

УДК 631.484:574.43

СОДЕРЖАНИЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОЧВАХ ПОД *DESCHAMPSIA ANTARCTICA* И *D. CESPITOSA* (РОАСЕАЕ)**Т. Ю. Бедерничек¹, Н. В. Заименко¹, Р. В. Иванников¹, В. В. Лоя¹, В. Н. Анищенко¹, Т. В. Партька², П. Б. Хоецкий³**¹ *Национальный ботанический сад имени Н. Н. Гришко НАН Украины, ул. Тимирязевская, 1, г. Киев, 01014, bedernichek@nas.gov.ua*² *Институт сельского хозяйства Карпатского региона НААН Украины, ул. М. Грушевского, 5, с. Оброшине, Пустомытовский р-н, Львовская обл., 81115*³ *Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057*

Реферат. Щучка антарктическая *Deschampsia antarctica* (Роасеае) является важным эдификатором в экосистемах прибрежной Антарктики и оказывает существенное влияние на состав органического вещества почвы. **Целью** этого исследования является определение состава низкомолекулярных органических соединений в гумусово-дерновом горизонте лептосоли под *D. antarctica* и зональной серой лесной почвы под *D. cespitosa*. Необходимость сравнения состава и свойств почв под этими родственными видами растений обусловлена поиском маркеров, свойственных именно антарктическим почвам. В работе применены **методы** высокоэффективной жидкостной хроматографии для определения фенолов, фенолкарбоновых, фенилкарбоновых гидроксibenзойных кислот, кумариновых производных и флавоноидов. **Результаты** исследований показали, что образцы гумусово-дернового горизонта Hd почвы под *D. antarctica* и *D. cespitosa* характеризуются близкими значениями рН (H₂O), рН (CaCl₂) и удельной электропроводности. Содержание органического углерода в почвах под растениями этих видов также отличается незначительно и изменяется в пределах 101-114 мг·г⁻¹. В исследованных почвах содержится примерно одинаковое количество фенолов и фенолкарбоновых кислот, а также гидроксibenзойной кислоты. В то же время в почве под *D. cespitosa* выявлено на порядок меньше фенилкарбоновых кислот и в 5 раз меньше флавоноидов. Кроме того, обнаруженных в антарктической почве кумариновых производных (около 50 мкг·г⁻¹) под *D. cespitosa* не было вообще. Учитывая значительную биологическую активность упомянутых выше классов органических веществ, можно сделать **вывод**, что обнаруженные различия обусловлены не столько условиями среды, сколько особенностями жизненного цикла щучки дернистой, а высокое содержание фенилкарбоновых кислот и кумариновых производных в почве под *D. antarctica* свидетельствует об особых процессах трансформации органического вещества почвы, требующих дальнейших исследований.

Ключевые слова: *Deschampsia antarctica*, *Deschampsia cespitosa*, низкомолекулярные органические соединения, фенолы, водорастворимое органическое вещество.

ВМІСТ НИЗЬКОМОЛЕКУЛЯРНИХ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК У ҐРУНТАХ ПІД *DESCHAMPSIA ANTARCTICA* ТА *D. CESPITOSA* (РОАСЕАЕ)**Т. Ю. Бедернічек¹, Н. В. Заїменко¹, Р. В. Іванников¹, В. В. Лоя¹, В. М. Аніщенко¹, Т. В. Партика², П. Б. Хоецький³**¹ *Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України, м. Київ, bedernichek@nas.gov.ua*² *Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН України, с. Оброшине*³ *Національний лісотехнічний університет України, м. Львів*

Реферат. Щучник антарктичний *Deschampsia antarctica* (Роасеае) є важливим едифікатором в екосистемах прибережної Антарктики і має суттєвий вплив на склад органічної речовини ґрунту. **Метою** цього дослідження є визначення складу низкомолекулярних органічних сполук в гумусово-дерновому горизонті лептосоли під *D. antarctica* та зонального сірого лісового ґрунту під *D. cespitosa*. Необхідність порівняння складу і властивостей ґрунтів під цими спорідненими видами рослин обумовлена пошуком маркерів, властивих саме для антарктичних ґрунтів. У роботі застосовані **методи** високоефективної рідинної хроматографії для визначення фенолів, фенолкарбонових, фенілкарбонових, гідроксibenзойних кислот, кумаринових похідних і флавоноїдів. **Результати** досліджень показали, що зразки гумусово-дернового горизонту Hd ґрунту під *D. antarctica* і *D. cespitosa* характеризуються близькими значеннями рН (H₂O), рН (CaCl₂) і питомою електропроводності. Вміст органічного карбону в ґрунтах під *D. antarctica* і *D. cespitosa* також відрізняється незначно і колива-

