

І.М. СМОЛЕНСЬКИЙ, В.В. КЛІД

Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76009, Україна
ismolensky@ifdtung.if.ua; viktorklid@hotmail.com

ДО ОЦІНКИ ФОНОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ГОРГАН

*Ключові слова: фонове забруднення, спорові рослини, біо-
геохімічна індикація.*

Вступ

Аеротехногенне забруднення довкілля різноманітними за походженням та особливостями впливу на живі організми хімічними агентами є одним з найнебезпечніших факторів техногенного тиску на екосистеми внаслідок великих обсягів викидів в атмосферу забруднюючих речовин та їх значних просторових міграцій. Масштабність забруднення атмосфери неодноразово підтверджена і є однією з найбільших екологічних проблем сьогодення. Трансрегіональний характер атмосферних забруднень проявляється у хронічних ушкодженнях екосистем біосферних і природних заповідників, значно віддалених від джерел промислових емісій [6]. Ще одна суттєва проблема пов'язана зі складністю діагностики аеротехногенних впливів внаслідок синергетично-антагоністичних ефектів взаємодії атмосферних забрудників з біотичною та абіотичною складовими. Останнє значно ускладнює моделювання аеротехногенного забруднення довкілля та прогнозування його наслідків для живої та неживої природи.

Розсіювання забруднюючих речовин, що потрапляють у повітря, відбувається за законами динаміки атмосфери [1]. Важливими факторами поширення атмосферних забруднень є метеорологічні умови (горизонтальне та вертикальне переміщення повітря, опади, температурний режим, вологість повітря тощо). Механізми видалення антропогенних поллютантів з повітря досить різноманітні: це атмосферні опади, хімічні реакції, процеси осадження й абсорбції, імпація [13]. Важливими локальними, регіональними та глобальними поглиначами широкого діапазону атмосферних забруднень є гірсько-лісові екосистеми. Поверхня ґрунту та рослин виступає при цьому основним поглиначем домішок, що надходять у наземні екосистеми [14]. Пріоритетними аеротехногенними забрудниками гірсько-лісових екосистем насамперед є поллютанти з високою акумулятивною здатністю, зокрема важкі метали. На відміну від багатьох забруднюючих речовин, важкі метали не включаються у процеси самоочищення: внаслідок міграції змінюється лише

їх концентрація або форми, в яких вони містяться в екосистемах [3]. Є повідомлення, що в умовах вологого клімату гірської місцевості концентрації в повітрі багатьох забруднюючих речовин, зокрема важких металів, мало змінюються з висотою [2]. Крім того, відомо, що за відсутності температурних інверсій з висотою зменшуються концентрації аеральних забрудників, причому на першому кілометрі міграції концентрації мікроелементів знижуються у 3—10 разів [4]. Зважаючи на сказане, фонові концентрації забрудників часто визначають на основі спостережень у високогірних умовах, зокрема на висоті 1000 м над р.м. і більше. Оскільки безпосереднє визначення концентрацій забруднюючих речовин в атмосфері є досить трудомістким, для встановлення їх «постійного фону» у межах певного регіону вимірюють вміст пріоритетних антропогенних поллютантів в окремих компонентах довкілля. При цьому необхідно враховувати ймовірність впливу фізико-географічних факторів на процеси розповсюдження, фізико-хімічної трансформації та біохімічне накопичення поллютантів в екосистемах. Серед них передусім слід назвати висоту над рівнем моря, експозицію та кут нахилу поверхні. Споріві рослини (мохи і лишайники) як організми, мікроелементний склад яких практично не залежить від субстрату, можуть бути стаціонарними біомаркерами, за допомогою яких можна виявити загальні тенденції зміни концентрацій забрудників у повітрі залежно від фізико-географічних умов певної території.

Нашою метою було виявити вплив фізико-географічних факторів на величину та характер аеротехногенного забруднення екосистем Горган. Для її досягнення визначено вміст пріоритетних антропогенних поллютантів (важких металів) в індикаторних видах мохів і лишайників, що ростуть на території природного заповідника «Горгани».

