

ТУКАЛО

Михайло Арсентійович – академік НАН України, директор Інституту молекулярної біології і генетики НАН України

ТКАЧУК

Зеновій Юрійович – кандидат біологічних наук, завідувач Лабораторії інноваційних біотехнологій Інституту молекулярної біології і генетики НАН України

ЯНЕНКО

Уляна Миколаївна – кандидат ветеринарних наук, старший науковий співробітник Лабораторії інноваційних біотехнологій Інституту молекулярної біології і генетики НАН України

ВІЙНА І БІОБЕЗПЕКА В УКРАЇНІ

У статті розглянуто прогноз епідеміологічної ситуації, яка може очікувати Україну після підриву Каховської ГЕС та обміління Каховського водосховища. Через руйнування медичної інфраструктури населенню потерпілих територій стало складніше отримати належну медичну допомогу, особливо в разі ймовірного спалаху інфекцій. Забруднення водних ресурсів, збільшення кількості безпритульних тварин, відсутність профілактичних заходів для запобігання виникненню спалахів захворювань – усе це ставить гострий виклик перед фахівцями, які відповідають за біологічну безпеку населення та військових. У статті наведено стислий перелік інфекційних захворювань, які вже реєструються на тимчасово окупованих територіях і можуть поширитися з біженцями та безпритульними тваринами на інші території України. Проаналізовано також наслідки стресу, якого зазнають українці під час війни, що може призвести до збільшення випадків смертельних захворювань.

Контроль на національному рівні за біологічними загрозами відіграє критично важливу роль, особливо під час війни, яка вносить свої корективи у забезпечення стабільної епізоотичної та епідеміологічної ситуації щодо різних патогенів. Разом з цим війна через психоемоційний тиск і сильний стрес в разі збільшує захворюваність на смертельні хвороби. І поки наші воїни боронять рідну країну, ми в тилу повинні подбати про надійний захист військових і населення, не допускаючи виникнення епідемій інфекційного і психоемоційного характеру.

Всесвітня організація охорони здоров'я тварин (WOAH) реалізує підхід One Health в рамках уже добре відомої концепції про тісний зв'язок та залежність людини, тварин і рослин від загального «здоров'я» екосистеми, в якій вони існують (див. рис.)¹. Таке всеохопне панорамне сприйняття з боку суспільства та урядів країн сприятиме розумінню ситуації, передбаченню її розвитку та зменшенню ризиків для глобального «здоров'я» всієї планети.

Як відомо, 6 червня 2023 р. окупаційні сили РФ здійснили підриг греблі Каховської ГЕС, що призвело до екологічної та гуманітарної катастрофи. Людство ще не стикалося з такими масштабами затоплення міських і промислових територій, сільськогосподарських угідь, осушення водних об'єктів, тому

¹ World Organisation for Animal Health. One Health. <https://www.woah.org/en/what-we-do/global-initiatives/one-health/>

зараз поки важко оцінити всю небезпеку і спрогнозувати віддалені наслідки цієї катастрофи. Проте можна очікувати, що ризики поширення інфекцій будуть лише зростати.

Найбільшими викликами, які постають після підриву Каховської ГЕС, є такі:

1) руйнування медичної інфраструктури і системи медичної допомоги, що особливо загрозливо для дітей та літніх людей;

2) зруйнована система водопостачання і відсутність доступу до чистої питної води як для людей, так і для тварин;

3) потрапляння у водойми великої кількості важких металів, пестицидів, добрив, особливо нітратів і фосфатів, які у підвищених концентраціях є мутагенами і токсичними чинниками;

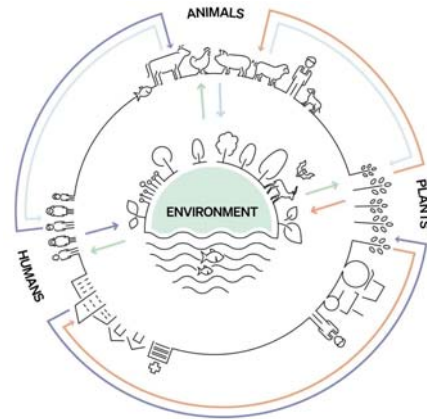
4) наявність ідеальних умов для розмноження різноманітних патогенів у невеликих водоймах, які залишилися після зниження рівня води, можливість появи нових, більш агресивних штамів патогенних вірусів і бактерій;

5) ідеальні умови для розмноження патогенів у Чорному морі, особливо сальмонел, збудників холери, ротавірусів, які становлять інфекційну та економічну загрозу країнам Чорноморського басейну.