еться в межах 101-114 мг·г⁻¹. У досліджених ґрунтах міститься приблизно однакова кількість фенолів і фенолкарбонових кислот, а також гідроксибензойної кислоти. У той же час в ґрунті під *D. cespitosa* виявлено на порядок менше фенолкарбонових кислот і в 5 разів менше флавоноїдів. Крім того, виявлених в антарктичному ґрунті кумаринових похідних (близько 50 мкг · г⁻¹) під *D. cespitosa* не було взагалі. З огляду на значну біологічну активність згаданих вище класів органічних речовин, можна зробити **висновок**, що виявлені відмінності обумовлені не стільки умовами середовища, скільки особливостями життєвого циклу щучника антарктичного, а високий вміст фенолкарбонових кислот і кумаринових похідних в ґрунті під *D. antarctica* свідчить про особливі процеси трансформації органічної речовини ґрунту, що вимагають подальших досліджень.

Ключові слова: *Deschampsia antarctica*, *Deschampsia cespitosa*, низькомолекулярні органічні сполуки, феноли, водорозчинна органічна речовина.

CONTENT OF LOW-MOLECULAR-WEIGHT ORGANIC COMPOUNDS IN SOILS UNDER *DESCHAMPSIA ANTARCTICA* AND *D. CESPITOSA* (POACEAE)

T. Bedernichek¹, N. Zaimenko¹, R. Ivannikov¹, V. Loya¹, V. Anishchenko¹, T. Partyka², P. Khojetsky³

¹ M. M. Gryshko National Botanic Garden, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, bedernichek@nas.gov.ua

² Institute of Agriculture of Carpathian region, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Obroshyne

³ National Forestry University of Ukraine, Lviv

Abstract. Antarctic hairgrass *Deschampsia antarctica* (Poaceae) is an important ecosystem engineer in coastal Antarctica and significantly affects properties and composition of soil organic matter. The **objective** of this study was to determine content and composition of low-molecular-weight organic compounds in humus-turf horizon of leptosol under *D. antarctica* and in alfisol under *D. cespitosa*. Comparison of soil organic matter under these closely related species is important to find the markers typical for Antarctic soils only. **Methods** of high-performance liquid chromatography for determination of phenols, phenol carboxylic, phenyl carboxylic, hydroxybenzoic acids, coumarin derivatives and flavonoids were used. **Results** of this study showed that samples of the humus-sod horizon Hd of the soil under *D. antarctica* and *D. cespitosa* had almost similar pH (H₂O), pH (CaCl₂) and specific electrical conductivity values. Organic carbon content in soils under *D. antarctica* and *D. cespitosa* differed insignificantly – from 101 to 114 mg·g⁻¹. The investigated soils contain approximately the same amount of phenols and phenol carboxylic acids, as well as hydroxybenzoic acid. At the same time, less phenyl carboxylic acids and much less flavonoids were detected in the soil under *D. cespitosa*. In addition, there were no coumarin derivatives under *D. cespitosa*, but about 50 µg·g⁻¹ of these substances were found in initial Antarctic soil. All the classes of organic substances mentioned above are biologically active and can significantly affect soil and determine different processes in it. Thus, it can be **concluded** that observed differences were probably caused not only by environmental conditions but by the life cycle of *D. antarctica*. High content of phenyl carboxylic acids and coumarin derivatives in soil under this plant species indicates different pattern of transformation of soil organic matter; however further studies are required to support this idea.

Key words: *Deschampsia antarctica*, *Deschampsia cespitosa*, low-molecular-weight organic compounds, phenols, water-soluble organic matter.

1. Вступление

Объективно оценить особенности процессов минерализации и трансформации органических веществ в почве в различных почвенно-климатических условиях возможно лишь при всестороннем изучении элементарного, композиционного и фракционного состава фенольных соединений (Заименко, 2008). После интегрирования в почву они контролируют многие биогеохимические реакции, в значительной степени определяя темпы деструкции органического вещества почвы (Бедерничек, Гамкало, 2014), оказывая влияние на циклы питательных веществ и ферментативную активность микроорганизмов (Rice, 1984). В контексте глобальных изменений климата необходимо исследовать механизмы, посредством которых эти соединения влияют на процессы деструкции растительных остатков в зависимости от почвенно-климатических условий, что позволит существенно повысить информативность существующих моделей динамики органического вещества почвы.

