

УДК 551.582

В. Тимофеев, канд. геогр. наук, К. Петренко, студ., А. Гернега, студ.

МІНЛИВІСТЬ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ В РАЙОНІ АНТАРКТИЧНОГО ПІВОСТРОВА В УМОВАХ СУЧАСНОГО ПОТЕПЛІННЯ

Представлено часову мінливість основних метеорологічних величин у районі Антарктичного півострова, внаслідок потепління в нижніх шарах тропосфери. За даними української антарктичної станції Академік Вернадський, разом із підвищенням середніх нічних, місячних і мінімальних температур, спостерігаються зміни в структурі коливань атмосферного тиску. Крім того, зростає середня швидкість вітру та його екстремуми, разом із правим поворотом переважаючого напрямку вітру. Наведено приклади мінливості екосистем в умовах сучасних кліматичних змін.

Multi-years' changes of the main meteorological parameters in the region of the Antarctic Peninsula due to climate warming is analyzed. Air temperature growth registered by the data of Ukrainian Antarctic station of Academic Vernadsky is accompanied by changes in oscillations of barometric pressure as well as strengthening of mean surface winds and right (eastward) turn of dominant wind. Some examples of warming-related changes in ecosystems are presented.

Вступ. Очевидно, що наслідки змін клімату найбільш відчутно проявляються в полярних районах планети. Сучасне потепління призвело до зменшення площ морських льодів, відступання берегових льодовиків у Гренландії та Антарктиці, деградації пермафросту в Арктиці, а також до відчутних змін у станах екосистем [3; 6]. З іншого боку, у центральних районах Антарктиди температури майже не змінюються і згідно зі свідченнями [5], антарктичний льодовий купол навіть має незначний позитивний баланс. Вивчення цих процесів є одним з головних завдань проведення в 2007–08 рр. Міжнародного Полярного року, третього за рахунком.

З іншого боку, найвідчутніше потепління в Південній півкулі торкнулось берегової зони західного сектору Антарктики і району Антарктичного півострова [4; 9; 11–13]. Зростання температури повітря в цьому районі настільки значне, що є підстави для розглядання цього явища як швидкої зміни клімату, що не має аналогів протягом останнього міжльодовикового періоду [9]. Важливо, що зростання температури повітря реєструється в цьому районі за даними всіх станцій, що працюють понад 30 років, незважаючи на те, що вони розташовані в різних фізико-географічних умовах. Будь-які зміни кліматичного режиму відбиваються на змінах погодних умов, метеорологічному режимі даної місцевості, а також режимі небезпечних явищ.

Метою роботи є вивчення наслідків змін клімату в районі Антарктичного півострова, зокрема в полях атмосферного тиску, вітру, температури повітря та опадів, а також у стані екосистем. У першу чергу дослідження проводилось за даними експедиційних вимірювань і спостережень на українській антарктичній станції Академік Вернадський (УАС) за період 1947–2005 рр.

Результати роботи. *Температура повітря, опади.* Головним чинником формування полів температури і опадів повітря є великомасштабна циркуляція, але місцеві умови (гірська система Антарктичного півострова, контраст океан-лід-земля) також відіграють важливу роль. Наявність зледеніння на східному узбережжі і відсутність на західному (де розташована ст. Вернадський) зумовлює відхилення регіональних ізотерм від квазізональної орієнтації, з посиленням градієнтів у вузькій зоні, майже паралельно гірській системі Антарктичного півострова. Наявність морських льодів взимку з межею їх поширення недалеко від УАС, як правило, підсилює цей контраст.

Зростання температури повітря на станціях регіону відбувається нерівномірно між десятиліттями, з періодом відносного похолодання в кінці 1970-х рр., що поділяє два періоди потепління в 1960-х рр. і сучасного, з початку 1980-х рр. (рис. 1). Очевидні зміни відбулись у типі розподілення температур: якщо у 1951–1960 рр. воно було близьким до рівномірного (з кількома доміантними модами), то в 1991–2000 рр. – до нормального (одна доміантна мода), рис. 2.

