

**БІОГЕННІ ЕЛЕМЕНТИ В НАЗЕМНИХ СУБСТРАТАХ,
ПРІСНИХ ВОДОЙМАХ ТА ЛЬОДОВІЙ ТОВЩІ
РАЙОНУ АРГЕНТИНСЬКИХ ОСТРОВІВ —
ПІВОСТРОВА КИЇВ, МОРСЬКА АНТАРКТИКА**О. ЯРОВИЙ¹, Г. ЄВЧУН^{1,2}, Д. ПІШНЯК¹, І. ПАРНІКОЗА^{1,2,3}

¹ Державна установа Національний антарктичний науковий центр
Міністерства освіти та науки України
Україна, 01601, м. Київ, пр. Шевченка, 16

² Національний університет «Києво-Могилянська Академія»
Україна, 04070, м. Київ, вул. Сковороди, 2

³ Інститут молекулярної біології і генетики НАН України
Україна, 03143, м. Київ, вул. Академіка Заболотного, 150
e-mail: oleksandr.iarovyi@gmail.com

Мета. Вивчити надходження легкорозчинних сполук азоту та фосфору в наземні субстрати, прісні водойми, а також в льодовиковий керн та підльодні водойми від колоній морських птахів чи місць активності неколоніальних літаючих чи окремих особин колоніальних птахів. **Методи.** У відібраних протягом 25-ї (2019/20) та 26-ї (2020/21) Українських антарктичних експедицій зразках субстратів, води прісних водойм, льодового керну та пробах з підльодовикових водойм району Аргентинських островів-півострова Київ досліджено обрані індикатори орнітогенності: концентрації найбільш біологічно доступних форм азоту та фосфору. **Результати.** У пробах зі всіх джерел показані значні концентрації розчинених сполук азоту та фосфору орнітогенного походження. У випадку субстратів показано, що високі концентрації орнітогенних сполук відмічені не тільки в зразках із впливом колоній птахів, зокрема, пінгвінів, але і в зразках, які походять із місць без впливу колоній птахів. **Висновки.** Отримані дані підтверджують високий рівень впливу як колоніальних, так і неколоніальних птахів на наземні та прісноводні екосистеми району Аргентинських островів-півострова Київ. Показано, що едифікуючий вплив та внесення значної кількості азоту та фосфору відбувається не тільки в місцях великих колоній пінгвінів, але і в місцях поодинокого гніздування чи харчування і відпочинку неколоніальних літаючих, чи перебування окремих особин колоніальних птахів у дослідженому районі. Проте, у місцях розташування великих колоній пінгвінів легкорозчинні біодоступні форми азоту та фосфору виявляються у значно більших, гіпертрофних концентраціях. Порівняно низькі концентрації біогенних елементів виявлені наразі лише в місцях, які нещодавно звільнилися з-під льодовика та залишаються незаселеними рослинністю, непривабливими чи важкодоступними для птахів. Подібні локації наразі відмічені лише на узбережжі півострова Київ та пов'язані з нещодавнім відступом тутешніх льодовиків. Як в умовах наявності поблизу колонії пінгвінів чи активності неколоніальних чи окремих особин колоніальних птахів, усі досліджені прісні водойми досліджуваного району були в різному ступені евтрофіковані. Динаміка надходження органіки до деяких досліджених прісних водойм району, імовірно, свідчить про постійний характер евтрофікації. Дослідження льодового керна льодовика острова Галіндез та підльодовикових прісних водойм свідчать про те, що орнітогенний вплив тут спостерігається протягом тривалого часу.

Ключові слова: евтрофікація, морські птахи, Антарктика, субстрати, прісні водойми.

Вступ. Наземні екосистеми Антарктики, зокрема, її морської частини, в значній мірі залежать від надходження органіки від морських птахів. Морські птахи суттєво впливають як на наземні біотопи, так і на прісноводні екосистеми.

Вони докорінно змінюють умови доступності біогенних елементів, вносячи переважну кількість азоту та фосфору, трансформуючи середовище в напрямку евтрофікації (Tatur et al., 1993; Zhu et al., 2015; Parnikoza et al., 2016).

Орнітофауна району Аргентинських островів-півострова Київ представлена 26 видами птахів (Пекло, 2007). Серед них істотний вплив на екосистеми мають три види колоніальних птахів: субантарктичний пінгвін (*Pygoscelis papua*), пінгвін Аделі (*P. adeliae*) та синьоокий баклан (*Phalacrocorax bransfieldensis*). На острові Бус знаходиться також найпівденніше в Антарктиці невелике гніздове угруповання антарктичного пінгвіна (*Pygoscelis antarctica*). Але їх вплив обмежений ділянками колоній. До видів, які зустрічаються широко і можуть залишати продукти життєдіяльності в досліджуваному районі та суттєво впливати на вміст азоту та фосфору, належать південний гігантський буревісник (*Macronectes giganteus*) (в дослідженому районі не гніздує), та гніздує тут південнополярний поморник (*Catharacta maccormicki*), сивка біла (*Chionis alba*), мартин домініканський (*Larus dominicanus*), океанник Вільсона (*Oceanites oceanicus*) та крячок антарктичний (*Sterna vittata*). Інші види птахів в районі Аргентинських островів-півострова Київ гніздують чи зустрічаються значно рідше (Пекло, 2007).

Особливо великий потік біогенних елементів надходить від антарктичних колоніальних птахів: пінгвінів різних видів чи синьоокого баклана. Багато досліджень присвячено впливу колишніх та нинішніх колоній цих птахів на відповідні біотопи (Tatur et al., 1997; Riddick et al., 2012; Juchnowicz-Bierbasz, Rakusa-Suszczewski, 2002; Ellis et al., 2006). Також є деякі дані з цього питання і для району Аргентинських островів-півострова Київ (Roshal et al., 2013). Проте, систематично дане питання не вивчалось. Вплив неколоніальних птахів у даному регіоні також є вивченим фрагментарно (Abakumov et al., 2021).

Зважаючи на це, метою нашого дослідження було вивчити надходження розчинених сполук азоту та фосфору в наземні субстрати, прісні водойми, а також в льодовиковий керн та підльодні водойми від колоній морських птахів чи місць активності неколоніальних літаючих чи окремих особин колоніальних птахів.

