



Ідентифікатор подання: 91

Тип: Секційна доповідь

A new innovative research system can overcome the problem of unknown life history of animals inhabiting in the radioisotope-contaminated territory of the Exclusion Zone

п'ятниця, 30 травня 2025 р. 14:55 (20 хвилин)

Широке використання атомної енергії, навіть за умов суворого дотримання регламентних правил, завжди супроводжується ризиком опромінення персоналу, населення та біоти внаслідок аварійних інцидентів на реакторах атомних електростанцій, за використання джерел іонізуючого випромінювання у медицині та промисловості, внаслідок військових конфліктів або терористичної діяльності, а також під час довгострокових космічних польотів. Особливо яскраво це проявилось під час аварій на чорнобильській та фукусимській АЕС (найсерйозніші радіаційні аварії, згідно міжнародної шкали ядерних подій). Ці аварії відродили громадський та науковий інтерес до впливу радіонуклідів навколишнього середовища на здоров'я людей та природні екосистеми. Після аварії на Чорнобильській АЕС було створено зону відчуження та зону безумовного (обов'язкового) відселення (ЗВЗБ(о)В) у радіусі 30 км навколо проммайданчика АЕС, щоб обмежити вплив радіоактивного забруднення на людей. Однак з того часу біота продовжує зазнавати впливу підвищених рівнів радіоізоотопів з тривалим періодом напіврозпаду, зокрема цезію-137, стронцію-90 та плутонію-239 (близько 30, 29 та 24100 років відповідно). Забруднене навколишнє середовище створює складні стресові фактори, які впливають на місцеву дику природу, а зона відчуження є найбільш вивченою моделлю біологічного впливу опромінення радіонуклідами. Ранній суттєвий вплив радіаційного опромінення у надзвичайно високих дозах був описаний для найближчої лісової екосистеми - так званого «Рудого лісу». Очевидні драматичні наслідки включали загибель хвойних дерев, популяцій дрібних ссавців і безхребетних гео- та герпетобіонтів. З іншого боку, на сьогодні не існує наукового консенсусу щодо інтерпретації пізніших численних досліджень впливу хронічного низькодозового радіаційного опромінення на біоту. Наприклад, відсутність генетичних змін у дрібних гризунів, а також їх різноманітності та чисельності на високозабруднених територіях, про які повідомляють [Rogers et al., 2000], суперечить дослідженню [Goncharova and al., 2002; Ryabokon et al., 2000, 2005], де було виявлено, що для рудих нориць, які мешкають на ділянках, забруднених чорнобильськими викидами, існує сильна залежність між частотою хромосомних аберацій, рівнем ембріональної смертності та кількістю мікроядерних поліхромних еритроцитів. Результати досліджень інших дослідників свідчать про численні негативні наслідки мешкання в зоні відчуження безхребетних, великих ссавців і птахів на популяційному [Møller et al., 2009, 2012, 2013; Bezrukov et al., 2015], та організменому рівнях [Møller et al., 2011, 2013; Laskemoen et al., 2013; Lehmann et al., 2016], у тому числі й підвищений рівень мутагенезу [Møller et al., 2013]. Таким чином, незважаючи на десятиліття досліджень дикої природи в ЗВЗБ(о)В, наслідки впливу радіонуклідів навколишнього середовища на дику природу залишаються джерелом суперечок. Таке становище є обумовленим багатьма факторами, зокрема великою кількістю видів тварин, що досліджувалися, дуже широкому діапазону доз (також важливо пам'ятати що рівень дозових навантажень стабільно зменшувався внаслідок фізичного розпаду радіонуклідів), строкатістю вивчення радіаційних ефектів на різних рівнях організації природи (від молекул, наприклад, пошкодження ДНК, до популяційних параметрів), які часто важко поєднувати та розглядати разом. Також, уявляється важливим вплив істотних змін природного середовища внаслідок аварії та контраварійних заходів, повторюваних затоплень і лісових пожеж. Все це, як і обмеження антропогенного навантаження додає багато невизначеності до отриманих результатів.

У біології, та радіобіології зокрема, дуже важливим є вибір виду модельної тварини для досліджень. Так, наприклад, дослідження великих ссавців ЗВЗБ(о)В навряд чи має сенс з огляду на їх великий домашній ареал та відповідно істотну проблему точності оцінки дозового навантаження, відносно невелику кількість тварин, що можуть бути досліджені тощо. Найкращою моделлю ссавців для кількісної оцінки біологічних наслідків впливу радіації на довкілля та впливу радіації на організм є руда нориця