За даними ст. Фарадей/Академік Вернадський, потепління супроводжується зменшенням амплітуд коливань температури повітря на масштабах від добового до сезонного. Найбільш істотно зменшилась міжрічна амплітуда температури в квітні-травні – з $6,5 \pm 3,4$ °C в 1947–1956 рр. до $2,4 \pm 1,6$ °C в 1991–2000 рр. Взагалі, за цим показником ці місяці в 1947–1956 можна порівняти з сучасними зимовими. Знизилась і інші статистичні показники варіації, включаючи величину міждобової зміни температури повітря. При порівнянні двох зимових періодів 1951–1960 і 1991–2000 рр. остання зменшилась майже вдвічі (5,3 проти 3,1 °C відповідно).

Крім того, сучасне потепління на ст. Вернадський супроводжується підвищенням мінімальних температур, що реєструються в інтервалі -20, -30 °C протягом останніх 10 років, а забезпеченість температури повітря нижче -35 °C практично дорівнює нулю. За рахунок цього значно знизилась імовірність сильних і тривалих похолодань порівняно з періодом 1951–1960 рр.

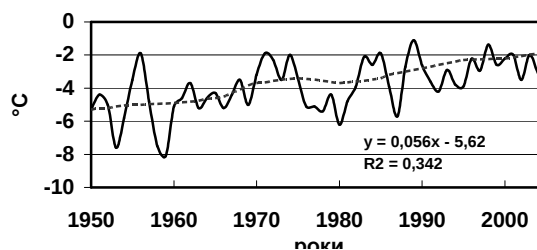


Рис. 1. Багаторічний хід середньої річної температури повітря, з лінією тренда, розрахованою з низькочастотним фільтром з коливаннями більше 10 років. Ст. Вернадський, 1947–2004 рр. На діаграмі показано рівняння лінійного тренду, з квадратом сум залишків регресії (R^2)

За даними ст. Вернадський, кількість днів з **атмосферними опадами**, як у рідкій, так і твердій фазі, в цілому зростає з 1947 р., а сумарна річна кількість опадів істотно зростає з 1986 по 1998 рр., а потім зменшується (відсутні дані з початку спостережень на ст. Фарадей). Характерними є 3–5-річні коливання річних сум, у загальному узгодженні з фазами явища Ель-Ніньйо-Південне Коливання (ЕНЮК) [12]. Так, пік кількості опадів в 1998 р. відзначений на тлі холодної фази явища (Ла-Нінья), а зниження в наступні роки – зміною знака ЕНЮК.

За нашими даними, є свідчення зростання **загальної хмарності** на УАС, хоча тренд не забезпечений достатнім рівнем значущості внаслідок істотних коливань між окремими сезонами і роками. Так, протягом окремих років середня місячна кількість хмарності становить 5–6 балів. З іншого боку, зростання хмарності (в середньому 7–9 балів) пояснюється посиленням циклогенезу в цілому в Південній полярній області (ППО) [10]. Найбільш

хмарним сезоном є осінь (березень-травень), а найменш хмарним – зима (липень-серпень). Цікаво також, що тривалість **сонячного сяйва** коливається в протифазі з багаторічним ходом температури повітря: вона зростає до середини 1970-х рр., знижується до середини 1990-х рр. і знову зростає впродовж останніх 5–7 років.

Атмосферний тиск. У межах ППО спостерігається багаторічне зниження атмосферного тиску, як за даними інструментальних вимірювань, так і за даними

характеристик циркуляції. Найбільше зниження торкнулось західного сектору ППО, за даними реаналізу ERA-40 воно сягнуло 6–8 гПа/30 років. З іншого боку, достовірність зміни тиску важко оцінити на належному рівні значущості через відсутність базових станцій над південними акваторіями Тихого океану. Зміна величини атмосферного тиску на ст. Вернадський оцінюється в $-0,82 \pm 0,21$ гПа за 30 років.

