діоксид сірки – друга по масі забруднююча атмосферу речовина. Біля 70% SO₂ викидається при спалюванні вугілля і 16% - рідкого палива.

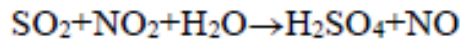
Розпад SO₂ в атмосфері відбувається в результаті взаємодії ультрафіолетової радіації, яка сприяє утворенню сірчаного ангідриду (SO₃) по реакції



При контактi з водяною парою утворюється сірчиста кислота



У забрудненій атмосфері також утворюється сірчана кислота H₂SO₄



Оксиди сірки значно прискорюють у містах корозію металів – у 1,5 – 5 разів порівняно із сільською місцевістю. Особливо чутливі до забруднення атмосфери нейлонові тканини (перш за все панчохи, шкарпетки).

Значна кількість оксиду азоту NO та діоксиду азоту NO₂ утворюється при горінні при високій температурі, перш за все у двигунах внутрішнього згорання, що працюють на бензині та дизельному паливі. Діоксид азоту стійкий газ жовтого кольору у більшості випадків надає повітрю у містах коричневатого кольору. Загальна маса діоксиду азоту, що утворюється внаслідок антропогенної діяльності складає приблизно 0,1 від кількості газу, що утворюється природним шляхом (вулкани, грози, мікроорганізми). Діоксид азоту зберігається в атмосфері у середньому біля трьох діб. Під впливом ультрафіолетової радіації діоксид азоту розпадається з утворенням оксиду. При взаємодії з водяною парою перетворюється у азотну кислоту і інші нітрати. Останні повертаються у ґрунт разом з опадами, чим і пояснюється добре відома властивість снігу – удобрювати ґрунт.

Таблиця 3.1. Маса (т/рік) забруднюючих речовин, які надходять в атмосферу. [39]

Речовина	Природне надходження	Антропогенне надходження
Оксид вуглецю (CO)	-	3,5 10 ⁸
Діоксид сірки (SO ₂)	1,4 10 ⁸	1,45 10 ⁸
Оксиди азоту (NO _x)	1,4 10 ⁹	(1,5 – 2,0) 10 ⁷
Аерозоль (тверді частинки)	(7,7-22,0)10 ¹⁰	(9,6-26,0)10 ¹⁰
Поліхлорвінілові речовини, фреони	-	2,0 10 ⁶
Озон (O ₃)	2,0 10 ⁹	-
Вуглеводи	1,0 10 ⁹	1,0 10 ⁶
Свинець (Pb)	-	2,0 10 ³
Ртуть (Hg)	-	5,0 10 ³

Основним природним джерелом вуглеводів є рослини (на їх долю приходить біля 1 Гт за рік), а антропогенним – автотранспорт (двигуни внутрішнього згорання). При неповному згоранні відбувається також синтез канцерогенних циклічних вуглеводів. Особливо багато канцерогенних вуглеводів міститься в гудронах та сажі, що викидаються дизельними двигунами та отоплювальними системами. В середньому, кожний автомобіль на 1 км проїзду викидає 30 г оксиду вуглецю, 4 г оксидів азоту та 2 г вуглеводів.

Антропогенна діяльність приводить до появи у атмосфері також аерозолів – твердих та рідких частинок. Розміри твердих частинок, які спостері-

гаються в атмосфері, знаходяться в широких межах від тисячних долів мікрометра до декількох десятків. При пилових бурях, частинки, що переносяться вітром збільшуються до 100 мкм і більше.

В залежності від розміру аерозольні частинки діляться на три класи: мікроскопічні (тонко дисперсні) з радіусом $r < 0,1$ мкм, середні (середньо дисперсні) $r = 0,1 - 1$ мкм, та крупні (грубо дисперсні) $r > 1$ мкм. Серед тонко дисперсних частинок виділяють групу аерозолів, яким властива гігроскопічність. Ці частинки називаються зародками краплинок хмар ті туманів. Нерідко малі частинки несуть позитивний або від'ємний електричний заряд. В такому випадку вони називаються іонами (легкі або важкі).