Об'єкти та методика дослідження

Дослідження проводилися на території природного заповідника «Горгани» — фоновій області для території Прикарпаття. Заповідник «Горгани» розташований у найнедоступнішій високогірній частині Горган у межах висот 750—1754 м над р.м. Для цієї частини Українських Карпат характерні видовжені хребти зі стрімкими північно-східними та більш пологими південно-західними схилами. Територія заповідника знаходиться у зоні панування південно- та північно-західних вітрів, у середніх шарах тропосфери тут переважає західний напрямок перенесення повітряних мас.

З метою виявлення впливу фізико-географічних факторів на величину та характер аеротехногенного забруднення гірсько-лісових екосистем «Горган» було розглянуто екологічний профіль, який містить пункти постійних спостережень (ППС) з різними значеннями висоти над рівнем моря, експозиції та кута нахилу поверхні. ППС розміщувалися у поясі смерекових лісів у діапазоні висот 965—1435 м над р. м. у координатах міжнародної мережі ICP-Forest. У межах кожного ППС було виділено по п'ять точок спостережень: посередині майданчика та у напрямках основних сторін світу на віддалі

25 м від центральної. Така конфігурація ППС мала забезпечувати репрезентативність результатів досліджень та сприяти уникненню локальних біогеохімічних аномалій у вимірюваннях.

Об'єктом біогеохімічних досліджень були два види спорових рослин — епігейний мох *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. та епіфітний лишайник *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., визначені індикаторними в межах досліджуваної території [10], бо вони мають такі переваги над іншими біоіндикаторами:

- широко представлені в межах регіону;
- відносно легко ідентифікуються;
- досить чутливі до аеротехногенного забруднення;
- селективно накопичують антропогенні полютанти;
- добре вивчені з біогеохімічної точки зору.

Зразки рослин відбирали у серпні—вересні 1998—2000 рр. за загальноприйнятими методиками [8] та аналізували на вміст шести елементів (Zn, Fe, Mn, Cu, Pb, Cd) методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії [9]. Атомно-абсорбційний аналіз виконували на приладі С115М-1 у пропан-бутановому полум'ї з використанням дейтерієвого коректора неселективної абсорбції.

Результати досліджень та їх обговорення

Внаслідок біогеохімічних досліджень, проведених на території природного заповідника «Горгани», виявлено деякі закономірності впливу фізико-географічних факторів на фонове забруднення екосистем заповідника. Порівняння вмісту важких металів у *P. schreberi* та *H. physodes* засвідчили, що більш рівномірний розподіл концентрацій інгредієнтів, зокрема Zn, Fe, Cu та Cd, у зразках з ППС, розташованих на різній висоті над рівнем моря, властивий для мохів (рис. 1). Натомість для біоаккумулятивних параметрів лишайників, зібраних на різній висоті, характерні певні флуктуації, що підтверджує більшу чутливість епіфітів до аеротехногенного фактора. Аналіз кривих вмісту інгредієнтів у спорових рослинах показав, що пік концентрацій заліза (82,6 мкг/г) та свинцю (31,6 мкг/г) у *H. physodes* спостерігався на висоті 1335 м над р.м. Разом з тим на цій позначці зареєстровано найнижчі концентрації міді (6,6 мкг/г) у *P. schreberi* і кадмію (0,15 мкг/г) у *H. physodes*, а також марганцю (101,0 і 89,0 мкг/г) — в обох видів. Таким чином, аналізуючи графіки залежності концентрацій забрудників у спорових рослинах від висоти над рівнем моря, можна припустити, що мохи відображають головним чином фонові рівні вмісту важких металів (Zn, Fe і Cd), тоді як лишайники — аеротехногенний чинник. Загалом можна зробити висновок, що в межах визначеного діапазону висот концентрації важких металів мало змінюються з висотою.