Несмотря на многочисленные исследования, до сих пор мало изучены не только структура и функции высокомолекулярных органических соединений в почве, природа которых еще не идентифицирована, но и низкомолекулярных, в составе которых преобладают фенолы (Min et al., 2015). Значительный интерес к исследованию в почвах криогенных экосистем органических веществ и, в первую очередь, фенольных соединений наблюдается в последние годы в почвоведении, экологии, биохимии, климатологии (Карелин, Замолодчиков, 2008). Он вызван необходимостью изучения динамики поступления, минерализации, трансформации соединений и связи органических веществ с другими компонентами биогеоценоза в криогенных экосистемах как удобных модельных объектах (Заименко и др., 2016).

В связи с меньшим биоразнообразием криогенных экосистем значительную роль в процессах трансформации органических веществ в них играет вид-эдификатор. Он, как «инженер экосистем», формирует или значительно модифицирует окружающую его среду (Jones et al., 1994). Для некоторых криогенных почв таким формирующим видом является щучка антарктическая *Deschampsia antarctica* E. Desv., произрастающей на различных субстратах в том числе на лептосолях, гистосолях, глейосолях (Parnikoza et al., 2016), и характеризующийся высокой анатомической и морфологической вариабельностью (Barcikowski et al., 2003).

Щучка антарктическая является одним из двух видов высших растений в Антарктике и эдификатором в экосистемах региона (Barcikowski et al., 2003; Parnikoza et al., 2007). С этим видом также связано развитие дернового процесса почвообразования, следовательно, содержание фенольных соединений в растениях будет во многом определять состав и свойства органического вещества почвы.

Исследованию состава и свойств почв под *D. antarctica* посвящено много работ украинских и зарубежных авторов (Parnikoza et al., 2007; Рошаль и др., 2013; Parnikoza et al., 2016). Однако, в большинстве из них делается акцент на валовые формы углерода, азота и других химических элементов. Значительно меньше внимания уделяют содержанию низкомолекулярных органических веществ в почве”.

Для определения роли шучки антарктической в процессах трансформации органического вещества почв мы сравниваем его с родственным видом луговиком дернистым *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv, который произрастает преимущественно на территории с умеренным климатом. Во внимание берутся только верхние горизонты почв, поскольку в этой части профиля фактор растительности наиболее влияет на ход почвообразующих процессов.

В этой работе рассматриваются различные формы фенольных соединений, обнаруженные в гумусово-дерновом горизонте Hd инициальной антарктической почвы и зональной серой лесной почвы, сформировавшихся под *D. antarctica* и *D. cespitosa* соответственно. Необходимость сравнения состава и свойств почв под этими родственными видами растений обусловлена поиском маркеров свойственных именно антарктическим почвам.

Идентификация органических соединений свойственных именно антарктическим почвам позволит увеличить информативность существующих моделей биогеохимического цикла углерода в криогенных экосистемах.

2. Материалы и методы

Образцы почвы отбирали в марте 2016 года в пятикратной повторности на островах Галиндез и Скуа, архипелаг Вильгельма. Картограмма территории и точки отбора проб приведены в работе (Заименко и др., 2016). Образцы серой лесной почвы отбирали на территории Национального ботанического сада им. Н. Н. Гришко (г. Киев). Исследовали верхний гумусово-дерновый горизонт почвы, сформированный непосредственно под влиянием ризосферы и детритосферы.

Содержание углерода определяли методом сульфохромного окисления (Partyka et al., 2010). Содержание водорастворимых органических соединений определяли при температурах 20 и 80°C (Hamkalo et al., 2014). pH (H₂O) и рН (CaCl₂) определяли потенциометрически в суспензиях при соотношении почва : вода и почва : водный раствор CaCl₂ 1:10. В этих же водно-почвенных суспензиях определяли значение удельной электропроводности.

