

УДК 582.32:581.524.33 (477.8)

М.Є. Рагуліна, О.Б. Вовк, О.Л. Орлов

ФУНКЦІОНАЛЬНА РОЛЬ БРІОФІТІВ У РЕНАТУРАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОГЕННО ЗМІНЕНИХ ЕКОСИСТЕМ ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ

Рагуліна М.Є., Вовк О.Б., Орлов О.Л. Функциональная роль бриофитов в ренатурализации техногенно измененных экосистем Вольно-Подолья // Науч. зап. Гос. природоведч. музея. – Львов, 2009. – Вып. 25. – С. 117-124.

Исследована функціональна роль мохообразных, принимающих участие в восстановительных сукцессиях карьерных комплексов Вольно-Подолья. Установлено, что заселение техногенных обнажений бриофитами позитивным образом отражается на процессах первичного почвообразования и стабилизации показателей микроклиматических режимов. Мохообразные выравнивают максимумы хода суточных и сезонных температур на поверхности техногрунта, благоприятствуют накоплению и сохранению влаги в его верхних слоях, принимают участие в гумусоаккумуляции, инициальной дифференциации почвенного профиля и выступают в роли ацидификаторов субстрата в пределах своих микроместообитаний.

Ragulina M.E., Vovk O.B., Orlov O.L. Functional role of the bryophytes in renaturalization of technogenic ecosystems of Volyno-Podillia // Proc. of the State Nat. Hist. Museum. – Lviv, 2009. – 25. – P. 117-124.

The functional role of the bryophytes in quarries of Volyno-Podillia has been investigated. It is found that development of the bryocommunities on the techogenic outcrops has positive impact on primary pedogenesis processes and microclimate regimes stabilization. Moss cover contract days/seasons temperature amplitude and promote moisture conservation in substrata superficial layers. The bryophytes have an influence on humus accumulation and on soil's profile differentiation in technogrounds. Also mosses alter pH level in their microhabitats.

Процеси техногенного відчуження земель, інтенсивність яких за останні десятиріччя суттєво зросла, визначили особливу актуальність у розробці підходів щодо повернення посттехногенних площ до повноцінного функціонування. Ще донедавна це провадилось методами біологічної рекультивациі та фітомеліорації, які передбачали активне втручання людини у хід регенераційних процесів. Самовідновлювані компоненти молодих екосистем, що знаходились на початках свого становлення, розглядали як примітивні, неповноцінні, з низьким екологічним потенціалом, їх роль у відновних процесах зазвичай недооцінювалась. Проте новітні дослідження показали, що новоутворений ґрунтово-рослинний покрив техногенних екосистем, за своїми властивостями здатний наблизитись до основних зональних варіантів та виконувати низку екологічних функцій, властивих його природним аналогам [4, 8].

За останні десятиріччя у світовій практиці розвинувся новий підхід (так звана „екологічна реставрація”), який передбачає максимальне використання регенеративних можливостей модифікованих екосистем і мінімізує вторинне антропогенне навантаження на них, а також дозволяє суттєво знизити економічні витрати на їх відновлення [5]. У зв'язку з цим з'явилась нагальна потреба у науково-обґрунтованій оцінці регенеративного потенціалу окремих компонентів новосформованих екосистем для максимально точних прогнозів ходу та інтенсивності відновних процесів у них.

Ключовим компонентом будь-якої посттехногенної екосистеми є ґрунтовий субстрат (техноґрунт), який через свої властивості сприяє формуванню та диференціації новоутворених екологічних ніш. Заселення гірських порід мікроорганізмами та піонерною рослинністю дає поштовх для розвитку первинних ґрунтоутвірних процесів, якісних і кількісних змін властивостей розкритих порід. Завдяки своїй високій резистентності до впливу екстремальних умов модифікованого середовища, мохоподібні одними з перших оселяються на техногенних відслоненнях, де з часом формують рясні, добре структуровані багатовидові обростання у епігейному ярусі новоутворених фітокомплексів.