За даними МОЗ України, за рік після повномасштабного вторгнення РФ в Україну вщент було зруйновано 174 медичні заклади, сильно пошкоджено ще 1106 закладів². Про стан ветеринарних лабораторій та комплектацію працюючих медзакладів на тимчасово окупованих та затоплених територіях наразі достовірної інформації немає. У багатьох зруйнованих невеликих приватних господарствах тварини опинилися без нагляду. Ситуація є особливо небезпечною через те, що ця екологічна катастрофа може спровокувати російського агресора до застосування біологічної зброї на інших територіях України під прикриттям аргументів про природне походження різних інфекцій, які з'явилися на затоплених територіях.

Мета цієї статті — привернути увагу громадськості й державних органів до проблем біобез-

² <https://moz.gov.ua/article/news/za-rik-vijni-rosijani-poshkodili-abo-zrujnuvali-ponad-1-200-ob%e2%80%99ektiv-medzakladiv>



Концепція One Health

пеки та епідеміологічної ситуації, що склалася на півдні України, залучити академічних фахівців різних профілів для розроблення заходів, спрямованих на забезпечення здоров'я нації.

Затоплення Придніпров'я призвело до екоциду — жертв серед людей, свійських і диких (заповідних) тварин, удару по навколишньому природному середовищу, підвищення рівня захворюваності людей, тварин і рослин. Знищення водосховища, мінування та бомбардування територій спричинили серйозні зрушення в екологічній системі всього Півдня України: Запорізької, Одеської, Миколаївської та Херсонської областей. Це, в свою чергу, посилює міграцію тварин, птахів та комах, що можуть бути переносниками багатьох інфекцій. Розлив чи заболочення річок призвели до збільшення популяцій комах і плазунів. Осушення Каховського водосховища зумовило формування чинників, які негативно впливають на якість повітря і різко підвищують можливість переносу з пилом різноманітних мікробів та їхніх спор. Не можна виключати і наявність у висушеному намулі радіонуклідів, які були занесені у водоймище з течією Дніпра після Чорнобильської аварії.

Підриб Каховської ГЕС спричинив порушення в трикутнику, який становить основу екології: **людина ↔ тварини ↔ рослини**. Розглянемо їх детальніше.

Суходіл. Очікується виявлення біологічних агентів, що є збудниками хвороб — холери, бо-

тулізму, черевного тифу, антраксу тощо (відповідні повідомлення вже з'являються у ЗМІ), а також небезпечних зоонозів (наприклад, сказу, кількість випадків якого зростатиме за відсутності вакцинації у зв'язку з бойовими діями та на окупованих територіях).

Водне середовище. В ареал катастрофи потрапляє досить великий басейн — Дніпро, колишне Каховське водосховище, Південний Буг і Чорне море, який може відігравати роль середовища поширення збудників. Наразі епідеміологи в багатьох місцях практично не мають змоги дослідити стан водного середовища і змушені оперувати переважно повідомленнями ЗМІ, чого явно недостатньо. Необхідно налагодити цілеспрямовану роботу фахівців, оскільки загроза аквакультурам є серйозною проблемою.

На окупованих територіях профілактичні щеплення тварин і людей не проводяться, що сприяє швидкому поширенню інфекцій та унеможливує забезпечення стабільної епізоотичної ситуації.

Своїми воєнними злочинами держава-терорист свідомо створює критичну ситуацію у системі біозахисту України. Протистояти цьому покликані медики, ветеринари, мікробіологи, біохіміки та інші фахівці.

Поняття «біобезпека» охоплює досить широке коло питань. Руйнуванням Каховської ГЕС РФ вже створила загрозу біобезпеці в Україні, а тепер шантажує підризом Запорізької АЕС. Ворог цілеспрямовано — як втілення свого задуму зі здійснення геноциду українського народу — провокує зміну екосистеми на теренах України. Це може призвести до спалахів бактеріальних та вірусних інфекцій, таких як холера, кишкові інфекції, ботулізм, черевний тиф, сказ, сибірська виразка, малярія, правець, хвороба Лайма тощо. Без сумніву, перелік біологічних агентів з часом розширюватиметься. Тобто РФ діє як держава-біотерорист. Нагадаємо, що **біотероризм** — це використання біологічної зброї для спричинення смерті, страху, розрухи, посилення стресу від політичних потрясінь і жахів бомбардувань, аби тільки досягти геополітичної, ідеологічної, соціальної мети із захоплення держави.