Содержание фенолов и фенолкарбоновых, фенилкарбоновых, гидроксibenзойных кислот, кумариновых производных и флавоноидов определяли методом ВЭЖХ на хроматографической системе DAD-HPLC Agilent 1100 с колонкой Agilent Zorbax Eclipse Plus C18. Результаты представлены в пересчете на массу абсолютно сухой почвы.

В работе принят 5% уровень значимости (P≤0,05).

3. Результаты и обсуждение

Зональные полнопрофильные почвы умеренного климатического пояса вне всяких сомнений сильно отличаются от инициальных почв тундровых экосистем. Однако в этой работе проводится сравнение не почв в целом, а их отдельные зоны, известных как “горячие точки” или “hot spots” (Kuzyakov et al., 2015). Здесь мы используем определение “гумусово-дерновый горизонт”, подразумевая, что именно в этой части почвенного профиля наблюдается максимальное взаимодействие ризосферы и детритосферы, что проявляется в высоких темпах накопления и деструкции органического вещества.

Согласно данным, приведенным в таблице, как физико-химические свойства исследованных почв, так и количество углерода в целом и водорастворимых органических веществ в частности, оказались сравнимыми. Принимая во внимание принципиально иной состав микробиоценоза в антарктических почвах, а также количество меланинсодержащих (темноокрашенных) грибов и их значение для “меланинового” пути гумусообразования (Вітер, 2016), было основание предполагать значительные качественные различия в составе и свойствах отдельных фракций, входящих в состав органического вещества исследованных почв. Однако неожиданностью оказались близкие значения содержания экстрагированных холодной и горячей водой органических веществ.

Таблица

Основные характеристики гумусово-дерновых горизонтов (Hd) инициальной почвы под *Deschampsia antarctica* и серой лесной почвы под *Deschampsia cespitosa* (среднее ± стандартное отклонение), где ЭП – удельная электропроводность, C_х – экстрагированный холодной и C_г – горячей водой органический углерод

Table

Main properties of the humus-sod horizons (Hd) of the initial soil under *Deschampsia antarctica* and gray forest soil under *Deschampsia cespitosa* (mean ± standard deviation), where EC is the electrical conductivity, C_c – extracted by cold and C_h – by hot water organic carbon

| | pH (H ₂ O) | pH (CaCl ₂) | ЭП, мкСм·см ⁻¹ | C, мг·г ⁻¹ | C _х , мг·г ⁻¹ | C _г , мг·г ⁻¹ |
|----------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <i>D. antarctica</i> | 5,85 | 5,05 | 97±21 | 113,80±19,8 | 1,75±0,80 | 9,13±3,93 |
| <i>D. cespitosa</i> | 5,50 | 4,80 | 89±15 | 101,07±13,5 | 1,55±0,38 | 9,81±2,11 |

Обнаружено, что в исследованных почвах содержится приблизительно одинаковое количество фенолов и фенолкарбоновых кислот, а также гидроксibenзойных кислот (рисунок). В то же время, в почве под *D. cespitosa* обнаружено на порядок меньше фенолкарбоновых кислот и в 5 раз меньше флавоноидов. Кроме того, свойственной исследуемой антарктической почве кумариновых производных (около $50 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$) под *D. cespitosa* не было вообще. Принимая во внимание значительную биологическую активность упомянутых выше классов органических веществ, в том числе их цитостатические, бактерицидные, антикоагуляционные и антиоксидантные свойства (Rice, 1984), мы предполагаем, что и процессы накопления и, прежде всего, деструкции органического вещества в почве под *D. antarctica* и под *D. cespitosa* существенно отличаются. Мы полагаем, что это может быть связано с особенностями жизненного цикла щучки дернистой. В недавнем исследовании Поронник и др. (2017) в растениях *D. antarctica* был обнаружен широкий спектр флавоноидов, среди которых идентифицированы лютеолин и апигенин. Эти соединения, по мнению авторов, могут оказывать существенное влияние на формы и размер листа. Следовательно, от них, в определенной мере, зависит и ассимиляционный поток CO_2 из атмосферы в почву. Используя упомянутую выше концепцию горячих точек и горячих моментов (hot spots and moments), можно предположить, что именно продолжительность активности ризосферы (в ней трансформация органического вещества происходит в разы быстрее, чем в соседних зонах), обусловленная длительностью полярного лета, и может в значительной степени влиять на реакционную способность почвы в целом.