Проте, не зважаючи на значне поширення і чисельність бріофітів на посттехногенних об'єктах, їх роль у ренатуралізаційних процесах вивчена надзвичайно слабо. Окремі дослідження цього напрямку показали, що, колонізуючи відслонені субстрати, мохоподібні запобігають їх водній та вітровій ерозії, пом'якшують дію температурного фактору та стабілізують водний мікрорежим поверхневих шарів техноґрунту, сприяють вселенню судинних рослин тощо [12-15]. Також не розкритими залишаються механізми взаємообумовленого розвитку системи „бріофіти-техноґрунт”, як важливої ланки відновних сукцесій.

З метою оцінки функціональної ролі мохового покриву у ренатуралізації кар'єрних комплексів Волино-Поділля було вивчено участь бріофітів у стабілізації мікрокліматичних умов техновідслонень та в ініціальному ґрунтоутворенні.

Матеріал і методика досліджень

Дослідження проводили протягом 2001-08 рр. на території чотирьох кар'єрних комплексів з видобутку піску, розташованих в межах Волино-Поділля.

Для з'ясування ролі мохоподібних у процесах самовідновлення техногенно порушених екосистем регіону було закладено серії різновікових пробних площ, пов'язаних умовним трансектом – від свіжого субстрату, щойно заселеного бріофітами, до зімкнутого мохового килиму. Таким чином, було отримано набір даних для побудови просторово-часового (сукцесійного) ряду [1] за чотирма стадіями формування мохового покриву. Стадії виділяли за проективним вкриттям (I – 5-15%, II – 15-25%, III – 25-50%, IV – 50-99%), переважаючими життєвими формами мохів та зміною видів-домінантів.

Водно-температурний режим мохових дернинок визначали за методикою Іпатова та Тархова [7], модифікованої щодо специфіки об'єкта досліджень. Для вивчення водного мікрорежиму техновідслонень відбирали пари зразків (оголений ґрунт та мохова дернина) з глибини 0-1 см (умовний горизонт А) та 5-10 см (умовний горизонт В). Також на відповідних глибинах для пар зразків було виміряно температуру. Додатково вимірювали температуру приземного шару повітря на висоті 50 см (умовний горизонт С).

Аналітичні роботи проводили згідно з методиками ґрунтових досліджень, адаптованими до особливостей вивчення техногенних ґрунтів. Фізичні та водно-фізичні параметри визначали ваговими та розрахунковими методами [10]. Кислотність або лужність ґрунту оцінювали за визначенням рН водної витяжки [2]. Визначення вмісту гумусу в ґрунті проводили за методом Тюріна в модифікації Нікітіна [9].

Результати досліджень

Досліджені техногенні комплекси утворились в результаті безвідвального кар'єрного видобутку будівельної сировини (піску) у вигляді відслонених зональних, хімічно незабруднених ґрунтовірних порід. Сьогодні вони знаходяться на посттехногенному етапі розвитку і для них характерно формування гетерогенних, різного ступеня складності рослинних угруповань і поступовий розвиток техноґрунтів через появу органічних горизонтів, формування ґрунтової структури та поглинаючого комплексу тощо.

Участь мохоподібних у стабілізації температурного мікрорежиму техноґрунтів.

Вимірювання максимальних денних температур (серпень) оголених та вкритих мохом модельних ділянок показало, що у спекотні дні поверхня дернин моху завжди нагрівається менше поверхні незадернованого субстрату (умовний горизонт А). Водночас, у шарі ґрунтового субстрату (умовний горизонт В) зафіксована температура була вищою під моховими дернинами, аніж на ділянках, де моховий покрив відсутній (табл.1). Різниця температур між горизонтами А і В у мохових колоніях є у два-три рази меншою за різницю температур на оголених ділянках. Отже, моховий покрив суттєво звужує температурний діапазон поверхневого, біологічно активного, шару субстрату у літній період, що позитивним чином відбивається на функціонуванні комплексів ґрунтової мікробіоти [11].

Таблиця 1

Температурні режими техноґрунтів на оголених та вкритих мохом ділянках різних стадій регенерації (у °С)

Умовний горизонт	I стадія		II – III стадії		IV стадія	
	ОС	МД	ОС	МД	ЛП	МД
Літній період (серпень)						
С	33,7		28,8			
А	42,1	34,2	36,0	28,4	31,7	28,9
В	20,8	21,9	19,2	20,1	21,3	22,7
Зимовий період (грудень)						
С	- 2,0					
А	0,0	0,8	0,4	1,3	1,1	2,2
В	1,6	2,1	1,8	2,3	2,8	4,9

Примітки: С – приземний шар повітря; А – поверхневий шар субстрату/мохової дернини (0-1 см); В – приповерхневий шар субстрату (5-10 см); ОС – оголений субстрат; МД – мохова дернина; ЛП – лісова підстилка.

