

## ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА ІНФЕКЦІЙНІ ЗАХВОРЮВАННЯ РИБ (ОГЛЯД)

**Ю. П. Рудь**, [rudziknew@ukr.net](mailto:rudziknew@ukr.net), Інститут рибного господарства НААН, м. Київ

**О. В. Залоїло**, [ozaloilo@yahoo.com](mailto:ozaloilo@yahoo.com), Інститут рибного господарства НААН, м. Київ

**Л. П. Бучацький**, [iridolpb@gmail.com](mailto:iridolpb@gmail.com), Інститут рибного господарства НААН, м. Київ

**І. І. Грициняк**, [hrytsyniak@ukr.net](mailto:hrytsyniak@ukr.net), Інститут рибного господарства НААН, м. Київ

**Мета.** Оскільки наслідки змін клімату впливають на прісноводні і морські екосистеми, а підвищення температури води в світовому океані та підкислення водного середовища триває й понині, метою нашої роботи був аналіз літературних даних та узагальнення інформації стосовно розвитку інфекційних захворювань риб в контексті глобального потепління.

**Результати.** Навіть незначне підвищення температури впливає на життєвий цикл, фізіологію, поведінку, поширення та структуру популяцій водних біоресурсів, зокрема риб. Останні дослідження свідчать, що деякі збудники інфекційних хвороб риб поширюються значно швидше із зростанням температури. Зміна клімату сприяє їх розповсюдженню як у морських, так і у прісноводних ареалах. Зокрема, підвищення температури води може розширити діапазон хвороб. Водні біоресурси мають високу кумулятивну смертність при інфекційних захворюваннях, а патогени швидко прогресують, і ці явища можуть бути посилені зміною клімату, що призведе до географічного розповсюдження вірулентних збудників до ареалів рибальства та аквакультури, загрожуючи значній частині світового виробництва та продовольчій безпеці. В статті наведено дані стосовно наслідків зміни клімату та глобального потепління для аквакультури та рибальства. Представлено перелік основних патогенів риб різної етіології в Україні, включаючи вірусні, бактеріальні та паразитарні захворювання. Описано вплив інфекційних агентів на сучасну аквакультуру та наведено основні уявлення про можливі довгострокові наслідки кліматичних змін для об'єктів вітчизняного рибництва.

**Практична значимість.** Огляд може бути корисним для фахівців з ветеринарної медицини, епізоотології та іхтіопатології.

**Ключові слова:** зміна клімату, інфекційні захворювання риб, патогенез.

---

## THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON FISH INFECTIOUS DISEASES (A REVIEW)

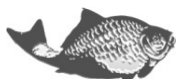
**Yu. Rud**, [rudziknew@ukr.net](mailto:rudziknew@ukr.net), Institute of Fisheries of NAAS of Ukraine, Kyiv

**O. Zaloilo**, [ozaloilo@yahoo.com](mailto:ozaloilo@yahoo.com), Institute of Fisheries of NAAS of Ukraine, Kyiv

**L. Buchatsky**, [iridolpb@gmail.com](mailto:iridolpb@gmail.com), Institute of Fisheries of NAAS of Ukraine, Kyiv

**I. Hrytsyniak**, [hrytsyniak@ukr.net](mailto:hrytsyniak@ukr.net), Institute of Fisheries of NAAS of Ukraine, Kyiv

© Ю. П. Рудь, О. В. Залоїло, Л. П. Бучацький, І. І. Грициняк, 2020



**Purpose.** As the climate change impacts freshwater and marine ecosystems, and rising ocean temperatures and acidification continue to this moment, our aim was to analyze the literature and summarize information on the development of fish infectious diseases in the light of global warming.

**Findings.** Even a slight increase in temperature affects the life cycle, physiology, behavior, distribution and structure of populations of aquatic bioresources, especially fish. Recent studies show that some infectious diseases of fish spread much faster with increasing temperature. Climate change contributes to pathogens spread in both marine and freshwater areas. In particular, rising water temperatures can expand the range of diseases. Aquatic bioresources have high cumulative mortality from infectious diseases, and pathogens are rapidly progressing, and these phenomena may be powered by climate change, leading to the geographical spread of virulent pathogens to fisheries and aquaculture facilities, threatening much of global production and food security. The article presents data on the impact of climate change and global warming on aquaculture and fisheries. The list of the main pathogens of fish of various etiology in Ukraine, including viral, bacterial and parasitic diseases is presented. The impact of infectious agents on modern aquaculture is described and the main ideas about the possible long-term consequences of climate change for fish farms are given.

**Practical Value.** The review may be useful for specialists in veterinary medicine, epizootology and ichthyopathology.

**Key words:** climate change, infectious diseases of fish, pathogenesis.

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ИНФЕКЦИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ РЫБ (ОБЗОР)

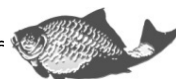
Ю. П. Рудь, [rudziknew@ukr.net](mailto:rudziknew@ukr.net), Институт рыбного хозяйства НААН, г. Киев  
О. В. Залоило, [ozaloilo@yahoo.com](mailto:ozaloilo@yahoo.com), Институт рыбного хозяйства НААН, г. Киев  
Л. П. Бучацкий, [iridolpb@gmail.com](mailto:iridolpb@gmail.com), Институт рыбного хозяйства НААН, г. Киев  
И. И. Грициняк, [hrytsyniak@ukr.net](mailto:hrytsyniak@ukr.net), Институт рыбного хозяйства НААН, г. Киев

**Цель.** Поскольку последствия изменений климата влияют на пресноводные и морские экосистемы, а повышение температуры воды в мировом океане и подкисление водной среды продолжается и поныне, целью нашей работы было проанализировать литературные данные и обобщение информации касательно развития инфекционных заболеваний рыб в свете глобального потепления.

**Результаты.** Даже незначительное повышение температуры влияет на жизненный цикл, физиологию, поведение, распространение и структуру популяций водных биоресурсов, в частности рыб. Последние исследования показывают, что некоторые возбудители инфекционных болезней рыб распространяются значительно быстрее с ростом температуры. Изменение климата способствует их распространению как в морских, так и в пресноводных ареалах. В частности, повышение температуры воды может расширить диапазон болезней. Водные биоресурсы имеют высокую кумулятивную смертность при инфекционных заболеваниях, а патогены быстро прогрессируют, и эти явления могут быть усилены изменением климата, что приведет к географическому распространению вирулентных возбудителей в ареалах рыболовства и аквакультуры, угрожая значительной части мирового производства и продовольственной безопасности. В статье приведены данные о последствиях изменения климата и глобального потепления для аквакультуры и рыболовства. Представлен перечень основных патогенов рыб различной этиологии в Украине, включая вирусные, бактериальные и паразитарные заболевания. Описано влияние инфекционных агентов на современную аквакультуру и приведены основные аргументы о возможных долгосрочных последствиях климатических изменений для объектов отечественного рыбоводства.

**Практическая значимость.** Обзор может быть полезным для специалистов по ветеринарной медицине, эпизоотологии и ихтиопатологии.

**Ключевые слова:** изменение климата, инфекционные заболевания рыб, патогенез.



## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ. МЕТА РОБОТИ

Рибальство та аквакультура забезпечують продовольчу безпеку у світі для 3,2 мільярдів людей та продукують 17% тваринного білка. Риба є особливо важливою в країнах, що розвиваються, де її споживання сягає 70%. Максимальний рівень споживання риби спостерігався в 2016 р. — близько 22 кг на душу населення. Це значною мірою зумовлено продукцією аквакультури, виробництво якої у 2016 р. перевищило обсяги промислового рибальства. Понад 500 мільйонів людей у світі безпосередньо чи опосередковано залежать від рибальства та аквакультури. Загалом рибальство та аквакультура генерують продуктів на суму близько 362 мільярди доларів на рік. Аквакультура — це галузь виробництва продуктів харчування, що зростає найшвидше у світі — на 7% щорічно [1, 2].

Риба є ключовим елементом продовольчої безпеки та харчування людини. Аналіз майбутніх сценаріїв попиту на неї дозволяє зробити висновок, що для вирощування риби та інших водних біоресурсів до 2030 року потрібно подвоїти виробництво для задоволення зростаючого попиту [3, 4].

Взаємозв'язок між аквакультурою та зміною клімату важко дослідити у контексті окремого рибного господарства та безліч чинників, на які впливають глобальні кліматичні перебудови. Вчені вже прогнозують втрати біомаси водних біоресурсів внаслідок підвищення температури води. Навіть за сценарію зменшення викидів парникових газів та високоефективного управління біологічними ресурсами, рибальство та аквакультура можуть втратити від 20 до 40% своєї продукції, що становитиме в середньому 17 та 31% прямих збитків відповідно. Такі дані були отримані в ході аналізу сфери сільського господарства, включаючи рибальство та аквакультуру, в країнах, що розвиваються, упродовж 2003–2013 рр. [5].

Втрати в аквакультурі та рибальстві, а, отже, і негативний вплив на продовольчу безпеку, можуть бути пов'язані із специфічними наслідками зміни клімату, такими як: 1) доступність продуктів харчування буде валиювати залежно від зміни середовищ існування, запасів та розподілу видів; 2) на стабільність пропозиції впливатимуть зміни сезонності, збільшення розбіжності між продуктивністю екосистеми і збільшення мінливості та ризиків поставок; 3) на доступ до водних біоресурсів впливатимуть зміни їхньої життєдіяльності та можливості лову чи ведення сільського господарства; 4) використання водних біоресурсів також буде змінюватися, і, наприклад, деяким громадам потрібно буде пристосуватися до видів, які традиційно не споживалися раніше [6].

Підвищення температури та підкислення океану докорінно змінюють водні екосистеми [7]. Зміна клімату модифікує розподіл риби та продуктивність морських та прісноводних видів [8]. Популяції риб у багатьох регіонах вже значно скоротилися через перевиллов та прискорення наслідків зміни клімату. Приблизно третина рибних запасів океану вже виловлюється на «біологічно нестійких рівнях», що втричі перевищує показник середини 1970-х [2]. Очікується, що вилов риби Світового океану зменшиться на 6% до 2100 р. та на 11% у тропічних зонах. Різні моделі передбачають, що до 2050 р. загальний глобальний потенціал вилову риби може змінюватися менше ніж на 10% залежно від траєкторії викидів парникових газів, але з дуже значною географічною мінливістю. Прогнозується зниження обсягів як морського, так і прісноводного



рибальства майже у 85% проаналізованих прибережних країн, що значно ускладнює адаптування до змін на національних рівнях [9, 10].

Зміна клімату впливає на все живе на Землі, але створює унікальні виклики для водних біоресурсів. Нестача кисню в теплих водах, можливо, призведе до вимирання водних тварин [11]. Оскільки розчинність кисню у воді є обернено пропорційною до її температури, фактично усім водоймам планети загрожує ймовірність дезоксигенації. Коли рівень розчиненого кисню падає приблизно до 2 мг/дм<sup>3</sup>, порівняно з нормальним діапазоном від 5 до 10 мг/дм<sup>3</sup>, багато водних організмів зазнають сильного стресу. Вчені називають цей поріг низької концентрації кисню «гіпоксією середовища» [12].

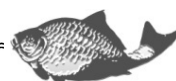
Температура океану в середньому зросла на 1°C з 1980-х років. Наприклад, ідеальна температура води для атлантичного лосося (*Salmo salar*) становить 8–14°C: риба добре живиться і швидко росте. Якщо вода є теплішою, ніж 16°C, лососеві зазнають стресу, їдять менше, що призводить до пригнічення росту. За температури понад 23°C риба може загинути. Мало регіонів у світі відповідають екологічним критеріям для вирощування атлантичного лосося у морі. Підвищення температури води в морях у майбутньому може обмежити виробництво цього виду. Термічний показник в різних країнах світу буде істотно відрізнятись, і стійкість риб також може змінюватись. Попередні дослідження стверджували, що лосось не витримує температуру понад 23°C, але останнім часом зафіксовані випадки загибелі риби при температурі 20°C [13].

## АНАЛІЗ ТА ОБГОВОРЕННЯ СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Вплив зміни клімату через температуру на біологічний світ зараз викликає глобальне значення. Нещодавно було зафіксовано зміни клімату у всьому світі, що впливають на рибогосподарську галузь [14–17]. Прогнозований їхній рівень вплине на рибу на всіх рівнях біологічної організації, змінюючи фізіологічні та екологічні процеси у ряді прямих, непрямих та складних взаємодій. На розповсюдження паразитів та збудників інфекційних хвороб водних біоресурсів буде безпосередньо впливати зміна температури, але також опосередковано, через вплив на ареал та кількість чутливих хазяїв.

Зміни клімату впливають на продуктивність систем аквакультури та збільшують чутливість риб до захворювань [18]. Концепція «Єдине здоров'я» та адаптація до зміни клімату можуть суттєво сприяти забезпеченню продовольчої безпеки з акцентом на продукти харчування рибного походження, розгалужену систему рибництва, екологічну санітарію та кроки до регіональних і глобальних інтегрованих систем спостереження та реагування [19]. Швидка імунна відповідь та розмноження збудників хвороб часто залежать від температури води, що проявляється як співвідношення сприятливої температури та прояв клінічних ознак захворювання. Ці дані становлять основний інструмент для виявлення загроз, що несуть ендемічні та екзотичні захворювання. Підвищення температури води змістить рівновагу на користь або хазяїна, або збудника, змінивши частоту епізоотій та їх розповсюдження.

