

DOI: <https://doi.org/10.36885/nzdpm.2020.36.81-88>

УДК 57.045:574.21

Орлов О. Л., Рагуліна М. Є.

ВПЛИВ ФРАГМЕНТАЦІЇ НА МІКРОКЛІМАТИЧНІ ПАРАМЕТРИ БУКОВИХ ЛІСІВ СТІЛЬСЬКОГО ГОРБОГІР'Я

Проведено оцінку зміни мікрокліматичних параметрів букових лісів Стільського горбогір'я, через вимірювання водно-температурних показників ґрунту та бріоіндикацію. Встановлено, що фрагментація лісових оселищ спричиняє помітні зміни мікрокліматичних параметрів на їх крайових ділянках, що призводить, як до втрат біорізноманіття, так і до зменшення площі «внутрішнього лісу». У фрагментованих букових лісах вплив крайового ефекту на водно-температурний режим ґрунтів спостерігається до відстані 20-40 метрів, тоді як еко-флористична структура неморальної мохової рослинності стабілізується лише на відтинку від 160 м. Таким чином, мохоподібні є чутливим маркером змін мікрокліматичного режиму у фрагментованій екосистемі. Індикаторами «внутрішнього лісу» у досліджуваних бучинах є *Metzgeria furcata*, *Radula complanata*, *Anomodon attenuatus*, *A. viticulosus*, *Cirriphyllum crassinervium*. Визначена амплітуда крайового ефекту свідчить про критичність фрагментації для невеликих ділянок лісу та втрати чутливих до мікроклімату груп біоти, насамперед, мохоподібних.

Ключові слова: фрагментація, букові ліси, мікрокліматичні параметри, бріоіндикація, індикатори старовікових лісів, крайовий ефект.

Фрагментація оселищ належить до основних наслідків антропогенної трансформації середовища та глобальних змін клімату і, відповідно, є потенційною небезпекою для біорізноманіття наземних екосистем, яка загрожує довготерміновому існуванню виду в малих ізольованих оселищах [10, 14]. Зменшення розмірів та зміна конфігурації оселищ, призводять до популяційних втрат, загрожують їхній життєздатності, знижують потенціал до самовідновлення включно з можливістю цілковитого зникнення ізольованих і локальних [17] популяцій у найбільш екстремальних випадках [16, 21].

Фрагментація - це процес, ініційований природними та/або антропогенними чинниками, що відбувається на рівні ландшафту, під час якого конкретне оселище поступово ділиться на дрібніші, відмінні за формою та з більшим ступенем ізольованості, фрагменти [19].

Чисельні дослідження показали, що фрагментація лісів призводить до помітних змін мікроклімату на їхній периферії (крайовий ефект), що тягне за собою втрату біорізноманіття та зменшення фактичної площі «внутрішнього лісу», який не зазнає змін [15]. Отримані на прикладі різних природних зон дані показують, що ширина смуги, що піддається трансформації, в середньому становить 40 м (на загал – від 20 до 80); крайовий ефект є більшим для фрагментів невеликої площі та неправильної форми; в дрібних фрагментах внаслідок мікрокліматичних змін «внутрішній ліс» може бути взагалі відсутній [9, 11, 13, 15]. Таким чином, під час планування рубок, необхідно враховувати обов'язковий буфер для захисту лісу від кліматичних змін внаслідок фрагментації.

Мохоподібні є чутливої до змін мікроклімату групою організмів та одними з найкращих індикаторів природного середовища [2]. Відома пряма залежність між розміром фрагменту лісу та його бріорізноманіттям [15]; також на прикладі лісів бореальної [15, 20] та субтропічної зон [18] визначені індикаторні види / групи видів бріобіоти, приурочені до ділянок, що зазнали впливу або виключно до «внутрішнього лісу», що є точнішими за безпосереднє визначення мікрокліматичних параметрів фрагментованих ділянок.

Таким чином, актуальним є як визначення ширини буферної зони лісових екосистем, що піддаються фрагментації, а також визначення індикаторних видів / угруповань мохоподібних, які є маркерами змін мікроклімату.

Стільське горбогір'я – один з найкраще збережених регіонів рівнинної частини Львівської області, де поряд з антропогенно трансформованими ділянками збереглися значні площі природних оселищ, які щоправда, зазнають значного впливу фрагментаційних процесів внаслідок рубок.