Важливим потенційним фактором розподілу аеротехногенних полютантів у межах гірсько-лісових екосистем є експозиція. Відомо, що в умовах гірського рельєфу забрудники здебільшого накопичуються на підвітряних схилах гірських екосистем [2]. Враховуючи притаманну Горганам «розу вітрів»,

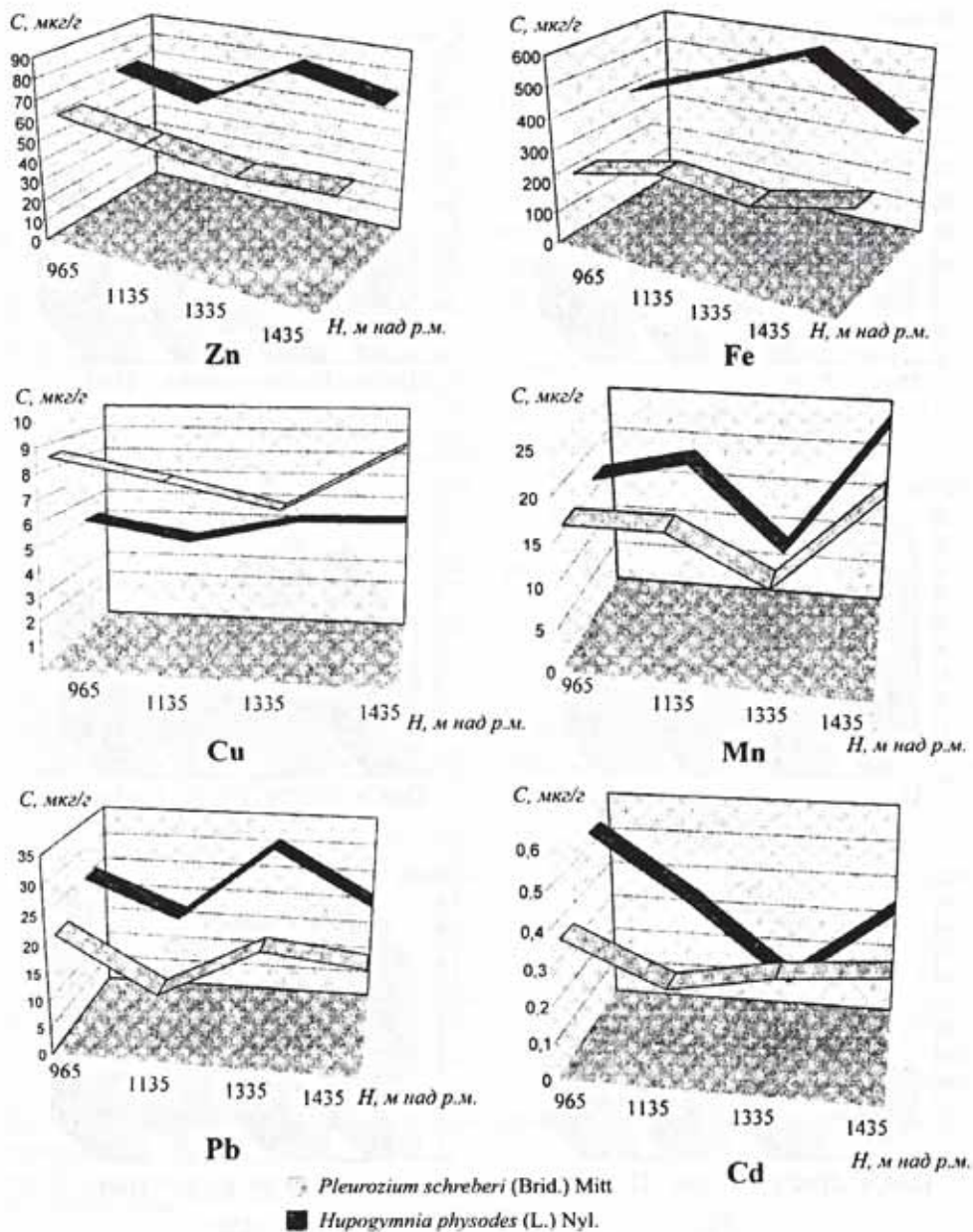


Рис. 1. Залежність вмісту важких металів у *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (1) та *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. (2) від висоти зростання над рівнем моря

Fig. 1. Dependence of heavy metals content in *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (1) and *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. (2) on heights of growing above sea level

найбільшого впливу атмосферного забруднення мають зазнавати північно- та південно-західні схили. Це тільки частково підтверджують діаграми залежності вмісту важких металів у спорових рослинах від експозиції схилів