Розглянемо види інфекцій, які можуть поширитися в результаті катастрофи на Каховській ГЕС.

Вірусні інфекції — ротавірусні, ентеровірусні, норовірусні, гепатити А і Е.

Джерелом *ротавірусних інфекцій* є ротавіруси, які провокують кишковий, шлунковий грип, ентерит. Шляхи передачі від хворої людини до здорової — через деякі продукти харчування, немиті руки. Цей вид вірусів дуже стійкий і може тривалий час зберігати життєздатність, не гине в разі миття звичайною водою або за низьких температур. Знищується кип'ятінням (вода, молоко) і тепловою обробкою.

Ентеровірусні інфекції — гострі інфекційні захворювання, які є небезпечними через те, що ентеровіруси вирізняються високою стійкістю у зовнішньому середовищі, здатні зберігати життєздатність до кількох місяців у поверхневих водоймах та вологому ґрунті. Шляхи передачі — водний, контактний-побутовий, харчовий, повітряно-краплинний.

Норовірусна інфекція спричиняється різновидом ентеровірусів *Caliciviridae* і провокує розвиток гострих кишкових інфекцій. Шляхи передачі — через предмети побуту, їжу, рідини, орально-фекальним способом. Влітку причиною хвороби стають немиті овочі та фрукти.

Gepatit A і gepatit E — вірусні захворювання печінки, які супроводжуються нудотою, блювотою, високою температурою. Обов'язково потрібне звернення до лікаря для встановлення діагнозу.

Бактеріальні інфекції — дизентерія, стафілококове отруєння, сальмонельоз, черевний тиф, паратиф, лептоспіроз, кишкова паличка.

Переносником *дизентерії (шигельозу)* є дизентерійна паличка, яка виділяє токсин, що впливає на травлення і загальне самопочуття. Шляхи передачі — некип'ячене молоко, немиті свіжі продукти, неочищена вода, брудні руки. Хвороба легко передається від хворої людини.

Збудники *стафілококового отруєння* — хвороботворні мікроорганізми (стафілококи). Шляхи поширення — продукти харчування, які пройшли недостатню термічну обробку. Джерелами зараження їжі можуть бути носії захворю-

вання в латентній формі, зокрема дитина може заразитися від матері через грудне молоко.

Сальмонельоз. Хвороба часто перебігає у важкій формі. Передається через продукти тваринного походження, наприклад сирі яйця. Причиною може стати порушення особистої гігієни, контакт із зараженими тваринами і хворими людьми.

Черевний тиф — гостра інфекційна хвороба з фекально-оральним механізмом передачі, яку спричинює сальмонела черевного тифу (*Salmonella enterica*, subsp. *enterica*, biovar *typhi*). Характеризується гарячкою переважно постійного типу тривалістю до 5–6 тижнів, загальною інтоксикацією з розвитком загальмованості нервової діяльності аж до тифозного статусу, шкірним висипом, збільшенням печінки, селезінки і ураженням лімфатичного апарату тонкої кишки.

Паратиф — інфекційне захворювання, яке супроводжується ураженням кишечника і його лімфатичного апарату. Буває трьох видів — А, В і С. Збудником є бактерія з роду сальмонел. Паратиф А спричинює сальмонела *paratyphi A*, паратиф В — *Schotmuelleri*, а паратиф С — *Hirschfeldii*. Найпоширенішими є паратифи А і В.

Лентосніроз — гостра інфекційна хвороба з групи зоонозів, яка перебігає з гарячкою, загальною інтоксикацією, ураженням нирок, печінки, серцево-судинної та нервової систем, супроводжується геморагічним синдромом.

Кишкова паличка. Нерідко пацієнти, в аналізах яких виявлено кишкову паличку (*Escherichia coli*), мають ознаки розладу травлення. Небезпечними є лише деякі штами цієї бактерії, що можуть викликати діарею мандрівника, інфекції сечового міхура, коліт. Ці хвороби потребують обов'язкової діагностики та лікування, зокрема й в умовах стаціонару.

Боротьба з бактеріальними інфекціями ускладнюється їх стійкістю до антибіотиків. Наявність великої кількості мутагенів, а також важких металів провокує утворення нових, більш агресивних мутантних форм бактерій.

Серед інших захворювань слід відзначити *аскаридоз* — поширену хворобу з групи гельмінтозів, яку спричинює паразитування в організмі

людини аскариди людської (*Ascaris lumbricoides*), а також *гістоплазмоз* — дуже важку зоонозну грибкову інфекцію диких птахів, збудник якої через заражену воду потрапляє в дихальні шляхи і легені людей і яку дуже складно лікувати.

Інфекції, що вже реєструються на окупованих територіях.

Холера — важка водяниста форма діареї, спричинена збудником *Vibrio cholerae*. Клінічні прояви варіюються від профузного проносу, гіповолемічного шоку до ацидозу. Значна втрата рідини може спричинити смерть впродовж доби. Холера залишається серйозною загрозою і є причиною мільйонів смертей у всьому світі за останні 200 років. Вважають, що у 80 % осіб з клінічними симптомами захворювання холера перебігає з легким або середнім ступенем тяжкості; у 10–20 % спостерігається тяжкий перебіг з розвитком дегідратації. За відсутності відповідної терапії кожен другий хворий може померти. У Маріуполі холеру почали реєструвати з червня 2022 р., окупаційна влада проводить щеплення своїх військових та колаборантів.

Інтенсивні бойові дії зумовлюють проблему з похованням загиблих. Хаотичне поховання додає не лише біологічної небезпеки, а й хімічної — насичення ґрунтів азотом, токсичними нітратами та нітритами. Після фільтрації у поверхневих водах холерні вібріони потрапляють у річки, і цією водою вже не можна користуватися у побуті. В Україні холера належить до «особливо небезпечних інфекційних хвороб» через те, що її збудник віднесено до біологічної зброї.

У разі діагностування хвороби призначають антибактеріальні препарати, пробіотики, а при сильному зневодненні — внутрішньовенно водно-сольові розчини. У місцях загрози виникнення інфекції рекомендовано проводити вакцинацію населення. Вакцина є досить ефективною, має 85 % захисту протягом перших шести місяців і 50–60 % — упродовж першого року. Оскільки вакцини дають лише короткочасний захист, за рекомендаціями ВОЗ, у регіонах, де холера є ендемічною, а також у районах, де існує загроза виникнення спалахів хвороби, імунізацію наявними цільноклітинними убитими

оральними вакцинами проти холери необхідно здійснювати в поєднанні з протиепідемічними заходами з поліпшення якості води та санітарії.

Сказ — гостре інфекційне захворювання тварин і людини, спричинене нейротропним вірусом *Rabies virus* із роду *Lyssavirus*. Характеризується розвитком енцефаліту зі стрімким порушенням функції центральної нервової системи і завжди закінчується летально. За даними ВООЗ, сказ входить у першу п'ятірку основних небезпечних зоонозів, що завдають найбільших соціальних і економічних збитків. Щороку від сказу у світі гинуть десятки тисяч людей, захворювання реєструється на території 110 країн світу.

На тимчасово окупованих територіях Донбасу сказ реєструють з листопада 2021 р. Основним джерелом інфекції є безпритульні тварини, свійські, дикі тварини, птахи та кажани³. Для людей, постраждалих від нападу хворих тварин, не вистачає вакцин. Свійських тварин не вакцинують. Окупаційна влада запровадила карантин, але він виявився безрезультатним.

Загроза сказу для людини посилюється ще й тим, що інкубаційний період хвороби може сягати 9 років. Тому в разі нападу хворої тварини необхідно негайно звертатися до медичного закладу для отримання кваліфікованого лікування. Якщо впродовж першої години неможливо отримати медичну допомогу, потерпілому ретельно (щонайменше протягом 15 хв) промивають рану мильною водою, мийними засобами, дезінфектантами для обробки ран, 70 % спиртом або 5 % розчином йоду, після чого все одно неодмінно потрібно звернутися до медичного закладу.

У разі інфікування показана негайна госпіталізація і введення антирабічної вакцини. Таких щеплень має бути п'ять: у день звернення до лікаря (0-й день), а потім на 3-й, 7-й, 14-й і 28-й дні. Антирабічна вакцина запобігає виникненню захворювання у 96–99 % випадків. Наразі на тимчасово окупованих територіях України є значний дефіцит антирабічної вакцини.

