

ЕКОЛОГІЯ

УДК 550.47

Bedernichek T.: <https://orcid.org/0000-0003-2954-0118>

СУБАНТАРКТИЧНИЙ ОСТРІВ МАРІОН ЯК МОДЕЛЬ ДЛЯ БІОГЕОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА СТАНЦІЇ «АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ»

© Бедернічек Т. Ю.

*Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України
bedernichek@gmail.com*

<https://doi.org/10.34142/2708-5848.2021.23.1.10>

Екосистеми Арктичної, Антарктичної та альпійської тундри вразливі до глобальних та регіональних кліматичних змін, зокрема до підвищення літніх температур. У високогір'ях з метою проведення багаторічних спостережень за динамікою рослинних угруповань, а також температурним режимом ґрунтів, закладено мережу стаціонарних дослідних ділянок GLORIA. В Арктичній тундрі функціонує мережа Арктичних дослідних станцій INTERACT, багато із яких працює за уніфікованими методиками. В Антарктиці схожих мереж, де б строго за одним протоколом проводились тривалі дослідження значної кількості компонентів довкілля немає. Одним із найвдаліших прототипів для проведення таких досліджень є субантарктичний острів Маріон, де понад 50 років проводиться комплексний аналіз наземних екосистем і, зокрема, моніторинг біогеохімічних потоків у системі океан – суходіл. У 1978-1985 рр. було опубліковано цикл праць, присвячених кількісній оцінці основних зоогенних біогеохімічних потоків з океану на суходіл острова Маріон, які включали облік речовини та енергії, що надходили у складі гуано, пір'я та яєць різних видів морських птахів, трупів тварин, сечі та екскрементів морських слонів. На підставі отриманих даних у 1977 р. було сформульовано концептуальну модель потоків речовини та енергії для острова Маріон, а у 2008 р. її переглянуто і доповнено новими даними та визначено пріоритетні напрями для подальших досліджень. Крім того, там розпочато дослідження еолових процесів як чинника формування і розвитку наземних екосистем, що можуть помітно впливати на транспорт речовини з океану на суходіл і навпаки, а також забезпечувати перерозподіл речовини в межах суходолу. Підходи та принципи проведення детального багаторічного моніторингу різних компонентів екосистем на субантарктичному острові Маріон доцільно використати як методологічну основу для досліджень у морській Антарктиці, і, зокрема, в районі розташування станції Академік Вернадський (Аргентинські острови, Архіпелаг Вільгельма).

Ключові слова: морська Антарктика, Субантарктика, острів Маріон, острів Принца Едварда, біогеохімічні цикли.

Найвразливішими до нових кліматичних умов, зокрема до підвищення літніх температур, є стенотермні організми та угруповання, пристосовані до вузького температурного діапазону – зональні та гірські тундри і льодові пустелі. Для Антарктики в цілому і морської Антарктики зокрема прояви і наслідки кліматичних змін є сильнішими, ніж у більшості інших регіонів, про що переконливо свідчать результати останніх досліджень [19, 20]. Це підтверджують тренди зміни температури, встановлені для антарктичних станцій, розташованих у морській Антарктиці. Так, для станції Беллінсгаузен (о. Кінг-Джордж) приріст середньорічної температури повітря склав $0.35 \pm 0.46^\circ\text{C}$ щодесять років для періоду 1969–

2000, для станції Академік Вернадський (до 1996 р. – станція Фарадей, острів Галіндез) – $0.56 \pm 0.43^\circ\text{C}$ щодесять років для періоду 1950–2000, і для станції Ротера (острів Аделейд) – $1.01 \pm 1.42^\circ\text{C}$ щодесять років для періоду 1978–2000 [2].