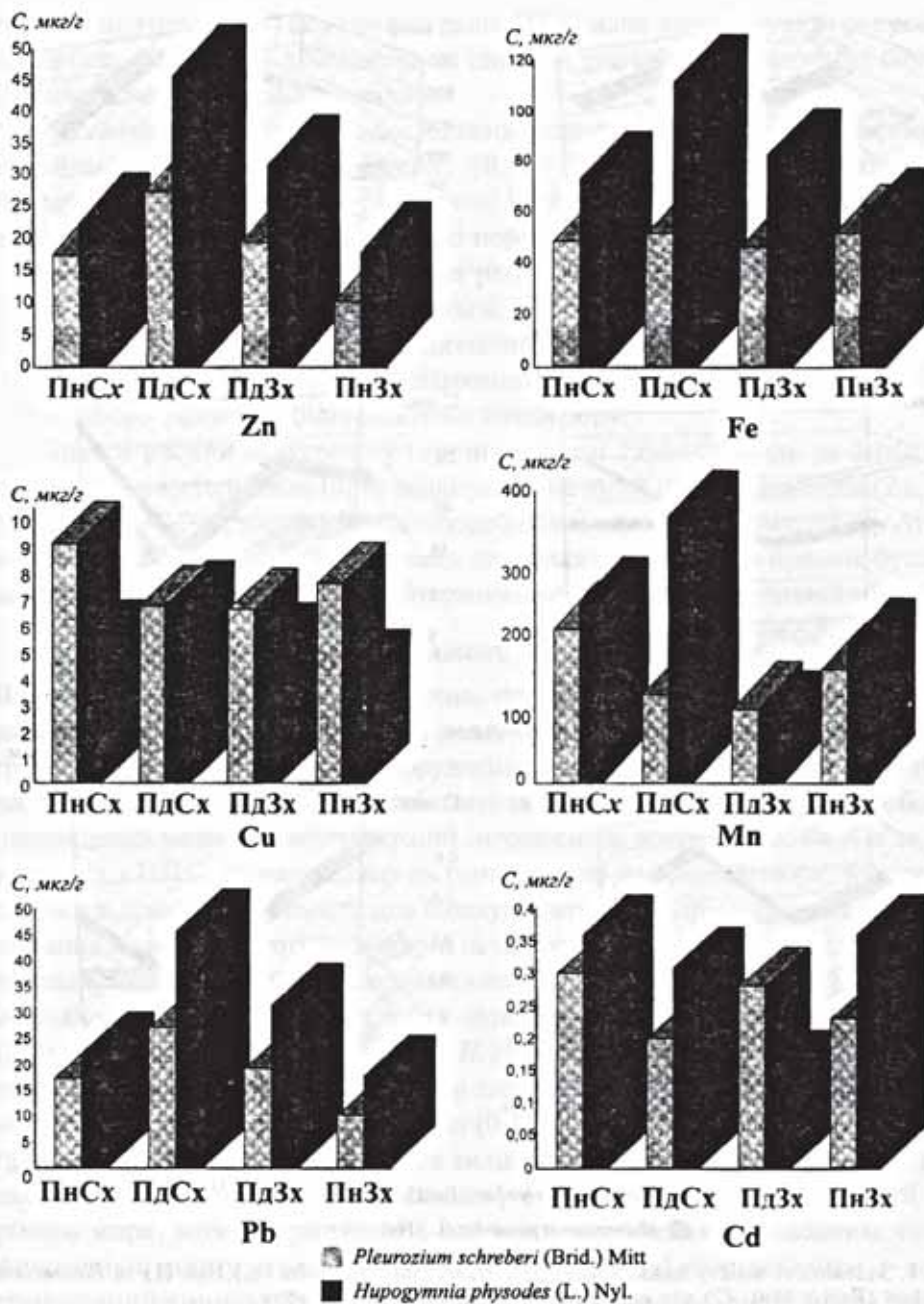


Рис. 2. Залежність вмісту важких металів у *H. physodes* (1) та *P. schreberi* (2) від експозиції
 Pic. 2. Dependence of heavy metals content in *H. physodes* (1) and *P. schreberi* (2) on exposition