Стільське горбогір'я розташовується у південно-східному напрямку від Львова й охоплює межиріччя Зубри та Давидівки (Лугу). Воно належить до природного району Львівське Опілля, який є частиною Подільської височини [1]. За геоботанічним районуванням належить до Миколаївсько-Бережанського району букових та дубово-букових лісів [7]. Рельєф Стільського горбогір'я складається з декількох горбистих пасм, які досить упорядковано простягаються з північного заходу на південний схід. По всій території району абсолютна висота значної частини горбів перевищує 390 м, у найвищих місцях вона становить 400-405 м. Місцевість дуже розчленована. Відносна висота горбів над долинами річок часто перевищує 80-100 м, а самі долини є вузькими [4].

Метою нашої роботи була оцінка впливу фрагментації природних букових лісів за змінами мікрокліматичних параметрів через вимірювання водно-температурних показників ґрунту та бріоіндикацію, а також визначення індикаторних видів / угруповань мохоподібних у широколистяних лісах досліджуваного регіону, що належать до неморальної зони.

Матеріали та методика

Збір польового матеріалу та визначення мікрокліматичних параметрів ґрунтів на теренах Стільського горбогір'я здійснювались упродовж липня-вересня 2019 р.

Дослідні ділянки були обрані на західній околиці ботанічної пам'ятки природи «Роздільська», яка відділена від сусідніх лісових ділянок вирубкою та дорогою. Було закладено трансект перпендикулярно до межі лісу, яка перетинала вирубку, узлісся та ліс ПП «Роздільська», з реперними точками, відстані між якими визначалися згідно геометричної прогресії (5, 10, 20, 40, 80...; $q=2$) [11]. Довжина трансекта розраховувалась так, щоб захопити ділянки, фізичне середовище яких не зазнало змін та є стабільним. Таким чином, фрагменти можна поділити на «буфер» - узлісся та «внутрішній ліс» (interior forest) [15].

Фітоценотичні описи угруповань мохоподібних виконували за системою Браун-Бланке [22]. Облікували моховий покрив з «тіньового» боку стовбура, де він є ряснішим, на площі 1-10 дм², обираючи ділянки з однорідними умовами [6]. Бріоугруповання розглядали як автономні одиниці рослинного покриву, спираючись

на сучасні підходи еколого-флористичної класифікації [3]. Ідентифікацію синтаксонів проводили за продромусом мохової рослинності [8].

Індикаторні характеристики мохоподібних за відношенням до факторів зволоження та температури визначали за шкалами Дюля [12].

Як індикаторну, було обрано епіфітну субстратну групу мохоподібних, як найбільш інформативну, що була представлена на усіх дослідних ділянках та мала з-поміж інших найбільшу ясність та таксономічне / синтаксономічне багатство. Індикаторні для «внутрішнього лісу» види визначались як такі, що трапляються лише у цій зоні та мають високий клас постійності (IV-V за шкалою Браун-Бланке [22]).

Температуру ґрунту визначали у приповерхневому шарі електронним термометром ET-150, а польову вологість ґрунтів – ваговим методом [5].

Результати та обговорення

Дослідження впливу фрагментації на мікрокліматичні параметри ґрунту показали, що параметри польової вологості змінюються в доволі незначних межах (13,0-17,2%). Найменші значення цього показника притаманні вирубці та узліссю, що пов'язано з відсутністю зімкнутого намету рослинності на цих ділянках. При цьому, відновлення рослинного покриву на ділянці вирубки (5 р.) сприяє зростанню вологості, в порівнянні з узліссям, де розвитку рослинності перешкоджає наявність стихійної дороги. З просуванням вглиб лісу, параметри польової вологості поступово зростають, стабілізуючись на відстані (40 м). В подальшому цей показник змінюється слабо і його коливання не перевищують 0,4%. Окрім цього, необхідно зауважити, що величина змін параметру чітко залежить від відстані до узлісся. Так, якщо на віддалі в 5 метрів показник польової вологості зростає на 1,9%, в порівнянні з попередньою точкою, то на 10 м – лише на 0,7%, а на 20 м – на 0,5% (рис.).

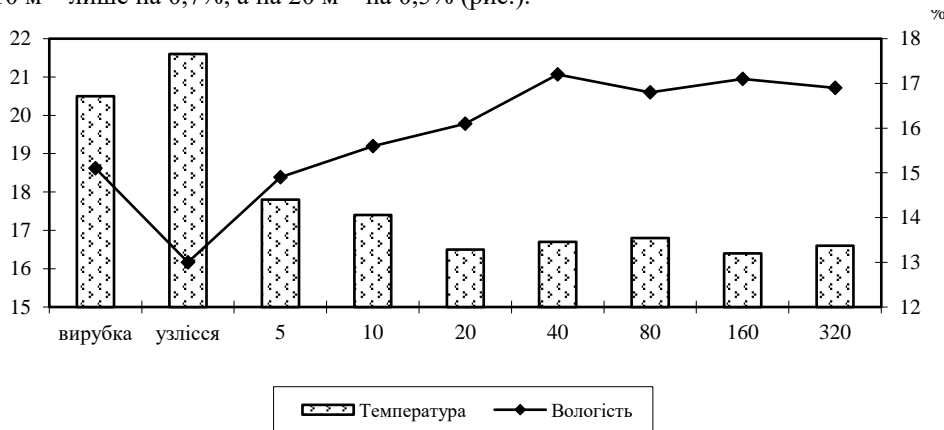


Рис. Зміни польової вологості та температури ґрунту на реперних точках досліджуваного трансекта.

Подібні тенденції характерні і для температури ґрунту. Найвищі значення цього показника притаманні для узлісся (21,6°C) та вирубки (20,5°C), що цілком корелює з впливом на температурні параметри ґрунтів. Вглиб лісу температурні параметри

поступово знижуються, стабілізуючись на відстані 20 м, в подальшому вони змінюються слабо і коливаються в межах 16,4-16,8°C (рис.).

Таким чином, можна стверджувати, що під час фрагментації природних букових лісів вплив цього процесу на водно-температурний режим ґрунтів спостерігається на відстані 20-40 м, що співпадає з даними інших авторів [9, 11, 13, 15] і свідчить про необхідність виділення буферної зони при створенні природоохоронних об'єктів.

Дослідження мохового покриву на закладеній трансекті показали, що моховий покрив на стовбурах дерев є неоднорідним та помітно відрізняється на різних її відтинках в залежності від параметрів водно-температурного режиму.

На вирубці мохова рослинність зосереджена на пнях, де знайдено залишки епіфітних угруповань з абсолютним домінуванням *Hypnum cupressiforme* за участі *Dicranum scoparium* та *Homalia trichomanoides* із ПВ до 25% (табл.). Індикаторні види відсутні. Фоновий вид є екологічно пластичним, що пристосований до широкого діапазону умов; два інших види – є залишками лісової рослинності (часто – низької життєвості).

На узліссі (0-5 м) поширені угруповання двох союзів класу *Hypnetea cupressiformis* Jezek & Vondracek 1962 (D: *Hypnum cupressiforme*, *Dicranum scoparium*, *Dicranum montanum*, *Plagiothecium undulatum*): *Dicranum scoparii-Hypnion filiformis* Barkman 1958 (D: *Hypnum cupressiforme*, *Dicranum scoparium*, *Dicranella heteromalla*, *Platygyrium repens*, *Dicranum montanum* + *Leskea polycarpa*, *Brachythecium velutinum*) та *Isothecium myosuroidis* Barkman 1958 (D: *Isothecium alopecuroides* + *Hypnum cupressiforme*) (табл.). За своїми екологічними характеристиками це пост-піонерні, неспеціалізовані (епігейні або епіфітні) обростання, що тяжіють до стабільних умов зі середнім ступенем зволоження та достатнім затіненням [8]. Обростання зосереджені на поверхні стовбурів дерев, зорієнтованих в бік лісу та займають до 25% ПВ. З діагностичних видів зазначених союзів у моховому покриві відсутні певні види *Dicranum* та *Hypnum*, а також печіночні мохи (зокрема – *Bazzania trilobata*) з вужчою екологічною валентністю щодо факторів мікроклімату, що свідчить про деяку ксерофітизацію умов відносно зональних норм. За шкалами Дюля-Еленберга зазначені обростання характеризують значеннями 4 (температура) та 3,5 (вологість), що дає підставу охарактеризувати їх як психро-мезофільні та ксеро-мезофільні відповідно.