Риби є пойкилотермними організмами, тому на їхню фізіологію, включаючи імунну відповідь, безпосередньо впливає температура навколишнього середовища



[20]. Патогени також мають оптимальні температурні інтервали для репродукції. Для багатьох захворювань (наприклад, фурункульоз, герпесвірусна інфекція, весняна віремія коропа) температура є ключовим чинником можливості розвитку гострої інфекції та високої смертності, або ж імунітет буде спроможний боротися та сприятиме одужанню. Підвищення температури води посилить інтродукцію не лише нових видів гідробіонтів, а й екзотичних збудників, що походять з регіонів з вищим термічним показником навколишнього середовища.

У даний час аквакультура забезпечує близько 50% світового виробництва риби та морепродуктів. Враховуючи приріст населення та стагнующе рибальство, майбутні потреби в рибі та морепродуктах будуть забезпечені аквакультурою [21]. Вплив змін клімату не буде рівномірним у всьому світі. Для того, щоб побудувати сценарії можливих наслідків зміни клімату для аквакультури, важливо зрозуміти її особливості в різних широтах та кліматичних зонах. При цьому необхідно також враховувати ступінь солоності води, де наслідки зміни клімату можуть мати різний вплив на водні біоресурси та їхні хвороби. Якщо в аквакультурі розвивати стратегію адаптації та пом'якшення змін клімату, і в першу чергу вивчити поведінку патогенів, тоді буде можливість реагувати на емерджентні захворювання риб [22].

Інфекційні захворювання риб становлять більшу небезпеку для аквакультури, ніж для рибальства, оскільки можуть швидко розповсюджуватися при високій щільності виробництва [23]. Існують припущення, що зміна клімату може додатково збільшити біоризики для аквакультури, спричиняючи зміни в географічному поширенні збудників (бактерії, віруси та паразити) та їх вірулентності, а також вплинути на сприйнятливість видів-хазяїв. Ймовірні реакції водних біоресурсів на ендемічні, екзотичні та емерджентні захворювання наразі невідомі. У таблицях 1–4 наведено перелік основних захворювань риб в Україні та їх ступінь чутливості до кліматичних перебудов. При складанні таблиць були враховані чинники, що підвищують ризик появи та поширення інфекційних захворювань риб, а саме: 1) глобалізація та збільшенням обсягів міжнародної торгівлі живими водними біоресурсами та їх продуктами, що створюють нові шляхи поширення транскордонних збудників; 2) інтенсивна аквакультура, що забезпечує сприятливі умови для розвитку патогенів. Загалом, для оцінки впливу зміни клімату на виникнення інфекцій в аквакультурі використовуються різні підходи, які переважно базуються на рекомендаціях Міжнародного Епізоотичного Бюро (МЕБ) щодо аналізу ризику імпорту та визначення основних чинників, які можуть впливати на виникнення захворювання [24, 25].

### Бактеріальні інфекції

Широкий спектр бактерій, таких як *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Yersinia*, *Vibrio*, *Streptococcus* та *Edwardsiella* були виділені у риб з різними захворюваннями. Бактерії роду *Aeromonas*, *Flavobacterium* та *Yersinia* викликають захворюваність і високу смертність. У аквакультурі етіологія будь-якого захворювання є дуже складною. Так, бактерії *Aeromonas hydrophilia* спричиняють бактеріальну септицемію та загибель в аквакультурі коропових, *Aeromonas salmonicida* викликає фурункульоз у лососевих, *Aeromonas sobria* спричиняє захворювання у осетрових [40].



Таблиця 1. Вплив глобального потепління на розвиток РНК-вірусів, що зустрічаються в аквакультурі України  
 Table 1. The impact of global warming on distribution of the RNA-viruses isolated in aquaculture of Ukraine

Патоген / Pathogen	Хвороба / Disease	Оптимальна температура / Optimal temperature	Як впливає зміна клімату / How climate change is affecting	Посилання / References
<i>Viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) (Rhabdoviridae)</i> . Включено до списку МЕБ / Included to the OIE-listed diseases	Геморагічна септицемія / Viral haemorrhagic septicaemia (VHS)	<15°C	Епізооти трапляються при температурі 9–12°C; температура вище 15°C інгібує реплікацію вірусу і інфекції спостерігаються рідко; очікується скорочення сприятливого періоду для розвитку інфекції / Epizootics occur at a temperature of 9–12°C; temperature above 15°C inhibits virus replication and infections are rare; the reduction of the favorable period for development of an infection is expected	[27]
<i>Infectious haematopoietic necrosis virus (IHNV) (Rhabdoviridae)</i> . Включено до списку МЕБ / Included to the OIE-listed diseases	Інфекційний гематопоетичний некроз / Infectious haematopoietic necrosis (IHN)	<15°C	Лійна залежність між температурою, інкубаційним періодом та смертністю; при температурі <10°C хронічне захворювання та низка смертність, при температурі 10–12°C найвища смертність та при > 15°C смертність зменшується; очікується скорочення сприятливого періоду для розвитку інфекції зі зростанням температури / Linear relationship between temperature, incubation period and mortality; at a temperature <10°C chronic disease and lower mortality, at a temperature of 10–12°C the highest mortality and at a temperature > 15°C mortality decreases; expected to reduce the favorable period for the development of infection with increasing temperature	[28]
<i>Spring viraemia of carp virus (SVCV) (Rhabdoviridae)</i> . Включено до списку МЕБ / Included to the OIE-listed diseases	Весняна віремія коропа / Spring viraemia of carp (SVC)	10–17°C	При температурі понад 17°C у інфікованих особин масово виробляються специфічні антитіла; мальок може хворіти з клінічними ознаками при температурі до 23°C; ендемічне захворювання для України, трапляється у квітні та травні; очікується початок гострої інфекції у березні / At temperatures above 17°C in infected individuals the specific antibodies are produced; fingerlings may be diseased with clinical signs at temperatures up to 23°C; endemic disease for Ukraine, occurs in April and May; acute infection is expected to begin in March.	[29]
<i>Infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) (Birnaviridae)</i>	Інфекційний панкреатичний некроз / Infectious pancreatic necrosis (IPN)	10–28°C	Вірус стійкий до температури і зберігає свою інфекційність навіть через одну годину за температури 60°C; РНК-залежна РНК-полімераза вірусу більш активна за підвищених температур; захворювання ендемічне для України, вірус виділяється у лососевих видів природних популяцій; прогнозується поширення захворювання / The virus is resistant to temperature and saves its infectivity even after one hour at temperature of 60°C; RNA-dependent RNA polymerase of the virus is more active at elevated temperatures; the disease is endemic to Ukraine, the virus is isolated from salmon species of natural populations; the spread of the disease is predicted.	[30]
<i>Piscine orthoreovirus subtype 3 (PRV-3) (Reoviridae)</i>	Інфекційне запалення серця / Infectious heart inflammation	10–15°C	Хронічна та безсимптомна інфекція зі смертністю до 30%; зустрічається у лососевих як в природних популяціях, так і в умовах аквакультури; часто є вторинною інфекцією; захворювання розвивається при стресових умовах / Salmonids in both natural populations and aquaculture; often plays a role of secondary infection; the disease develops under stressful conditions.	[31]



Таблиця 2. Вплив глобального потепління на розвиготок ДНК-вмісних вірусів, що зустрічаються в аквакультурі України  
 Table 2. The impact of global warming on distribution of the DNA-viruses isolated in aquaculture of Ukraine

Патоген / Pathogen	Хвороба / Disease	Оптимальна температура / Optimal temperature	Як впливає зміна клімату / How climate change is affecting	Посилання / References
<i>Cyprinid herpesvirus-3</i> (CyHV-3), Koi herpesvirus (KHV) ( <i>Herpesviridae</i> ). Включено до списку МІБ / Included to the OIE-listed diseases	Герпесвірусна хвороба коропа / Koi herpes virus disease (KHVD)	16–28°C	Зустрічається в тропічних та помірних широтах; короп є найбільш чутливим видом; захворювання залежить від температури і розвивається за широкого діапазону при 16–25°C; відсутність захворюваності спостерігається при температурі нижче 13°C та понад 30°C. Високий ризик розвитку та поширення захворювання в Україні за рахунок підвищення середньорічної температури та імпорту риби / Occurs in tropical and temperate latitudes; carp is the most sensitive species; the disease depends on temperature and develops over a wide range at 16–25°C; no morbidity is observed at temperatures below 13°C and above 30°C. High risk of development and spread of the disease in Ukraine due to rising average annual temperature and fish imports.	[26]
<i>Carp Edema Virus</i> (CEV) ( <i>Poxviridae</i> )	Вісна коропа / Carp edema virus disease (CEVD), Koi sleepy disease	15–23°C	Вірус стає більш активним і викликає захворювання при теплих температурах весною та влітку, але захворювання виявляють майже цілий рік, навіть при температурі до 3°C; ендемічне захворювання для України, поширення вірусу неконтрольоване з рибопосадковим матеріалом / The virus becomes more active and causes disease at warm temperatures in spring and summer, but the disease is detected almost all year round, even at temperatures up to 3°C; endemic disease for Ukraine, the spread of the virus is uncontrolled with fish transportation.	[32]
<i>Acipenser Iridovirus European</i> (AcIv-E) ( <i>Iridoviridae</i> )	Іридовірусна інфекція осетрових / Sturgeon iridoviral disease	12–20°C	Найбільш характерні спалахи при температурі 15–20°C; епізоотії трапляються влітку і восени, коли температура води стає стабільною або знижується повільно; гостра інфекція спостерігається у віці 0+ та 1+; шість видів є чутливими; діапазон сприятливих температур для розвитку інфекції розширюється / The most characteristic outbreaks can occur at temperature between 15–20°C; epizootics occur in summer and autumn, when the water temperature becomes stable or decreases slowly; acute infection is observed at the age of 0+ and 1+; six species are sensitive; the range of favorable temperatures for the development of infection will expand.	[33]



Таблиця 3. Вплив глобального потепління на розвиток бактеріальних інфекцій риб, що зустрічаються в аквакультурі України  
 Table 3. The impact of global warming on the development of bacterial infections in fishes in aquaculture of Ukraine

Патоген / Pathogen	Хвороба / Disease	Оптимальна температура / Optimal temperature	Як впливає зміна клімату / How climate change is affecting	Посилання / References
<i>Renibacterium salmoninarum</i>	Бактеріальна хвороба нирок / Bacterial kidney disease (BKD)	>13°C	Найбільш важкі спалахи захворювання трапляються при температурі від 15 до 18°C; захворювання може нести хронічний характер та залежить від умов культивування чутливих видів лососевих / The most severe outbreaks occur at a temperature of 15 to 18°C; the disease can be chronic and depends on the cultivation conditions of sensitive salmon species.	[34]
<i>Flavobacterium columnare</i>	Колумнарна хвороба / Columnaris disease	>15°C	З підвищенням температури бактерії краще адгезуються на епітелій злібрової тканини; захворювання зустрічається в Україні; прогнозується поширення збудника / With increasing temperature, bacteria adhere better to the epithelium of gill tissue; the disease occurs in Ukraine; the spread of the pathogen is predicted.	[35]
<i>Yersinia ruckeri</i>	Єрсиніоз / Yersiniosis	>8°C	Температурний пік для розвитку гострої інфекції становить 15–18°C; зазвичай трапляється влітку на форелевих господарствах; ендемічне для України захворювання; прогнозується масовий характер інфекцій / The temperature peak for the development of acute infection is 15–18°C; usually occurs in the summer on trout farms; endemic disease for Ukraine; the mass character of infections is predicted	[36]
<i>Aeromonas salmonicida</i>	Фурункульоз / Furunculosis	>10°C	Спалахи захворювання у лососевих трапляються навесні, коли температура води швидко зростає; захворювання у молоді риб може виникати й за нижчих температур (4–8°C); прояв інфекції залежить від стресових умов / Outbreaks appear to be exacerbated during the spring, when the water temperature rises rapidly; the disease in young fish can occur at lower temperatures (4–8°C); the manifestation of infection depends on stressful conditions.	[34]
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Бактеріальна геморагічна септицемія / Bacterial haemorrhagic septicemia	15–35°C	Збудником захворювання є рухливі аеромонади; зустрічаються у різних водоймах та інфікують багато видів риб; захворювання поширене в Україні; зміна кліматичних умов у бік зростання температури сприятиме розвитку інфекції / The causative agent of the disease are mobile aeromonads; occur in various reservoirs and infect many species of fish; the disease is widespread in Ukraine; changing climatic conditions in the direction of rising temperatures will contribute to the development of infection.	[34]
<i>Flavobacterium psychrophilum</i>	Холодноводна хвороба, або флавобактеріоз / Rainbow trout fry syndrome (RTFS)	<10°C	Захворювання зазвичай спостерігається взимку; характерне для форелевих господарств; стадії личинки та малька більш чутливі до інфекції, що може супроводжуватися значними втратами; підвищення температури пригнічує патогена / The disease is usually observed in winter; characteristic for trout farms; stages of larvae and fry are more susceptible to infection, which can be accompanied by significant losses; increased temperature suppresses the pathogen	[35]
<i>Streptococcus</i> sp.	Стрептококова інфекція / Streptococcus infection	25–30°C	Дуже різноманітний діапазон чутливих видів; при високій температурі осетрові стають чутливі до стрептококової інфекції; ймовірно, й у інших тепловодних видів аквакультури України будуть виникати інфекції / A very diverse range of sensitive species; at high temperatures sturgeons become susceptible to streptococcal infection; other warm-water aquaculture species in Ukraine are also likely to develop infections.	[37]