Матеріали і методи

Регіон дослідження. Дослідження виконувалися впродовж 25-ї 2019/20 та 26-ї 2020/21 Українських антарктичних експедицій в районі Аргентинських островів-півострова Київ, поблизу Української антарктичної станції «Академік Вернадський». Досліджений регіон Аргентинських островів-півострова Київ включав власне Аргентинські острови, які є сукупністю кам'янистих невисоких до 65 м н.р.м. (острів Уругвай) островів, більша частина яких вкрита льодовиковим чи сніжним покривом. Окрім того, досліджено деякі інші навколишні острови: Петерман, Бус, острови Берселот, острів Дарбу, а також прибережні вільні від снігу та льоду ділянки півострова Київ: миси Перес та Туксен, Конвенц-Пойнт тощо. Зауважимо, що наземний субстрат у досліджуваному регіоні представлений примітивними ґрунтами — результатами розкладу органіки з відповідних рослинних угруповань (Parnikoza et al., 2016). Прісні водойми, більші з яких умовно називаються нами озерами, звичайно є порівняно невеликими резервуарами талої води, більшість яких взимку промерзають до дна, окрім підльодовикового та великого озер острова Уругвай (Parnikoza et al., 2018).

Відбір зразків. У якості зразків субстрату відбиралися фрагменти куртин моху *Polytrichum strictum* Brid. із мохових банків (*Tall moss turf subformation*) із різним ступенем впливу гуано в зонах експансії *Pygoscelis papua*, зокрема, зразки загиблого моху, напівживого моху та живого моху без візуально помітного впливу гуано пінгвінів. На ділянках, не пов'язаних із колоніями пінгвінів, відбирався субстрат у місцях зростання судинних рослин Антарктики: щучника антарктичного (*Deschampsia antarctica* E. Desv) і перлинниці антарктичної (*Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl.). Супутня рослинність була представлена формацією килимкових мохів *Bryophyte mat and carpet subformation* (Parnikoza et al., 2018).

Зразки субстрату відбиралися ножом у відповідних біотопах, із вагою зразка близько 50 г. Потім зразки подрібнювалися та заливалися дистильованою водою у приблизному співвідношенні 10:1 (вода : зразок). Після цього зразки перемішувалися та витримувалися протягом 12 годин. Отримані суспензії відфільтровувалися, а фільтрат використовувався для подальшого хімічного аналізу.

Зразки води з досліджуваних прісних водойм відбиралися у чисті ємності об'ємом 500 мл з водойм, що постійно існують протягом сезону досліджень, на відстані від берега з глибини 10 см. Для водойм острова Ірізар (верхньої, середньої та нижньої), а також для великої водойми острова Уругвай протягом березня-квітня 2020 р. вивчали динаміку зміни концентрації розчинених сполук азоту та фосфору. Зразки відбиралися щотижнево протягом п'яти тижнів.

Зразок льодового керну з льодовика острова Галіндез відбирався в локації, віддаленій від крайової зони розтріскування. Ця локація характеризувалася вираженою пошаровою структурою льодовика. Тобто в цій частині льо-

довика сніг нашаровувався протягом багатьох років, що могло сприяти консервації відкладів органіки орнітогенного походження; глибина зразка льодового керну — 7 м, при загальній потужності льодовика близько 30 м. Таким чином, при загальному віці льодовика в 2–3 тисячоліття (Karuss et al., 2019), вік керна можна оцінити приблизно у кілька сотень років.

Також відбиралися зразки з підльодних водойм льодовиків островів Галіндез та Уругвай, як таких, що тривалий час ізольовані від безпосереднього впливу птахів.

Розташування місць відбору зразків представлено на рис. 1.