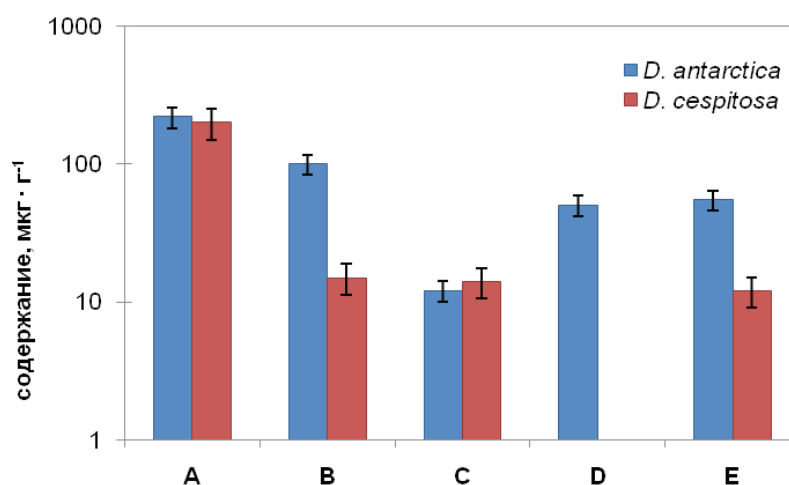


Рисунок. Содержание низкомолекулярных органических соединений в почве, в том числе: А – фенолов и фенолкарбоновых кислот, В – фенолкарбоновых кислот, С – гидроксibenзойных кислот, D – кумариновых производных и E – флавоноидов.

Figure. Content of low-molecular-weight organic compounds in soil, including: A – phenols and phenolcarboxylic acids, B – phenylcarboxylic acids, C – hydroxybenzoic acids, D – coumarin derivatives and E – flavonoids.

Экспериментально доказано, что различные экосистемы продуцируют физиологически специфический строго индивидуальный набор фенольных соединений, который определяет особенности строения гуминовых кислот почв, а также формирует и поддерживает экологические условия существования всего биогеоценоза (Ковалев, Ковалева, 2016). Топическая гетерогенность низкомолекулярных органических соединений в почве часто коррелирует с содержанием в ней лигнина. Это также обуславливает возможность возникновения большого числа разнообразных продуктов его разложения, которые служат матрицей для формирования гумуса и долговременного сохранения композиционного состава биополимеров в последовательности ткани растений – детрит – почва – гумусовые кислоты. В частности, при низких температурах происходит неполная минерализация органических остатков в почве, в результате чего наблюдается ускоренное формирование лигниновой матрицы посредством синтеза фенольных соединений, которые являются важными промежуточными продуктами в гумусообразовании и играют первостепенную роль в управлении многими аспектами взаимодействия растений и почвы.

В дальнейших исследованиях представляется целесообразной дальнейшая идентификация соединений, входящих в упомянутые выше классы органических веществ, а также определение содержания свободных аминокислот в самих растениях – и как маркеров адаптационных механизмов, и как источника специфических органических соединений, влияющих на трансформацию органического вещества почвы.

Поскольку в криогенных экосистемах количество доступного азота часто является лимитирующим фактором, оценка содержания азотсодержащих органических соединений в исследуемых почвах является необходимой для определения качества органического вещества почвы в целом.

4. Выводы

1. Исследованным образцам гумусово-дернового горизонта Hd почвы под *D. antarctica* и *D. cespitosa* свойственны близкие значения основных физико-химических параметров: значение pH (H_2O) в пределах 5,5-5,85 единиц, pH (CaCl_2) – 4,80-5,05 и удельной электропроводности – $89-97 \text{ мкСм} \cdot \text{см}^{-1}$.

2. Общее содержание органического углерода в почвах под *D. antarctica* и *D. cespitosa* составило 101-114 мг·г⁻¹, экстрагированного холодной (20°C) водой органического углерода – 1,55-1,75 мг·г⁻¹ и экстрагированного горячей (80°C) водой органического углерода – 9,13-9,81 мг·г⁻¹.

3. В исследованных почвах содержится приблизительно одинаковое количество фенолов и фенолкарбоновых кислот, а также гидроксibenзойных кислот. В то же время в почве под *D. cespitosa* обнаружено на порядок меньше фенолкарбоновых кислот и в 5 раз меньше флавоноидов, а свойственных антарктической почве кумариновых производных (около 50 мкг·г⁻¹) под *D. cespitosa* не было обнаружено вообще.