Таблиця 4. Вплив глобального потепління на розвиток деяких паразитів, що зустрічаються в аквакультурі України  
 Table 4. The impact of global warming on the development of some parasites in aquaculture of Ukraine

Патоген / Pathogen	Хвороба / Disease	Оптимальна температура / Optimal temperature	Як впливає зміна клімату / How climate change is affecting	Посилання / References
<i>Ichthyophthirius multifiliis</i>	Іхтіофтіріоз / White spot (Ich)	>15°C	Чутливі види можуть бути носіями, але більшість спалахів трапляються при температурі > 15°C; вищі температури призводять до коротшого життєвого циклу паразита / Sensitive species may be carriers, but most outbreaks occur at temperatures > 15°C; higher temperatures lead to a shorter life cycle of the parasite.	[38]
<i>Argulus, Lernaea</i>	Ектопаразити / Ectoparasites	20–30°C	На життєвий цикл та розвиток личинкової стадії впливає температура води; при вищих температурах щільність паразитів вища, що має негативний вплив на рибу і ураженість може бути вищою, ніж зазвичай. Наприклад, оптимальний діапазон температур для <i>Lernaea</i> – 26–28°C, але якщо температура опуститься нижче 20°C, паразити не зможуть завершити свій розвиток, а при 14°C самки не розмножуються / The life cycle and development of the larval stage is influenced by water temperature; at higher temperatures, the density of parasites is higher, which has a negative impact on the fish and the damage may be higher than usual. For example, the optimal temperature range for <i>Lernaea</i> is 26–28°C, but if the temperature drops below 20°C, the parasites will not be able to complete their development, and at 14°C the females can not reproduce.	[39]



Сильна імунна система спостерігається за нормальних літніх значень температури для більшості видів риб. Значні температурні відхилення води відносно фізіологічного оптимуму можуть спричинити стрес, підвищити сприйнятливість до інфекції та смертність. Лососеві є стенотермними (толерантні до вузького діапазону температур), а коропові — евритермними (толерантні до широкого діапазону температур). Температура понад 13–16°C є стресовою для лососевих, що призводить до неоптимальних темпів росту, зниження активності та вищого ризику захворювання [41]. Популяції, що зазнають стресу, більш схильні до ураження умовно-патогенними збудниками, такими як *Aeromonas* sp. та *Flavobacterium* sp. Також важлива швидкість підвищення температури, що негативно впливатиме на імунну систему [42, 43].

Ряд ендемічних бактеріальних захворювань (наприклад, хвороба червоного рота (ERM) або ерсініоз, фурункульоз, бактеріальна септицемія, колумнарна хвороба, бактеріальна хвороба нирок) стануть більш поширеними, а їх контроль та лікування вимагатиме більше зусиль. Також варто брати до уваги поширення явища антибіотикорезистентності в аквакультурі та відсутність в Україні профілактичних засобів, таких як вакцини [44–46].

Спалахи деяких бактеріальних інфекцій лососевих пов'язані з підвищенням температури води. Зокрема, бактеріальну хворобу нирок (BKD) зазвичай спостерігають при температурі 13–18°C [47]. Температура є ключовим фактором виникнення фурункульозу (небезпечного захворювання в аквакультурі райдужної форелі); епізоотії, як правило, виникають, коли температура води перевищує 10°C. Єрсініоз (спричинений *Yersinia ruckeri*) - сезонне явище, яке відбувається в міру підвищення температури води навесні. Бактерія, асоційована з колумнарною хворобою (*Flavobacterium columnare*), активніше адгезується до зябрової тканини за вищої температури. Однак для інших бактеріальних захворювань, таких як холодноводна хвороба (викликана *Flavobacterium psychrophilum*), розвиток інфекції зазвичай спостерігається за температури, нижчої 10°C [48].

За низької температури навколишнього середовища у риби знижується метаболічна активність, що, в свою чергу, робить її більш сприйнятною до інфекцій в зимовий період. Більш того, коливання фізико-хімічних параметрів, таких як температура води, рН, розчинений у воді кисень, лужність, твердість, є сприятливими умовами для спалаху захворювання [49].

Ідентифікація хвороботворних збудників та їх впливу на метаболізм риб в залежності від стану навколишнього середовища є головним чинником управління захворюваннями риб. Методи молекулярної біології можуть бути дієвим інструментом для пошуку вдосконалених діагностикумів і боротьби з патогенами риб та епідеміології інфекційних хвороб [50]. Нині для скринінгу бактерій широко використовують полімеразну ланцюгову реакцію (ПЛР). За допомогою ПЛР ампліфікують ген, що кодує рибосомальну РНК (16S рРНК). Цей аналіз має низку переваг перед традиційними мікробіологічними методами. ПЛР дозволяє виявити патогенні мікроорганізми, в той час як звичайні мікробіологічні методи не ідентифікують наявність патогена у клінічних зразках. Крім того, у поєднанні з секвенуванням ДНК аналіз забезпечує точну ідентифікацію збудників інфекції [34].



### Вірусні захворювання

Щорічна тривалість спалахів герпесвірусної інфекції у коропових, ймовірно, зростатиме упродовж більш тривалого періоду кожного року. Ризиком у поширенні СуHV-3 (KHV) є також імпорт риби, свідченням чого є стрімке поширення вірусу у ЄС за останні 15 років [51]. При вищій температурі води хвороби, як правило, зустрічаються лише влітку, зокрема KHV, що розвивається за температури вище 15°C і нижче 29°C. Такі інфекції можуть мати більш тривалі періоди передачі, починаючи раніше навесні і закінчуючи пізніше восени. Підвищення температури води вплине на емерджентний вірус віспи коропових (CEV) [52]. На сьогодні це захворювання шириться у Європі, а в Україні є підтвердження, що даний збудник циркулює в коропових господарствах вже понад 10 років. До CEV чутливі короп та товстолоб [53].

Зміна клімату в першу чергу змінює рівень загрози, пов'язаної з найбільш небезпечними збудниками, внесеними до списку МЕБ [54]. Ризик вірусної геморагічної септицемії (VHSV), вірусного інфекційного гематопоетичного некрозу (IHNV) та весняної віремії коропа (SVCV) зменшиться, оскільки інфікування, як правило, відбувається лише тоді, коли температура води становить нижче 17°C. Підвищення температури може бути перевагою для коропівництва, що полягатиме в двох аспектах — тривалішому періоду фізіологічних температур та інгібуванні рабдовірусної інфекції. Холоднолюбиві види, такі як форель, навпаки, зазнають негативного впливу в процесі вирощування, але, з іншого боку швидке підвищення температури виявиться несприятливим для розвитку геморагічної септицемії та інфекційного гематопоетичного некрозу.

Здатність збудника до мутації дозволить йому швидко реагувати на нові можливості, створені зміною клімату, такі як встановлення нових видів-хазяїв [24]. Еволюція збудника знижує видовий бар'єр, тому нові штами, найімовірніше за все, розширять свій ареал хазяїв. РНК-вмісні віруси (наприклад, родина *Orthomyxoviridae*), мають вищий рівень мутації порівняно з іншими вірусами і, таким чином, більш ймовірно призведуть до появи нових захворювань або викликать інфекцію у нових господарів. Яскравим прикладом цього є вірус інфекційної анемії лосося (ISAV), який щонайменше двічі еволюціонував від природного авірулентного предка [55].

Патогени, що передаються горизонтально, особливо чутливі до зміни клімату, оскільки їм доводиться виживати короткий період часу за межами організму хазяїна, перш ніж заразити нового. Однак, даних про виживання збудників поза організмом хазяїна при різних температурах недостатньо. Показано, що виживання VHSV у морській воді негативно корелює із підвищенням температури води [56]. Аналогічно, IHNV та SAV (*Togaviridae*) довше виживають у навколишньому середовищі при нижчих значеннях температури води [57].

### Паразитарні захворювання

За вищої температури води час генерації бактерій, грибів та паразитів з прямими життєвими циклами скорочується. Це може збільшити чисельність популяцій збудників хвороб і, таким чином, сприятиме росту захворюваності та смертності риб. До роду *Argulus* належать паразити риб, що зазвичай мають один



генераційний цикл на рік, який однак може відбутися повторно при вищій температурі. Наприклад, *Argulus coregoni* — це ектопаразит, що інфікує лососевих і завдає значних збитків аквакультури. Поширення *A. coregoni* може спричинити негативні наслідки та потребувати необхідності масового застосування лікувальних та профілактичних засобів в аквакультури, що збільшить фінансові витрати. Інші паразити, що розмножуються в аквакультури в тепліших умовах, будуть вимагати значно ширших заходів контролю або лікування, чи більшої кількості циклів обробки для ефективної протидії захворюванню та контролю векторів патогенів [58].

Загальний вплив підвищеної температури на паразитів у прісноводних екосистемах включає: швидкий ріст і дозрівання, збільшення кількості поколінь на рік, підвищення захворюваності хазяїна, більш ранню і тривалу передачу, можливість безперервної цілорічної передачі. Зміни інших умов середовища також впливатимуть на чисельність паразитів. Наприклад, підвищення кислотності води може призвести до зменшення різноманітності паразитів та зникнення трематод. Зниження рівня води та коефіцієнта вологості збільшуватиме чисельність стадій розвитку паразитів [59].

Умови інфікування та вираження хвороби залежать від впливу температури на збудника та хазяїна, оскільки вони обидва потребують оптимального діапазону температур. Таким чином, загроза від ендемічних та екзотичних збудників є різною і залежить від температури. Підвищення термічного показника збільшить щорічні часові діапазони можливого розвитку гострої інфекції. Наприклад, спалахи проліферативної хвороби нирок (PKD) у форелі (*Oncorhynchus mykiss*) зазвичай трапляються при температурі води понад 15°C, при її опусканні нижче 10°C захворювання не виявляється. Лососеві можуть заразитися і захворювання перебігатиме в хронічній формі за несприятливих температур. Ендемічно заражені господарства запобігають хворобі, контролюючи температуру води. Підвищена температура може впливати на взаємодію «хазяїн–паразит» як безпосередньо, так і опосередковано шляхом збільшення кількості спор, що виділяються у воду, стимулювання проліферації паразитів та посилення імунної відповіді риби і призводити до більш серйозних уражень ниркової тканини через запальну відповідь [60].

З підвищенням температури води сезонні паразити можуть розмножуватися та інфікувати хазяїна упродовж усього року. *Ichthyophthirius multifiliis* — одне з основних захворювань, що уражує райдужну форель. Розвиток паразита залежить від температури води і більшість спалахів трапляються, коли вона перевищує 16°C [61]. Наприклад, ускладнений перебіг захворювання, спричиненого *Myxobolus cerebralis* у райдужної форелі, корелює з температурою [62].

Паразити з непрямими життєвими циклами (наприклад, трематоди, нематоди) можуть бути особливо чутливими до зміни клімату, якщо на чисельність та / або розповсюдження їхніх проміжних господарів впливає температура води. Результати цих захворювань є складнішими і важко прогнозованими. Проміжними господарями *Tetracapsuloides bryosalmonae* (паразит, що викликає PKD) є прісноводні мохуватки (*Bryozoa*). Повідомляється, що вищі показники температури збільшують розповсюдження як *T. bryosalmonae*, так і прісноводних мохуваток, що призводить до підвищення рівня небезпеки для людей у тому ж



середовищі [63]. Деякі дослідження припускають, що паразит *Argulus foliaceus* може діяти як механічний вектор SVCV [64]. Ефект потепління сприятиме росту популяції *Argulus*, що може підвищити частоту передачі весняної віремії коропа [58].

### Прогнози на майбутнє

Вже сьогодні існує потреба розробки високоспецифічних стратегій для вирішення конкретних завдань, а саме проведення племінної програми для створення стійких видів риб до підвищеної температури або солоності води. Подібні програми нададуть можливість розведення риби в регіонах, в яких, як очікується, буде значне підвищення температури [65]. Патогени будуть завдавати більших збитків в аквакультурі, особливо в тропічних та субтропічних регіонах, і в майбутньому об'єкти рибництва матимуть вищу кумулятивну смертність та швидке прогресування захворювань, які, до того ж, мають потенціал поширюватися географічно. Тому реалізація програм біобезпеки буде життєво важливою для запобігання економічним втратам в аквакультурі [66].

Моделювання допоможе визначити найбільш уразливі сектори аквакультури на основі географічних даних та адаптивних можливостей об'єктів рибництва. Однак складність цих біологічних систем та недосконалість наявних даних для моделювання означає, що системи біозахисту в галузі, методи реагування на надзвичайні ситуації (включаючи системи моніторингу та повідомлення про захворювання) та менеджмент здоров'я водних біоресурсів повинні бути добре забезпечені фінансово. Важливо щоб органи державного управління та виробники разом забезпечували керування біоризиками, пов'язаними зі збільшенням частоти надзвичайних погодних явищ. Одним із серйозних наслідків погодних катаклізмів в Україні, таких як повені, є підвищений ризик виходу об'єктів аквакультури із систем утримання у природне середовище. Це може становити ризик захворювання природних популяцій гідробіонтів.

Ризик появи екзотичних збудників, таких як епізоотичний гематопоестичний некроз (EHNV) та епізоотичний виразковий синдром (EUS), збільшиться. Заходи щодо зменшення загрози екзотичних збудників потребують перегляду для врахування відповідних змін кліматичних умов. Підвищення температури води та вплив екстремальних погодних явищ можуть негативно змінити прісноводне середовище як для популяцій лососевих у природі, так і для фермерських, підвищуючи їхню сприйнятливість до хвороб та частоти появи захворювань. Для природних популяцій слід організувати спостереження в тих місцях, де поява хвороби внаслідок зміни клімату є найбільш імовірною. В таблицях 5 та 6 представлено перелік збудників та захворювань, які прогнозовано можуть з'явитися на теренах України у зв'язку з глобальним потеплінням.