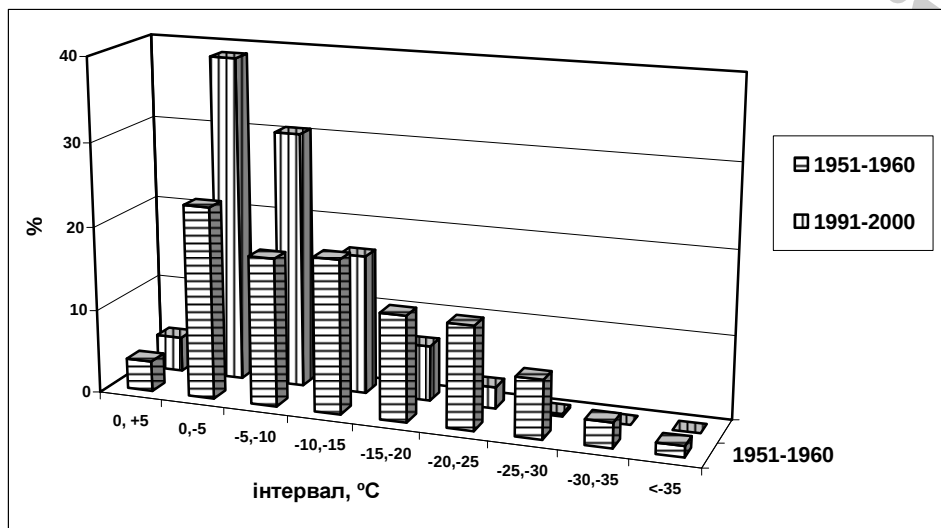


Рис. 2. Розподіл температури повітря по градаціях, зимові періоди 1951–1960 і 1991–2000 рр. ст. Вернадський

Іншою особливістю розподілу атмосферного тиску для ППО є подвійна хвиля в річному ході [1; 13], причому за даними УАС, відбувається зменшення амплітуди другої гармоніки протягом найбільш теплого періоду 1981–2000 рр. (рис. 3), порівняно з прохолоднішим пе-

ріодом 1957–1975 рр. (2,4 гПа проти 2,8 гПа), а мінливість першої гармоніки залишається майже незмінною. Причому внесок варіації другої гармоніки, що пояснює загальну варіацію, зменшився з 76 до 68 %.

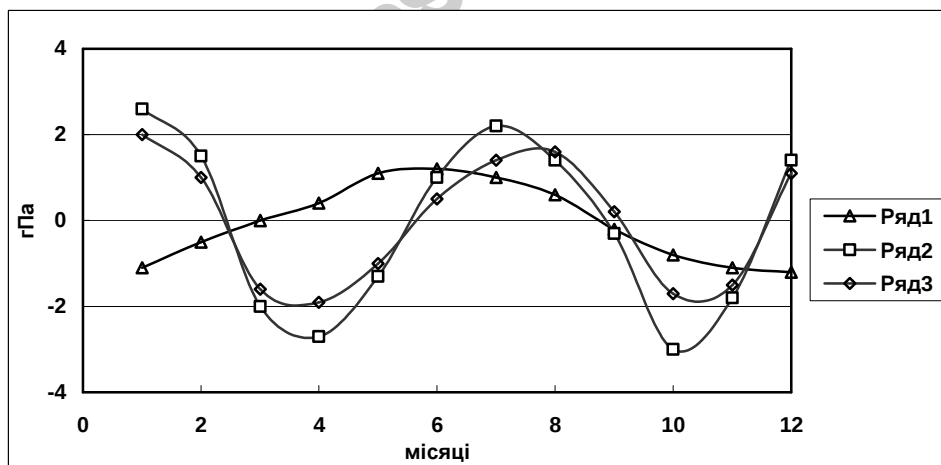


Рис. 3. Перша і друга гармоніки річного ходу атмосферного тиску, 1957–1975 (1, 2), і друга гармоніка, 1985–2000 рр. (3) ст. Вернадський

Такі зміни є свідченням посилення циклогенезу в ППО і більш рівномірного розподілу атмосферного тиску по сезонах при зниженні інтенсивності процесів антициклонічного блокування.

Швидкість і напрямки вітру. Режим приземного вітру також значною мірою визначається характером підстилюючої поверхні, що в умовах берегових станцій Антарктичного півострова приводить до переважаючих меридіональних напрямків вітру (паралельно гірському хребту). Регіональні циркуляції у вигляді фену можуть формуватися на обох схилах, залежно від генерального напрямку вітру [8].