[9]. Зокрема, максимальні концентрації забрудників фіксуються у мохах і лишайниках, зібраних на схилах південно-східної та північно-східної експозицій. Так, на південно-східних схилах виявлено найвищі концентрації за-

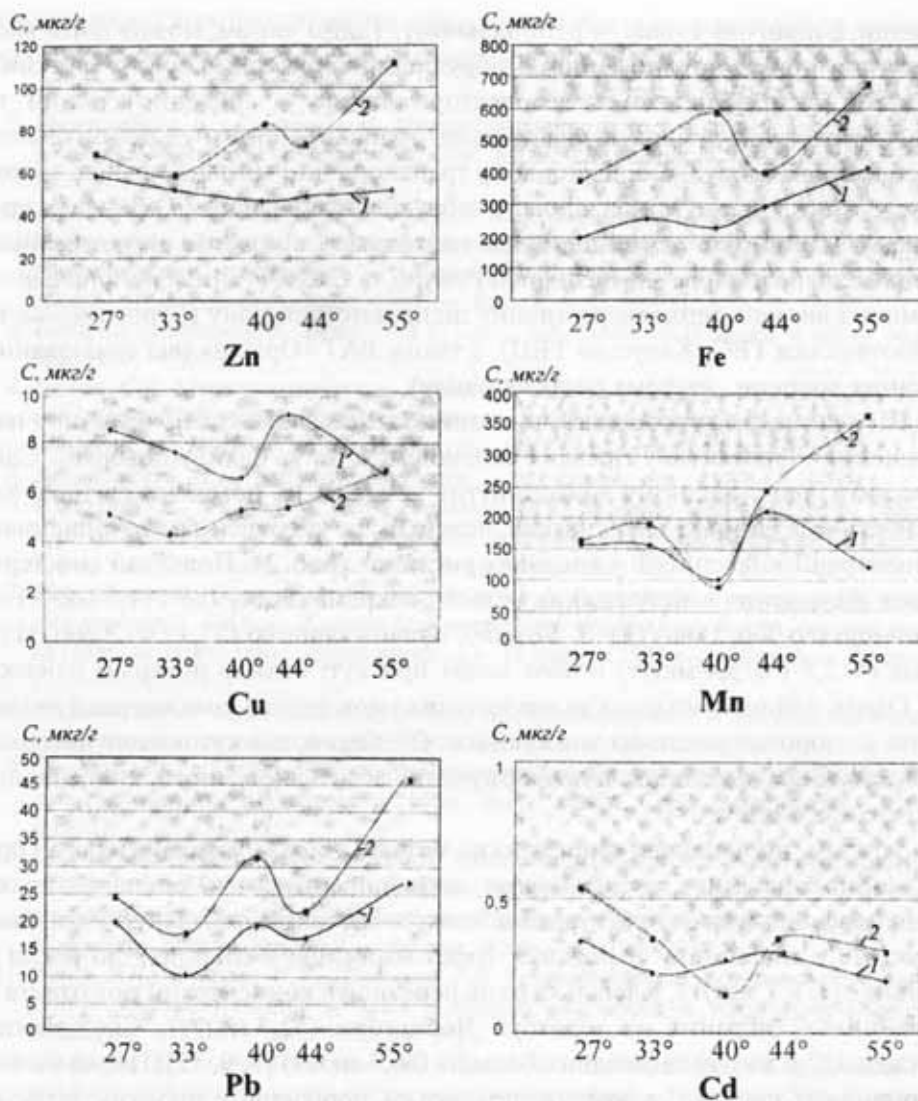


Рис. 3. Залежність вмісту важких металів у *H. physodes* (1) та *P. schreberi* (2) від кута нахилу поверхні

Fig. 3. Dependence of heavy metals content in *H. physodes* (1) and *P. schreberi* (2) on angle of a surface lean