³ Вакуленко Є. На Донеччині побільшало безпритульних тварин і в разі зросла ймовірність сказу. Як вберегтися. *Вільне радіо*. 30.10.2022. <http://surl.li/jqzci>

Ботулізм — тяжке харчове отруєння, зумовлене споживанням продуктів, що містять ботулотоксини. Збудник хвороби розмножується в анаеробному стані (без доступу кисню) за неправильних умов зберігання чи транспортування продуктів харчування. МОЗ України рекомендує утримуватися від вживання їжі, про якість якої споживачу достеменно невідомо. Тому наразі заборонено використовувати для харчування рибу, яка опинилася на поверхні водойм після підризу Каховської ГЕС.

Збудник захворювання — *Clostridium botulinum* — анаероб, природне місце локалізації якого шлунково-кишковий тракт людини, тварин і риб; у зовнішнє середовище потрапляє з випорожненнями. Завдяки спороутворенню збудник ботулізму в процесі еволюції пристосувався до виживання у несприятливих умовах навколишнього середовища та зберіг спадкову інформацію. Спори *Clostridium botulinum* стійкі до багатьох бактерицидних речовин, залишаються життєздатними після 4–5-годинного кип'ятіння, проявляють стійкість до заморожування, висушування та ультрафіолетового опромінення і можуть перебувати в такому стані сотні років. За сприятливих умов (відсутність кисню, аутоліз клітини) спори переходять у вегетативну форму і збудник набуває своїх летальних проявів: виділяє токсин, що існує у вигляді протоксину та токсину. Слід зауважити, що ботулінічний токсин є одним з найсильніших у природі серед складних білків, синтезованих живим організмом. Він дещо подібний до тетанотоксину і має схожий з ним механізм дії на живий організм. Смертельна доза для людини становить 0,3 мкг.

Люди заражаються ботулізмом при вживанні продуктів харчування, контамінованих життєздатними клостридіями або їх спорами. Це можливо в разі виготовлення продуктів з порушенням технології виробництва. За даними ВООЗ, саме консервовані або ферментовані в домашніх умовах харчові продукти (овочеві, рибні, м'ясні консерви, в'ялена, солена, копчена риба, шинка, сосиски, ковбаса тощо) є основним джерелом харчового ботулізму. Є випадки, коли ботулінічний токсин виявляли у про-

дуктах промислового виробництва, наприклад розфасованих у вакуумні упаковки.

Токсин всмоктується в шлунково-кишкovo-му тракті, через ентероцити потрапляє в кров, вражає ядра довгастого мозку та викликає судинні розлади. Це є причиною крововиливів, застою крові і тромбозу капілярів. Ботулінічний токсин блокує мотонейрони спинного й довгастого мозку, периферійні мотонейрони, припиняє передачу імпульсу від нервового закінчення до м'язів, що й призводить до розвитку паралітичного синдрому, спричиняє розслаблення мускулатури, зниження м'язового тону-су, внаслідок чого настає асфіксія та смерть.

Оптимістичний прогноз лікування можливий у разі ранньої госпіталізації пацієнта і своєчасного симптоматичного лікування. На першому етапі проводять ретельне промивання шлунка для видалення токсину, який ще не всмоктався. Єдиним методом специфічної етіотропної терапії вважають використання протиботулінічної сироватки незалежно від терміну, що минув від початку захворювання. Сироватка не дає швидкого ефекту, а як чужорідний білок може спричинити виникнення анафілаксії аж до анафілактичного шоку, до того ж вона здатна нейтралізувати лише вільно циркулюючий токсин і не проникає крізь гематоенцефалічний бар'єр. Тому протиботулінічну сироватку слід вводити в максимально ранні терміни, поки ботулотоксин не зв'язався зі структурами, до яких він має афінність. Для лікування хвороби, зумовленої невідомим типом токсину ботулізму, використовують суміш моновалентних сироваток або ж полівалентну сироватку, а після встановлення типу збудника — типоспецифічну моновалентну. Ефективним є також застосування ботулінового імуноглобуліну людини.

Черевний тиф найчастіше починається з поступового і повільного наростання ознак хвороби, які досягають свого повного розвитку через 6–9 днів. Однак приблизно у третини хворих початок хвороби буває гострим. Інкубаційний період зазвичай триває два тижні. Джерелом зараження може бути хворий, зокрема той, що одужує (реконвалесцент), і бактеріоносії. На

черевний тиф хворіють здебільшого діти, підлітки та дорослі віком до 49 років.

У доквіллі тифозні сальмонели відносно стійкі, добре переносять низькі температури протягом кількох місяців. Виживання цих збудників у воді залежить від умов — у проточній воді вони зберігаються кілька днів, у водопровідній — до 3 місяців, у мулі колодязів — до 6 місяців. При 0 °С вони можуть вижити протягом 60 днів. Дуже добре зберігаються в харчових продуктах, особливо в молоці, сирі, сметані, м'ясному фарші, овочевих салатах; на овочах і фруктах зберігаються протягом 10 днів. Однак за високої температури тифозні сальмонели гинуть (за +50 °С — через годину, за +60 °С — через 20 хв, при кип'ятінні — миттєво); прямі сонячні промені діють на них згубно, а під дією звичайних дезінфектантів вони гинуть через кілька хвилин.

Лікування черевного тифу потребує етіотропної терапії. ВООЗ рекомендує для України починати лікування з фторзінолонів, ципрофлоксацину або пефлоксацину. При підозрі на нечутливість збудника (*Salmonella typhi*) і недовір'я лікування потрібна швидка зміна антибактерійного засобу.

Загалом кишкові інфекції, зокрема й черевний тиф, завжди під час бойових дій становлять загрозу армії та населенню охоплених війною територій. До гострих кишкових інфекцій належать хвороби, основним симптомом яких є розлад шлунку (діарея). Збудниками кишкових інфекцій найчастіше є сальмонели, шигели, стафілококи та інші патогенні й умовно патогенні мікроорганізми, а також ротавіруси, ентеровіруси, аденовіруси та інші збудники. Всі вони виводяться з організму з вмістом кишечника, тривалий час зберігають свою життєздатність на різних об'єктах зовнішнього середовища і в разі потраплення через рот в організм здорової людини викликають у неї захворювання. Для лікування гострих кишкових інфекцій застосовують біле вугілля, атоксил, ентеросгель, пробіотичні препарати. При тривалому перебігу захворювання до цих препаратів додають антибіотикотерапію — фталазол, ніфуроксазид тощо.

Слід пам'ятати, що сальмонельоз, дизентерія, стафілококові та інші кишкові інфекції — це насамперед результат антисанітарії, брудної води, порушення норм виготовлення та зберігання харчових продуктів. Тому провідне місце у їх профілактиці посідають санітарно-гігієнічні заходи і вакцинація населення. Дуже важливо правильно організувати водопостачання, а також унеможливити інфікування продуктів харчування.

З руйнуванням Каховської ГЕС відбулося обміління Каховського водосховища, яке свого часу затопило низку селищ із цвинтарями, захороненнями тварин, що загинули від різних інфекцій. Що у цьому разі можна очікувати? Усе залежить від глибини захоронень. Грунтові води та висохлий мул можуть стати ланкою у передачі спор **сибірської виразки** (антраксу), якщо у захороненнях були трупи тварин, що загинули від цього захворювання. Адже спори сибірки залишаються життєздатними упродовж понад 300 років.

Вода поширює спори збудника на пасовища прилеглих територій. Відсутність або нестача профілактичних препаратів можуть спровокувати спалахи антраксу на півдні України, у регіоні, який і в мирний час потерпав від спорадичних випадків сибірки. Інфікування людей відбувається через спори, які вражають шкіру, дихальну систему та шлунково-кишковий тракт. Найбільш загрозливим для людей є зараження через вдихання спор сибірки без своєчасного початку лікування.

Традиційними заходами боротьби з сибірковою інфекцією є вакцинація та антибіотикотерапія. Однак обидва підходи не позбавлені істотних обмежень. Антибіотикотерапія ефективна за умови ранньої діагностики інфекції, проте не здатна боротися з токсином, який уже присутній в організмі. В результаті смерть від інтоксикації може статися навіть за умови повної стерилізації організму від патогену. Вакцини для людей, засновані на атенуйованих штаммах або супернатантних культурах таких штамів, реактогенні і непридатні для широкого застосування, а нещодавно розроблені вакцини на основі протективного антигену (екзоток-

сину) потребують неодноразового введення і як мінімум 4 тижнів для розвитку протективного імунітету. Крім того, ступінь захисту вакцинами на рекомбінантному екзотоксині залишається не до кінця вивченою проблемою.

Спалахи яких ще захворювань можуть реєструватися в Україні через порушення екологічного балансу? Це, зокрема, правець, хвороба Лайма, малярія (через засилля кліщів та комарів), наслідки укусів отруйних павуків та змії (через брак септичних препаратів і сироваток протиотрут).

Наразі в Україні склалася загрозлива ситуація з проведенням комплексу протиєпізоотичних заходів, які повинні запобігти поширенню зоонозів і відвернути епідемії. Ветеринарну службу ліквідовано, біологічні фабрики не працюють на повну потужність, частина з них залишилася на окупованих територіях. У медичних закладах відсутні анатоксинні сироватки від кишкових інфекцій та укусів плазунів, населення недостатньо охоплене щепленнями від правця та сказу. Немає мобільних лабораторій, основним призначенням яких є ізоляція та ідентифікація збудника зоонозів. Це важливе завдання, оскільки воно зумовлює ефективність подальшого лікування, застосування відповідної категорії дезінфікуючих препаратів, і саме так відбувається локалізація збудника і недопущення поширення інфекції.

Стрес і біологічне старіння — дуже важливий розділ біобезпеки, пов'язаний з тривалими в часі негативними наслідками для великої кількості людей. Це стосується сильного стресу, який зараз переживає більшість українців, особливо учасники бойових дій. Стрес (від англ. stress — навантаження, стан підвищеного напруження) визначається як сукупність неспецифічних нормальних реакцій організму на вплив різних несприятливих факторів (фізичних або психологічних), що порушує відповідний стан нервової системи або всього організму. Повторювані стресові ситуації, такі як участь у воєнних діях, тяжка фізична травма, загроза смерті, викликають сильний стрес, який призводить до посттравматичного стресового розладу і супроводжується важким психічним станом, що

спричинює незворотні структурні та функціональні зміни в органах і тканинах організму.

Сильний стрес підвищує смертність через збільшення біологічного віку. Поняття «біологічний вік» відображає ступінь морфологічного та фізіологічного розвитку організму. Смертність можна знизити завдяки зменшенню біологічного віку, і здатність відновлюватися після стресу може бути важливим чинником здоров'я та активного довголіття. До того ж показник біологічного віку є об'єктивним і майже єдиним інструментальним параметром для оцінки стресу та лікування його наслідків.

Збільшення біологічного віку через сильний стрес пов'язане зі змінами в морфології клітин, архітектурі хроматину та вивільненні запальних факторів. Перехід до клітинного старіння може бути ініційовано втратою епігенетичної інформації, а також укороченням теломерів, непоправним пошкодженням ДНК і цитоплазматичної ДНК. Накопичення старіючих клітин з віком сприяє запаленню і генерує додаткові активні форми кисню (АФК), які зумовлюють широкий спектр вікових захворювань, від серцево-судинних до онкологічних захворювань, кількість яких при сильному стресі збільшується в рази.

Для вимірювання біологічного віку зараз застосовують епігенетичний годинник. Тест ґрунтується на визначенні рівнів метилювання ДНК і вимірює накопичення метильних груп у молекулах ДНК шляхом геномного секвенування. Раніше було показано, що при народженні ДНК геному максимально метильовано в CpG-острівцях, але з віком рівень метилювання спадає, і це можна визначати експериментально. Годинники метилювання ДНК людини другого покоління мають високу чутливість і дають достовірні результати для виявлення тимчасових змін біологічного віку.

Сучасні дослідження показали, що біологічний вік може збільшуватися протягом відносно коротких періодів часу у відповідь на стрес, але це збільшення є тимчасовим, і біологічний вік повертається до вихідного рівня завдяки відновленню після стресу. Зворотність таких змін було встановлено під час хірургічних опе-

рацій, вагітності, тяжкої форми COVID-19 як у мишей, так і у людини. Наприклад, у пацієнтів з травмами різко й швидко збільшувався біологічний вік після екстреної операції, однак в наступні дні цей процес зупинявся і біологічний вік відновлювався до вихідного рівня. Так само у вагітних жінок з різною швидкістю та величиною спостерігалось відновлення біологічного віку після пологів. Біологічний вік можна відновлювати й медикаментозно, як це було показано на прикладі імуносупресивного препарату тоцилізумаб, який прискорював відновлення біологічного віку реконвалесцентних пацієнтів з COVID-19⁴.

Війна спричиняє сильний стрес, який в майбутньому призведе до значного зростання серцевих і онкологічних захворювань в масштабах, більших, ніж після катастрофи на ЧАЕС.

Першочергові державні заходи для запобігання катастрофічним наслідкам затоплення Придніпров'я. Передусім потрібно вирішити проблему доступності чистої питної води. Не менш важливо терміново налагодити розроблення і випуск достатньої кількості відповідних тест-систем (на основі ПЛР, імуноферментного, імунохроматографічного аналізу) для експрес-моніторингу населення, тварин, ґрунту щодо наявності небезпечних інфекцій, особливо нових штамів і мутантів. Для цього в Інституті молекулярної біології і генетики НАН України розроблено і запатентовано технологію швидкого секвенування збудників небезпечних інфекційних захворювань і технологію створення ПЛР тест-систем на основі вітчизняних барвників. В Інституті наявне устаткування і відповідні приміщення класу BSL II для пілотного і масштабного виробництва ПЛР тест-систем. Крім того, потрібно налагодити розроблення та виробництво імуноферментних тест-систем та безприладних швидких імунохроматографічних тестів для діагностики інфекційних хвороб людини та тварин на основі досягнень Науково-технологічного комплексу «Інститут монокристалів» НАН України.

⁴ Poganik et al. Biological age is increased by stress and restored upon recovery. *Cell Metabolism*. 2023. 35(5): 807–820. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2023.03.015>

Необхідно закупити визначену кількість вакцин, особливо проти черевного тифу, для захисту населення і військових, які постійно перебувають на цих територіях. Через відсутність вакцин, виготовлених у Росії, які там монополярно випускалися ще за часів СРСР, гостро стоїть питання створення та налагодження виробництва вітчизняних вакцин. Досвід з вакцинами проти COVID-19 в Україні свідчить про потребу в сучасних вакцинах на основі рибонуклеїнових кислот та рекомбінантних технологій. Однак без цільових наукових програм і державних гарантій зробити це неможливо.

У зв'язку зі значним поширенням психоемоційних захворювань необхідно терміново розробити і впровадити в медичну практику метод визначення біологічного віку за допомогою епігенетичного годинника на основі секвенування метильованих острівців ДНК генома. Крім того, для проведення масштабних діагностичних досліджень населення потрібно розробити більш прості і дешеві методи діагностики старіння, основані на ПЛР. З використанням цих методів слід провести скри-

нінг вже зареєстрованих ефективних ліків і розпочати дослідження нових препаратів для профілактики та лікування психоемоційних захворювань. Такі дослідження проводять в Інституті молекулярної біології і генетики НАН України, де є необхідна інструментальна наукова база, а також вже прийнято відповідні рішення Уряду та Верховної Ради України для їх цільового фінансування.

Потрібно також запустити систему санітарного і ветеринарного моніторингу та нагляду на потерпілих територіях, перевірити можливість радіаційного зараження висохлого замулу Каховського водосховища, до якого після Чорнобильської аварії могли потрапити водорозчинні радіонукліди. Терміново слід організувати теоретичну й практичну підготовку медичних і ветеринарних працівників, залучених до ліквідації наслідків підриву Каховської ГЕС.

Питання біобезпеки та захисту здоров'я населення в умовах війни в Україні є дуже гострим, і на його вирішення потрібно спрямувати всі наявні організаційні, наукові та виробничі можливості НАН України.

Mykhaylo A. Tukalo

Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0982-2372>

Zenoviy Yu. Tkachuk

Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0433-007X>

Ulyana M. Yanenko

Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

WAR AND BIOSECURITY IN UKRAINE

The article provides a forecast of the epidemiological situation that may await Ukraine due to the explosion of the Kakhovka HPP and shallowing of the Kakhovka Reservoir resulting in the destruction of a harmonious ecosystem: humans ↔ animals ↔ plants. Due to the destroyed medical infrastructure in the country, the population cannot receive proper medical care in the event of an outbreak of infections. It is important to focus public opinion on the tragic epidemiological situation in Ukraine. It is necessary to unite specialists from various fields to positively solve the problem and ensure the health of the nation. The pollution of water resources, the increase in the number of homeless animals, the lack of appropriate measures to prevent outbreaks of diseases – all this poses a sharp challenge to specialists who are responsible for the biological safety of the state's population and soldiers. The article presents a concise list of infectious diseases that have already been registered in the temporarily occupied territories and can be brought with refugees and homeless animals to the territory free from the occupiers. The consequences of the stress experienced by Ukrainians during the war, which can lead to an increase in cases of fatal diseases, are also analyzed.

Cite this article: Tukalo M.A., Tkachuk Z.Yu., Yanenko U.M. War and biosecurity in Ukraine. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2023. (8): 14–22. <https://doi.org/10.15407/visn2023.08.014>