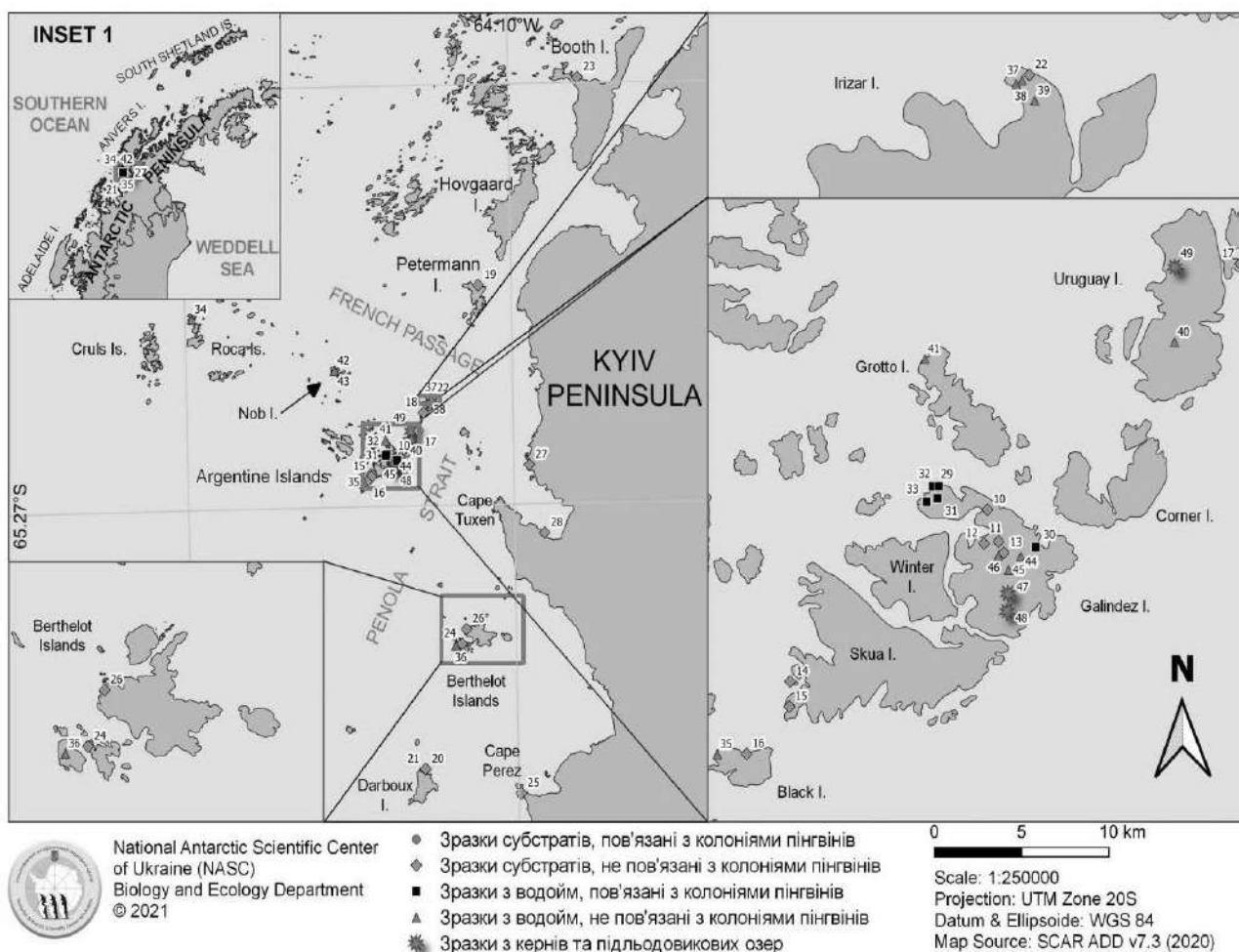


Рис. 1. Розташування місць відбору зразків субстратів, води з прісних водойм, зразків з льодовикового керну та підльодовикових озер району Аргентинських островів-півострова Київ.

Індикатори орнітогенності. Вміст амонію та розчинних форм фосфору вивчався як параметр для оцінки ступеню орнітогенного впливу. Основною азотовмісною речовиною в посліді птахів є сечова кислота, внаслідок її мінералізації утворюються різні форми азоту: NH_3 та NH_4^+ внаслідок амонійфікації, та NO_2^- та NO_3^- при нітрифікації (Portnoy et al., 1990; Riddick et al., 2016). Фосфор в посліді птахів знаходиться у різних формах, найбільш розчинним та екологічно важливим є ортофосфат. Він також є важливим розчинником мінеральної породи. В кислих умовах, наприклад, при розкладі органіки, ортофосфат може утворювати колоїдні сполуки з залізом та алюмінієм. Ці сполуки руйнуються при їх вимиванні у лужні умови морської води, збагачуючи середовище як доступними ортофосфатами, так і залізом. Це важливо, оскільки надходження біодоступного заліза є вирішальним для утворення первинної продукції антарктичної морської екосистеми (Michelutti et al., 2010). Для полярних регіонів відомо, що через повільне перетворення сечовини, частка амонію з усього органічного азоту становить лише 2–5 %, але його наявність безперечно вказує на орнітогенний вплив та його інтенсивність (Riddick et al., 2012). Також нами виміряні концентрації ортофосфатів як най-

більш біодоступного джерела фосфору, яким збагачується середовище внаслідок потрапляння посліду птахів.

Хімічний аналіз відібраних субстратів, води та льодовикового керна. Концентрації розчинного амонійного, нітритного, нітратного азоту та ортофосфатів у фільтраті суспензій наземних проб та зразків із прісноводних водойм вимірювали за допомогою спектрофотометра Hach Lange DR3900 із використанням стандартних протоколів виробника Hach Co: NitriVer3 (для NO_2^-), NitraVer6 (для NO_3^-), PhosVer3 (для PO_4^-), метод саліцилату (для NH_4^+) (Hach Company, 2002), які відповідають стандартним методикам дослідження води та стоків, сертифікованих EPA Environmental Protection Agency (USA) (Rice, Bridgewater, 2012).

Результати та обговорення

У табл. 1 наведено дані щодо вмісту амонію та ортофосфатів в куртинах моху *Polytrichum strictum*, які пов'язані з колоніями пінгвінів. У табл. 2 представлено аналогічні результати для субстратів з локацій судинних рослин, які не зазнавали впливу пінгвінів.

Таблиця 1. Концентрації амонію та ортофосфатів у субстратах, які пов'язані з колоніями пінгвінів (№ у таблиці відповідає числовому позначенню на мапі, нумерація наскрізна)

№ на мапі	Локалізація та опис зразка	Концентрація	
		NH_4 мг/кг	PO_4 мг/кг
1	Острів Галіндез, напівживий <i>Polytrichum strictum</i> , моховий банк №1, 14 м н.р.м., 65.245300° S, 64.254000° W	230	93
2	Острів Галіндез, мертвий <i>P. strictum</i> , моховий банк №1, 14 м н.р.м., 65.245300° S, 64.254000° W	240	119
3	Острів Галіндез, живий <i>P. strictum</i> , моховий банк гребінь Розточчя, 18 м н.р.м., 65.247933° S; 64.243100° W	10,6	54
4	Острів Галіндез, напівживий <i>P. strictum</i> , моховий банк гребінь Розточчя, 18 м н.р.м., 65.247933° S; 64.243100° W	324	108
5	Острів Галіндез, мертвий <i>P. strictum</i> значно забруднений послідом, моховий банк гребінь Розточчя, 18 м н.р.м., 65.247933° S; 64.243100° W	375	147
6	Острів Галіндез, мертвий <i>P. strictum</i> , моховий банк гребінь Розточчя, 18 м н.р.м., 65.247933° S; 64.243100° W	50	109
7	Мис Туксен, живий <i>P. strictum</i> , моховий банк, 96 м н.р.м., 65.269283° S, 64.119140° W	205	43
8	Мис Туксен, напівживий <i>Polytrichum strictum</i> , 93 м н.р.м., 65.269300° S, 64.118211° W	293	120
9	Мис Туксен, мертвий <i>P. strictum</i> , моховий банк, 93 м н.р.м., 65.269300° S, 64.118211° W	49	6

Таблиця 2. Концентрації амонію та ортофосфатів у субстратах, які не пов'язані з впливом колоній пінгвінів у районі Аргентинських островів-півострова Київ (№ у таблиці відповідає числовому позначенню на мапі, нумерація наскрізна)