За фізико – хімічними властивостями аерозолі ділять на пил і сажу (тверді частинки), дим (сильно обводнені частинки) та краплини (туману, хмар, опадів). Форму аерозолі можуть мати різну від сферичної до ланцюгоподібної. Тонко дисперсний аерозоль, окрім безпосереднього впливу на організм людини вносить суттєвий вклад у поглинання сонячної радіації і, як наслідок, у зміну термічного режиму атмосфери. Згідно наявним оцінкам, глобальна маса тонко дисперсного аерозолу у середньому близька до 50 Мт, а швидкість його утворення складає біля 5000 Мт за рік. Тобто, маса аерозолу оновлюється за рік приблизно 100 раз.

У складі аерозолу наявні чотири групи речовин: сульфати, органічні сполуки, твердий вуглець та вода, відносний вклад яких коливається в широких межах.

У зв'язку із збільшенням антропогенних викидів сульфатів за останні десятиріччя виросла їх біологічна активність, що супроводжується отруєнням рослинності та тваринного світу (кислотні дощі).

Вклад антропогенних викидів в загальний баланс аерозолів суттєвий для всіх його складових (для твердого вуглецю він більший за природний, а для сульфатів та органічної речовини складає приблизно 25% від природного) і з часом збільшується.

Збільшення викидів призводить до суттєвих змін у фізичних характеристиках атмосфери. Дійсно, направлена по нормалі до верхньої границі земної атмосфери сонячна радіація оцінюється як $1.95 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$, причому максимум радіації приходить на довжини хвиль в діапазоні від 0.4 до 0.8 мкм, тобто на видиму частину спектр електромагнітних хвиль. Приблизно 42% цієї енергії поглинається у верхніх шарах атмосфери, віддзеркалюється хмарами у простір, землею поверхнею або поглинається хмарами та водяним паром. Приблизно 47% сонячної радіації поглинається землею поверхнею води та суші. Сама ж Земля, якщо її апроксимувати тілом з температурою біля 290 К, випромінює довгохвильову радіацію з максимумом інтенсивності між 4 та

12 мкм (близька інфрачервона область). Більша частина цієї радіації поглинається водяним паром та двоокисом вуглецю біля поверхні землі. У зв'язку з тим, що як водяний пар так і двоокис вуглецю пропускають більшу частину сонячної радіації, але поглинають довгохвильову радіацію земної поверхні, виникає ефект, який приводить до розігріву атмосфери. Цей ефект залежить від кількості двоокису вуглецю та водяного пару в атмосфері і отримав назву "парникового ефекту". Деякі автори вважають, що збільшення вмісту H_2O та CO_2 на 100% може привести до збільшення температур атмосфери от 2 до 4 °Ф. З другого боку, в результаті росту промисловості у всьому світі значно збільшився викид в атмосферу аерозольних частинок, наявність яких приводить до зменшення сонячної радіації, що надходить до земної поверхні. Цей ефект приводить до протилежного ефекту в порівнянні з збільшенням в атмосфері CO_2 . Таким чином формується деяка середня температура атмосфери. Трудно передбачити на десятиліття вперед, який із цих факторів буде вирішальним, якщо антропогенна діяльність буде неконтрольованою. Існують дані, які говорять, що з 1890 р. по 1945 р. середня температура піднялась на 0.9°, а з 1945 р. по 1970 р. зменшилась приблизно на 0.6°. Слід відмітити, що середня земна температура в льодовиковий період відрізнялась лише на 7° від температури самих теплих періодів багатомільйонної історії Землі. Сьогодні не можна стверджувати, такі зміни погоди є просто незначні відхилення від норми, можливими на протязі століття, чи вони свідчать про суттєву антропогенну дію на природу.

Важливим джерелом забруднення атмосфери є промисловість, пов'язана з видобуванням та використанням будівельних матеріалів (подрібнення порід в кар'єрах, виготовлення цементу і т.д.). Сталелитейні заводи викидають дуже великі об'єми червоного диму, який складається із невеликих частинок оксиду заліза (діаметром біля 0,1 мкм). Кольорова металургія є джерелом забруднення атмосфери частинками свинцю, міді, алюмінію.

В пилу, що осідає поблизу індустріальних центрів, знаходимо багато різних мінералів: кварц, кальцит, гіпс, польовий шпат, азбест (останній навіть в концентрації, значно меншій ніж концентрації інших мінералів викликає необоротне пошкодження легень).