ліза і цинку (відповідно, 675,4 і 111,5 $\mu\text{g/g}$) у *H. physodes*, а також високий вміст свинцю (27,1 і 45,8 $\mu\text{g/g}$) та марганцю (121,2 і 366,5 $\mu\text{g/g}$) — в обох видів, тоді як на північно-східних — значні концентрації марганцю (211,2 і 245,1 $\mu\text{g/g}$), кадмію (0,3 і 0,36 $\mu\text{g/g}$), міді (9,1 $\mu\text{g/g}$) — в *P. schreberi*. При цьому найбільшим було сумарне накопичення важких металів у епіфітах з південно-східних схилів (рис. 2). Цікаво зауважити, що південно-східна експозиція «відповідає» транскордонному вектору перенесення забруднюючих

речовин, а північно-східна — регіональному. Таким чином, можна дійти висновку, що при аеротехногенному забрудненні території «Горган» важкими металами визначальними є два вектори впливу — південно-східний та північно-східний, зумовлені, відповідно, транскордонним та регіональним перенесенням забруднень. При цьому транскордонні міграції певною мірою беруть участь у формуванні фонового забруднення екосистем Горган залізом, цинком, марганцем та свинцем, що надходять з викидами металургійних комплексів, розташованих на півночі Румунії та Словаччини, а регіональні — кадмієм з викидів теплоенергетичних підприємств регіону (Бурштинська та Добротвірська ТЕС, Калуська ТЕС), а також ВАТ «Оріана» (від спалювання штучних волокон, зокрема поліхлорвінілу).

Ще одним фактором, який потенційно може впливати на величину накопичення поллютантів у гірських екосистемах, є кут нахилу поверхні. Слід зауважити, що у жодному з розглянутих випадків не помічено суттєвої залежності між зміною кута нахилу поверхні та збільшенням/зменшенням концентрації забрудників у спорових рослинах (рис. 3). Подекуди спостерігалось збільшення вмісту важких металів, зокрема цинку (до 111,5 мкг/г) та марганцю (до 366,5 мкг/г) у *H. physodes*, а також свинцю (27,1 і 45,8 мкг/г) та заліза (412,8 і 675,4 мкг/г) в обох видах при куті нахилу поверхні близько 50°. Однак в інших випадках за аналогічних умов фонові концентрації поллютантів у спорових рослинах знижуються. Очевидно, що кут нахилу поверхні не є активним фактором при формуванні аеротехногенного забруднення гірських екосистем.

Загалом, порівнюючи вміст важких металів у мохах і лишайниках з Горган та інших районів Східних Карпат, можна помітити такі тенденції: практично порівнянними є концентрації всіх, окрім марганцю, розглянутих хімічних елементів у лишайнику *H. physodes*. Вміст марганцю в епіфітах, що росли в Горганах (178,7 мкг/г), в декілька разів перевищує концентрації поллютанта у лишайниках, зібраних на території Чорногори (52,3 мкг/г), Сколівських Бескидів (32,0 мкг/г) та Західних Бещадів (66,3 мкг/г) [7, 9, 12]. Поряд з цим, у горганських зразках *P. schreberi* дещо нижчим, порівняно зі зразками, відібраними у Чорногорі, виявився вміст заліза (274 проти 452,7 мкг/г), марганцю (172,8 проти 310,4 мкг/г) та свинцю (18,6 проти 45,6 мкг/г). Таким чином, підсумовуючи результати наведених вище зіставлень, можна визнати відносно незначний ступінь забруднення важкими металами території природного заповідника «Горгани» порівняно з іншими фоновими територіями Східних Карпат.

Висновок

В екосистемах Горган у дослідженому діапазоні висот (965—1435 м над р.м.) серед розглянутих фізико-географічних факторів на характер розподілу антропогенних поллютантів, зокрема важких металів, значною мірою впливає лише експозиція, тому цей критерій потрібно обов'язково враховувати при

моделюванні аеротехногенного забруднення гірських територій та оцінці дії промислових емісій на лісові екосистеми.