Ймовірність інтродукції транскордонних захворювань, екзотичних для України, з температурними порогами, нижче яких не відбувається зараження, наприклад, вірус епізоотичного гематопоестичного некрозу (EHNV), *Lactococcus garvieae* та *Aphanomyces invadans*, збільшується в міру підвищення температури води. Спалахи *L. garvieae* виникають, коли вона перевищує 16°C. Ризик адаптування екзотичних паразитів, що походять з тепліших середовищ, зростатиме пропорційно підвищенню температури води [69].



Таблиця 5. Екзотичні вірусні захворювання, які можуть становити загрозу популяціям риб в Україні внаслідок глобального потепління  
Table 5. Exotic viral diseases that could pose a threat to fish populations in Ukraine due to the global warming

Патоген / Pathogen	Хвороба / Disease	Оптимальна температура / Optimal temperature	Як впливає зміна клімату / How climate change is affecting	Посилання / References
<i>Veterovirus</i> ( <i>Nodaviridae</i> ). Включено до списку МЕБ / Included to the OIE-listed diseases	Вірусна енцефалопатія та ретинопатія, некроз нервової тканини. Viral Encephalopathy and Retinopathy (VER). Viral nervous necrosis (VNN)	15–30°C	Висококонтагіозне захворювання морських видів риб; повідомляється про понад 50 чутливих видів; вода є основним абіотичним вектором; зустрічається як у тропіках, так і в помірних регіонах; спалахи, пов'язані з температурою води; температура вище 31°C стримує розповсюдження вірусу; деякі види, такі як атлантичний палтус, хворіє при 6°C; в Україні вірус може зустрічатися у чутливих видів риб Чорного та Азовського морів: лаврак, камбала та ін.; підвищення температури буде сприяти розвитку інфекції / Highly contagious disease of marine fish species; more than 50 susceptible species have been reported; water is the main abiotic vector; occurs in both the tropics and temperate regions; water temperature outbreaks; temperatures above 31°C inhibits the spread of the virus; some species, such as <i>Atlantic halibut</i> , get diseased at 6°C; in Ukraine, the virus can be found in sensitive fish species of the Black Sea and Sea of Azov: sea bass, flounder, etc; high temperature will contribute to the development of infection	[67]
<i>Salmonid alphavirus</i> (SAV). ( <i>Togaviridae</i> ) Включено до списку МЕБ / Included to the OIE-listed diseases	Сонна хвороба у форелі / Sleeping disease in trout	<11°C	Спалахи виникають при температурі до 10°C, максимальна реплікація вірусу відбувається при 10°C, незначна реплікація присутня при 14°C; хвороба поширена у холодноводних регіонах; в Україні захворювання може бути інтродуковано шляхом імпорту інфікованої риби; розвиток хвороби можна очікувати тільки в холодноводних господарствах за стабільно низької температури води / Outbreaks appear at temperatures up to 10°C, the maximum replication of the virus occurs at 10°C, slight replication is present at 14°C; the disease is common in cold water areas; in Ukraine, the disease can be introduced by importing infected fish; the development of the disease can be expected only in cold-water farms at a consistently low water temperature.	[31]
<i>Epizootic haematopoietic necrosis virus</i> (EHNV). Включено до списку МЕБ / Included to the OIE-listed diseases	Епізоотичний гематопоеітичний некроз / Epizootic haematopoietic Necrosis (EHN)	>11°C	Тривалий інкубаційний період спостерігається за низьких температур; захворювання характерне для субтропічних та помірних широт; вірус може бути індродукований в Україні через акліматизацію чутливих видів (напр., великоротий окунь, або форелекунь ( <i>Micropterus salmoides</i> ) / A long incubation period is observed at low temperatures; the disease is characteristic of subtropical and temperate latitudes; virus can be introduced in Ukraine due to acclimatization of sensitive species (eg largemouth bass <i>Micropterus salmoides</i> )	[68]
<i>Ascipenser herpesvirus</i> (AchV) ( <i>Herpesviridae</i> )	Герпесвірусна інфекція осетрових / Sturgeon herpesviral disease	13–17°C	Захворювання частіше трапляється у молодших вікових груп і може виникати при різних температурах (12°C і вище). Риба може бути інфікована хронічно і проявляти гострі симптоми за сприятливих для вірусу температур. Існує ризик поширення захворювання через імпорту рибопосадкового матеріалу / Diseases are more common in early age groups and can occur at different temperatures (12°C and above). Fish can be chronically infected and show acute symptoms at favorable temperatures for the virus. There is a risk of spreading the disease through imports of fish stocks.	[31]



Таблиця 6. Екзотичні бактеріальні, паразитарні та грибові захворювання, які можуть становити загрозу популяціям риб в Україні внаслідок глобального потепління

Table 6. Exotic bacterial, parasitic and fungal diseases that may pose a threat to fish populations in Ukraine due to global warming

Патоген / Pathogen	Хвороба / Disease	Оптимальна температура / Optimal temperature	Як впливає зміна клімату / How climate change is affecting	Посилання / References
<i>Lactococcus garvieae</i>	Лактококусна інфекція / Lactococcosis	>16°C	<b>Бактеріальні захворювання / Bacterial diseases</b> Патоген характерний для лососевих; гостра інфекція розвивається при 18°C, але інколи трапляється й при 14°C; захворювання може зустрічатися на території України при зміні клімату та підвищенні середньорічної температури / The pathogen is common for salmonids; acute infection develops at 18°C, but sometimes occurs at 14°C; the disease can occur in Ukraine during climate change and high average annual temperatures.	[69]
<i>Tetracapsuloides bryosalmonae</i>	Проліферативна хвороба нирок / Proliferative kidney disease (PKD)	>15°C	<b>Паразитарні захворювання / Parasitic diseases</b> При низьких температурах спостерігається хронічна інфекція; клінічно хворі особи виявляються при 15-20 °C; чим вища температура води, тим ефективніше відбувається розвиток паразита; носіями є представники природних популяцій / At low temperatures there is a chronic infection; clinically ill individuals are detected at 15-20 °C; the higher the water temperature, the more effective the development of the parasite; carriers are representatives of natural populations	[63]
<i>Aphanomyces invadans</i> , <i>A. piscicida</i> . Включено до списку МЄБ / Included to the OIE-listed diseases	Епізоотичний виразковий синдром / Epizootic Ulcerative Syndrome (EUS)	18–22°C	<b>Грибові захворювання / Fungal diseases</b> Сезонне захворювання прісноводних та лиманових видів риб; найкраще патоген розвивається за 20°C; підвищена солоність зупиняє поширення патогена; 97 видів риб є чутливими; дані про вектори збудника відсутні; передача горизонтальна; спалахи, зазвичай, пов'язані з прохолодними місяцями року; клінічне захворювання не виникає при температурі понад 25°C; може становити ризик для господарств півдня України / Seasonal disease of freshwater and estuarine fish species; the pathogen develops better at 20°C; excessive salinity stops the spread of the pathogen; 97 species of fish are sensitive; data on pathogen vectors are missing; horizontal transmission; outbreaks, usually associated with the cool months of the year; clinical disease does not occur at temperatures above 25°C; this disease may pose a risk to farms in southern Ukraine.	[70]



Міжнародна торгівля водними біоресурсами призвела до транскордонного поширення збудників хвороб. Вважається, що торгівля декоративними видами риб є основною причиною швидкого глобального поширення герпесвірусу кої (KHV) [51]. Є дані, що при підвищенні температури морської води географічний ареал деяких видів риб змінюється, оскільки вони прагнуть залишатися у оптимальних умовах і тому мігрують на північ [71]. Такі переміщення можуть бути важливим шляхом поширення збудника в морському середовищі і в результаті — у прісноводні водойми, хоча міграція прісноводних видів й обмежена природними бар'єрами.

Вищі показники температури знижують рівень розчиненого кисню та збільшують швидкість розкладання органічних речовин. Концентрація поживних речовин підвищить рівень евтрофікації та частоту «цвітіння» водоростей. Зниження швидкості річкового потоку (наприклад, у періоди невеликої кількості опадів) може знизити якість води за рахунок підвищеного вмісту забруднювачів. Токсичність загальних забруднювальних речовин (наприклад, фосфорорганічних сполук та важких металів) за високих температур, як правило, зростає. Відомо, що значні опади в короткі терміни перевантажують потужність очисних споруд, і неочищені стічні води можуть потрапляти в річки, що призводить до раптових падінь концентрації розчиненого кисню та масштабні загибелі риби. Підвищене окиснення може посилити розповсюдження патогенів та дію забруднювачів [72].

Погана якість води може скоротити популяції гідробіонтів, які є важливими в трофічних ланцюгах. Нестача їжі разом із швидкою деградацією середовища існування (погана якість води та гідродинамічні зміни) можуть, зокрема, зменшити щільність популяції лососевих, а отже, знизити швидкість передачі збудника. Або навпаки, повільні річкові потоки влітку (які спостерігатимуться під час посух) перешкоджатимуть поверненню вгору за течією мігруючих видів риб, що йдуть на нерест. Отже, «скупчуючись у повільній воді» риби застануть умови, що сприяють поширенню патогенів та їх репродукції. Високі значення температури у верхніх шарах та гіпоксія у нижніх шарах озер можуть призвести до вищої щільності риб у лімітованій ділянці, де умови оптимальні для збільшення швидкості передачі збудника [73].

Захворювання — результат взаємодії господаря, збудника та навколишнього середовища. Температура води впливає на всі елементи тріади захворювання. Найголовніше, що взаємодія між імунною відповіддю та реплікацією збудника залежить від температури. Збудник і хазяїн матимуть оптимальний температурний діапазон відповідно до реплікації та імунної відповіді. Підвищення температури води буде по-різному корисним для збудника чи хазяїна, зміщуючи результат у напрямку захворювання та смертності чи імунітету та одужання [74].

Таким чином, взаємодія «хазяїн-патоген» є найважливішим для оцінки ризику і його необхідно враховувати для кожної комбінації. Ряд ендемічних захворювань, таких як ерсініоз, бактеріальна септицемія, бактеріальна хвороба нирок, проліферативна хвороба нирок та іхтіофтіріоз, наймовірніше, зустрічатимуться частіше. Підвищення температури та погіршення якості води в навколишньому середовищі негативно вплинуть на лососевих та підвищать їх





сприйнятливості до хвороб більшою мірою, ніж у коропових та осетрових, збільшивши ризик появи захворювань у природних та штучних популяціях. Швидкість розмноження бактерій зростає з підвищенням температури води, що збільшує рівень небезпеки, а отже, сприятиме розвитку епізоотій. Зміна клімату може негативно вплинути на сприйнятливості хазяїв через підвищення температури води та опосередковано через зниження якості води. Бактерії є стійкими до високих температур тому ймовірність змін у їхній життєдіяльності з підвищенням температури є низькою.

Математичне моделювання взаємозв'язків між змінами параметрів навколишнього середовища та їхнім впливом на гідробіонтів та збудників хвороб може допомогти визначити вірогідні результати впливу на епізоотії. Географічні інформаційні системи та дистанційне зондування можуть бути використані для оцінки змін розповсюдження та ступеня впливу патогенних мікроорганізмів у залежності від їхнього просторового розташування. Дана інформація може бути використана для прогнозування міграції морських видів на північ та зміни просторової організації ризиків захворювання зі збільшенням температури води, що надасть можливість визначення особливо вразливих популяцій. Наприклад, картографування температури води дозволяє визначити, які ареали піддаються найбільшому ризику від інтродукції EHNV [68].

Інтенсивне та напівінтенсивне ведення аквакультури має змогу адаптуватися та пом'якшити вплив екологічних змін. Наприклад, рециркуляційні акваріальні системи (РАС) можуть розглядатися як такі, що значною мірою не відчують наслідків змін клімату. Однак на ці системи припадає лише дуже мала частка аквакультури. У довгостроковій перспективі аквакультура буде реагувати на зміни клімату та використовувати нові види, адаптовані до вищих температур. Мінімізація викидів (наприклад, покращення стоку та запобігання скиду неочищених стічних вод) та інші заходи можуть певною мірою пом'якшити негативний вплив зміни клімату на якість води. Також важливо передбачити постачання достатньої кількості води у річки (наприклад, із водосховищ) під час посух. Такий підхід повертає параметри середовища до природних, що забезпечує безперервну міграцію риб, мінімізуючи скупчення і, відповідно, стрес та посилення передачі патогенів.

Зміна температури вплине на аквакультуру, збільшуючи ризик спалаху хвороб внаслідок послаблення імунної відповіді, зменшення стійкості риб, розповсюдження паразитів та патогенних мікроорганізмів. Аквакультура характеризується значно більшим видовим різноманіттям, порівняно з тваринництвом, отже, вплив кліматичних змін на неї є значно складнішим. Крім того, у виробничих технологіях тваринництва та рибництва можуть застосовуватись різні умови контролю епізоотій [75].

Антропогенна діяльність, евтрофікація та глобальне потепління вважаються основними причинами розповсюдження захворювань риб [76]. Очікується, що на відносини «хазяїн-паразит» впливатимуть численні чинники, такі як розширення діапазону патогенів, посилення вірулентності, зниження імунного статусу хазяїна та збільшення частоти спалахів хвороби [73, 77, 78] (табл. 7).