Автомобілі, литейне виробництво та спалювання відходів – основні джерела забруднення атмосфери свинцем. Щороку кожний автомобіль викидає у повітря в середньому 1 кг свинцю у вигляді аерозолу (в бензин добавляється тетраетил свинцю як антидетонатор). У великих містах багатьох країн світу концентрація свинцю перевищує 1 мкг/м³ (а на перехрестях та в тунелях 5 –30 мкг/м³) при гранично допустимій концентрації, рівній 0,7 мкг/м³. В наш час вся біосфера забруднена свинцем антропогенного походження.

3.3. Прозорість та її зв'язок з характеристиками атмосфери

Один із найбільш відомих ефектів забруднення атмосфери – зменшення видимості у результаті поглинання та розсіювання світла рідкими та твердими частинками, які знаходяться у повітрі. Світло, проходячи віддаль dx за рахунок поглинання та розсіювання зменшується на величину dI , яка пропорційна інтенсивності I . При цьому має місце співвідношення $dI = -\sigma I dx$, де σ - коефіцієнт ослаблення. Інтегруючи цей вираз по довжині шляху від 0 до d , отримуємо:

$$I = I_0 \exp(-\sigma d) \quad (3.1)$$

де I – інтенсивність на віддалі d , а I_0 – початкова інтенсивність при $x=0$. Коефіцієнт ослаблення включає ефекти як розсіювання, так і поглинання світла молекулами твердої речовини та аерозолів. Інколи ці ефекти розділяють, вводячи окремо коефіцієнт розсіювання s та коефіцієнт поглинання a : $\sigma = s + a$. Значення коефіцієнта ослаблення є функція довжини хвилі падаючого світла, розмірів, форми та оптичних властивостей частинок. Довжина хвиль сонячного світла розташована в діапазоні 0,4 - 0,8 мкм. За ослаблення світла у цьому діапазоні відповідні частинки, розміри яких мають такий же порядок, тобто 0,1 - 1,0 мкм. Цього ж розміру частинки захоплюються легенями і можуть привести до серйозних наслідків для здоров'я людини. Коефіцієнт розсіювання можна представити у вигляді співвідношення:

$$s = \pi \cdot K \cdot N \cdot r^2 \quad (3.2)$$

де N - число частинок з розміром r на одиницю об'єму, а K - фактор ефективності розсіювання - відношення площі розсіювання (площі хвильового фронту, який діє на частинку) до площі частинки. У випадку багатьох видів частинок необхідно взяти суму по всіх і-х видах частинок:

Наявність різних аерозолів у повітрі призводить до зниження видимості. Звичайно вважається, що найнижча границя видимості для більшості людей досягається коли інтенсивність світла (контраст) зменшується до 2 % від інтенсивності неослабленого світлового пучка. При такій оцінці для величини видимості L_V можна отримати:

$$L_V = \frac{5,2 \cdot \rho_p \cdot r}{K \cdot C} \quad (3.3)$$

де C - концентрація частинок вздовж шляху променя світла, ρ_p - густина частинок, а r їх радіус.

3.4. Радіоактивне забруднення

Наш світ є радіоактивним з часу створення. У природі відомі понад 60 радіонуклідів, які можна класифікувати наступним чином:

Примордіальні (первісні) – існуючі з часів до утворення Землі.

Космогенні – ті що утворилися внаслідок взаємодії космічних променів із атомами повітря.

Штучні – результат діяльності людини (кількість невелика порівняно із природними)

Радіонукліди знаходяться у повітрі, воді та ґрунті. Вони знаходяться також в організмі людини, яка є також продуктом нашого оточуючого середовища. Кожний день ми споживаємо радіонукліди разом із повітрям, водою та продуктами харчування. Природні радіонукліди є в камінні та ґрунті, що утворюють нашу планету, у воді і океанах, а також в усіх будівельних матеріалах. В будь – якому місці на Землі ми можемо знайти природну радіоактивність, на сьогодні відомо понад 1500 різних радіоактивних ядер.

В таблиці 3.2 наведені дані про дози, які отримує у середньому людина в США а рахунок різних джерел опромінення.