Впродовж періоду роботи станції швидкість приземного вітру в цілому зростає, і найбільш помітно – впродовж останніх двох десятиліть (на 15 % порівняно з періодом 1951–1960 рр.). Кількість днів з сильним вітром (більше 20 м/с) також зростає, у тому числі порівняно з першими десятиліттями спостережень, у зв'язку з чим зросла кількість днів з хуртовиною. Сумарна тривалість штилів і слабких вітрів знижується, особливо після найбільш теплого на станції 1998 р.

Вітровий режим істотно змінюється між окремими роками і десятиліттями різних кліматичних епох. Якщо протягом найбільш холодного періоду 1951–1960 рр.

переважали слабкі вітри (0–4 м/с), то протягом найбільш теплого 1991–2000 рр. домінували вітри в інтервалі 4–8 м/с, причому штильові умови більш характерні для холодних років (близько 25 % в 1950-х рр.). При порівнянні найбільш холодного і теплого періодів отримано висновок про зміну переважного напрямку вітру: відбувся "правий поворот" – від домінантних північних вітрів у 1951–1960-х рр. до переважно північно-східних вітрів у 1991–2000 рр. ПнС вітру (42 %) значно вище, ніж переважаючого північного вітру (27 %) протягом 1951–1960 рр.

Переважання ПнС вітрів протягом останнього десятиліття пов'язано з більш частим формуванням регіональних циркуляцій у результаті посилення циклонічної циркуляції в ППО. Вихід будь-якого циклону вздовж 60–65° пд. ш. спричиняє перетинання повітряної маси гірського хребта, з розвитком фенових вітрів у районі УАС при посиленні вітру напрямків 50–90°, що є додатковим фактором підвищення температури за даними УАС.

Зміни в стані регіональних екосистем. На тлі регіонального потепління почастишала кількість аномальних станів в навколишньому середовищі Антарктичного півострова. Вони певною мірою пов'язані з аномаліями в гідрометеорологічному режимі, особливо протягом перехідного періоду між антарктичною зимою і літом [6]. Так, протягом останніх років, в умовах раннього очищення акваторій від морського льоду, спостерігались надзвичайно високі значення температури води (вище 4 °C), що призвело до формування явищ цвітіння водної поверхні і, відповідно, до погіршення умов розвитку криля – одного з найважливіших компонентів харчового ланцюга. Це призвело до більш жорстких умов існування окремих видів птахів і ссавців, а в деяких випадках – до змін у домінантному виді в окремих біоценозах (у районі УАС, пінгвіни Папуа поступово витісняють пінгвінів Аделі).

Висновки. 1. Сучасне потепління в районі Антарктичного півострова супроводжується зниженням ступеня аномальності клімату за температурою повітря, що, за даними ст. Вернадський, підтверджується зменшенням

амплітуд коливань температури повітря на різних часових масштабах і загальним звуженням інтервалу реєстрації температур, що у свою чергу повинно спрощувати проблему прогнозу погоди в цьому районі. З іншого боку, протягом останнього десятиліття спостерігається зростання кількості та інтенсивності загальної хмарності і опадів. 2. Відбувається зростання швидкості приземного вітру, що є наслідком посилення циклонічності в ППО. Поворот напрямку переважаючих вітрів важливий для врахування вітроенергетичного потенціалу району. Посилення північно-східних вітрів на півночі Антарктичного півострову приводить до зростання частоти та інтенсивності місцевих вітрових циркуляцій, зокрема фенових явищ, що реєструються на ст. Вернадський та інших станціях регіону. 3. Зміни клімату мають значний вплив на стан регіональних екосистем, із зміною умов функціонування представників харчового ланцюга, найголовніша з яких – зміни умов розвитку криля, що викликає необхідність пошуку нових місць традиційного промислу в океані.

1. Атлас Антарктики. – Л., 1969. – Т. 2. 2. Говоруха Л.С. Гляциоклиматологическая характеристика Земли Грейама // Бюл. укр. антаркт. центру. – 1998. – № 1. 3. Климатический режим Арктики на рубеже XX и XXI веков. – СПб., 1991. 4. Кошельков Д.П. Температурные тренды в Антарктике и смежных районах // Метеорология и гидрология. – 1990. – № 5. 5. Котляков В.М. Гляциология Антарктиды. – М., 2000. 6. Попов В.И., Скрипник В.В., Тимофеев В.Е., Украинский В.В. Гидрофизические аномалии в районе ст. Вернадский // Укр. антарктичний журн. – 2003. – № 1. 7. Тимофеев В.Е. Практика синоптического прогнозирования в украинской антарктической экспедиции // Укр. антарктичний журн. – 2004. – № 2. 8. Тимофеев В.Е., Гордиенко С.И. Местные циркуляции в районе украинской антарктической станции // Бюл. УАЦ. – 1996. – № 1. 9. Ingolfsson O., Hjort C., Humlum O. Glacial and climate history of the Antarctic Peninsula since the last glacial maximum // Arctic, Antarctic and Alpine Res. – 2003. – Vol. 35. – № 2. 10. Fyfe J.C. Extratropical southern hemisphere cyclones: harbingers of climate change? // J. of Climate. – 2003. – Vol. 16. 11. Turner J., Colwell S., Marshall G., Lachlan-Cope A., Carleton A., Jones P., Lagun V., Reid P., Yagovkina S. Antarctic Climate Change during the last 50 years // Int. Journal of Climatology. – 2005. – № 25. 12. Trenberth K.E., Hoar T. The 1990-1995 El-Nino-Southern Oscillation events: Longest on Record // Geoph. Res. Letter. – 1996. – № 23. 13. van den Broeke M. On the interpretation of Antarctic temperature trends // J. of Climate. – 2000. – Vol. 13.

Надійшла до редколегії 05.06.06

УДК 528

3. Міхальчик, д-р геогр. наук, габілітований, С. Хмєль, д-р геогр. наук

ЗМІНИ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ДЖЕРЕЛЬНИХ І РІЧКОВИХ ВОД ЛЮБЕЛЬСЬКОЇ ВИСОЧИНИ І РОЗТОЧЧЯ (ПОЛЬЩА)

Визначено, що на території Любельської височини і Розточчя на водні запаси річок вирішальний вплив має живлення підземними водами. У результаті гідрохімічних досліджень показано невеликі геопросторові зміни якості підземних вод, що циркулюють у крейдово-третинному басейні.

There are determined, that the alimention of groundwaters has the main impact on the river water storage on the territory of the Lublin Upland and Roztocze Region. Based on the hydrochemical researches there are indicated slight spatial changes of the groundwaters quality, circuiting in the Cretaceous-Tertiary aquifer.

Вступ. Вода, як найбільш динамічний компонент географічного середовища, має здатність до розчинювання і переміщення різних субстанцій. Динаміку процесів транспортування матерії і енергії добре документують дослідження, проведені на річках. Води, розміщені в річкових руслах, є похідною процесів, які мають місце в середовищі, а їх наслідки можна реєструвати якісним і кількісним способами. Отже, гідрохімічні властивості річкових вод є рівнодійною умов формування фізико-хімічних властивостей вод у гідрологічному обороті, які виникають з геохімічних і гідрометеорологічних умов, біохімічних перетворень, що відбуваються в руслах, а також антропогенних впливів [1; 3; 6].

Аналіз вибраних фізико-хімічних властивостей вод виконано за допомогою таких методів: електрометричного, титриметричного, спектрофотометричного. Для дослідження реакції води та її еквівалентної електролі-

тичної провідності використано рН-метр і кондуктометр Inolab level 1 фірми WTW. За допомогою титриметричного методу визначено: вміст хлоридів, загальну твердість, вміст кальцію, лужність, на тій підставі визначено вміст іонів Mg і HCO₃. Методами фірми HACH визначено спектрофотометром DR2000 двоокис кремнію, сульфати, фториди, нітрати, іон амонію, ортофосфати, залізо, марганець і калій. Натрій визначено при використанні іоноселективного електроду фірми EURO-SENSOR. Спектрофотометром фірми SECAMAN Pastel UV визначено біохімічну і хімічну потребу в кисні і у вуглекислому газі. В аналітичній частині дослідження до калібрації і контролю отриманих результатів застосовано візрцеві розчини фірми Merch і Hach. Для декількох десятків проб води виконано також визначення хімічних елементів: Ca, Mg, Na, K методом променевої абсорбційної атомної спектрометрії (FAAS).