Особливо добре протекторна властивість мохового покриву виявляється на ранніх етапах ренатуралізації техновідслонень. За умов прямої інсоляції, моховий покрив зберігає суттєво нижчу температуру, ніж поверхня оголеного субстрату (за температури повітря 33,7°С ця різниця становить 7,9-7,6°С). Отже, колонії бріофітів ізолюють від дії екстремальних температур насіння судинних рослин та підвищують життєвість їх проростків [12].

Після зниження температури повітря (грудень), температура мохових дернин та підстиляючого шару техногрунту (горизонти А і В) залишається вищою за температуру ґрунту оголеної ділянки (див. табл. 1). Вона запобігає надмірному охолодженню ґрунту в зимовий період, зберігаючи тепло у поверхневому шарі субстрату. Таким чином моховий покрив може сприяти виживанню озимих та ранньовесняних видів трав'яних рослин [12].

Зростання потужності мохової дернини покращує її термоізоляційні властивості. Так, найбільша позитивна амплітуда температури повітря та горизонтів А і В була зафіксована під потужними дернинами пірчастого моху *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. на пізніх етапах регенерації техновідслонень. Проте навіть на початках становлення моховий покрив був приблизно на 3°C теплішим за температуру повітря та на 1°C теплішим за поверхню відслоненого субстрату.

На пізніших етапах зростає середовищеформуюча роль судинних рослин, де під наметом верхніх ярусів, в умовах стаціонарного затінення, мохоподібні поступово втрачають провідну роль у формуванні температурного мікрорежиму ґрунту.

Отже, моховий покрив, виконуючи роль термоізоляційного шару на поверхні ґрунту, вирівнює добові та сезонні максимуми ходу температур, що певною мірою полегшує протікання регенераційних процесів. Формування мікрооселищ з особливим терморезимом сприяє оселенню у мохових колоніях представників різних груп педобіоти, а також створює сприятливі умови для депонованого в ґрунті насінневого запасу.

Участь мохоподібних у стабілізації водного мікрорежиму техногрунтіє.

Дослідження показали, що на ранніх етапах відновлення техногенних відслонень у сухий літній період (серпень) зволоженість поверхневого шару піщаного субстрату, як оголеного, так і вкритого моховим килимом (горизонт А), є мізерною і не перевищує 0,75%. Водночас, вміст вологи в ґрунті під моховими дернинами (горизонт В) був у 7 разів більшим за її вміст, зафіксований на відповідній глибині у субстраті незадернованих ділянок (табл. 2).

Таблиця 2

Польова вологість (%) оголених та вкритих мохом ділянок на різних етапах регенерації техногенних відслонень

Умовний горизонт	I стадія		II-III стадії		IV стадія	
	ОС	МД	ОС	МД	ЛП	МД
А	0,32	0,75	0,35	0,61	10,5	25,5
В	0,45	3,21	2,04	4,22	13,2	26,8

Пояснення скорочень див. таблицю 1.

Причиною цього є висока поглинаюча здатність ризоїдної повсті мохів, яка ефективно утримує вологу у приповерхневому шарі ґрунтового субстрату. На девастованих поверхнях ця властивість дернин бріофітів покращує проростання насіння та забезпечує виживання проростків в межах мохового покриву [12].

В процесі розвитку мохового покриву його акумулятивна роль зростає. На четвертій стадії регенерації відслонень моховий покрив забезпечує до 26% польової вологості на всю глибину біологічно активного шару техногрунту (рисунок).