За таких умов все важливішим стає моніторинг не лише змін метеорологічних та інших показників, які можна визначити інструментально (рН вод, питома електропровідність ґрунту, хімічний склад різних компонентів довкілля тощо), а і вивчення відповіді різних компонентів довкілля на ці зміни. Схожі дослідження вже тривалий час виконуються в альпійській тундрі. Зокрема, найдовша серія повторних досліджень здійснена на вершині гори Piz Linard (Швейца-

рія), і охопила 1835, 1864, 1895, 1911, 1937, 1947, 1992 рр. та триває й досі [11]. Дані цих досліджень, а також повторні геоботанічні описи [10], виконані на 30 вершинах висотою понад 3000 м у Швейцарських та Австрійських Альпах, засвідчили сильну вразливість екосистем високогір'я до кліматичних змін та стали основою міжнародного проекту GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments). Автори цього проекту дійшли висновку, що достовірне прогнозування змін рослинних угруповань у високогір'ї під впливом глобальних кліматичних змін потребує мережі стаціонарних моніторингових ділянок, де за уніфікованими методиками з визначеним інтервалом будуть здійснюватися повторювані дослідження. В Арктиці функціонує мережа Арктичних дослідних станцій INTERACT (International Network for Terrestrial Research and Monitoring in the Arctic), багато із яких працює за стандартизованими та уніфікованими методиками. В Антарктиці схожих мереж, де б строго за одним протоколом проводились тривалі дослідження значної кількості компонентів довкілля, немає. Тому, уваги заслуговують всі без виключення моніторингові дослідження, які ведуться на стаціонарних моніторингових ділянках за однаковими протоколами.

СУБАНТАРКТИЧНИЙ ОСТРІВ МАРІОН

У Субантарктиці відомі приклади довготривалих комплексних спостережень. На сьогодні найповніша інформація є про острови Принца Едварда (Південна Африка), де десятки років безперервно ведуться не лише флористичні та фауністичні обліки, а й проводиться кількісна оцінка біогеохімічних потоків у системі океан – суходіл. Результати цих досліджень узагальнені у монографії *“The Prince Edward Islands: land-sea interactions in a changing ecosystem”* за редакцією Чоуна та Фронмена [7].

Острови Принца Едварда (також відомі як острови Принц Едвард, Принц-Едвард, Принс-Едуард) складаються з острова Маріон та, власне, острова Принц Едвард і роз-

ташовані у південній частині Індійського океану на 46 паралелі. Тому, субантарктичні умови та тундрова рослинність цих островів пов'язані не стільки з широтою розташування, як мікрокліматичними особливостями регіону з дуже великою кількістю опадів та сильними холодними західними вітрами.

У 1965–1966 роках на островах Принца Едварда розпочалась низка досліджень, які стали основою для створення постійно діючої дослідної станції та унікального довготривалого біогеохімічного експерименту. Для цього всю територію острова Маріон площею 290 км² (25 км × 16,7 км) було поділено на квадрати площею 1 км², та всі подальші дослідження проводилися з прив'язкою до конкретного квадрату (А8, L3, тощо). Такий підхід дозволив провести суцільний «площинний» моніторинг усіх компонентів довкілля острова, а також виконати не лише якісну, але і кількісну оцінку біогеохімічних потоків з океану на суходіл для кожного конкретного квадрату [17, 18].

Тісні зв'язки між морськими та наземними екосистемами найсильніше простежуються на островах. Особливо, коли на суходолі відсутній повноцінний автотрофний блок, який би міг забезпечити потреби консументів у речовині та енергії. Така ситуація є типовою для антарктичних та субантарктичних островів. Їх населяють консументи вищих порядків – морські птахи, ластоногі, які харчуються в морі, але значний час проводять на суходолі. Саме вони забезпечують транспорт та перевідкладення великої кількості органічних та неорганічних речовин з океану на суходіл. Переважно, ці впливи зводяться до накопичення гуано на суходолі, що, в свою чергу, сприяє формуванню та розвитку ґрунтів. Це дуже поверхневий погляд, адже крім гуано слід брати до уваги ще принаймні пір'я, шерсть, яйця, трупі самих консументів, при чому значну увагу слід приділити впливу ластоногих на наземні екосистеми, а даних щодо цього наразі небагато [3]. Детальний аналіз цих резервуарів і потоків речовини було здійснено колективом науковців для субантарктичних островів Принца Едварда. За результатами цих досліджень у 1978 р. було

опубліковано цикл праць в South African Journal of Antarctic Research, присвячених потокам речовини та енергії з океану у наземні екосистеми острова Маріон. Вони, зокрема, охоплювали наступні складові:

- гуано окремих видів птахів [6];
- пір'я внаслідок линьки пінгвінів, бакланів та мартинів [21];
- трупи окремих видів птахів [22];
- яйця окремих видів птахів [16].