Як видно із таблиці 3.2. 82% від загальної дози обумовлено природними джерелами радіації, причому, головним чином, радоном. Із решти, 18%, основний вклад дають джерела, які використовуються у медицині і <1% ядерна зброя та відповідні випадання.

Таблиця 3.2. Річна середня ефективна еквівалентна доза опромінення на людину в США

Джерело	Річна середня ефективна еквівалентна доза (мкЗв)
Інгаляція (Радон та продукти розпаду)	2000
Інші радіонукліди, що дають внесок у внутрішнє опромінення.	390
Наземне опромінення	280
Космічна радіація	270
Космогенна радіоактивність	10
В цілому, від природних джерел	3000
В цілому, від штучних джерел	600
Загалом	3600

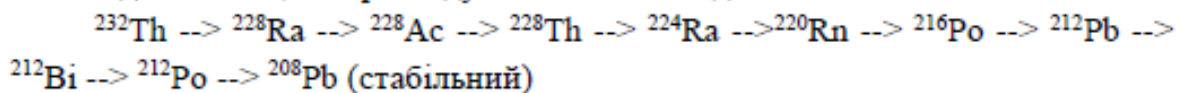
Таблиця 3.3. Характеристики первісних радіонуклідів

Символ нукліду	Час напіврозпаду	Активність
----------------	------------------	------------

^{235}U	7.04×10^8 р.	0.72% всього природного урану
^{238}U	4.47×10^9 р.	99.2745% всього природного урану; 0.5 до 4.7 ppm всього урану у звичайних скельних породах
^{232}Th	1.41×10^{10} р.	1.6 до 20 ppm у звичайних скельних породах
^{226}Ra	1.60×10^3 р.	0.42 пКі/г (16 Бк/кг) у вапняках
^{222}Rn	3.82 д.	Благородний газ; середня річна концентрація знаходиться у межах 0.6 Бк/м^3 до 28 Бк/м^3
^{40}K	1.28×10^9 р.	Ґрунт - 0.037-1.1 Бк/г

Первісні радіонукліди. Первісні радіонукліди існують з часів до утворення нашої системи та всесвіту. Вони, типово, довго живучі з часом напіврозпаду порядку сотень мільйонів років. Деяка інформація про первісні радіонукліди та про продукти їх розпаду наведена у таблиці 3.3.

Один із ланцюгів розпаду ^{232}Th має вигляд:



Деякими іншими примордіальними радіонуклідами є: ^{50}V , ^{87}Rb , ^{113}Cd , ^{115}In , ^{123}Te , ^{138}La , ^{142}Ce , ^{144}Nd , ^{147}Sm , ^{152}Gd , ^{174}Hf , ^{176}Lu , ^{187}Re , ^{190}Pt , ^{192}Pt , ^{209}Bi .

Космогенні радіонукліди. Космічна радіація пронизує весь простір, а основне джерело її знаходиться поза межами нашої сонячної системи. Космічне випромінювання існує у вигляді від важких частинок з великим швидкостями до високо енергетичних фотонів та мюонів.

При взаємодії космічного випромінювання із атомами у верхніх шарах атмосфери виникають радіоактивні ізотопи. Ці, космогенні, ізотопи мають великий час життя, але, в основному, менший ніж час життя первісних радіонуклідів. Характеристики деяких космогенних радіонуклідів наведені у таблиці 3.4.3.

Іншими космогенними радіонуклідами є: ^{10}Be , ^{26}Al , ^{36}Cl , ^{80}Kr , ^{14}C ,

^{32}Si , ^{39}Ar , ^{22}Na , ^{35}S , ^{37}Ar , ^{33}P , ^{32}P , ^{38}Mg , ^{24}Na , ^{38}S , ^{31}Si , ^{18}F , ^{39}Cl , ^{38}Cl , $^{34\text{m}}\text{Cl}$.