№ на мапі	Локалізація та опис зразка	Концентрація	
		NH ₄ мг/кг	PO ₄ мг/кг
10	Острів Галіндез, живий <i>Polytrichum strictum</i> , Моховий банк Карпати, 17 м н.р.м., 65.246133° S, 64.249317° W	8,9	3
11	Острів Галіндез, живий <i>P. strictum</i> , моховий банк над мох. банком Сміта, 26 м н.р.м., 65.247885° S, 64.250039° W	39	21
12	Острів Галіндез, фрагмент <i>P. strictum</i> , Гребінь Стелла, 33 м н.р.м., 65.247910° S, 64.249880° W	9,3	10,3
13	Острів Галіндез, чорний загиблий без участі пінгвінів <i>P. strictum</i> , Ущелина мертвого моху, 28 м. н.р.м., 65.248283° S, 64.247333° W	8,3	8,9
14	Скеля Зуб, субстрат з локації з судинними рослинами, 10 м н.р.м., 65.25442° S, 64.27490° W	4,5	3,1
15	Острів Скуа, субстрат з локації з судинними рослинами, Фінгер Поїнт, 16 м н.р.м., 65.255080° S, 64.275060° W	1,7	0,8
16	Острів Блек, субстрат з локації з судинними рослинами, 8 м н.р.м., 65.257950° S, 64.280640° W	3,3	2
17	Острів Гучний, субстрат з локації з судинними рослинами, 6 м н.р.м., 65.23423° S, 64.21650° W	0,5	2,3
18	Острів Вісімка, субстрат з локації з судинними рослинами, нижній локус, 5 м.н.р.м., 65.225636° S, 64.209638° W	0,45	0,1
19	Острів Пітерман, субстрат з локації з судинними рослинами, 20 м.н.р.м., 65.16553° S, 64.14015° W	0,44	1,9
20	Острів Дарбу, субстрат з локації з судинними рослинами, локація Д7, 18 м н.р.м., 65.395280° S, 64.214740° W	0,52	1,7
21	Острів Дарбу, субстрат з локації з судинними рослинами, локація Д6, 25 м н.р.м., 65.395220° S, 64.214920° W	0,71	0,6
22	Острів Ірізар, субстрат з локації з судинними рослинами, 30 м н.р.м., 65.218970° S, 64.200050° W	0,85	0,3
23	Острів Бут, субстрат з локації з судинними рослинами, Порт Шарко, 42 м н.р.м., 65.06741° S, 64.01547° W	0,43	0,5
24	Острів Сварга з островів Берселот, субстрат з локації з судинними рослинами, 10 м.н.р.м., 65.335473°S, 64.167305° W	1,34	5,1
25	Мис Перес, Д9, субстрат з локації з судинними рослинами, 22 м н.р.м., 65.407590° S, 64.097070° W	1,14	0,04
26	Найбільший з островів Берселот, субстрат з локації з судинними рослинами, 30 м н.р.м., 65.329040°S, 64.161650°W	1,55	5,3
27	Продукти вивітрювання гірської породи з Конвенц-Пойнт району Расмусен-Пойнт, 10 м н.р.м., 65.251395°S , 64.079671°W	0,09	0,09
28	Продукти вивітрювання гірської породи з району Південної оази Флори, 23 м н.р.м., 65.283862°S, 64.063433°W	0,02	0,04

Усі досліджені субстрати мали підвищений вміст біогенних елементів, що свідчить про виразний орнітогенний вплив. Подібний суттєвий виніс біогенних елементів відомий та добре вивчений як для субантарктичних островів (Bokhorst et al. 2007; Chown, Froneman, 2008), так і для антарктичних островів (Juchnowicz-Bierbasz, Rakusa-Suszczewski, 2002), але в обох випадках пов'язаний з узбережними ділянками та місцями гніздування морських птахів (Abakumov et al., 2016). Проте, цікаво, що в умовах району Аргентинських островів-півострова Київ надходження сполук азоту та фосфору з посліду птахів, зокрема не колоніальних набагато більше, ніж, наприклад, в наземних екосистемах острова Кінг-Джордж (Abakumov et al., 2020). Це, імовірно, обумовлено малим розміром островів та порівняно невеликою площею суходолу, вільною від льодовиків, а також значно меншим профілем ґрунтів у цьому регіоні, що сприяє концентрації органіки (Parnikoza et al., 2011, 2018).

Місця відбору субстрату локацій судинних рослин в умовах району Аргентинських островів-півострова Київ легкодоступні для літаючих не колоніальних птахів — вони перебувають тут постійно. Подекуди тут також можуть перебувати окремі особини колоніальних птахів, наприклад, пінгвіни під час линьки. Це підтверджується також даними з вивчення поширення рослинності району літаючими не колоніальними птахами (Parnikoza et al., 2012). Не відвідувані птахами ділянки є, імовірно, малопоширеними. Це, переважно, щойно звільнені з-під льодовиків ділянки без розвинутої рослинності. Доказом цього є показники розчинного амонію та ортофосфатів із жорстви — продуктів вивітрювання гірської породи на Конвенц-Пойнт та Південній оазі Флори (табл. 2). Ці локації знаходяться на

узбережжі континенту. Субстрат відбирався тут у зоні контакту з льодовиком. Концентрації розчинного амонію та ортофосфатів у них щонайменше на порядок менші, ніж у досліджених більш орнітогенних примітивних ґрунтах.

Досліджені субстрати значно відрізняються в місцях гніздування колоніальних птахів, зокрема, пінгвінів, та в місцях поза їх впливом, де зустрічаються лише не колоніальні птахи. Так, в локації колонії пінгвінів на мисі Туксен концентрація амонію становить 130–530 мг/кг, а ортофосфатів 6–120 мг/кг. Для локацій з колоній пінгвінів на острові Галіндез відповідні концентрації становили: 16–515 мг/кг для амонію та 54–147 мг/кг для ортофосфатів. Дійсно, концентрації біологічно доступних сполук азоту та фосфору в ґрунтах у місцях колоній морських птахів досягають найбільших значень (Otero et al., 2018). На мисі Туксен відмічалось, що саме колонія *Pygoscelis papua* є головним джерелом біогенних елементів для наземної екосистеми (Рошаль та ін., 2013).