Згодом Панагіс [14] проаналізував вплив південних морських слонів (*Mirounga leonina*) на наземні екосистеми острова Маріон і, зокрема, встановив, як екскременти та сеча впливають на склад і властивості ґрунтів. Спрощено, схему зоогенних біогеохімічних потоків з океану на суходіл зобра-

жено на рис. 1. Зазначимо, що серед морських птахів найсильніший вплив на наземні екосистеми чинять, переважно, пінгвіни (*Spheniscidae*) та баклани (*Phalacrocorax* spp.), що пов'язано із значною чисельністю та щільністю їхніх популяцій. Також, помітно впливають на наземні екосистеми острова Маріон мартини (*Larus dominicanus*), гігантські буревісники (*Macronectes giganteus* spp.), альбатроси (*Diomedea* spp.) та поморники (*Stercorarius* spp.). Вплив останніх зростає і в Антарктиці. Наприклад, у нещодавній публікації Абакумов та ін. [1] дійшли висновку, що *Catharacta antarctica* та *C. maccormicki* істотно впливають на хімічний склад деяких ґрунтів острова Кінг Джордж.

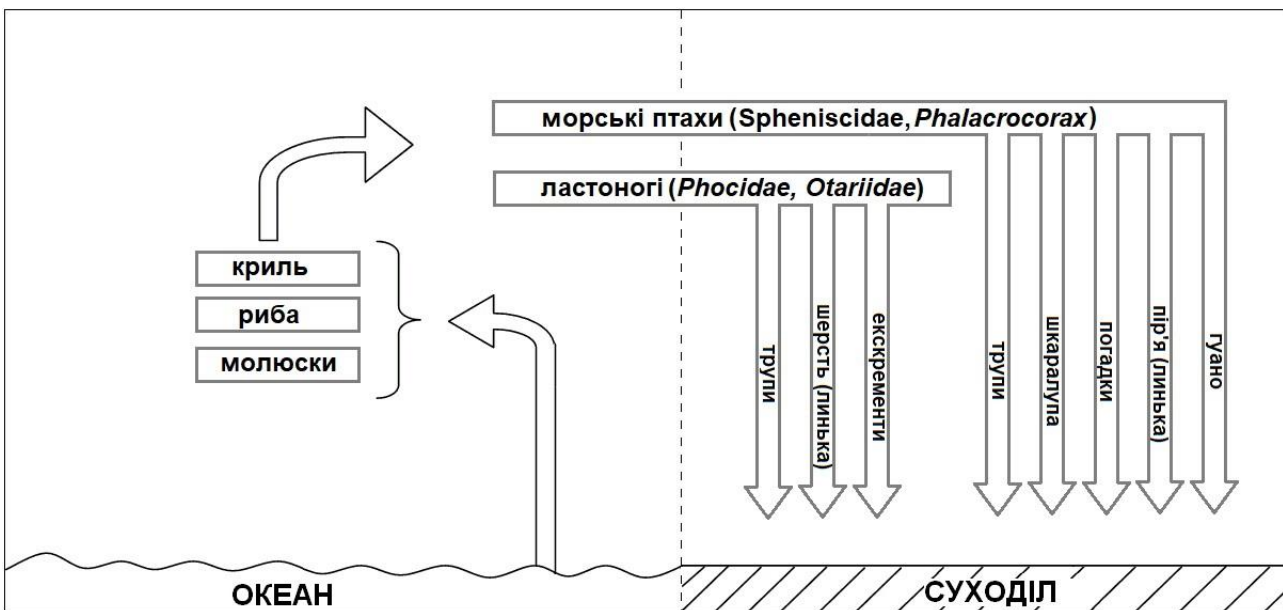


Рис. 1. Схема зоогенних біогеохімічних потоків з океану на суходіл у морській Антарктиці та Субантарктиці.