(*Myodes glareolus*), яка мешкає в листяних і хвойних лісах та є ключовим видом для лісових екосистем, що робить її привабливим видом-індикатором оцінки антропогенного впливу. Перевагами використання цього муродного гризуна є i) широке розповсюдження у ЗВЗБ(о)В і за її межами, ii) високу здатність до повторного відлуну, iii) невеликий домашній ареал, iv) суттєве радіаційне навантаження внаслідок стилю життя та залучення у трофічні ланцюги. З іншого боку, якщо ми розглянемо припущення про Рудий ліс, - найбільш забруднену територію в зоні відчуження, - як про «чорну діру популяції» (population sink) через радіаційне опромінення та/або екологічні фактори, такі як повені або лісові пожежі, та будемо враховувати здатність полівки до розселення (до 1 км за сезон розмноження, за даними [Kozakevich et al., 2009]), то дійдемо думки про безперервний міграційний потік до цієї території де відтворення популяції є меншим за рівень смертності. Так чи інакше, нориця була одним з перших ссавців, які заселили найбільш забруднену територію (Рудий ліс) після випадіння радіонуклідів. Після аварії було показано, що у чорнобильських полівок спостерігається збільшення кількості хромосомних аберацій, мутацій мітохондріальної ДНК і катаракти у самок [Goncharova and al., 2002; Ryabokon et al., 2000, 2005; Lehmann et al., 2016], проте інші дослідження [Rogers et al., 2000] не виявили ознак генотоксичного стресу.

Великої уваги заслуговують нещодавні дослідження команди Університету Юваскюля із використанням рудої нориці як модельної тварини. Так, за допомогою ампліконного секвенування генів бактеріальної 16S рРНК було показано, що опромінення радіонуклідами навколишнього середовища суттєво змінює кишковий мікробіом [Lavrinienko et al., 2018], але не бактеріальну спільноту шкіри, яка більше залежить від географічного чинника, ніж від рівня ґрунтових радіонуклідів [Lavrinienko et al., 2018]. Радіаційно-асоційовані кишкові бактерії мають чіткі функціональні профілі, включаючи шляхи, що беруть участь у деградації, асиміляції та транспортуванні вуглеводів, біодеградації ксенобіотиків та репарації ДНК. В іншому дослідженні [Jernfors et al., 2018] було кількісно оцінено експресію п'яти основних генів відповіді на пошкодження ДНК у печінці рудої нориці, яка мешкала у ЗВЗБ(о)В, а також на контрольних територіях. Виявлено майже дворазове підвищення рівня регуляції генів-ініціаторів відповіді на пошкодження ДНК у тварин, які мешкали на забруднених територіях. Ці дані свідчать про те, що антиоксидантна активність може бути ключовим компонентом захисту від опромінення, спричиненого забрудненням довкілля, що в свою чергу, узгоджується з результатами, отриманими на ізольованих фібробластах шкіри рудих нориць [Mustonen et al., 2018], де було показано, що фібробласти тварин з зони відчуження мають підвищений рівень антиоксидантів, нижчу чутливість до апоптозу та підвищену стійкість до окислювального та ДНК-стресів. Також було показано, що іонізуюче випромінювання змінює гомеостаз теломер у популяціях диких тварин тканинно-специфічними шляхами [Kesäniemi et al., 2019] та висловлено гіпотезу про зв'язок впливу радіонуклідів зі змінами мітохондріальної динаміки (рівні мтДНК, пошкодження мтДНК, рівні активності мітохондріального синтезу) [Kesäniemi et al., 2020]. У іншому дослідженні на популяційному рівні було показано лінійне зниження успішності розмноження та чисельності рудих нориць з підвищенням рівня дозового навантаження, яке можна модифікувати за рахунок екологічних механізмів [Mappes et al., 2019]. Також нещодавні статті опусують вплив радіації на функціонування шлунково-кишкового тракту та зміни біоенергетичного балансу у опромінених рудих нориць. Усі ці знахідки, безперечно є вагомими з огляду на повнофакторний дизайн досліджень та реплікативному підходу, який застосовувався.

З іншого боку, важливо пам'ятати про екстремальну динаміку популяцій більшості дрібних гризунів. Їх регулярні періодичні коливання, відомі як багаторічні популяційні цикли, можуть бути ще одним джерелом невизначеності результатів досліджень, проведених у зоні відчуження з використанням рудих нориць. Це може бути однією з причин, що пояснюють суперечливі результати, отримані різними дослідницькими групами. Відбір зразків одного і того ж виду тварин в одному і тому ж місці (наприклад, у Рудому лісі), але в різний час, не означає, що ці полівки дійсно однакові. Теоретично, вони можуть бути як місцевими мешканцями, так і мігрантами з чистих або менш забруднених територій, а також нащадками тих і інших. Залежність «доза-ефект» є наріжним каменем радіобіології, проте невизначеність історії життя тварин (що особливо важливо за постійного міграційного потоку) може значно зсувати оцінку дозових навантажень та зв'язок їх з ефектами на онто- та філогенетичному рівнях.

Для створення природних, але більш контрольованих умов експерименту ми створили чотири вольєри для рудих нориць площею 0,8 га (кожен з яких включає чотири підвольєри площею 0,2 га) у Рудому лісі та на контрольованих незабруднених територіях. Ця інноваційна дослідницька інфраструктура відкриває можливість революційних змін методології досліджень, за яких традиційні здебільшого описові дослідження замінюються на експериментальний підхід у природних умовах середовища.

Author: Д-р. TUKALENKO, Yevhen (Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine)

Доповідач: Д-р. TUKALENKO, Yevhen (Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine)

Тип засідання: Радіоекологія

Класифікація за напрямком: Радіоекологія та радіобіологія: Радіоекологія