Для локацій, не пов'язаних із колоніями пінгвінів, ці концентрації коливалися в межах 0,32–39 мг/кг для амонію та 0,04–21 мг/кг для ортофосфатів. Це надходження органіки пов'язане з не колоніальними літаючими птахами. Такий вплив був раніше показаний для ґрунтів півострова Філдес (острів Кінг-Джордж) у місцях гніздування та харчування *Catharacta maccormicki*. При цьому, такий вплив зосереджений переважно в узбережній зоні: його не виявлено для більшої частини ґрунтів всередині півострова (Abakumov et al., 2020).

Що стосується прісних (солонуватих) водойм, то їх можна розділити на ті, які зазнають впливу колоній пінгвінів (табл. 3), та ті, які такою впливу не зазнають (табл. 4).

Таблиця 3. Концентрації розчинених форм азоту та ортофосфатів у прісних водоймах, які знаходяться під впливом колоній пінгвінів у районі Аргентинських островів-півострова Київ (№ у таблиці відповідає числовому позначенню на мапі, нумерація наскрізна)

№ на мапі	Локалізація водойми	Концентрація	
		N мг/л	PO ₄ мг/л
29	Острів Галіндез, озеро Пінгвіняче, 2 м н.р.м., 65.244930° S, 64.256190° W	8	5,4
30	Острів Галіндез, водойма під озером Блакитним, 18 м н.р.м., 65.247950° S, 64.243170° W	2,5	4,5

Біогенні елементи в наземних субстратах, прісних водоймах та льодовій товщі...

31	Острів Галіндез, озеро Резервуар біля станції, 5 м н.р.м., 65.245396° S, 64.256231° W	7,5	5,3
32	Острів Галіндез, Фіолетова водойма в районі Метео-Пойнт, 15 м н.р.м., 65.244928° S, 64.255506° W	1,5	4,5
33	Острів Галіндез, водойма в ємності паливної системи, 10 м н.р.м., 65.245671° S, 64.257083° W	7,8	6,7

Таблиця 4. Концентрації розчинених форм азоту та ортофосфатів у прісних водоймах, не пов'язаних із колоніями пінгвінів району Аргентинських островів-Півострова Київ (№ у таблиці відповідає числовому позначенню на мапі, нумерація наскрізна)

№ на мапі	Локалізація водойми	Концентрація	
		N мкг/л	PO ₄ мкг/л
34	Острів Локатор (о-ви Рока), 29 м н.р.м., 65.178889° S, 64.491667° W	220	620
35	Острів Блек, 3 м н.р.м., 65.257942° S, 64.284385° W	1210	2160
36	Малий Берселот, 48 м н.р.м., 65.336800° S, 64.174600° W	680	750
37	Острів Ірізар, верхня водойма, 20 м н.р.м., 65.219154° S, 64.200339° W	650	540
38	Острів Ірізар, середня водойма, 15 м н.р.м., 65.219226° S, 64.200283° W	790	240
39	Острів Ірізар, нижня водойма, 10 м н.р.м., 65.219520° S, 64.199930° W	710	170
40	Острів Уругвай, велика водойма, 14 м н.р.м., 65.238040° S, 64.225050° W	570	500
41	Острів Гротто, водойма, 6 м н.р.м., 65.23861° S, 64.25693° W	400	360
42	Острів Ноб, солонувата прибережна водойма, 4 м н.р.м., 65.202910° S, 64.318868° W	450	1370
43	Острів Ноб, прісна водойма, 5 м н.р.м., 65.202910° S, 64.318868° W	720	1830
44	Острів Галіндез, водойма на південь від Анна-Гіл, 45 м н.р.м., 65.248490° S, 64.245170° W	190	125
45	Острів Галіндез, водойма під бочкою, 50 м н.р.м., 65.249100° S, 64.246430° W	350	410
46	Острів Галіндез, озеро Нижнє під скельною стінкою куполу Говоруки, 21 м н.р.м., 65.248090° S, 64.245260° W	740	620

За рівнем надходження біогенних елементів водойми також можна розділити на дві групи. До першої належать відносно сильно евтрофіковані водойми острова Галіндез: озеро Пінгвіняче, водойма під озером Блакитним, озеро Резервуар біля станції, Фіолетова водойма в районі Метео-Пойнт, водойма в ємності паливної системи; а також водойми острова Петерман, які знаходяться під впливом колоній пінгвінів *Pygoscelis pappua* (табл. 3). Подібними є водойми на островах Уругвай, Блек та Ноб, на які значно впливають не колоніальні птахи (поодинокі пінгвіни) з розташованих поблизу місць скупчення та гніздування (табл. 4). Такі концентрації розчинених форм азоту та фосфору відповідають гіпертрофікованим водоймам (Wetzel, 1975).

Другий тип включає евтрофіковані водойми, у яких концентрації розчинених сполук азоту і фосфору менші, а надходження екскрементів птахів відбувається більш обмежено, лише під час годівлі або прольоту неколоніальних чи окремих особин колоніальних птахів. До них належать водойми з островів Рока, Блек, Малий Берселот, верхня, середня та нижня водойми з острова Ірізар, водойми з островів Уругвай, Гротто, солонувата та прісна водойми з острова Ноб та водойми острова Галіндез (водойма на південь від Анна-Гіл, водойма під бочкою, озеро Нижнє під скельною стінкою) (табл. 4).

Таким чином, оліготрофічних водойм у досліджуваному районі нами поки не виявлено. Водночас, за межами дослідженого району для антарктичного острова Кінг-Джордж біля поль-

ської станції «Арцтовський» разом із місцями впливу великих колоній птахів, відомі оліго-мезотрофні прісні водойми, які відносно віддалені від узбережжя (Chacón et al., 2013).

Результати вимірів динаміки змін концентрації розчинених сполук азоту та фосфору у

водоймах острову Ірізар, та великої водойми острова Уругвай у березні-квітні 2020 р. свідчать про імовірну постійність евтрофних умов середовища та регулярне надходження відповідних біогенних елементів із посліду птахів та продуктів його трансформації (рис. 2, 3).