Таблиця 7. Причини, шляхи та наслідки зміни клімату для емергентних захворювань риб [25]  
 Table 7. The reasons, ways and consequences of climate change for emerging fish diseases [25]

Причини / Reasons	Шляхи / Ways	Наслідки / Consequences			
		Нове емергентне захворювання / New emerging disease	Новий хазяїн / New host	Нова локація/ підвищена дистрибуція / New location/ increased distribution	Поширеність / контагіозність / Prevalence / contagiousness
Інтродукція патогену / Pathogen introduction	Зміна клімату сприятиме появі нових шляхів та/або підвищить частоту проникнення збудників існуючими маршрутами / Climate change will promote the emergence of new routes and / or increase the frequency of penetration of pathogens along existing routes	x	x		
Мутації, швидкість реплікації, вірулентність та велика кількість збудника / Mutations, replication rate, virulence and large number of pathogens	Потенціал збудника розвиватися при використанні нових можливостей, наданих зміною клімату, та вплив температури на швидкість розмноження й вірулентність / The potential of the pathogen to develop using the new opportunities provided by climate change and the impact of temperature on the rate of reproduction and virulence	x			
Чутливість хазяїна / Host sensitivity	Стрес для хазяїна та вплив кліматичних змін на його сприйнятливість / Stress for the host and the impact of climate change on its susceptibility			x	x
Взаємодії патоген-хазяїн / Pathogen-host interactions	Вплив зміни клімату на взаємодію хазяїна та збудника (в результаті чого відбудуться зміни в ознаках хвороби) / The impact of climate change on the interaction of the host and the pathogen (resulting in changes in the symptoms of the disease)			x	x
Вектори, проміжні та альтернативні хазяї / Vectors, intermediate and alternative hosts	Вплив зміни клімату на переносників, проміжних та альтернативних господарів / Impact of climate change on vectors, intermediate and alternative hosts			x	x
Контакт між тваринами та їх переміщення / Contact between animals and their movement	Вплив зміни клімату на контакти між тваринами (через зміни в міграції, переміщенні та змішуванні різних популяцій) / Impact of climate change on contact between animals (due to changes in migration, displacement and mixing of different populations)			x	x
Екологічні маршрути / Ecological pathways	Вплив зміни клімату на екологічні шляхи поширення збудника (наприклад, донні відклади або вода) / Impact of climate change on the ecological pathways of the pathogen (eg bottom sediments or water)				x



Підвищення температури на 2–3°C призведе до високого ризику вимирання від 20 до 30% видів водної флори і фауни, в той час як паралельно будуть відбуватися серйозні зміни структури та функцій морських та прісноводних екосистем. Зміна клімату матиме суттєвий вплив на поширення паразитів та хвороб у водних екосистемах [79].

Кліматичні зміни вплинуть на патогенів не лише безпосередньо, але й опосередковано — шляхом змін у поширенні та чисельності їх хазяїв. Виникнення захворювання буде пов'язане зі змінами в екології хазяїв чи збудників хвороб, або їх обох [80]. Найбільш очевидні ефекти, ймовірно, будуть наслідком розширення географічного кола збудників хвороб. Крім того, підвищена температура викликати стрес у водних тварин, що призведе до зниження темпів їх росту, появи нехарактерної поведінки та зміни імунікомпетентності [81].

Такі чинники як зміна середовища існування, інвазивні види, сільськогосподарська практика та діяльність людини будуть відігравати важливу роль у контролі поширення та кількості хвороботворних мікроорганізмів. Механізми, за допомогою яких наслідки глобального потепління впливатимуть на виникнення захворювань, проілюстровані на рисунку 1. Наслідки зміни клімату не обмежуються виключно температурним впливом на хазяїв та їхніх паразитів, але також включають: зміни рівнів води та режимів течії, евтрофікацію, стратифікацію, зміни рН середовища, танення льодовиків, зміни шляхів океанічних течій, стічні води, погодні катаклізми [82].

Будь-які негативні ефекти зміни клімату на біорізноманіття можуть вплинути на передачу захворювань, оскільки видове розмаїття гідробіонтів може виступати в якості захисного механізму проти поширення хвороб [83]. Антропогенні зміни, що впливають на біорізноманіття, збільшать ризик захворювання. Епідеміологічні моделі дозволяють припустити, що видове біорізноманіття може буферизувати виникнення захворювання, коли передача залежить від вектора або проміжного господаря. Це матиме значні наслідки, якщо зі зміною клімату збудники поширюватимуть діапазон свого ареалу з ділянок із значним різноманіттям, таких як тропіки, в райони низького — наприклад, більш помірні екосистеми [84].

Важливе значення має не тільки біологічна різноманітність, але й структура трофічних ланцюгів, що також впливає на виникнення хвороб та паразитизму. Будь-які випадки, що зменшують чисельність хижаків, можуть знижувати рівень смертності жертв, що призводить до виникнення епізоотій, залежних від щільності у популяціях їх здобичі. Причиною цього явища може бути збільшення кількості захворювань у популяціях, де збудник вже існує, або через поширення інфекції переходить до нових чутливих видів. Таким чином, зміни на вищих трофічних рівнях, які тримають хворобу під контролем, можуть призвести до спалахів захворювання і на нижчих рівнях взаємодій [85].



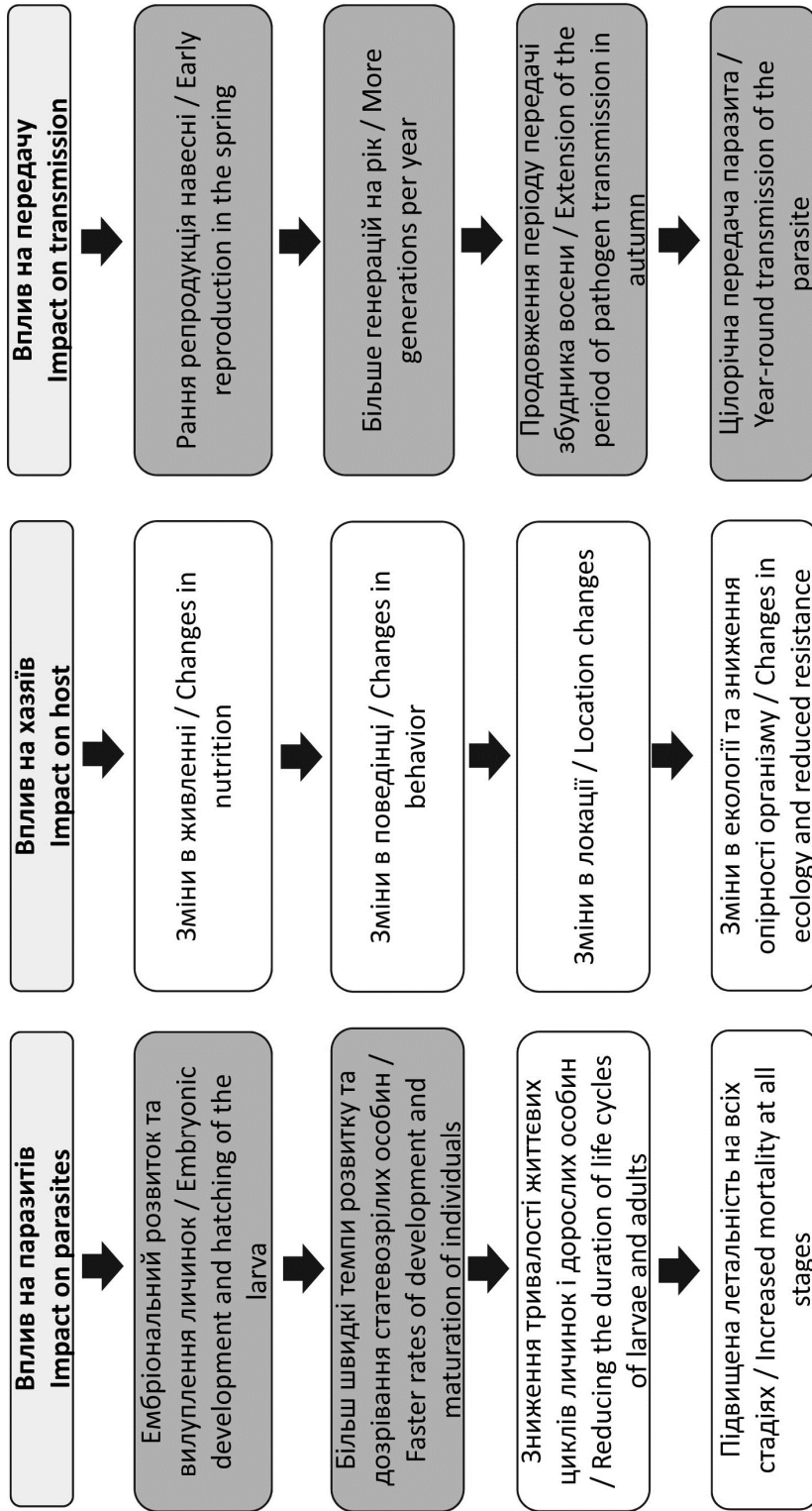


Рисунок 1. Наслідки та вплив змін клімату на життєві цикли паразитів, їхніх господарів та процеси передачі [59]  
 Fig. 1. The effects of climate change and the impact on the life cycles of parasites, their hosts and transmission processes [59]



## ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Незалежно від ризиків захворювань, подальший розвиток сучасної аквакультури та глобальної торгівлі її продукцією є безсумнівним. Обґрунтовані кількісні дані щодо залежності ступеня ризику захворювань від кліматичних змін відсутні. Однак, виходячи з основних принципів інфекційних хвороб та ролі стресу в їх розвитку, можна зробити деякі прогнози щодо ймовірного впливу зміни клімату на збільшення ролі екзотичних та емерджентних захворювань в аквакультурі України. Вплив глобальних змін клімату на інфекційні захворювання наразі залишається гіпотетичним, поки не буде узагальнено дані в довгостроковій перспективі стосовно ступеня зміни середньорічної температури та інших чинників навколишнього середовища. Роль чинників екологічного тиску, зокрема, перепадів температури, зміни солоності, кислого рН та низького рівня розчиненого кисню для появи стресу у риби та пригнічення її імунної системи були визнані давно. Як наслідок, частота спалахів захворювань та темпи передачі збудника часто збільшуються під час змін у навколишньому середовищі. Особливо серйозні проблеми можуть виникнути, коли кліматичні зміни, пов'язані з екологічними перебудовами, не тільки пригнічують стан хазяїна, але й надають перевагу збуднику. Підвищення температури та солоності внаслідок зміни клімату викликає особливе занепокоєння.

Спалахи інфекційних захворювань у гідробіонтів пов'язані з кліматичними змінами, але інколи важливу роль відіграють й антропогенні чинники. Існують докази, що передача збудників інфекційних хвороб риб і, можливо, їх вірулентність посиляться із глобальним потеплінням [6, 16, 18]. Однак наслідки зміни клімату будуть накладатися на безліч інших антропогенних екологічних перетворень. Більше того, інфекційні агенти можуть діяти синергічно з антропогенними чинниками та посилювати згубний вплив глобального потепління на популяції водних біоресурсів [86, 87]. Можна зробити висновок, що кліматично опосередкований фізіологічний стрес може поставити під загрозу стійкість в аквакультурі та підвищити сприйнятливність до хвороб у морських та прісноводних екосистемах [88].

Оцінка біологічного впливу внаслідок зміни клімату виявилась більш складною, ніж передбачалося, і вчені повинні враховувати не лише температуру, а й інші чинники. Можливі майбутні рішення та дослідження потребують розробки нових стратегій адаптації до найгіршого сценарію. Нові технології та альтернативні локації ведення господарства — це одне з рішень, які можуть допомогти зберегти здоров'я гідробіонтів. Однак можливі заходи потребують додаткової інформації та знань.

Розуміння взаємодії між збудниками інфекційних захворювань та чутливими видами в аквакультурі за кліматичних змін, визначення потенційних біоризиків і відповідних стратегій реагування та пом'якшення їх наслідків повинні бути основними напрямками майбутніх досліджень та розробок, якщо людство планує до 2050 р. забезпечити продуктами рибальства та аквакультури 9 мільярдів людей.

Зміна клімату вплине на водне середовище, що збільшить становлення та поширення екзотичних паразитів й збудників інфекційних хвороб. Національна біозахисність може потребувати періодичного перегляду з урахуванням зміни



загроз емерджентних захворювань. Багато ендемічних захворювань розвиваються у чітких температурних діапазонах (для вираженої інфекції), а підвищення температури води призведе до збільшення як їх географічного поширення, так і частоти прояву. Тому необхідно враховувати вплив підвищення температури води для кожної комбінації збудника та специфічного хазяїна. Загалом, хвороби риб набуватимуть більшого поширення та потребуватимуть нових підходів в аквакультурі та заходах боротьби з патогенами.

Патогени можуть регулювати популяції господарів, впливаючи на склад, структуру та функціонування біологічних спільнот. Такі масштабні зміни матимуть серйозні наслідки не лише для населення планети, а й для галузей, які залежать від цих екосистем та їх біологічних ресурсів, таких як рибальство, аквакультура та екотуризм. Більше того, управління прибережною зоною буде поставлено перед завданнями адаптуватися під впливом нового екологічного та соціально-економічного тиску.

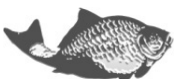
Перепади температури внаслідок кліматичних перебудов матимуть значний вплив на рибальство та аквакультуру. Зміни клімату негативно впливають на рибальство, завдаючи шкоди важливим екосистемам і спричиняючи скорочення рибних запасів у результаті підвищення температури води та зменшення видової різноманітності планктону. Це може мати значний вплив на глобальну продовольчу безпеку та зайнятість рибного господарства в районах, особливо вразливих до впливу кліматичних змін. Слід передбачити належну ідентифікацію захворювань водних біоресурсів у різних умовах навколишнього середовища та алгоритм протидій епізоотіям в аквакультурі.