Таблиця 3.4. Космогенні радіонукліди

Нуклід	Час напіврозпаду	Джерело	Природна активність
^{14}C	5730 р.	Взаємодія космічних променів, $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$;	0.22 Бк/г в органічній речовині
^3T	12.3 р.	Взаємодія космічних променів з N та O; спалляція космічних променів,	1.2×10^{-3} Бк/кг

		${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$	
${}^7\text{Be}$	53.28 д.	Взаємодія космічних променів з N та O;	0.01 Бк/кг

Штучні радіонукліди. Людство досліджує та використовує радіоактивність уже на протязі більш як 100 років. В результаті такого використання у природі з'явилися нові радіонукліди. Кількість цих радіонуклідів мала порівняно кількістю природних, в тому числі завдяки малому часу їх напіврозпаду. Останнім часом спостерігається зменшення їх надходження у навколишнє середовище завдяки припиненню наземних випробувань ядерної зброї. В таблиці 3.4.4 наведені деякі штучні радіонукліди та їх джерела походження.

Таблиця 3.5. Штучні радіонукліди

Нуклід	Символ	Час напівжиття	Джерело
Тритій	${}^3\text{H}$	12.3 р.	Виготовлення та випробування ядерної зброї, робота ядерних реакторів ділення, переробка ядерного палива.
Йод 131	${}^{131}\text{I}$	8.04 дн.	Виготовлення та випробування ядерної зброї, робота ядерних реакторів ділення, використання у медичних цілях
Йод 129	${}^{129}\text{I}$	1.57×10^7 р.	Виготовлення та випробування ядерної зброї, робота ядерних реакторів ділення
Цезій 137	${}^{137}\text{Cs}$	30.17 р.	Виготовлення та випробування ядерної зброї, робота ядерних реакторів ділення
Стронцій 90	${}^{90}\text{Sr}$	28.78 р.	Виготовлення та випробування ядерної зброї, робота ядерних реакторів ділення
Технецій 99	${}^{99}\text{Tc}$	2.11×10^5 р.	Продукт розпаду ${}^{99}\text{Mo}$, використовуваного в медицині.
Плутоній 239	${}^{239}\text{Pu}$	2.41×10^4 р.	Результат бомбардування ${}^{238}\text{U}$ нейтронами (${}^{238}\text{U} + n \rightarrow {}^{239}\text{U} \rightarrow {}^{239}\text{Np} + \beta \rightarrow {}^{239}\text{Pu} + \beta$)

Інші аспекти радіоактивного забруднення. В табл. 3.6 представлені дані про величину активності природного походження у ґрунті об'ємом $7.894 \times 10^5 \text{ м}^3$. Відмітимо, що рівні активності суттєво залежать від типу ґрунту, мінерального складу та густини (при обчисленнях використано значення $\sim 1.58 \text{ г/см}^3$).

Нічого дивного немає в тому, що в тілі людини деякі хімічні елементи є радіоактивними. Деякі із таких радіонуклідів, в тому числі і ті, що були "свідками" утворення сонячної системи, супроводжують нас з дня народження. Інші радіонукліди надходять в організм разом з продуктами харчування. Орієнтовні дані про вміст різних радіонуклідів та про їх активність в організмі людини наведені у табл.3.7.

Таблиця 3.6. Природна активність ґрунту

Нуклід	Активність використана при обчисленнях	Маса нукліда	Активність об'єму ґрунту
Уран	0.7 пКі/г (25 Бк/кг)	2,200 кг	0.8 Кюрі (31 ГБк)
Торій	1.1 пКі/г (40 Бк/кг)	12,000 кг	1.4 Кюрі (52 ГБк)
Калій 40	11 пКі/г (400 Бк/кг)	2000 кг	13 Кюрі (500 ГБк)
Радій	1.3 пКі/г (48 Бк/кг)	1.7г	1.7 Кюрі (63 ГБк)
Радон	0.17 пКі/г (10 кБк/м ³)	11 мкг	0.2 Кюрі (7.4 ГБк)
		Загалом:	>17 Кюрі (>653 ГБк)

Таблиця 3.7. Природна радіоактивність у тілі людини

Нуклід	Загальна маса нуклідів у тілі людини	Загальна активність нуклідів у тілі людини
Уран	90 мкг	30 пКі (1.1 Бк)
Торій	30 мкг	3 пКі (0.11 Бк)
Калій 40	17 мг	120 пСі (4.4 кБк)
Радій	31 пг	30 пКі (1.1 Бк)
Вуглець 14	95 мкг	0.4 мкКі (15 кБк)
Тритій	0.06 пг	0.6 нКі (23 Бк)
Полоній	0.2 пг	1 нКі (37 Бк)

Області з високим фоновим рівнем радіації. В 1972 році французькими геологами було відкрите цікаве явище в Західній Африці в Республіці Габон – природний ядерний реактор. Цей реактор був критичним 1.7 мільярдів років тому, виробив 15000 мегават-років енергії, споживши 6 тон урану. Він діяв при пониженій потужності понад декілька сотень тисяч років. На сьогодні розщеплений уран 235 має природну розповсюдженість 0.7202%, але вчені відмітили, що деякі зразки в місцевості Окло мають 0.7171%. Хоч різниця і невелика, вона спонукала вчених до роздумів і вивчити місцевість більш детально. Пізніше були знайдені зразки збіднені на 0,44%. Така різниця може бути пояснена, якщо допустити, що паливо ²³⁵U використовувалось в реакції ділення. При подальшому дослідженні було знайдено аномально високий вміст продуктів ділення в шести реакторних зонах.

Подібно сучасним реакторам, природний реактор потребував деяких спеціальних умов, а саме, наявності палива, уповільнювача нейтронів та деяких умов для видалення тепла. У більшості сучасних реакторів концентрація ²³⁵U штучно збільшується, а в часи, коли діяв природний реактор в Окло, було природне збагачення приблизно на 3 %. Такого збагачення було досить для підтримки ядерної реакції. Наявні ґрунтові води відігравали функції охолоджувача. Як підтвердження існування в минулому природного ядерного

реактора були знайдені ізотопи неодиму, які є продуктами розпаду і приблизно в тій же кількості, що і в сучасних уранових ядерних реакторах.

Таким чином одна із найбільш видатних подій 20 - го сторіччя, а саме створення в 1941 році Енріко Фермі ядерного реактора, є відтворенням природного явища, що мало місце, приблизно, два мільярди років тому.

Фонові рівні радіації на поверхні Землі досить постійні і складають 8-15 мкмрад/год. Ці рівні обумовлені комбінацією наземної (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , і т.д.) та космічної радіації (фотони, мюони і т.д.). Однак, на Землі існують деякі області, з досить значним населенням, із значно більшими природними рівнями радіації. Такі області знаходяться в Бразилії, Індії і Китаї. Високі рівні радіації обумовлені високою концентрацією радіоактивних мінералів у ґрунті. Таким мінералом є, наприклад, моназит – нерозчинний рідкоземельний мінерал, який зустрічається на піщаних берегах разом з ільменітом, який надає піскам характерного чорного кольору. Основні радіоізотопи в моназиті із ряду ^{232}Th , але зустрічається також уран з його дочірнім елементом ^{226}Ra . Рівні зовнішнього опромінення на таких чорних пісках сягають до 5 мрад/год (50 мкмГу/год), що майже в 400 разів більше за звичайний фоновий рівень. Інша високорівнева область в Бразилії - результат великих покладів руд з рідкоземельними елементами, які утворюють підвищеності вище оточуючого середовища на 250 м. В таких покладах є біля 30 000 тон торію та 100 000 тон рідкоземельних елементів. Біля вершини таких пагорбів рівні радіації складають від 1 до 2 мрад/год (0.01 - 0.02 мГр/год) по області площею приблизно 30 000 м². Рослини там абсорбують так багато ^{228}Ra , що при поміщенні їх на фотобумагу дають свій портрет (ауторадіографія).

Ще вищі рівні спостерігаються на південно – західному узбережжі Індії, де відкладення моназиту більші ніж в Бразилії. Доза від зовнішнього опромінення складає 500-600 мрад/рік (5 - 6 mGy/yr). Повідомлялось про індивідуальні дози до 3260 мрад/рік.

Подібні області існують в Китаї, з таким же фоновим рівнем радіації, які також обумовлені наявністю моназиту, який містить торій, уран та радій.

В областях з високим природним радіаційним фоном спостерігається підвищена частота аберацій хромосом, причому ці збільшення сумісні з спостережуваними у людей, які зазнали високих доз опромінення. Але, серед населення, що постійно проживає на територіях з аномально високим природним радіаційним фоном, ніякого підвищення частоти онкозахворювань не спостерігається.