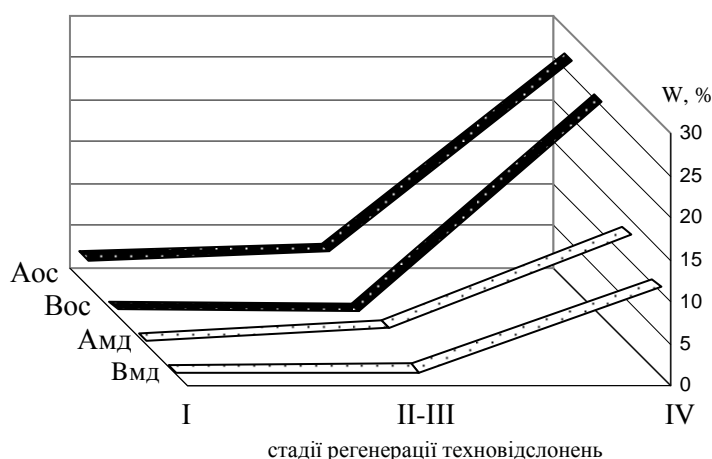


Рисунок. Зміни польової вологості (W, %) техногрунтів на різних етапах регенерації: Аос – поверхня оголеного субстрату; Voc – приповерхневий шар оголеного субстрату; Амд – поверхня мохової дернини; Вмд – підстеляючий мохову дернину шар субстрату.

На досліджуваних техновідслоненнях з тривалим періодом регенерації добре розвинені дернини пірчастого моху *Pleurozium schreberi* з потужністю підземної частини 5-7 см, утримували в 30 разів більше води, ніж дернини піонерних бріофітів на ранніх етапах відновлення. Такий ефект, окрім безпосереднього зростання з віком товщини шару ризоїдної повсті дернини, забезпечується і комплексним розвитком складових регенераційних фітокомплексів, де поступове ущільнення намету судинних рослин суттєво зменшує інтенсивність випаровування з епігейного ярусу.

Зазначимо, що співвідношення повної вологості субстрату для пар проб „оголений субстрат-мохова дернина” становить лише 1,10-1,17, що вказує на однакову кількість води, яку здатні утримувати в собі досліджені субстрати завдяки своїм фізичним властивостям. В той же час фактичний вміст води досліджених пар зразків різнився у 2-5 разів. Завдяки високій гігроскопічності тканин, бріофіти набагато ефективніше, ніж незадернований субстрат, зберігають поглинуту воду, а отже, у сухий період виявляються помітно вогкішими. Це стає особливо помітним у дернинах значної потужності, які здатні консервувати у собі значні об'єми води.

Таким чином, розвиток мохового покриву на поверхні відслонених субстратів підвищує їх водоутримуючу здатність і сприяє ранньому прояву середовищних функцій техногрунтів. Формування запасу активної води є важливою передумовою для повноцінного функціонування ґрунтової мікробиоти та зообіоти, а депонування бріофітами води на глибину корененасиченого шару підвищує доступність поживних речовин для рослин та підтримує фізіологічний рівень оводненості їх тканин.

Участь мохоподібних у процесах первинного ґрунтоутворення. В процесі досліджень було помічено, що піонерні види бріофітів, оселяючись на рухомому субстраті піщаних відслонень, механічно фіксують його, рясно пронизуючи ризоїдами. Вони перешкоджають розвіюванню легких часток субстрату або розрихлюють надто щільні породи. Потужність ризоїдної повсті у широко розповсюджених видів на I-II сукцесійних стадіях сягала у низькодернинних мохів (*Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. та *Bryum caespiticium* Hedw.) 3-5 см, у високодернинних (*Polytrichum juniperinum* Hedw.) – до 6-9 см. Проникаючи у товщу субстрату, ризоїди мохів формують своєрідну „сітку”, що підвищує пористість техноґрунту і позитивним чином відбивається на його збагаченні повітрям та доступною вологою. Щільність будови техноґрунту зменшується, натомість, ґрунтовий матеріал оструктурюється і розрихлюється [4], створюючи сприятливі передумови для протікання первинних ґрунотвірних процесів.

Водночас, у підстеляючому мохові дернини шарі субстрату вже через 4-5 років формується помітний прошарок темнішого кольору – зародковий органо-аккумулятивний (гумусовий) горизонт. Вміст гумусу в ньому становив 0,49-0,58 %, тоді як у незадернованому субстраті того ж віку – лише 0,06-0,14 % (табл. 3).