## ЛІТЕРАТУРА

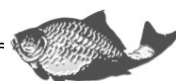
1. World Bank. Fish to 2030: Prospects for Fisheries and Aquaculture (English). Agriculture and Environmental Services Discussion Paper; No. 3 (World Bank Group, Washington DC, 2013).
2. FAO. 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
3. Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R. et al. Feeding 9 billion by 2050 – Putting fish back on the menu // Food Sec. 2015. 7. P. 261–274. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0427-z>
4. Béné, C. et al. Contribution of fisheries and aquaculture to food security and poverty reduction: assessing the current evidence // World Dev. 2016. V.79. P. 177–196.
5. Brugère C., De Young C. Assessing climate change vulnerability in fisheries and aquaculture: available methodologies and their relevance for the sector. // FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 597. 2015. Rome, Italy. 86 pp.
6. Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. & Poulain, F., eds. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options // FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. 2018. No. 627. Rome, FAO. 628 pp.
7. Cheung, W., Sarmiento, J., Dunne, J. et al. Shrinking of fishes exacerbates impacts of global ocean changes on marine ecosystems // Nature Clim Change. 2013. V. 3. P. 254–258. <https://doi.org/10.1038/nclimate1691>



8. Comte L., Olden J.D. Climatic vulnerability of the world's freshwater and marine fishes // *Nature Climate Change*. 2017. 7(10). Advance online publication DOI: 10.1038/nclimate3382
9. Suweis, S., Carr, J. A., Maritan, A., Rinaldo, A. & D'Odorico, P. Resilience and reactivity of global food security // *PNAS* 112. 2015. P. 6902–6907.
10. Fraile, I., Arrizabalaga, H., Groeneveld, J., Kölling, M., Santos, M. N., Macías, D., Rooker, J. R. The imprint of anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions on Atlantic bluefin tuna otoliths // *Journal of Marine Systems*. 2016. V.158. P. 26–33. doi:10.1016/j.jmarsys.2015.12.012
11. Breitburg D., Levin L., Oschlies A., et al. Declining oxygen in the global ocean and coastal waters // *Science*. 2018. Vol. 359, Is. 6371, eaam7240 DOI: 10.1126/science.aam7240.
12. Limburg K., Olson C., Walther Y., et al. Tracking Baltic hypoxia and cod migration over millennia with natural tags // *PNAS*. 2011. Vol. 108(22). P. 177–182. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100684108>
13. Falconer, L., Hjøllø, S. S., Telfer, T. C., McAdam, B. J., Hermansen, Ø., & Ytteborg, E. The importance of calibrating climate change projections to local conditions at aquaculture sites // *Aquaculture*. 2019. 734487. doi:10.1016/j.aquaculture.2019.734487
14. Cochrane, K., De Young, C., Soto, D. and Bahri, T. Climate change implications for fisheries and aquaculture // *FAO 2009 Fisheries and aquaculture technical paper*: 530: 212.
15. Gislason, H., Daan, N., Rice, J. C. & Pope, J. G. Size, growth, temperature and the natural mortality of marine fish // *Fish. Fish.* 2010. V.11. P. 149–158.
16. Winfield, I. J., Baigún, C., Balykin, P. A., Becker, B., Chen, Y., Filipe, A. F. and Kutsyn, D. N. International perspectives on the effects of climate change on inland fisheries // *Fisheries*. 2016. V.41(7). P. 399-405. DOI:10.1080/03632415.2016.1182513
17. Adhikari, S., Keshav, C. A., Barlaya, G., Rathod, R., Mandal, R. N., Ikmail, S. and Sarkar, S. Adaptation and Mitigation Strategies of Climate Change Impact in Freshwater Aquaculture in some states of India // *Journal of Fisheries Sciences*. 2018. V.12(1). P. 16–21
18. Chiaramonte L., Munson D., Trushenski J. Climate Change and Considerations for Fish Health and Fish Health Professionals // *Fisheries*. 2016. Vol. 41:7. P. 396–399. DOI: 10.1080/03632415.2016.1182508
19. Zinsstag J., Crump L., Schelling E., et al. Climate change and One Health // *FEMS Microbiology Letters*. 2018. Vol. 365 (11), fny085. <https://doi.org/10.1093/femsle/fny085>
20. Bowden, T. J., Thompson K. D., Morgan A. L., Gratacap R. M. L., and Nikoskelainen S. Seasonal variation and the immune response: a fish perspective // *Fish Shellfish Immunol*. 2007. V. 22, P. 695–706.
21. FAO. *The Future of Food and Agriculture – Trends and Challenges*. (Rome, 2017).
22. Ern, R., Huang, D., Cong, N., Bayley, M. & Wang, T. Effect of salinity on oxygen consumption in fishes: a review // *J. Fish. Biol.* 2014. V.84, P. 1210–1220.
23. Walker P. J & Mohan C.V. Viral disease emergence in shrimp aquaculture: origins, impact and the effectiveness of health management // *Reviews in Aquaculture*.



2009. V.1. P.125–154.
24. Gale, P., Drew T., Phipps L. P., David G., and Wooldridge M. The effect of climate change on the occurrence and prevalence of livestock disease in Great Britain: a review. // *J. Appl. Microbiol.* 2009. V.106. P. 1409–1423.
25. Marcos-Lopez M., Gale P., Oidtmann B.C., Peeler E.J. Assessing the Impact of Climate Change on Disease Emergence in Freshwater Fish in the United Kingdom // *Transboundary and Emerging Diseases.* 2010. V.57. P. 293–304 doi:10.1111/j.1865-1682.2010.01150.x
26. Rud Yu.P., Maistrenko M.I., Buchatsky L.P. Polymerase chain reaction for identification of Cyprinid Herpesviruses in Ukraine // *Biotechnologia acta.* 2018. Vol. 11, №1. P. 58–63.
27. Rud Yu. Isolation of Infectious hematopoietic necrosis virus (IHNV) and Viral hemorrhagic septicemia virus (VHSV) in Ukraine // *Current Advances in Pathogen Research*, March 25 – 31, 2019, Yerevan, Armenia. Abstract Book. P. 37–38.
28. Rud Yu., Buchatsky L.P. First detection of Infectious hematopoietic necrosis virus (IHNV) in Ukraine // *Bioresources and Viruses*, Sep 9-11, 2019, Kyiv, Ukraine. Abstract book.
29. Rud Yu.P., Matvienko N.M., Buchatski L.P. Characterisation of a newly isolated SVCV strain in Ukraine // *Biologija.* 2019. Vol. 65. No. 3. P. 165–173.
30. Rud Yu., Maistrenko M., Buchatsky L. Characterization of an infectious pancreatic necrosis virus from rainbow trout fry (*Onchorhynchus mykiss*) in West Ukraine // *Virologica Sinica.* 2015. Vol 30 (3). P. 231–233.
31. Бучацький Л.П., Рудь Ю.П., Матвієнко Н.Н. Вирусні інфекції осетров і лососей. К.: ДІА. 2020. 240 с. - ISBN 978-617-7785-10-0.
32. Lewisch E., Gorgoglione B., Way K., El-Matbouli M. Carp Edema Virus/Koi Sleepy Disease: An Emerging Disease in Central-East Europe // *Transboundary and Emerging Diseases.* 2015. V.62. P. 6–12.
33. Rud Yu., Bigarre L., Buchatsky L.P. First detection of a sturgeon mimivirus in Ukraine // *19th International Conference on Diseases of Fish and Shellfish*, Porto, Portugal, September 09-13, 2019. Abstract book.
34. Рудь Ю.П., Залоїло О.В., Бучацький Л.П. Експрес-діагностика чотирьох патогенних бактерій у райдужної форелі *Onchorhynchus mykiss* // *Ветеринарна медицина.* 2017. Вип. 103. С. 146–148.
35. Рудь Ю.П. Експрес-діагностика флавобактеріозу риб методом полімеразної ланцюгової реакції // *Сільськогосподарська мікробіологія.* 2013. Вип. 18. С. 132–145.
36. Рудь Ю.П., Циганок І.О. Молекулярна діагностика *Yersinia ruckeri* // *Рибогосподарська наука України.* 2014. №2. С. 69–78.
37. Mishra A., Nam G.-H., Gim J.-A.1, Lee H.-L., Jo A., Kim H.-S. Current Challenges of Streptococcus Infection and Effective Molecular, Cellular, and Environmental Control Methods in Aquaculture // *Mol. Cells.* 2018. V. 41(6). P. 495–505.
38. Matvienko N., Levchenko A., Danchuk O., Kvach Y. Assessment of the occurrence of microorganisms and other fish parasites in the freshwater aquaculture of Ukraine in relation to the ambient temperature // *Acta Ichthyol. Piscat.* 2020. V. 50 (3). P. 333–348.
39. Karvonen A., Rintamäki P., Jokela J., Tellervo Valtonen E. Increasing water





- temperature and disease risks in aquatic systems: Climate change increases the risk of some, but not all, diseases // *International Journal for Parasitology*. 2010. V.40. P. 1483–1488. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2010.04.015>
40. Рудь Ю.П., Драган Л.П., Цапенко П.К., Бучацький Л.П., Грициняк І. Молекулярна діагностика патогенних та умовно-патогенних бактерій в популяціях цінних видів риб України // *Вісник аграрної науки*. 2017. №10. С. 28–32.
  41. Bear, E. A., T. E. McMahon, and A. V. Zale. Comparative thermal requirements of westslope cutthroat trout and rainbow trout: implications for species interactions and development of thermal protection standards // *Trans. Am. Fish. Soc.* 2007. V.136. P. 1113–1121.
  42. Alborali, L. Climatic variations related to fish diseases and production // *Vet. Res.* 2006. Commun. 30. P. 93–97.
  43. Dittmar, J., Janssen, H., Kuske, A., Kurtz, J. & Scharsack, J. P. Heat and immunity: an experimental heat wave alters immune functions in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) // *J. Anim. Ecol.* 2014. V.83. P. 744–757.
  44. Rud Yu., Buchatsky L.P. Use of Antimicrobial Agents in Aquaculture and Rising of Antimicrobial Resistance in Ukraine // *Fourth Annual BTRP Ukraine Regional One Health Research Symposium, Kyiv, Ukraine, 20-24 May, 2019. Abstract Book.*
  45. Van Boeckel, T. P. et al. Global trends in antimicrobial resistance in animals in low- and middle- income countries // *Science*. 2019. 365(6459):eaaw 1266.
  46. Reverter, M., Sarter, S., Caruso, D. et al. Aquaculture at the crossroads of global warming and antimicrobial resistance // *Nat Commun.* 2020. V.11. P. 1870. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15735-6>
  47. Jones, D. T., C. M. Moffitt, and K. K. Peters. Temperature-mediated differences in bacterial kidney disease expression and survival in *Renibacterium salmoninarum*-challenged bull trout and other salmonids // *N. Am. J. Fish. Manage.* 2007. V.27. P. 695–706.
  48. Mallick A., Panigrahi A.K. Effect of temperature variation on disease proliferation of common fishes in perspective of climate change // *International Journal of Experimental Research and Review*. 2018. Vol. 16. P. 40–49.
  49. Mastan, S. A. and Ahmed, O. Bacterial kidney disease (BKD) in Indian Major Carp fishes, *Labeo rohita* (Ham.) and *Cirrhinus mrigala* (Ham.)-Natural occurrence and artificial challenge // *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 2013. V. 6. P 3.
  50. Kumar, V., Roy, S., Barman, D. and Kumar, A. Immunoserological and molecular techniques used in fish disease diagnosis: A mini review // *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2014. V.1(3). P. 111–117.
  51. Haenen O.L.M., Wa, K., Bergmann S.M., Ariel E. The emergence of koi herpesvirus and its significance to European aquaculture // *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*. 2004. V. 24. P.6. ISSN 0108-0288 - p. 293–307.
  52. Zrnčić S, Oraić D, Zupičić IG, et al. Koi herpesvirus and carp edema virus threaten common carp aquaculture in Croatia // *J Fish Dis.* 2020. P. 1–13. <https://doi.org/10.1111/jfd.13163>