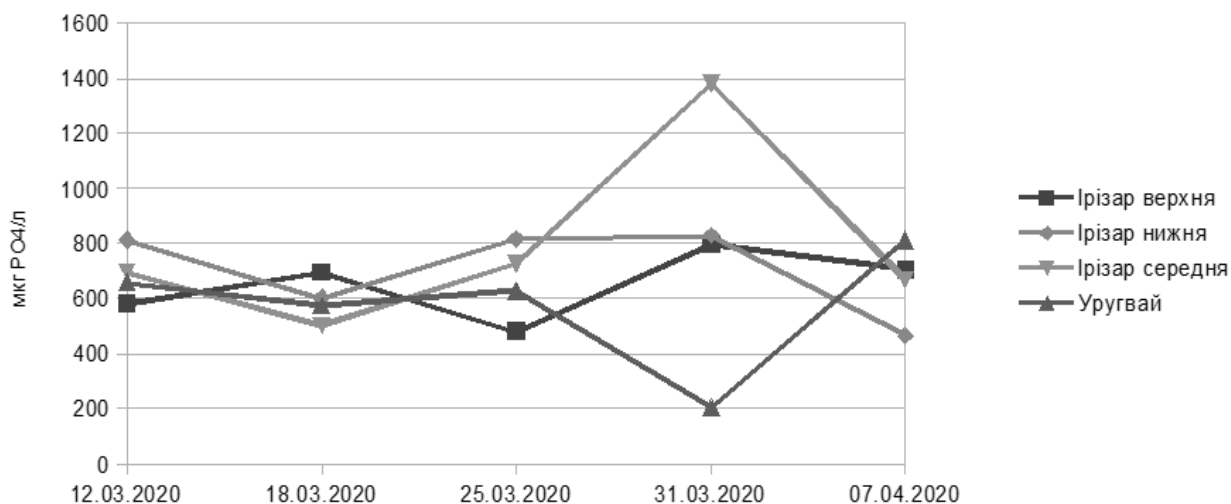


Рис. 2. Динаміка зміни концентрації розчинених ортофосфатів у досліджуваних прісних водоймах району Аргентинських островів-півострова Київ протягом березня-квітня 2020 р.

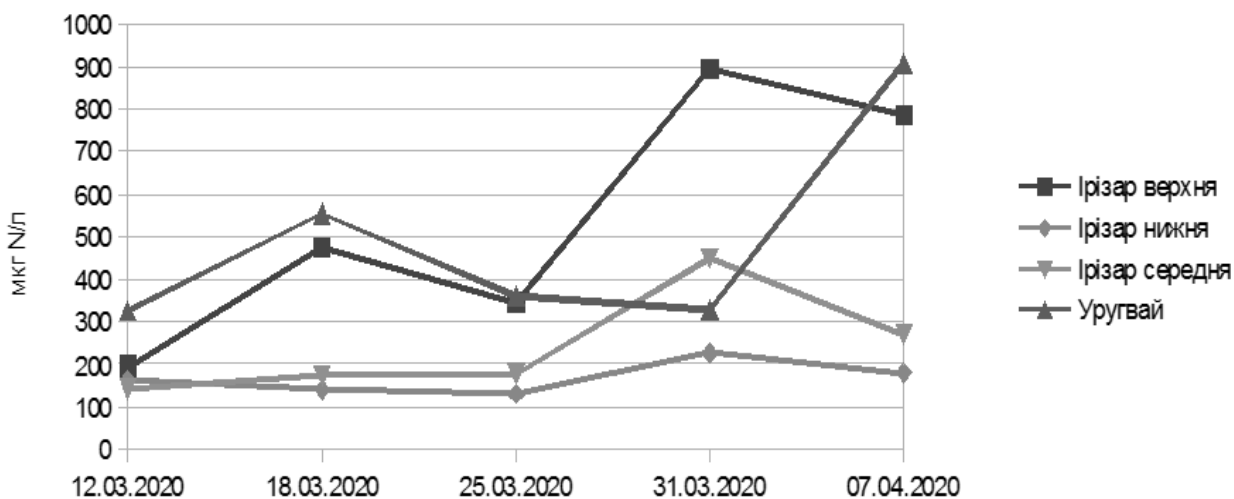


Рис. 3. Динаміка зміни концентрації розчинених неорганічних форм азоту у досліджуваних прісних водоймах району Аргентинських островів-півострова Київ протягом березня-квітня 2020 р.

Із представлених даних видно, що концентрації розчинених сполук фосфору та азоту протягом березня-квітня 2020 р. залишалися на

високому, гіпертрофному рівні. Значні коливання цих показників пов'язані, можливо, із погодними умовами, а саме: швидкістю танення снігу

та острівних льодовиків. Особливо помітно збільшення концентрації розчиненого азоту наприкінці сезону у водоймі острова Уругвай та верхньої водойми острова Ірізар, що може бути пов'язано з початком танення багаторічного, збагаченого послідом, снігу.

У льодовому керні льодовика острова Галіндез та у підльодних водоймах островів Уругвай та Галіндез виявлено високі концентрації біогенних елементів (табл. 5), що підтверджує факт довготривалості та постійності орнітологі-

чного внесення азоту та фосфору. Це може свідчити, що орнітогенний фактор є одним із постійних факторів, які супроводжують формування та існування цих екосистем впродовж всього часу після їх звільнення з-під льодового покриву. Зважаючи на це, надзвичайно важливо провести ширші дослідження ступеню орнітогенності наземних екосистем досліджуваного району, зокрема районів, які нещодавно звільнилися з-під льоду, таких як Мут-Пойнт та ін.

Таблиця 5. Концентрації розчинених форм азоту та ортофосфатів із льодовикового керну та підльодовикових водойм району Аргентинських островів-півострова Київ (№ у таблиці відповідає числовому позначенню на мапі, нумерація наскрізна)

№ на мапі	Локалізація зразку	Концентрація	
		N мкг/л	PO ₄ мкг/л
47	Острів Галіндез, льодовик Домашній, льодовиковий керн, глибина 7 м, 50 м н.р.м., 65.250300° S, 64.246900° W	200	230
48	Острів Галіндез, 15 метрів під льодом, підльодовикова тимчасова прісна водойма, 65.251189° S, 64. 247072° W	200	370
49	Острів Уругвай, 12 метрів під льодом, підльодовикова прісна водойма, 65.234317° S, 64.224850° W	140	200

Висновки

Отримані дані підтверджують високий рівень впливу як колоніальних, так і неколоніальних птахів на наземні та прісноводні екосистеми району Аргентинських островів-півострова Київ. Показано, що едифікуючий вплив та внесення значної кількості азоту та фосфору відбувається не тільки в місцях великих колоній пінгвінів, але і в місцях поодинокого гніздування чи харчування і відпочинку неколоніальних літаючих, чи перебування окремих особин колоніальних птахів у дослідженому районі. Проте, у місцях розташування великих колоній пінгвінів легкорозчинні біодоступні форми азоту та фосфору виявляються у значно більших, гіпертрофних концентраціях.