У детальному аналізі впливу тюленів, морських котиків та морських птахів на наземні екосистеми острова Маріон [4] їх навіть було названо «зоогеоморфологічними агентами». Значну увагу зоогенним біогеохімічним потокам приділяє Сміт [17] в узагальнюючій роботі “A qualitative description of energy flow and nutrient cycling in the Marion Island terrestrial ecosystem”, в

якій сформульовано вербальну модель та загальну концепцію проведення довготривалого комплексного моніторингу наземної екосистеми острова. Її було переосмислено, допрацьовано за результатами 30-річних досліджень та опубліковано цим же автором із численними змінами і доповненнями [18].

Застосований південноафриканськими дослідниками підхід дозволив кількісно оцінити потоки речовини та енергії з океану на суходіл у розрізі конкретних дослідних полігонів площею 1 км² за кількістю енерговмісних субстратів по кожному з полігонів та для острова в цілому. Також, на підставі цих досліджень було розраховано загальний бюджет (баланс) макроелементів для кожного полігону та всього острова. Періодичне повторення цих досліджень у нових кліматичних умовах дозволяє проводити оцінку впливу саме кліматичних змін на біогеохімічні процеси на рівні острова. Ці дані є вкрай важливими, оскільки дозволяють прогнозувати зміни потоків речовини та енергії і на інших субантарктичних островах та, частково, островах морської Антарктики, та приймати відповідні управлінські, зокрема природоохоронні, рішення.

БІОГЕОХІМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У МОРСЬКІЙ АНТАРКТИЦІ

У Західній Антарктиці в цілому та морській Антарктиці зокрема немає моніторингових полігонів аналогічних за масштабом, деталізацією та вивченістю до тих, що описані вище для острова Маріон. Є окремі винятки, наприклад, багаторічний моніторинг рослинності Аргентинських островів, який було розпочато у 1965 р. Корнером [8], продовжено у 1990 р. Фаубертом і Люїс Смітом [9] та Парнікосою та ін. [15]. Або тривалий моніторинг колоній пінгвінів на острові Пітерман, починаючи з 1982 р. дотепер [13]. Проте, тривалий біогеохімічний моніторинг ані в регіоні Аргентинських островів, ані у морській Антарктиці в цілому не проводиться, хоч актуальність таких досліджень у регіоні є високою.

З цією метою доцільно адаптувати підхід застосований на острові Маріон і встановити мережу постійних полігонів для моніторингу біогеохімічних потоків як макротак і мікроелементів у межах островів морської Антарктики, зокрема поблизу станції Академік Вернадський. Без сумніву, важливою відмінністю Аргентинських

островів від острова Маріон є, насамперед, площа – вони є значно меншими. З огляду на це доцільно істотно зменшити розміри полігонів, а для найменших островів – проводити суцільні обстеження з використанням засобів дистанційного зондування Землі чи аерофотозйомки. Кількісна оцінка біогеохімічних потоків речовини та потоків енергії у вигляді енерговмісних субстратів з океану на суходіл в умовах морської Антарктики дозволить не лише розпочати моніторинг впливу глобальних кліматичних змін на баланс хімічних елементів та енергетичний баланс екосистем, а також істотно підвищити інформативність ґрунтознавчих досліджень, палеорекострукцій тощо, і, в цілому, сприятиме поглибленню знань про особливості генези та еволюції ґрунтів морської Антарктики.

Крім зоогенних біогеохімічних потоків, істотною прогалиною у дослідженнях є вплив еолових процесів на формування та функціонування наземних екосистем морської Антарктики. Для острова Маріон їхню кількісну оцінку було розпочато Хеддінгом та ін. [12], а Бохорст та ін. [5] впровадили моніторинг кількості та складу матеріалу, перевідкладеного внаслідок еолових процесів для Фолклендських островів, острова Сайні (Signy Island) та острова Анкоридж (Anchorage Island). Проте, для більшості островів Антарктики та Субантарктики такі дослідження не проводились і навіть попередньо оцінити можливий потік біогенних елементів внаслідок еолових процесів практично неможливо. Окремо варто зазначити, що, крім твердих частинок, вітер переносить значну кількість аерозолів. Частково перенесення морської води призводить до засолення прибережних ґрунтів, частково – до надходження у доволі бідні субстрати макро- та мікроелементів необхідних для росту і розвитку рослин. Кількісна оцінка цього процесу, як і еолових процесів в цілому, для Архіпелагу Вільгельма, є важливим завданням на найближче майбутнє.