53. Matras M., Stachnik M., Borzym E., Maj Paluch J., Reichert M. Potential vector species of carp edema virus (CEV) // *J Fish Dis.* 2019. Vol. 42(7). P. 959–964. doi:10.1111/jfd.13000
54. OIE / World Organisation for Animal Health. Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals. 2019. Available online at: <https://www.oie.int/standard-setting/aquatic-manual/access-online/>
55. Nylund, A., M. Devold, H. Plarre, E. Idsal, and M. Aarseth. Emergence and maintenance of infectious salmon anaemia virus (ISAV) in Europe: a new hypothesis // *Dis. Aquat. Organ.* 2003. V.56. P. 11–24.
56. Parry, L., and P. F. Dixon. Stability of nine viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) isolates in seawater. *Bull. Eur. Assoc // Fish Pathol.* 1997. V. 17. P. 31–36.
57. Graham, D. A., C. Staples, C. J. Wilson, H. Jewhurst, K. Cherry, A. Gordon, and H. M. Rowley. Biophysical properties of salmonid alphaviruses: influence of temperature and pH on virus survival // *J. Fish Dis.* 2007. V.30. P. 533–543.
58. Hakalahti, T., A. Karvonen, and E. T. Valtonen. Climate warming and disease risks in temperate regions – *Argulus coregoni* and *Diplostomum spathaceum* as case studies // *J. Helminthol.* 2006. V.80. P. 93–98.
59. Marcogliese D.J. Implications of climate change for parasitism of animals in the aquatic environment // *Can. J. Zool.* 2001. V. 79 (8). P. 1331–1352.
60. Gorgoglione, B., Wang, T., Secombes, C.J. et al. Immune gene expression profiling of Proliferative Kidney Disease in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reveals a dominance of anti-inflammatory, antibody and T helper cell-like activities // *Vet Res.* 2013. V.44. P.55. <https://doi.org/10.1186/1297-9716-44-55>.
61. Jørgensen, L. V. G. The fish parasite *Ichthyophthirius multifiliis*: Host immunology, vaccines and novel treatments // *Fish and Shellfish Immunology.* 2017. V. 67. P. 586–595. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.06.044>
62. Hiner M. & Moffitt C.M. Variation in infections of *Myxobolus cerebralis* in field-exposed cutthroat and rainbow trout in Idaho // *J. aquat. Anim. Hlth.* 2001. V. 13. P. 124–132.
63. Tops, S., W. Lockwood, and B. Okamura. Temperature-driven proliferation of *Tetracapsuloides bryosalmonae* in bryozoan hosts portends salmonid declines // *Dis. Aquat. Organ.* 2006. V. 70. P. 227–236.
64. Ashraf U., Lu Y., Lin L., Yuan L., Wang M., Liu X. Spring viraemia of carp virus: recent advances // *Journal of General Virology.* 2016. V. 97.P. 1037–1051.
65. Ahmed, N., Bunting, S. W., Rahman, S. & Garforth, C. J. Community-based climate change adaptation strategies for integrated prawn–fish–rice farming in Bangladesh to promote social-ecological resilience // *Rev. Aquacult.* 2014. V.6. P. 20–35.
66. Leung, T. L. F. & Bates, A. E. More rapid and severe disease outbreaks for aquaculture at the tropics: implications for food security // *J. Appl. Ecol.* 2013. V.50. P. 215–222.
67. Doan Q.K., Vandeputte M., Chatain B., Morin T., Allal F. Viral encephalopathy and retinopathy in aquaculture: a review // *Journal of Fish Diseases, Wiley.* 2017.V. 40 (5). P.717–742. [ff10.1111/jfd.12541](https://doi.org/10.1111/jfd.12541)[ff. fhal-01533903f](https://doi.org/10.1111/jfd.12541)
68. Peeler, E. J., A. Afonso, F. Berthe, E. Brun, C. J. Rodgers, A. Roque, R. Whittington, and M. A. Thrush. Epizootic haematopoietic necrosis virus – An



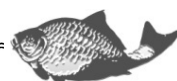
- assessment of the likelihood of introduction and establishment in England and Wales // *Prev. Vet. Med.* 2009. V. 9. P. 241–253.
69. Vendrell, D., J. L. Balcazar, I. Ruiz-Zarzuola, I. de Blas, O. Girones, and J. L. Muzquiz. *Lactococcus garvieae* in fish: a review // *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.* 2006. V. 29. P. 177–198.
70. Choongo K., Hang'ombe B., Samui K.L., Syachaba M., Phiri H., Maguswi C., Muyangaali K., Bwalya G., Mataa L. Environmental and climatic factors associated with epizootic ulcerative syndrome (EUS) in fish from the Zambezi floodplains, Zambia // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* 2009. V. 83(4). P. 474–478. DOI: 10.1007/s00128-009-9799-0
71. Perry, A. L., P. J. Low, J. R. Ellis, and J. D. Reynolds. Ecology: climate change and distribution shifts in marine fishes // *Science.* 2005. V.308. P. 1912–1915.
72. O'Gorman, E. J. et al. Temperature effects on fish production across a natural thermal gradient // *Glob. Chang. Biol.* 2016. V.22. P. 3206–3322.
73. Marcogliese, D. J. The impact of climate change on the parasites and infectious diseases of aquatic animals // *OIE Revue Scientifique et Technique.* 2008. V. 27. P. 467–484.
74. Jun, L. J., J. B. Jeong, J. H. Kim, J. H. Nam, K. W. Shin, J. K. Kim, J. C. Kang, and H. D. Jeong. Influence of temperature shifts on the onset and development of red sea bream iridoviral disease in rock bream *Oplegnathus fasciatus* // *Dis. Aquat. Organ.* 2009. V. 84, P. 201–208.
75. Brander, K. M. Global fish production and climate change // *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A* 2007. V.104. P. 19709–19714.
76. Okamura, B., Hartikainen, H., Schmidt-Posthaus, H. and Wahli, T. Life cycle complexity, environmental change and the emerging status of salmonid proliferative kidney disease // *Freshwater Biology.* 2011. V.56. P. 735–753.
77. Gallana, M., Ryser-Degiorgis, M. P., Wahli, T. Segner, H. Climate change and infectious diseases of wildlife: altered interactions between pathogens, vectors and hosts // *Current Zoology.* 2013. V.59. P. 427–437.
78. Paull, S. H. and Johnson, P. T. J. Experimental warming drives a seasonal shift in the timing of host-parasite dynamics with consequences for disease risk // *Ecology Letters.* 2014. V.17. P. 445–453.
79. Harvell C.D., Mitchell C.E., Ward J.R., Altizer S., Dobson A.P., Ostfeld R.S. & Samuel M.D. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota // *Science.* 2002. V. 296 (5576). P. 2158–2162.
80. Daszak P., Cunningham A.A. & Hyatt A.D. Emerging infectious diseases of wildlife – threats to biodiversity and human health // *Science.* 2000. V. 287 (5452). P. 443–449. DOI: 10.1126/science.287.5452.443
81. Ficke A.D., Myrick C.A. & Hansen L.J. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries // *Rev. Fish Biol. Fish.* 2007. V. 17 (4). P. 581.
82. Roessig J.M., Woodley C.M., Cech J.J. Jr & Hansen L.J. Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries // *Rev. Fish Biol. Fish.* 2004. V. 14. P. 251–275.
83. Schmidt K.A., Ostfeld R.S. Biodiversity and the dilution effect in disease ecology // *Ecology.* 2001. V. 82 (3). P. 609–619.
84. Dobson A. Population dynamics of pathogens with multiple host species // *Am.*



- Naturalist. 2004. V. 164. S64–S78.
85. Brandl, S.J., Johansen, J.L., Casey, J.M. et al. Extreme environmental conditions reduce coral reef fish biodiversity and productivity // *Nat Commun.* 2020. V.11, P.3832. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17731-2>
  86. Purcell J.E., Uye S., Lo W. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review // *Marine Ecology Progress Series.* 2007. V. 350. P.153–74.
  87. Smage S.B., Brevik O.J., Frisch K., Watanabe K., Duesund H., Nylund A. Concurrent jellyfish blooms and tenacibaculosis outbreaks in Northern Norwegian Atlantic salmon (*Salmo salar*) farms // *PLoS ONE.* 2017. V. 12(11):e0187476. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187476>
  88. Rodger H.D., Henry L., Mitchell S.O. Non-infectious gill disorders of marine salmonid fish // *Reviews in Fish Biology and Fisheries.* 2011. V.21(3). P. 423–40. <https://doi.org/10.1007/s11160-010-9182-6>

## REFERENCES

1. World Bank. Fish to 2030: Prospects for Fisheries and Aquaculture (English). *Agriculture and Environmental Services Discussion Paper*; No. 3 (World Bank Group, Washington DC, 2013).
2. FAO. (2018). The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
3. Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R. et al. (2015). Feeding 9 billion by 2050 – Putting fish back on the menu. *Food Sec*, 7, 261-274. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0427-z>
4. Béné, C. et al. (2016). Contribution of fisheries and aquaculture to food security and poverty reduction: assessing the current evidence. *World Dev.*, 79, 177-196.
5. Brugère C., De Young C. (2015). Assessing climate change vulnerability in fisheries and aquaculture: available methodologies and their relevance for the sector. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 597.* Rome, Italy. 86 pp.
6. Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. & Poulain, F., eds. (2018). Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper.* No. 627, Rome, FAO. 628 pp.
7. Cheung, W., Sarmiento, J., Dunne, J. et al. (2013). Shrinking of fishes exacerbates impacts of global ocean changes on marine ecosystems. *Nature Clim Change*, V. 3, P. 254-258. <https://doi.org/10.1038/nclimate1691>
8. Comte L., Olden J.D. (2017) Climatic vulnerability of the world’s freshwater and marine fishes. *Nature Climate Change*, 7(10). DOI: 10.1038/nclimate3382
9. Suweis, S., Carr, J. A., Maritan, A., Rinaldo, A. & D’Odorico, P. (2015). Resilience and reactivity of global food security. *PNAS*, 112, 6902-6907
10. Fraile, I., Arrizabalaga, H., Groeneveld, J., Kölling, M., Santos, M. N., Macías, D., Rooker, J. R. (2016). The imprint of anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions on Atlantic bluefin tuna otoliths. *Journal of Marine Systems*, 158, 26–33. [doi:10.1016/j.jmarsys.2015.12.012](https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2015.12.012)
11. Breitbart D., Levin L., Oschlies A., et al. (2018). Declining oxygen in the global



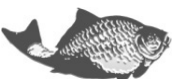
- ocean and coastal waters. *Science*, Vol. 359, Is. 6371, eaam7240 DOI: 10.1126/science.aam7240.
12. Limburg K., Olson C., Walther Y., et al. (2011). Tracking Baltic hypoxia and cod migration over millennia with natural tags. *PNAS*, Vol. 108 (22), P.177-182. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100684108>
  13. Falconer, L., Hjøllø, S. S., Telfer, T. C., McAdam, B. J., Hermansen, Ø., & Ytteborg, E. (2019). The importance of calibrating climate change projections to local conditions at aquaculture sites. *Aquaculture*, 734487. doi:10.1016/j.aquaculture.2019.734487
  14. Cochrane, K., De Young, C., Soto, D. and Bahri, T. (2009). Climate change implications for fisheries and aquaculture. FAO Fisheries and aquaculture technical paper: 530: 212.
  15. Gislason, H., Daan, N., Rice, J. C. & Pope, J. G. (2010). Size, growth, temperature and the natural mortality of marine fish. *Fish. Fish*, 11, 149–158.
  16. Winfield, I. J., Baigún, C., Balykin, P. A., Becker, B., Chen, Y., Filipe, A. F. and Kutsyn, D. N. (2016). International perspectives on the effects of climate change on inland fisheries. *Fisheries*, 41(7), 399-405. DOI:10.1080/03632415.2016.1182513
  17. Adhikari, S., Keshav, C. A., Barlaya, G., Rathod, R., Mandal, R. N., Ikmail, S. and Sarkar, S. (2018). Adaptation and Mitigation Strategies of Climate Change Impact in Freshwater Aquaculture in some states of India. *Journal of Fisheries Sciences*, 12(1): 16-21.
  18. Chiamonte L., Munson D., Trushenski J. (2016). Climate Change and Considerations for Fish Health and Fish Health Professionals. *Fisheries*, 41:7, 396-399. DOI: 10.1080/03632415.2016.1182508
  19. Zinsstag J., Crump L., Schelling E., et al. (2018). Climate change and One Health. *FEMS Microbiology Letters*, 365 (11), fny085. <https://doi.org/10.1093/femsle/fny085>
  20. Bowden, T. J., K. D. Thompson, A. L. Morgan, R. M. L. Gratacap, and S. Nikoskelainen, (2007). Seasonal variation and the immune response: a fish perspective. *Fish Shellfish Immunol*, 22, 695–706.
  21. FAO. The Future of Food and Agriculture – Trends and Challenges. (Rome, 2017).
  22. Ern, R., Huong, D., Cong, N., Bayley, M. & Wang, T. (2014). Effect of salinity on oxygen consumption in fishes: a review. *J. Fish. Biol.*, 84, 1210–1220.
  23. Walker P. J & Mohan C.V. (2009). Viral disease emergence in shrimp aquaculture: origins, impact and the effectiveness of health management. *Reviews in Aquaculture*, 1, 125-154.
  24. Gale, P., T. Drew, L. P. Phipps, G. David, and M. Wooldridge. (2009). The effect of climate change on the occurrence and prevalence of livestock disease in Great Britain: a review. *J. Appl. Microbiol.*, 106, 1409–1423.
  25. Marcos-Lopez M., Gale P., Oidtmann B.C., Peeler E.J. (2010). Assessing the Impact of Climate Change on Disease Emergence in Freshwater Fish in the United Kingdom. *Transboundary and Emerging Diseases*, 57, 293–304. doi:10.1111/j.1865-1682.2010.01150.x
  26. Rud Yu.P., Maistrenko M.I., Buchatsky L.P. (2018). Polymerase chain reaction for identification of Cyprinid Herpesviruses in Ukraine. *Biotechnologia acta*, Vol. 11, №1, P. 58-63.