Порівняно низькі концентрації біогенних елементів виявлені наразі лише в місцях, які нещодавно звільнилися з-під льодовика та залишаються незаселеними рослинністю, непривабливими чи важкодоступними для птахів. Подібні локації наразі відмічені лише на узбережжі півострова Київ та пов'язані з нещодавнім відступом тутешніх льодовиків.

Як у умовах наявності поблизу колонії пінгвінів, так і активності неколоніальних чи окре-

мих особин колоніальних птахів, усі вивчені прісні водойми досліджуваного району були в різному ступені евтрофіковані.

Динаміка надходження органіки до деяких досліджених прісних водойм району, імовірно, свідчить про постійний характер евтрофікації. Дослідження льодового керна льодовика острова Галіндез та підльодовикових прісних водойм свідчать про те, що орнітогенний вплив тут спостерігається протягом тривалого часу.

Відомості про грантову підтримку

Роботу виконано в рамках Державної цільової науково-технічної програми проведення досліджень в Антарктиці на 2011–2023 рр. та українсько-білоруського науково-дослідного проєкту «Наземні біоценози в умовах глобальних змін у різних кліматичних зонах Антарктики», 2021-2022 роки.

Перелік літератури

1. Abakumov E., Parnikoza I., Vlasov D., Lupachev A. Biogenic-abiogenic interaction in antarcticornithogenic soils. *Lect Notes Earth Syst Sci.* 2016. No. 1. P. 237-248. doi: 10.1007/978-3-319-24987-2_19

2. Abakumov E., Lupachev A., Andreev M., Wang W., Ji X. The influence of brown and south polar skua on the content of plant nutrient in the soils from the Fildes Peninsula (King George Island, West Antarctica). *Chemistry and Ecology*. 2020. Vol. 37(2). P. 185-199. doi: 10.1080/02757540.2020.1839435
3. Abakumov E. V., Parnikoza I. Yu., Zhianski M., Yaneva R., Lupachev A. V., Andreev M. P., Vlasova D. Yu., Rianog J., Jaramillo N. Ornithogenic factor of soil formation in Antarctica: a review. *Eurasian Soil Science*. 2021. Vol. 54 (4). P. 528–540. doi: 10.1134/S1064229321040025
4. Bokhorst S., Huiskes A., Convey P., Aerts R. External nutrient inputs into terrestrial ecosystems of the Falkland Islands and the Maritime Antarctic region. *Polar Biology*. 2007. Vol. 30 (10). P. 1315–1321. doi: 10.1007/s00300-007-0292-0
5. Chown S., Froneman P. The Prince Edward Islands: land-sea interactions in a changing ecosystem. Stellenbosch: Sun Press, 2008. P. 482. doi: 10.18820/9781928314219/01
6. Ellis J. C., Fariña J. M., Witman J. D. Nutrient transfer from sea to land: the case of gulls and cormorants in the Gulf of Maine. *J. Anim. Ecol.* 2006. Vol. 75 (2). P. 565-574. doi: 10.1111/j.1365-2656.2006.01077.x
7. Hach Company. *Hach Water Analysis Handbook*. Loveland, Colorado: Hach Co, 2002. P. 1260.
8. Chacón N., Ascanio M., Herrera R., Benzo D., Flores S., Silva S. J., García B. Do P cycling patterns differ between ice-free areas and glacial boundaries in the Maritime Antarctic region? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 2013. Vol. 45 (2). P. 190–200
9. Juchnowicz-Bierbasz M., Rakusa-Suszczewski S. Nutrients and cations content in soil solutions from the present and abandoned penguin rookeries (Antarctica, King George Island). *Polish Journal of Ecology*. 2002. Vol. 50(1). P. 79–91. doi: 10.2478/v10183-011-0002-z
10. Karuss J., Lamsters K., Chernov A., Krievāns M., Ješkins J. Subglacial topography and thickness of ice caps on the Argentine Islands. *Antarctic Science*, 2019. Vol. 31 (6). P. 332–344. doi: 10.1017/S0954102019000452
11. Michelutti N., Blais J., Mallory M., Brash J., Thienpont J., Kimpe L., Douglas M., Smol J. Trophic position influences the efficacy of seabirds as metal biovectors. *Proc. Natl Acad. Sci.* 2010. Vol. 107(23). P. 10543–10548. doi: 10.1073/pnas.1001333107
12. Otero X. L.; De La Peña-Lastra S., Pérez-Alberti A., Ferreira T. O., Huerta-Díaz M. A. Seabird colonies as important global drivers in the nitrogen and phosphorus cycles. *Nature Communications*. 2018. Vol. 9(1). P. 1–8. doi: 10.1038/s41467-017-02446-8
13. Parnikoza I., Korsun S., Kozeretska I., Kunakh V. A Discussion note on soil development under the influence of terrestrial vegetation at two distant regions of the Maritime Antarctic. *Polarforschung*. 2011. Vol. 80(3). P. 181–185. doi: 10.2312/polarforschung.80.3.181
14. Parnikoza I., Dykyy I., Ivanets V., Kozeretska I., Kunakh V., Rozhok A., Ochyra R., Convey P. Use of *Deschampsia antarctica* for nest building by the kelp gull in the Argentine Island area (maritime Antarctica). *Polar Biology*. 2012. Vol. 35(11). P. 1753–1758. doi: 10.1007/s00300-012-1212-5
15. Parnikoza I., Abakumov E., Korsun S., Klymenko I., Netsyk M., Kudinova A., Kozeretska I. Soils of the Argentine islands, Antarctica: diversity and characteristics. *Polarforschung*. 2016. Vol. 86 (2). P. 83–96. doi: 10.2312/polarforschung.86.2.83
16. Parnikoza I., Berezkina A., Moiseyenko Y., Malanchuk V., Kunakh V. Complex survey of the Argentine Islands and Galindez Island (maritime Antarctic) as a research area for studying the dynamics of terrestrial vegetation. *Ukrainian Antarctic Journal*. 2018. Vol. 1(17). P. 73–101. doi: 10.33275/1727-7485.1(17).2018.34
17. Peklo A. M. The birds of Argentine Islands and Petermann Island. Kryvy Rih: Myneral, 2007. P. 264. [in Russian] / Пекло А. М. Птицы Аргентинских островов и острова Питерман. Кривой Рог: Минерал, 2007. 264 с
18. Portnoy J. W. Gull contribution of phosphorus and nitrogen to a Cape Cod kettle pond. *Hydrobiologia*. 1990. Vol. 202. P. 61–69. doi: 10.1007/BF00027092
19. Rice E., Bridgewater L. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, D. C.: American Public Health Association, 2012. P. 1496.
20. Riddick S. N., Dragosits U., Blackall T. D., Daunt F., Wanless S., Sutton M. A. The global distribution of ammonia emissions from seabird colonies. *Atmospheric Environ.* 2012. Vol. 55. P. 319–327. doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.02.052
21. Riddick S. N., Blackall T. D., Dragosits U., Daunt F., Newell M., Braban C. F., Tang Y.S., Schmale J., Hill P. W., Wanless S., Trathan P., Sutton M. A. Measurement of ammonia emissions from temperate and subpolar seabird colonies. *Atmospheric Environ.* 2016. Vol. 134. P. 40–50. doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.03.016
22. Roshal A. D., Krasnoperova A. P., Dykyy I. V., Yukhno G. D., Syzova Z. A., Shmyrev D. V., Gamulia Yu. G., Utevskiy A. Yu. Primitive soils of the Mount Demaria (Graham Land, Antarctic Peninsula): morphology, mineral composition, vertical distribution. *Ukrainian Antarctic Journal*. 2013. No. 12. P. 265–281. [in Russian] / Рощаль А. Д., Красноперова А. П., Дикий И. В., Юхно Г. Д., Сизова З. А., Шмырев Д. В., Гамуля Ю. Г., Утевский А. Ю. Примитивные Почвы горы Demaria (Graham Land, Antarctic Peninsula): морфология, минеральный состав, вертикальное распределение. *Український антарктичний журнал*. 2013. № 12. С. 265–281.