ПІДСУМОК

Підходи та принципи проведення детального багаторічного моніторингу різних компонентів екосистем на субантарктичному острові Маріон доцільно використати як методологічну основу для досліджень у морській Антарктиці, і, зокрема, в районі розташування станції Академік Вернадський (Аргентинські острови, Архіпелаг Вільгельма). Кількісна оцінка зоогенних біогеохімічних потоків з океану на суходіл є першим і найбільш трудомістким кроком для побудови балансової моделі для конкретних островів. Її створення є необхідною для тривалого

моніторингу біогеохімічних потоків у системі океан – суходіл у контексті кліматичних змін. Ймовірно, що кліматичні зміни матимуть вплив і на еолові процеси, тому слід також оцінити кількість, склад, та швидкість накопичення матеріалу, який перевідкладається вітром.

ПОДЯКИ

Це дослідження виконано за підтримки ДУ «Національний антарктичний науковий центр» МОН України у межах проекту «Оцінка потоків біогенних елементів та парникових газів у наземних екосистемах Прибережної Антарктики» № 0117U003733.

Література

1. Abakumov, E., Lupachev, A., Andreev, M., Wang, W., Ji, X. (2021) 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* 37(2): 185–199.
2. Amesbury, M. J., Roland, T. P., Royles, J., Hodgson, D. A., Convey, P., Griffiths, H., Charman, D. J. (2017) Widespread Biological response to rapid warming on the Antarctic Peninsula. *Current Biology* 27(11): 1616–1622.
3. Bedernichek, T., Dykyu, I., Partyka, T., Zaimenko, N. (2020) Why WRB needs a mammalian qualifier: the case of seal colony soils. *Geoderma* 371: 114369.
4. Boelhouwers, J., Meiklejohn, I., Holness, S., Hedding, D. (2008) Geology, geomorphology and climate change: land-sea interactions in a changing ecosystem. In: *The Prince Edward Islands: Land-Sea Interactions in a Changing Ecosystem*. Eds. Chown, S., Froneman, P.W. Sun Press, p. 65–96.
5. Bokhorst, S., Huiskes, A., Convey, P., Aerts, R. (2007) External nutrient inputs into terrestrial ecosystems of the Falkland Islands and the Maritime Antarctic region. *Polar Biology* 30(10): 1315–1321.
6. Burger, A. E., Lindeboom, H. J., Williams, A.J. (1978) The mineral and energy contributions of guano of selected species of birds to the Marion Island terrestrial ecosystem. *South African Journal of Antarctic Research* 8: 59–70.
7. Chown, S., Froneman, P. W. (Eds.). (2008) *The Prince Edward Islands: land-sea interactions in a changing ecosystem*. Sun Press.
8. Corner, R. W. M. (1971) Studies in *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. and *Deschampsia antarctica* Desv.: IV. Distribution and reproductive performance in the Argentine Islands. *British Antarctic Survey Bulletin* 26: 41–50.
9. Fowbert, J. A., Lewis Smith, R. I. (1994) Rapid population increases in native vascular plants in the Argentine Islands, Antarctic Peninsula. *Arctic and Alpine Research* 26(3): 290–296.
10. Grabherr, G., Gottfried, M., Pauli, H. (1994) Climate effects on mountain plants. *Nature* 369(6480): 448.
11. Grabherr, G., Gottfried, M., Pauli, H. (2001) Long-term monitoring of mountain peaks in the Alps. In: *Biomonitoring: general and applied aspects on regional and global scales. Tasks for vegetation science*. Eds. Burga, C.A., Kratochwil, A. Springer. p.153–177.
12. Hedding, D. W., Nel, W., Anderson, R. L. (2015) Aeolian processes and landforms in the sub-antarctic: Preliminary observations from Marion island. *Polar Research* 34: 26365.
13. Lynch, H. J., Naveen, R., Casanovas, P. (2013) Antarctic Site Inventory breeding bird survey data, 1994–2013. *Ecology* 94(11): 2653–2653.
14. Panagis, K. (1985) The influence of elephant seals on the terrestrial ecosystem at Marion Island. In: *Antarctic nutrient cycles and food webs*. Eds. Siegfried, W.R., Condy, P.R., Laws, R.M. Springer, p. 173–179.
15. Parnikoza, I., Convey, P., Dykyu, I., Trokhymets, V., Milinevsky, G., Tyschenko, O., Inozemtseva, D., Kozeretka, I. (2009) Current status of the Antarctic herb tundra formation in the Central Argentine Islands. *Global Change Biology* 15(7): 1685–1693.
16. Siegfried, W. R., Williams, A. J., Burger, A. E., Berruti, A. (1978) Mineral and energy contributions of eggs of selected species of birds to the Marion Island terrestrial ecosystem. *South African Journal of Antarctic Research* 8: 75–87.
17. Smith, V.R. (1977) A qualitative description of energy flow and nutrient cycling in the Marion Island terrestrial ecosystem. *Polar Record* 18(115): 361–370.
18. Smith, V. (2008) Energy flow and nutrient cycling in the Marion Island terrestrial ecosystem: 30 years on. *Polar Record* 44(3): 211–226.
19. Turner, J., Barrand, N. E., Bracegirdle, T. J., Convey, P., Hodgson, D. A. et al. (2014) Antarctic climate change and the environment: an update. *Polar Record* 50(3): 237–259.
20. Vaughan, D. G., Marshall, G. J., Connolley, W. M., Parkinson, C., Mulvaney, R., Hodgson, D. A., King,