1. *Бретшнайдер Б., Курфюрст И.* Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль: Пер. с англ. / Под ред. А.Ф. Туболкина. — Л.: Химия, 1989. — 288 с.
2. *Бурцева А.В., Афанасьев М.И., Лапенко Л.А., Воробьева Т.И.* Влияние физико-географических условий на фоновое загрязнение атмосферы тяжелыми металлами и органическими примесями // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. — Л.: Гидрометеоздат, 1990. — Вып. 6. — С. 60–71.
3. *Геохимия окружающей среды* / Ю.Е. Сагет, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. — М.: Недра, 1990. — 335 с.
4. *Громов С.А.* Метеорологические аспекты в задачах фонового мониторинга загрязнения атмосферы // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. — Л.: Гидрометеоздат, 1989. — Вып. 5. — С. 126–135.
5. *Двораковский М.С.* Экология растений. — М.: Высш. шк., 1983. — 190 с.
6. *Израэль Ю.А., Филиппова Л.М., Ровинский Ф.Я.* Влияние загрязнений на биосферу и их мониторинг на базе биосферных заповедников // Биосферные заповедники: Труды I-го Сов.-амер. симп. — Л.: Гидрометеоздат, 1977. — С. 20–25.
7. *Марискевич О., Козловський В., Шпаківська І.* Поллютанти в екосистемах заповідних територій Східних Карпат // Карпатський регіон і проблеми сталого розвитку (Мат-ли Міжн. наук.-практ. конф., 13–15 жовтня 1998 р., м. Рахів). — Рахів, 1998, т. 1. — С. 177–181.
8. *Руководство по согласованному отбору проб, мониторингу и анализу влияния загрязнения воздуха на леса* / ICP-Forest. — Гамбург, 1989. — 62 с.
9. *Смоленський І., Клід В.* Рівні нагромадження важких металів в екосистемах природного заповідника «Горгани» // Вісн. Львів. ун-ту. Серія біологічна. — 2004. — Вип. 37. — С. 131–135.
10. *Смоленський І., Шпільчак М., Клід В.* Біогеохімічна індикація аеротехногенного забруднення в умовах фонових екосистем (на прикладі ПЗ «Горгани») / Національні природні парки: проблеми становлення і розвитку (Мат-ли наук.-практ. конф., 11–17 вересня 2000 р., Яремче). — Яремче, 2000. — С. 280–281.
11. *Харин В.Н., Федорец Н.Г., Шильцова Г.В.* Географические закономерности аккумуляции тяжёлых металлов во мхах и лесных подстилках на территории Карелии // Экология. — 2001. — № 2. — С. 155–158.
12. *Grodzinska K., Szarek-Lukaszewska G., Godzik B. i in.* Ocena skazenia srodowiska Polski metalami ciezкими przy uzyciu mchow jako biowskaznikow. — Warszawa: Bibl. Monitoringu Srodowiska, 1997. — 83 s.
13. *Little P.* Deposition of 2.75, 5.0 and 8.5 μm particles to plant and soil surfaces // Environmental Pollutants. — 1977. — № 12. — P. 293–305.
14. *Rasmussen K.H., Taheri M., Kabel R.L.* Sources and natural removal processes for some atmospheric pollutants // U.S. Environmental Protection Agency, Publica. №EPA-650/4-74-032, U.S.E.P.A. — Washington: D.C., 1974. — 121 p.

Рекомендує до друку
С.Я. Кондратюк

Надійшла 25.04.2004

И.Н. Смоленский, В.В. Клид

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

К ОЦЕНКЕ ФОНОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ГОРГАН

Методами биогеохимической индикации с использованием индикаторных видов споровых растений (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. и *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) выполнена оценка влияния физико-географических факторов (высоты над уровнем моря, экспозиции, угла наклона поверхности) на величину и характер фонового загрязнения экосистем Горган тяжелыми металлами. Установлены некоторые особенности распределения антропогенных поллютантов в горно-лесных экосистемах в зависимости от физико-географических факторов, в частности экспозиции.

I.M. Smolensky, V.V. Klid

Ivano-Frankivsk National Tehnical Oil and Gas University

TO THE ASSESSMENT OF THE BACKGROUND POLLUTION
OF THE GORGANY FOREST ECOSYSTEMS

With the help of the biogeochemical indication methods and using the indicating species of the spore plants (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. and *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.), the assessment of impact of the physical-geographical factors (altitude over the sea level, exposition, the angle of slope of the surface) on the amount and the character of the background pollution of the Gorgany ecosystems with heavy metals was carried out. Some peculiarities of the antropogenic pollutants expansion in the mountainous forest ecosystems depending on the physical-geographical factors (exposition in particular) were determined.