4. Высокое содержание фенолкарбоновых кислот и кумариновых производных в почве под *D. antarctica* свидетельствует об особых процессах трансформации органического вещества почвы, количественная оценка которых требует дальнейших исследований.

5. Благодарности

Исследование выполнено в рамках проекта “Оценка потоков биогенных элементов и парниковых газов в наземных экосистемах прибрежной Антарктики” №0117U003733 при финансовой и логистической поддержке Государственного учреждения Национальный антарктический научный центр Министерства образования и науки Украины. Также авторы благодарны двум анонимным рецензентам, чьи замечания позволили существенно улучшить качество рукописи.

6. Литература

1. Бедерничек Т. Ю., Гамкало З. Г. *Лабільна органічна речовина ґрунту: теорія, методологія, індикаторна роль*. К.: Вид-во «Кондор», 2014. 180 с.
2. Вітер А. В. *Актуальні питання обміну речовин в екосистемах: наукове видання*. К.: Вид-во «Наукова думка», 2016. 240 с.
3. Заименко Н. В., Бедерничек Т. Ю., Швартау В. В., Михальская Л. Н., Хоецкий П. Б. Инициальное почвообразование в прибрежной Антарктике: существуют ли не орнитогенные почвы? *Украинский антарктический журнал*. 2016, № 15, С. 170–175.
4. Заїменко Н. В. *Наукові принципи структурно-функціонального конструювання штучних біогеоценозів у системі ґрунт-рослина-ґрунт: наукове видання*. К.: Вид-во «Наукова думка», 2008. 304 с.
5. Карелин Д. В., Замолотчиков Д. Г. *Углеродный обмен в криогенных экосистемах*. М.: Изд-во «Наука», 2008. 344 с.
6. Ковалев И. В., Ковалева Н. О. Пул лигниновых фенолов в почвах лесных экосистем. *Лесоведение*. 2016, № 2, С. 148–160.
7. Порнікоза О.О., Парнікоза І.Ю, Мирюта Н.Ю., Мирюта Г.Ю., Грахов В.П., Навроцька Д.О., Кунах В.А. Роль *Deschampsia antarctica* E. Desv. з різним числом хромосом в умовах вирощування in vitro. Довжина листків та вміст флавоноїдів в культурі in vitro та природі. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017, № 20, С. 310–313.
8. Рошаль А.Д., Краснопёрова 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. *Украинский антарктический журнал*. 2013, № 13, С. 265–281.
9. Barcikowski, A., Czapiewska, J., Loro, P., Łyszkiwicz, A., Smykla, J., Wojciechowski, A. 2003. Ecological variability of *Deschampsia antarctica* in the area of Admiralty Bay (King George Island, Maritime Antarctic). In: L. Frey (ed.). *Problems of grass biology*. Kraków, 383–396.
10. Hamkalo, Z., Bedernichek, T. 2014. Total, cold and hot water extractable organic carbon in soil profile: impact of land-use change. *Zemdirbyste-Agriculture*, 101 (2), 125–132. DOI:10.13080/z-a.2014.101.016 (дата звернення: 15.12.2017).
11. Jones, C. G., Lawton, J. H., Shachak, M., 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*. 69, 373–386.
12. Kuzyakov, Y., Blagodatskaya, E. 2015. Microbial hotspots and hot moments in soil: concept & review. *Soil Biology and Biochemistry*. 83, 184–199.
13. Min, K., Freeman, C., Kang, H., Choi, S.U. 2015. The regulation by phenolic compounds of soil organic matter dynamics under a changing environment. *BioMed research international*. DOI:10.1155/2015/825098 (дата звернення: 15.12.2017).
14. Parnikoza, I. Y., Miryuta, N. Y., Maidanyuk, D. N., Loparev, S. A., Korsun, S. G., Budzanivska, I. G., Shevchenko, T.P., Polischuk, V.P., Kunakh, V.A., Kozeretska, I. A. 2007. Habitat and leaf cytogenetic characteristics of *Deschampsia antarctica* Desv. in the Maritime Antarctica. *Polar Science*, 1 (2–4), 121–128.
15. Parnikoza I., Abakumov E., Korsun S., Klymenko I., Netsyk M., Kudanova A., Kozeretska I. 2016. Soils of the Argentine Islands, Antarctica: Diversity and Characteristics. *Polarforschung*, 86 (2), 83–96.
16. Partyka, T., Hamkalo, Z. 2010. Estimation of oxidizing ability of organic matter of forest and arable soil. *Zemdirbyste-Agriculture*, 97 (1), 33–40.
17. Rice, E. L. 1984. *Allelopathy*. London: Academic Press

7. References

1. Bedernichek, T., Hamkalo, Z. 2014. *Soil labile organic matter: theory, methodology, indicative role*. Kyiv: Condor.
2. Viter, A. V. 2016. *The topical issues of ecosystem metabolism*. Kyiv: Naukova Dumka.

3. Zaimenko, N., Bedernichek, T., Schwartau, V., Mykhalska, L., Khoetsky, P. 2016. Initial soil formation in coastal Antarctica: do non-ornotogenic soils exist? *Ukrainian Antarctic Journal*, 15, 170-175.
4. Zaimenko, N. V. 2008. *Scientific principles of structural and functional design of artificial biogeocenosis in the system soil-plant-soil*. Kyiv: Naukova Dumka.
5. Karelin, D.V., Zamolodchikov, D.G. 2008. *Carbon exchange in cryogenic ecosystems*. Moscow: Nauka.
6. Kovalev, I. V., Kovaleva, N.O. 2016. Pool of lignin phenols in soils of forest ecosystems. *Russian Journal of Forest Science*, 2, 148-160.
7. Poronnik, O.O., Parnikoza, I.Yu., Miryuta, N.Yu., Myryuta, G.Yu., Grahov, V.P., Navrotska, D.O., Kunakh, V.A. 2017. *Deschampsia antarctica* E. Desv. plants with different chromosome number cultivated in vitro. Leaves length and flavanoids in vitro culture and nature. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 20, 310-313.
8. Roshal, A.D., Krasnopiorova, A.P., Dyky, I.V., Sizova, Z.A., Yukhno, G.D., Shmyrov, D.V., Gamulya, Yu.G., Utevsky, A.Yu. 2013. Primitive soils of the Mount Demaria (Graham Land, Antarctic Peninsula): morphology, mineral composition, vertical distribution. *Ukrainian Antarctic Journal*, 13, 265-281.
9. Barcikowski, A., Czapiewska, J., Loro, P., Łyszkiewicz, A., Smykla, J., Wojciechowski, A. 2003. Ecological variability of *Deschampsia antarctica* in the area of Admiralty Bay (King George Island, Maritime Antarctic). In: L. Frey (ed.) *Problems of grass biology*. Kraków: 383–396.
10. Hamkalo, Z., Bedernichek, T. 2014. Total, cold and hot water extractable organic carbon in soil profile: impact of land-use change. *Zemdirbyste-Agriculture*, 101 (2), 125-132. DOI:10.13080/z-a.2014.101.016.
11. Jones, C.G., Lawton, J.H., Shachak, M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69, 373–386.
12. Kuzyakov, Y., Blagodatskaya, E. 2015. Microbial hotspots and hot moments in soil: concept & review. *Soil Biology and Biochemistry*. 83, 184-199.
13. Min, K., Freeman, C., Kang, H., Choi, S.U. 2015. The regulation by phenolic compounds of soil organic matter dynamics under a changing environment. *BioMed research international*, DOI:10.1155/2015/825098.
14. Parnikoza, I. Y., Miryuta, N. Y., Maidanyuk, D. N., Loparev, S. A., Korsun, S. G., Budzanivska, I. G., Shevchenko, T.P., Polischuk, V.P., Kunakh, V.A., Kozeretska, I. A. 2007. Habitat and leaf cytogenetic characteristics of *Deschampsia antarctica* Desv. in the Maritime Antarctica. *Polar Science*, 1(2–4), 121–128.
15. Parnikoza I., Abakumov E., Korsun S., Klymenko I., Netsyk M., Kudinova A., Kozeretska I. 2016. Soils of the Argentine Islands, Antarctica: Diversity and Characteristics. *Polarforschung*, 86 (2), 83–96.
16. Partyka, T., Hamkalo, Z. 2010. Estimation of oxidizing ability of organic matter of forest and arable soil. *Zemdirbyste-Agriculture*, 97 (1), 33–40.
17. Rice, E. L. 1984. *Allelopathy*. London: Academic Press.