Таблиця 3

Вміст гумусу та значення рН ґрунтового субстрату підризоїдального шару на різних стадіях регенерації техновідслонень

Стадія регенерації	Вміст гумусу, %	Значення рН (водне) *
незаселений субстрат	0,06-0,14	6,81 / 7,75
I	0,49-0,58	6,25 / 7,57
II	0,85-1,45	6,85 / 7,10
III	2,61-3,98	4,6 / 6,6

Примітка: *– рН піщаного субстрату / рН піщано-карбонатного субстрату.

В процесі розвитку угруповань бріофітів збагачення субстрату гумусом продовжувало зростати. Вже на II стадії ренатуралізації техновідслонень вміст гумусу становив 0,85-1,45%, а на початках III – досягнув 2,61-3,98%. На поверхні недиференційованої ґрунтової товщі утворився зародковий гумусовий горизонт, складений слабо- та середньорозкладеними органічними рештками (головним чином, продуктами відмирання мохової дернини та привнесеним опадом судинних рослин) і рясно переплетений ризоїдами. Помічено, що потужність гумусового горизонту під моховими дернинами 10-15 річного віку збільшується до 7-8 см, а сам субстрат набуває нестійкої крупногрудкуватої структури. Вміст гумусу під дернинами мохоподібних на техновідслоненнях з тривалістю регенерації 15-20 років зростає більш ніж у 30 разів порівняно з його вмістом у свіжорозкритій породі і наближається до значень гумусованості, притаманних зональним ґрунтам [3].

На пізніших стадіях заростання техноґрунтів участь мохоподібних у гумусонагромадженні дослідити не вдалось через відсутність у рослинному покриві просторово відокремлених від судинного компоненту дернин мохів. Очевидно, що на

відслоненнях з тривалим періодом відновлення роль трахеофітів у накопиченні органіки видається більш значущою. Останні набагато інтенсивніше, ніж мохи, нагромаджують значні об'єми біомаси.

Відчутний вплив мохоподібні здійснюють і на хімічну реакцію ґрунтового субстрату своїх мікрооселищ. Через специфічні властивості продуктів метаболізму [7] мохові дернини здатні змінювати хімічну реакцію субстрату в бік підкислення. Так, реакція ґрунтового розчину (водне рН) ризоїдального шару мохів *Bryum caespitium* (на піщано-карбонатному субстраті з номінальним значенням рН 7,75) та *Ceratodon purpureus* (на піщаному субстраті з номінальним значенням рН 6,81) у піонерному угрупованні (I стадія) відрізнялось від хімічної реакції незаселеного субстрату та становила 7,57 та 6,25 відповідно (див. табл. 3).

Надалі значення рН продовжувало спадати і під добре розвиненими дернинами (III стадія) на піщаних відслоненнях досягло значення – 4,6 (під *Pleurozium schreberii*), на піщано-карбонатних – 6,6 (під *Thuidium erectum* Dubi). Тобто в першому випадку реакція середовища змінилась від нейтральної до середньокислої, а в другому – від середньолужної до нейтральної.

Підкислення ґрунтового середовища бріофітами спричинює вивільнення у ґрунтові розчини мінеральних сполук через послаблення їх сорбційних зв'язків. Це, в свою чергу, підвищує доступність поживних речовин для рослин, які оселяються на техновідслоненнях.

Індукована мохоподібними нейтралізація хімічної реакції субстратів піщано-карбонатних відслонень має важливе значення і для активації механізмів гуміфікації органічної речовини в них. Відомо, що лужне середовище (значення рН вище 8) є лімітуючим фактором для функціонування більшості ґрунтової мікробіоти, задіяної у гумусоутворенні та перешкоджає утворенню гумусових кислот [6]. За таких умов первинна органіка нагромаджується на поверхні ґрунту і її залучення до процесів ґрунтоутворення значною мірою утруднюється. Широкі межі толерантності мохоподібних до хімізму субстрату дозволяють їм формувати на карбонатомісних породах ясні обростання, і, тим самим, полегшувати протікання ґрунтовірних процесів. Дійсно, зростання вмісту гумусу в досліджуваних піщано-карбонатних субстратах тісно корелює зі спаданням значення рН, що описується поліноміальною залежністю $y = 0,1896x^2 - 0,8331x + 7,8097$ з рівнем апроксимації $R^2 = 0,9704$, де y – значення рН, а x – вміст гумусу.