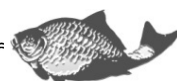
27. Rud Yu. (2019). Isolation of Infectious hematopoietic necrosis virus (IHNV) and Viral hemorrhagic septicemia virus (VHSV) in Ukraine. *Current Advances in Pathogen Research*, March 25 – 31, 2019, Yerevan, Armenia. Abstract Book. – P. 37-38.
28. Rud Yu., Buchatsky L.P. (2019). First detection of Infectious hematopoietic necrosis virus (IHNV) in Ukraine. *Bioresources and Viruses*, Sep 9-11, 2019, Kyiv, Ukraine. Abstract book.
29. Rud Yu.P., Matvienko N.M., Buchatski L.P. (2019). Characterisation of a newly isolated SVCV strain in Ukraine. *Biologija*, 65. No. 3, 165–173.
30. Rud Yu., Maistrenko M., Buchatsky L. (2015). Characterization of an infectious pancreatic necrosis virus from rainbow trout fry (*Onchorhynchus mykiss*) in West Ukraine. *Virologica Sinica*, 30 (3), 231-233.
31. Buchatskyi L.P., Rud Yu.P., Matvyenko N.N. (2020). *Вірусні інфекції осетров у лососях*. К.: ДYA. 240 с. - ISBN 978-617-7785-10-0
32. Lewisch E., Gorgoglione B., Way K., El-Matbouli M. (2015). Carp Edema Virus/Koi Sleepy Disease: An Emerging Disease in Central-East Europe. *Transboundary and Emerging Diseases*, 62, 6-12.
33. Rud Yu., Bigarre L., Buchatsky L.P. (2019). First detection of a sturgeon mimivirus in Ukraine. *19th International Conference on Diseases of Fish and Shellfish*, Porto, Portugal, September 09-13, 2019. Abstract book.
34. Rud Yu.P., Zaloilo O.V., Buchatskyi L.P. (2017). Ekspres-diahnostyka chotyrok patohennykh bakterii u raiduzhnoi foreli *Oncorhynchus mykiss*. *Veterynarna medytsyna*, 103, 146-148.
35. Rud Yu.P. (2013). Ekspres-diahnostyka flavobakteriozu ryb metodom polimeraznoi lantsiuhovoi reaktsii. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, 18, 132-145.
36. Rud Yu.P., Tsyhanok I.O. (2014). Molekuliarna diahnostyka *Yersinia ruckeri*. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, №2, 69-78.
37. Mishra A., Nam G.-H., Gim J.-A.1, Lee H.-L., Jo A., Kim H.-S. (2018). Current Challenges of Streptococcus Infection and Effective Molecular, Cellular, and Environmental Control Methods in Aquaculture. *Mol. Cells*, 41(6):495-505.
38. Matvienko N., Levchenko A., Danchuk O., Kvach Y. (2020). Assessment of the occurrence of microorganisms and other fish parasites in the freshwater aquaculture of Ukraine in relation to the ambient temperature. *Acta Ichthyol. Piscat.*, 50 (3): 333–348.
39. Karvonen A., Rintamäki P., Jokela J., Tellervo Valtonen E. (2010). Increasing water temperature and disease risks in aquatic systems: Climate change increases the risk of some, but not all, diseases. *International Journal for Parasitology*, 40, 1483–1488 <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2010.04.015>
40. Rud Yu.P., Drahan L.P., Tsapenko P.K., Buchatskyi L.P., Hrytsyniak I. (2017). Molekuliarna diahnosyka patohennykh ta umovno-patohennykh bakterii v populiatsiiakh tsinnykh vydiv ryb Ukrainy. *Visnyk ahrarynoi nauky*, №10. S. 28-32.
41. Bear, E. A., T. E. McMahon, and A. V. Zale. (2007). Comparative thermal requirements of westslope cutthroat trout and rainbow trout: implications for species interactions and development of thermal protection standards. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 136, 1113-1121.
42. Alborali, L. (2006). Climatic variations related to fish diseases and production. *Vet.*



- Res. Commun.*, 30, 93-97.
43. Dittmar, J., Janssen, H., Kuske, A., Kurtz, J. & Scharsack, J. P. (2014). Heat and immunity: an experimental heat wave alters immune functions in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). *J. Anim. Ecol.*, 83, 744-757.
  44. Rud Yu., Buchatsky L.P. (2019). Use of Antimicrobial Agents in Aquaculture and Rising of Antimicrobial Resistance in Ukraine. *Fourth Annual BTRP Ukraine Regional One Health Research Symposium*, Kyiv, Ukraine, 20-24 May, 2019. Abstract Book.
  45. Van Boeckel, T. P. et al. (2019). Global trends in antimicrobial resistance in animals in low- and middle- income countries. *Science*, 365, 1266.
  46. Reverter, M., Sarter, S., Caruso, D. et al. (2020). Aquaculture at the crossroads of global warming and antimicrobial resistance. *Nat Commun*, 11, 1870 <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15735-6>
  47. Jones, D. T., C. M. Moffitt, and K. K. Peters. (2007). Temperature-mediated differences in bacterial kidney disease expression and survival in *Renibacterium salmoninarum*-challenged bull trout and other salmonids. *N. Am. J. Fish. Manage*, 27, 695-706.
  48. Mallick A., Panigrahi A.K. (2018). Effect of temperature variation on disease proliferation of common fishes in perspective of climate change. *International Journal of Experimental Research and Review*, Vol. 16: 40-49.
  49. Mastan, S. A. and Ahmed, O. (2013). Bacterial kidney disease (BKD) in Indian Major Carp fishes, *Labeo rohita* (Ham.) and *Cirrhinus mrigala* (Ham.)-Natural occurrence and artificial challenge. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 6: 3.
  50. Kumar, V., Roy, S., Barman, D. and Kumar, A. (2014). Immunoserological and molecular techniques used in fish disease diagnosis: A mini review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 1(3): 111-117.
  51. Haenen O.L.M., Wa, K., Bergmann S.M., Ariel E. (2004). The emergence of koi herpesvirus and its significance to European aquaculture. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 24 6. - ISSN 0108-0288 - p. 293 - 307.
  52. Zrnčić S, Oraić D, Zupčić IG, et al. (2020). Koi herpesvirus and carp edema virus threaten common carp aquaculture in Croatia. *J Fish Dis.*;00:1–13. <https://doi.org/10.1111/jfd.13163>
  53. Matras M., Stachnik M., Borzym E., Maj Paluch J., Reichert M. (2019). Potential vector species of carp edema virus (CEV). *J Fish Dis.*, 42(7): 959–964. doi: 10.1111/jfd.13000
  54. OIE. World Organisation for Animal Health. Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals. (2019). Available online at: <https://www.oie.int/standard-setting/aquatic-manual/access-online/>
  55. Nylund, A., M. Devold, H. Plarre, E. Idsal, and M. Aarseth. (2003). Emergence and maintenance of infectious salmon anaemia virus (ISAV) in Europe: a new hypothesis. *Dis. Aquat. Organ.*, 56, 11-24.
  56. Parry, L., and P. F. Dixon. (1997). Stability of nine viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) isolates in seawater. *Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol.*, 17, 31-36.
  57. Graham, D. A., C. Staples, C. J. Wilson, H. Jewhurst, K. Cherry, A. Gordon, and H. M. Rowley. (2007). Biophysical properties of salmonid alphaviruses: influence of



- temperature and pH on virus survival. *J. Fish Dis.*, 30, 533-543.
58. Hakalahti, T., A. Karvonen, and E. T. Valtonen. (2006). Climate warming and disease risks in temperate regions – *Argulus coregoni* and *Diplostomum spathaceum* as case studies. *J. Helminthol.*, 80, 93-98.
  59. Marcogliese D.J. (2001). Implications of climate change for parasitism of animals in the aquatic environment. *Can. J. Zool.*, 79 (8), 1331-1352.
  60. Gorgoglione, B., Wang, T., Secombes, C.J. et al. (2013). Immune gene expression profiling of Proliferative Kidney Disease in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reveals a dominance of anti-inflammatory, antibody and T helper cell-like activities. *Vet Res.*, 44, 55 <https://doi.org/10.1186/1297-9716-44-55>.
  61. Jørgensen, L. V. G. (2017). The fish parasite *Ichthyophthirius multifiliis*: Host immunology, vaccines and novel treatments. *Fish and Shellfish Immunology*, 67, 586-595. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.06.044>
  62. Hiner M. & Moffitt C.M. (2001). Variation in infections of *Myxobolus cerebralis* in field-exposed cutthroat and rainbow trout in Idaho. *J. aquat. Anim. Hlth.*, 13, 124-132.
  63. Tops, S., W. Lockwood, and B. Okamura. (2006). Temperature-driven proliferation of *Tetracapsuloides bryosalmonae* in bryozoan hosts portends salmonid declines. *Dis. Aquat. Organ.*, 70, 227-236.
  64. Ashraf U., Lu Y., Lin L., Yuan L., Wang M., Liu X. (2016). Spring viraemia of carp virus: recent advances. *Journal of General Virology*, 97, 1037-1051.
  65. Ahmed, N., Bunting, S. W., Rahman, S. & Garforth, C. J. (2014). Community-based climate change adaptation strategies for integrated prawn–fish–rice farming in Bangladesh to promote social-ecological resilience. *Rev. Aquacult.*, 6, 20-35.
  66. Leung, T. L. F. & Bates, A. E. (2013). More rapid and severe disease outbreaks for aquaculture at the tropics: implications for food security. *J. Appl. Ecol.*, 50, 215-222.
  67. Doan Q.K., Vandeputte M., Chatain B., Morin T., Allal F. (2017). Viral encephalopathy and retinopathy in aquaculture: a review. *Journal of Fish Diseases*, Wiley, 40 (5), pp.717-742. [ff10.1111/jfd.12541](https://doi.org/10.1111/jfd.12541) [ff.fhal-01533903f](https://doi.org/10.1111/jfd.12541)
  68. Peeler, E. J., A. Afonso, F. Berthe, E. Brun, C. J. Rodgers, A. Roque, R. Whittington, and M. A. Thrush. (2009). Epizootic haematopoietic necrosis virus – An assessment of the likelihood of introduction and establishment in England and Wales. *Prev. Vet. Med.*, 9, 241-253.
  69. Vendrell, D., J. L. Balcazar, I. Ruiz-Zarzuela, I. de Blas, O. Girones, and J. L. Muzquiz, (2006). *Lactococcus garvieae* in fish: a review. *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.*, 29, 177-198.
  70. Choongo K., Hang'ombe B., Samui K.L., Syachaba M., Phiri H., Maguswi C., Muyangaali K., Bwalya G., Mataa L. (2009). Environmental and climatic factors associated with epizootic ulcerative syndrome (EUS) in fish from the Zambezi floodplains, Zambia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83(4):474-478. DOI: 10.1007/s00128-009-9799-0
  71. Perry, A. L., P. J. Low, J. R. Ellis, and J. D. Reynolds. (2005). Ecology: climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, 308, 1912-1915.
  72. O’Gorman, E. J. et al. (2016). Temperature effects on fish production across a natural thermal gradient. *Glob. Chang. Biol.*, 22, 3206-3322.





73. Marcogliese, D. J. (2008). The impact of climate change on the parasites and infectious diseases of aquatic animals. *OIE Revue Scientifique et Technique*, 27, 467-484.
74. Jun, L. J., J. B. Jeong, J. H. Kim, J. H. Nam, K. W. Shin, J. K. Kim, J. C. Kang, and H. D. Jeong. (2009). Influence of temperature shifts on the onset and development of red sea bream iridoviral disease in rock bream *Oplegnathus fasciatus*. *Dis. Aquat. Organ.*, 84, 201-208.
75. Brander, K. M. (2007). Global fish production and climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A*, 104, 19709-19714.
76. Okamura, B., Hartikainen, H., Schmidt-Posthaus, H. and Wahli, T. (2011). Life cycle complexity, environmental change and the emerging status of salmonid proliferative kidney disease. *Freshwater Biology*, 56: 735-753.
77. Gallana, M., Ryser-Degiorgis, M. P., Wahli, T. Segner, H. (2013). Climate change and infectious diseases of wildlife: altered interactions between pathogens, vectors and hosts. *Current Zoology*, 59: 427-437.
78. Paull, S. H. and Johnson, P. T. J. (2014). Experimental warming drives a seasonal shift in the timing of host-parasite dynamics with consequences for disease risk. *Ecology Letters*, 17: 445-453.
79. Harvell C.D., Mitchell C.E., Ward J.R., Altizer S., Dobson A.P., Ostfeld R.S. & Samuel M.D. (2002). Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*, 296 (5576), 2158-2162.
80. Daszak P., Cunningham A.A. & Hyatt A.D. (2000). Emerging infectious diseases of wildlife – threats to biodiversity and human health. *Science*, 287 (5452), 443-449.
81. Ficke A.D., Myrick C.A. & Hansen L.J. (2007). Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 17 (4), 581.
82. Roessig J.M., Woodley C.M., Cech J.J. Jr & Hansen L.J. (2004). Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 14, 251-275.
83. Schmidt K.A., Ostfeld R.S. (2001). Biodiversity and the dilution effect in disease ecology. *Ecology*, 82 (3), 609-619.
84. Dobson A. (2004). Population dynamics of pathogens with multiple host species. *Am. Naturalist*, 164, S64-S78.
85. Brandl, S.J., Johansen, J.L., Casey, J.M. et al. (2020). Extreme environmental conditions reduce coral reef fish biodiversity and productivity. *Nat Commun.*, 11, 3832. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17731-2>
86. Purcell J.E., Uye S., Lo W. (2007). Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Marine Ecology Progress Series.*; 350:153-74.
87. Smage S.B., Brevik O.J., Frisch K., Watanabe K., Duesund H., Nylund A. (2017) Concurrent jellyfish blooms and tenacibaculosis outbreaks in Northern Norwegian Atlantic salmon (*Salmo salar*) farms. *PLoS ONE*, 12(11):e0187476. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187476>
88. Rodger H.D., Henry L., Mitchell S.O. (2011). Non-infectious gill disorders of marine salmonid fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries.*; 21(3):423-40. <https://doi.org/10.1007/s11160-010-9182-6>