23. Tatur A., Myrcha A. Ornithogenic soils (In: The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay, Ed. S. Rakusa-Suszczewski). Warsaw: Department of Antarctic Biology, Polish Academy of Sciences, 1993. P. 161–165.
24. Tatur A., Myrcha A., Niegodysz J. Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the maritime Antarctic. *Polar Biol.* 1997. Vol. 17. P. 405–417. doi: 10.1007/s003000050135
25. Wetzel R. Limnology. San Diego: Academic Press, 2001. P. 743. doi: 10.1016/C2009-0-02112-6
26. Zhu R., Shi Y., Ma D., Wang C., Xu H., Chu H. Bacterial diversity is strongly associated with historical penguin activity in an Antarctic lake sediment profile. *Scientific Reports.* 2015. Vol. 5(1). doi: 10.1038/srep17231

**BIOGENIC ELEMENTS
IN TERRESTRIAL SUBSTRATES,
FRESHWATER POOLS
AND SUBICE SEAMPLES
OF THE ARGENTINE ISLANDS-KYIV
PENINSULA REGION,
THE MARITIME ANTARCTIC**

O. Yarovy¹, H. Yevchun^{1,2}, D. Pishniak¹, I. Parnikoza^{1,2,3}

¹ National Antarctic Scientific Center
Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukraine, 01601, Kyiv, Shevchenko Ave., 16

² National University of Kyiv-Mohyla Academy
Ukraine, 04070, Kyiv, Skovorody St., 2

³ Institute of Molecular Biology and Genetics
of NAS of Ukraine
Ukraine, 03143, Kyiv, Akad. Zabolotnogo St., 150
e-mail: oleksandr.iarovy@gmail.com

Aim. The aim was to estimate inflow of nitrogen and phosphorus to the terrestrial substrate, freshwater pools, as well as in the ice core and subglacial waters, from the sea-bird colonies, and locations of non-colonial flying birds, or individual colonial birds activity. **Methods.** The

samples of substrates, fresh waters, ice cores and samples from the subglacial waters collected during the 25th (2019/20) and 26th (2020/21) Ukrainian Antarctic expeditions in the area of the Argentine Islands — Kyiv Peninsula were analyzed by selected indicators of ornithogenic impact — concentration of bioavailable forms of nitrogen and phosphorus. **Results.** The concentration for nitrogen and phosphorus are shown to be ornithogenic in samples from all explored locations. High concentrations of ornithogenic compounds were detected not only inflowing from birds colonies, in particular penguins, but also in samples without their influence. **Conclusions.** The obtained data confirm the high level of influence of both colonial and non-colonial birds on terrestrial and freshwater ecosystems of the Argentine Islands-Kyiv Peninsula. It is shown that the edifying effect and inflow of significant amounts of nitrogen and phosphorus occurs not only in large penguin colonies, but also in single nesting or feeding and resting areas of non-colonial flying birds, or in the presence of individual colonial birds in the study area. However, in the locations of large penguin colonies, easily dissolved bioavailable forms of nitrogen and phosphorus are found in much higher, hypertrophic concentrations. Relatively low concentrations of nutrients are currently found only in areas that have recently been released from the glacier and remain uninhabited, unattractive or inaccessible to birds. Such locations are currently marked only on the coast of the Kyiv Peninsula and are associated with the recent retreat of local glaciers. In case of the presence of penguins or the activity of non-colonial or individual colonial birds, all studied freshwater pools were eutrophied to varying extend. The dynamics of organic matter inflow to some of the studied freshwater pools of the region probably indicates the permanent eutrophication. Studies of the ice core of the Galindez Island Glacier and subglacial freshwaters have shown that ornithogenic effects have been observed here for a long time.

Keywords: eutrophication, seabirds, the Antarctic, substrates, freshwater pools.