Таким чином, заселяючи техновідслонення, мохоподібні активно впливають на процеси ініціального ґрунтоутворення. Участь бріофітів в актах первинного ґрунтоутворення є як прямою, так і опосередкованою. Розвиток мохового покриву сприяє первинному гумусонагромадженню через безпосереднє постачання органіки та шляхом змін хімічної реакції ґрунтового середовища активує акумуляцію органіки у мінеральних комплексах техноґрунтів.

Висновки

Розвиток мохового покриву на техногенних відслоненнях позитивним чином впливає на перебіг відновних сукцесій загалом. Регуляторні та протекторні властивості мохового покриву є добре вираженими та виявляються вже з початків його становлення.

Колонізація техногенних відслонень регіону бріофітами стабілізує показники водного та температурного мікрорежимів у поверхневих шарах ґрунтових субстратів. Формування мозаїки мікрооселищ з м'яким мікрокліматом створює сприятливі передумови для розвитку рослинного покриву та ґрунтової біоти.

Заселяючи техногенні відслонення, мохоподібні чинять комплексну дію на процеси первинного педогенезу: ініціюють процеси оструктурування у профілі техноґрунту, нагромаджують органічну речовину та виступають у ролі ацидифікаторів поверхневого шару субстрату в межах своїх місцевиростань.

Аналіз функціональної ролі бріофітів у відновленні техногенних відслонень показав, що їх значущість у регенеративних процесах полягає, насамперед, у підвищенні загального екологічного потенціалу пострегенераційних екосистем через системну трансформацію умов середовища на рівні мікро- та мезомісцевиростань.

1. Александрова В.Д. Динамика растительного покрова // Полевая геоботаника, т. III / Под ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. – М.-Л.: Наука, 1964. – С. 300-447.
2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487с.
3. Вовк О.Б. Функціональна спроможність антропогенних ґрунтів // Агрохімія і ґрунтознавство. – Харків, 2002. – С. 26-29.
4. Вовк О.Б. Динамічні тенденції розвитку техногенних ґрунтів // Наук. вісник НЛТУУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУУ. – 2007. – 17.7. – С. 36-46.
5. Голуєсов П.В. Ренатурация техногенно нарушенных земель // Экология, 2002. – 9, № 2. – С. 121-124.
6. Гришина Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 242 с.
7. Ипатов В.С., Тархов Т.Н. Микроклимат моховых и лишайниковых синузий в сосняке зеленомошно-лишайниковом // Экология, 1982. – № 4. – С. 27-32.
8. Лисецкий Ф.Н., Голуєсов, П.В., Кухарук Н.С., Чепелев О.А. Экологические аспекты воспроизводства почвенно-растительного покрова в нарушенных горнодобывающей промышленностью ландшафтах. [Электронный научный журнал «Исследовано в России»]: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/217.pdf>
9. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 304с.
10. Практикум по почвоведению / Под ред. И.П. Гречина. – М.: Колос, 1964. – 423с.
11. Beringer J., Lynch H.A., Chapin F.S., Mack M., Bonan G.B. The representation of arctic soil in the land surface model: the importance of mosses // Jour. of Climate. – 2001. –14, № 15. – P. 3324-3335.
12. Delach A., Kimmerer R.W. The Effect of *Polytrichum piliferum* on Seed Germination and Establishment on Iron Mine Tailing in New York // The Bryologist. – 2002. – 105, № 2. – P. 249-255.
13. Rastorfer J.R. Establishvent of Bryophytes on a reclaimed surface mine sites at Goose Lake Prairie State Park, Illinois / The Land Reclamation Program. – Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois, 1979. – P. 199-214.
14. Ringen D. The role of moss in facilitating natural revegetation of metal-contaminating sites during primary succession. [Електронний ресурс]: http://www.bioed.org/ibscore/journal/Articles_all/1999/IBS.pdf
15. Ross B.A., Webster G.R., Vitt D.H. The role of mosses in reclamation of brine spills in forested areas // The Jour. of Canadian Petroleum Technology. – 1984. – 23, № 6. – P. 32-36.