J. C., Pudsey, C. J., Turner, J. (2003) Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. *Climatic Change* 60(3): 243–274.

21. Williams, A. J., Berruti, A. (1978) Mineral and energy contributions of feathers moulted by penguins, gulls and cormorants to the Marion Island terrestrial

ecosystem. *South African Journal of Antarctic Research* 8: 71–74.

22. Williams, A. J., Burger, A. E., Berruti, A. (1978) Mineral and energy contributions of carcasses of selected species of seabirds to the Marion Island terrestrial ecosystem. *South African Journal of Antarctic Research* 8: 53–59.

UDC 550.47

**SUBANTARCTIC MARION ISLAND AS A MODEL FOR BIOGEOCHEMICAL STUDIES AT THE
AKADEMIK VERNADSKY STATION**

T. Bedernichek

The terrestrial ecosystems of the Arctic, Antarctic and alpine tundra are vulnerable to global and regional climate changes, including high summer temperatures. In order to conduct long-term observations of the dynamics of plant communities, as well as the temperature of the soil, a network of stationary GLORIA research sites has been established in the highlands. In the Arctic, many research stations participate in the INTERACT network and conduct studies according to the same protocols. There are no similar networks that conduct long-term studies of biogeochemical fluxes following the same protocol in the Antarctic region. One of the most perspective prototypes for such research is the sub-Antarctic Marion Island. The long-term research of the terrestrial ecosystems has been lasting there for more than 50 years and includes studies on energy flows and biogeochemical cycles. In 1978-1985, a number of articles were published on the quantification of the zoogenic biogeochemical flows and land-sea interaction for Marion Island. Some of them evaluated energy and nutrient flow from sea to land with the help of guano, feathers, and eggs of various seabird species, carcasses of seabirds, and elephant seals urine and excrements. Based on the data obtained, a conceptual model of matter and energy flows for Marion Island was developed in 1977. In 2008, it was revised and enriched with new data, and the most important priority areas for further research were identified. In addition, the research on aeolian processes as a factor affecting Marion Island's terrestrial ecosystems was started. Strong winds can significantly affect the transport of matter from the ocean to land and vice versa, as well as facilitate the redistribution of matter within the land. The approaches and principles that were applied to long-term monitoring of the sub-Antarctic Marion Island should be used as a methodological basis for research in maritime Antarctica, particularly in the vicinity of the Akademik Vernadsky Station (the Argentine Islands, Wilhelm Archipelago).

Key words: the maritime Antarctic, sub-Antarctic, Marion Island, Prince Edward Island, biogeochemical cycles.

Стаття надійшла 12. 06. 2021 р.

Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування