

ІОНІЗУЮЧА РАДІАЦІЯ ТА ЕВОЛЮЦІЯ

Синюк Ю. В., Василенко О. В.

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

Зниження кількості видів рослин і тварин є закономірним наслідком діяльності людини. Процеси інтенсивної геотрансформації, зміни клімату, вичерпання необхідних для живого ресурсів, а також забруднення навколишнього середовища вже до кінця цього століття можуть призвести до масштабного вимирання. Одним із важливих аспектів впливу людини на біосферу є підвищення рівня іонізуючої радіації. Із початком видобування корисних копалин кількість радіоактивних ізотопів у біосфері неухильно збільшується. Розповсюдження теплових двигунів, випробування ядерної зброї, а особливо аварії на ядерних об'єктах є причиною стрибкоподібного зростання радіаційного фону. Добування та переробка ядерного пального на наш час є основним постійним джерелом забруднення Землі радіоізотопами.

У світлі зазначеного постає питання про шкоду, яку може спричинити зростання рівня іонізуючого випромінювання. Дослідження впливу радіації на організми почались майже одразу після відкриття явища радіоактивності, більш ніж 100 років тому. До нашого часу накопичено значну кількість практичного та теоретичного матеріалу із радіобіології, радіаційної екології, медицини, генетики, однак чіткої відповіді на питання про те, що трапиться із зростанням опромінення, досі немає.

Загальнопоширеною є думка, що іонізуюча радіація в будь-яких дозах є шкідливою. Однак, численні дослідження спростовують однозначність цього твердження. Якщо звернутися до історії нашої планети, можна побачити, що виникнення та розвиток життя відбувався за рівнів радіоактивного випромінювання, що значно перевищують наявний нині.

Згідно з палеонтологічними даними, у палеозойську еру відбувався розквіт гігантських земноводних рептилій та ящерів, коли ПРФ (природній радіаційний фон) перевищував сучасний як мінімум у 3 рази [2].

Експериментально доведено загальновідому теорію, за якою органічні молекули, а саме азотисті основи, утворюються за дії β -опромінення із суміші метану, водню та аміаку. Отже, можливо, що на певному етапі виникнення життя завдячує саме іонізуючій радіації.

Згідно із сучасними уявленнями еволюція живих організмів відбувається внаслідок мутацій та їх закріплення у популяції шляхом природного відбору. Як відомо, опромінення ДНК у клітинах навіть низькими фоновими рівнями безпосередньо може викликати розриви ланцюгів, поперечні зшивки між основами одного або різних ланцюгів, між ДНК і молекулами гістонів, зміни в нуклеотидах – депуринізацію, дезамінування цитозину до урацилу, дезамінування аденіну до гіпоксантину, утворення тимінових димерів. Дія радіації, наприклад, на молекули води або органічних речовин у клітині, опосередковано також може бути причиною змін в нуклеїнових кислотах.

Для живих організмів характерною є властивість відновлюватися після ушкоджень, викликаних іонізуючим випромінюванням. Висока здатність до репарації є причиною стійкості окремих організмів до значних доз опромінення. Однак, не завжди ушкодження генетичного матеріалу може бути ліквідоване в повній мірі. У таких випадках виникає мутація. Більшість мутацій в організмі виникає у соматичних клітинах і, як правило, не

передається нащадкам. Вважають, що наслідком соматичних мутацій може бути ракове переродження. Чим раніше в ембріогенезі виникає мутація, тим більше змінених клітин утворюється. Фактично, на даний час основним наслідком підвищення фонового рівня іонізуючої радіації є пропорційне зростання кількості випадків ракових захворювань [4].

Слід зазначити, що посилення проявів мутацій у людей, що проживають на забруднених територіях або були опроміненими внаслідок ЧАЕС, не можуть бути повністю адекватно віднесені лише на вплив радіації, оскільки за останні роки постійно зростає навантаження на організм інших факторів, таких як мобільний зв'язок та підвищення споживання окремих речовин (антибіотики, пальмова олія, замінники цукру, барвники, консерванти).

Реалізація принципу біологічної надійності у певній мірі завдячує тому, що у залежності від розташування ушкодженої ділянки генетичного матеріалу, мутації найчастіше можуть зумовлювати зміни фізіолого-біохімічних процесів, рідше - не мати прояву (наприклад, завдяки тому, що ознака рецесивна), і ще рідше – викликати появу нехарактерних морфологічних ознак [6].

Оскільки для багатьох біохімічних реакцій є альтернативні або обхідні шляхи, рівень загрози функціонування організму в цілому буде низьким. Однак, не виправлені ушкодження ДНК у генеративних клітинах призводять до таких мутацій, які при статевому розмноженні передаються наступним поколінням. Домінантні мутації з'являються вже в першому поколінні, а рецесивні - в другому і наступних поколіннях, з переходом в гомозиготний стан. Найбільша кількість мутацій в статевих клітинах виникає в ооцитах, оскільки при діленні сперматогоніїв може відбуватися елімінація носіїв шкідливих мутацій, а в лінії жіночих статевих клітин немає паралельного мітотичного відбору. Крім того, ооцити людини в період від народження до першого поділу мейозу тривалий час перебувають в стадії профазі I мейозу та можуть пошкоджуватися іонізуючим випромінюванням.

Необхідно зазначити, що у ДНК є ділянки, зміни яких за дії опромінення трапляються в десятки разів частіше середніх значень. Частково цим можна пояснити розповсюдженість певних мутацій та генетичних хвороб.

Середня частота мутацій за нормальних умов становить близько 2.5×10^{-8} випадків на сайт або 175 мутацій на диплоїдних геномах в покоління [10]. На даний час беззаперечно доведено, що зростання рівня іонізуючого випромінювання призводить до збільшення кількості мутацій. Крім того, проводяться дослідження з метою кількісного розрахунку цих величин. Наприклад, у дослідженнях на корінній популяції полівок, зібраних поруч з 4-м реактором в Чорнобилі, що проводилися двома незалежними методами, виявилось, що частота виникнення мутацій складає більше 10^{-4} на сайт в покоління [5]. Незважаючи на ці зміни ДНК, населення полівки процвітало і розмножувалось в радіоактивних зонах навколо чорнобильського реактора. У дослідженнях Ю. Дуброви з колегами вказується, що за дії радіоактивних викидів при дослідженні ядерної зброї на семіпалатинському полігоні у кінці 1940-х і на початку 1950-х років у населення, що зазнало впливу, рівень ембріональних мутацій вдвічі збільшився [8]. Аналогічні дані одержані при вивченні мутацій в мінісателітах дітей, що народилися в сильно забруднених районах Могильовської області в Білорусії після аварії на Чорнобильській АЕС. Було встановлено, що частота мутацій в опромінених сімей вдвічі вища, у порівнянні з контрольною групою. Важливо, що швидкість мутацій корелювала з рівнем забруднення цезієм-137 [7].

Саме цей радіонуклід після аварії на Чорнобильській АЕС виявився найбільш радіоекологічно значущим. Завдяки леткості він поширився на значну відстань від місця аварії. Забруднення цим ізотопом унеможливило ведення сільського господарства на великій території, оскільки він майже повністю може переходити у рослини, особливо з піщаних ґрунтів. Саме внаслідок цього було відселено сотні сіл [3]. Кількість радіоактивних ізотопів, що включаються в харчові ланцюжки, визначається не лише їхньою кількістю в опадах, але й структурою екосистеми та особливостями біогеохімічних циклів. Загалом у малопродуктивних екосистемах значна частка радіонуклідів включається в харчові ланцюги. В екосистемах з високою продуктивністю таке надходження знижене внаслідок інтенсивного обміну речовин і високої сорбційної ємності ґрунту завдяки високому вмісту гумусових і фульвокислот. Окрім цезію-137 в організм людини надходять інші радіоізотопи, такі як стронцій-90, що має властивість накопичуватися у кістковій тканині, наприклад, у кістках тазу, що викликає опромінення генеративних органів. У той час, коли забруднення внаслідок аварій охоплює визначені території, основним джерелом природних радіонуклідів у біосфері є видобуток, переробка і використання фосфатних добрив. Залежно від типу вихідної сировини і технологічних особливостей його переробки в добриво можуть переходити практично весь уран-238 і певна частина радію-226, торію-228, торію-230, свинцю-210 і полонію-210. Тоді як у подвійному суперфосфаті, амофосі та діамфосі концентрація урану-238, торію-232 і торію-228 зростає до двох раз, вміст у калійних добривах радіоактивного калію-40 приблизно в десять разів перевищує його концентрацію в ґрунті. Зрозуміло, що за рахунок тривалого використання добрив відмічається збільшення вмісту природних радіонуклідів в орних ґрунтах. Основним фактором небезпеки споживання сільськогосподарської продукції, вирощеної на забруднених територіях, є інкорпорація вказаних радіонуклідів та внутрішнє опромінення ними організму, що володіє в десятки разів ефективнішим мутагенним ефектом, ніж зовнішнє опромінення [1].

Отже, із зміною таких екологічних факторів як рівні внутрішнього та зовнішнього опромінення іонізуючою радіацією, відбувається зміна частоти соматичних та генеративних мутацій. Оскільки основою еволюційних процесів вважають саме мутації і подальший природний відбір, можна припустити, що зростання доз опромінення прискорить філогенез.

Зв'язок між величиною опромінення та швидкістю еволюції є актуальним питанням вже більш, ніж пів століття [9,11,12]. Можливі кілька дозозалежних варіантів впливу опромінення на еволюцію організмів. По-перше, якщо відбудеться різке значне зростання рівня радіації (в межах нелетальних показників), організми з низьким рівнем радіостійкості отримають променеве ураження, результатом чого буде зниження приросту і згодом зменшення кількості особин популяції, в тому числі від радіаційно-індукованого канцерогенезу. В таких умовах користь від зростання темпів пристосування може нівелюватися зниженням чисельності і конкурентним захопленням ресурсів іншими популяціями або видами. У порівняно стійких видів (віруси, бактерії) швидкість виникнення мутацій може зрости настільки, що вони не встигатимуть закріпитися у популяції. У видів з низькою швидкістю розмноження мультиплікативні зміни можуть стати генетичним тягарем і призвести до деградації популяції.

За низьких рівнів опромінення кількість мутацій буде залишатися відносно невисокою, і за тривалого часу проживання в стабільних умовах така популяція може досягти розквіту. Однак, така популяція буде вразливою до можливих різких змін інших

факторів середовища, таких як, наприклад, температура, вологість, хімічні чинники, оскільки не встигне пристосуватися до нових умов.

Очевидно, оптимальним буде такий рівень опромінення, за якого швидкість генеративних мутацій буде забезпечувати одночасно і достатню сталість генотипу для процвітання в даних умовах, і ефективну адаптацію до можливих різких змін середовища.

У зв'язку з видовими відмінностями у радіостійкості, швидкості розмноження, накопиченні радіонуклідів, допустимій мутаційній ємності, тривалістю життя та кількістю особин в популяції, очевидно, що оптимальні для збереження та еволюції різних видів рівні радіації не можуть бути однаковими. Лише після розрахунків по формулах, виведених із врахуванням усіх необхідних факторів, можливо буде встановити компромісний” рівень радіаційного фону. Знаючи оптимальні значення доз опромінення, появиться можливість коригувати швидкість адаптації різних видів, що сприятиме їхньому збереженню в умовах зростання темпів антропогенної геотрансформації.

1. *Квасникова Е.В.* Антропогенные радионуклиды и их картографирование в ландшафтах суши: автореф. Дис. На соискание науч. ступеня доктора географ. наук : спец. 25.00.36 “Геоэкология” / Е.В. Квасникова. – М., 2002. – 270 с.
2. *Мухин А.С.* Уровень радиоактивности в прошлом и настоящем / А.С. Мухин, Н.М. Цыпченко // Сборник докладов IV Международной радиэкологической конференции [“Утилизация плутония: проблемы и решения”], (Красноярск, 5-10 июня 2000 г.). – Красноярск, 2000. – 325 с.
3. *Чернобыль не отпускает...* (к 50-летию радиэкологических исследований в Республике Коми). – Сыктывкар, 2009 – 120 с.
4. Щепотін І.Б. Захворюваність населення України на злоякісні новоутворення органів травного каналу після аварії на ЧАЕС [Електронний ресурс] / І.Б. Щепотін, З.П. Федоренко, Л.О. Гулак, А.Ю. Рижов // Клиническая онкология. – 2013. – №2(10). <http://www.clinicaloncology.com.ua/article/magazine/14>
5. *Carroll S.B.* Evolution at Two Levels: On Genes and Form / S.B. Carroll // Plos Biol. – 2005. – №3(7). – 245 p.
6. *Dubrova Y.E.* Human minisatellite mutation rate after the Chernobyl accident / [Y.E. Dubrova, V.N. Nesterov, N.G. Krouchinsky, V.A. Ostapenko, et al.] // Nature, 1996. – Vol. 380. – P. 683–686.
7. *Dubrova Y.E.* Nuclear weapons tests and human germline mutation rate / Y.E. Dubrova, R.I. Bersimbaev, L.B. Djansugurova, M.K. Tankimanova et al. // Science. – 2002. – Vol. 295. – 1037 p.
8. *High levels of genetic change in rodents of Chernobyl* // [R.J. Barker, R.A. Van Den Bussche, A.J. Wright et al.] // Nature. – 1996. – Vol. 380. – P. 707–708.
9. *James F. Crow.* Ionizing Radiation and Evolution / James F. Crow // Scientific American, 1959. – Vol. 201. – P. 138–160. *Nachman*
10. *M.W.* Estimate of the Mutation Rate per Nucleotide in Humans / M. W. Nachman, S. L. Crowell // Genetics. – 2000. – Vol. 156, № 1. – P. 297–304.
11. *Todd P.* Cosmic radiation and evolution of life on earth: roles of environment, adaptation and selection / P. Todd // Advances in Space Research. – 1994. – Vol. 14(10). – P. 305–313.
12. *Zagórski Z.P.* Ionizing Radiation: Friend or Foe of the Origins of Life? / Z.P. Zagórski, E. M. Kornacka // Orig Life Evol Biosph. – 2012. – Vol. 42. – P. 503–505.