На відтинку 5-40 м у напрямку до глибини лісу відбувається поступове випадіння видів угруповань союзу *Dicranum scoparii-Hypnion filiformis* та наповнення *Isothecium myosuroidis* (D: *Isothecium alopecuroides*, *Hypnum cupressiforme* var. *cupressiforme*, *Eurhynchium striatum*, *Brachythecium rutabulum*) (табл.). За екологічними характеристиками рослинність цього союзу є слабо спеціалізованою щодо субстрату (епігейно-епіфітною), проте такою, що потребує стабільних (клімаксових) умов для розвитку [8]. Відбувається незначна зміна екологічного преферендуму угруповань за фактором зволоження в напрямку мезофітизації (з 3,5 до 4) та зростання ВП до 40%.

На відтинку трансекта 40-160 м спостерігається поява безрангових угруповань, що ідентифікуються до рівня порядку *Neckeretalia complanatae* Jezek & Vondracek 1962, що представляє спеціалізовану епіфітно-епілітну, сціофітну та мезофітну мохову рослинність [8] (D: *Metzgeria furcata*, *Cirriphyllum crassinervium*, *Amblystegium subtile*) класу *Neckeretea complanatae* Marstaller 1986. з ПВ до 40-60%. Індикаторні показники змінюються до 5 (температура) та 5 (вологість), що свідчить про зміну екологічних

умов у напрямку поступової мезофітизації та наближення водно-температурного режиму до зональних показників (табл.).

Таблиця

Блок-схема динаміки мохового покриву дослідних ділянок

Трансект, м	Проективне покриття, %	Вологість, бали*	Температура, бали*	Синтаксони / характерні та індикаторні види
вирубка	< 25	-	-	<i>Hypnum cupressiforme</i>
			↓	
0-5	< 25	3,5	4	Cl.: Hypnetea cupressiformis (D: <i>Hypnum cupressiforme</i> var. <i>cupressiforme</i> , <i>Dicranum scoparium</i> , <i>Dicranum montanum</i> , <i>Plagiothecium undulatum</i>) Al.: Dicrano scoparii-Hypnion filiformis (D: <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Dicranum scoparium</i> , <i>D. montanum</i> , <i>Dicranella heteromalla</i> , <i>Platygyrium repens</i>) Al. Isothecion myosuroidis (D: <i>Isothecium alopecuroides</i> + <i>Hypnum cupressiforme</i>)
			↓	
5-40	25-40	4	4	Al.: Isothecion myosuroidis (D: <i>Isothecium alopecuroides</i> , <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Eurhynchium striatum</i> , <i>Brachythecium rutabulum</i>).
			↓	
40-160	40-60	5	5	Cl.: Neckeretea complanatae Or.: Neckeretalia complanatae (D: <i>Metzgeria furcata</i> , <i>Cirriphyllum crassinervium</i> , <i>Amblystegium subtile</i>)
			↓	
> 160	60-85	5	5	Al.: Brachythecio populei-Homalienion trichomanoidis (D: <i>Homalia trichomanoides</i> , <i>Brachythecium populeum</i> , <i>Isothecium alopecuroides</i>) As.: Anomodontetum attenuati (D: <i>Anomodon attenuatus</i>) As.: Isothecietum myuri (D: <i>Isothecium alopecuroides</i>) Brachythecietum populei (D: <i>Brachythecium populeum</i>) As.: Homalo trichomanoidis- Isothecietum myurii (D: <i>Homalia trichomanoides</i> , <i>Isothecium alopecuroides</i>) In: <i>Metzgeria furcata</i> , <i>Radula complanata</i> , <i>Anodon attenuatus</i> , <i>A. viticulosus</i> , <i>Cirriphyllum crassinervium</i>

Примітки: Cl. – клас, Or. – порядок, Al. – союз, Ass. – асоціація, D – діагностичні види, In – види-індикатори; * - за шкалами Дюля [12].

На крайньому відтинку трансекта після 160 м відбувається поступова диференціація складу епіфітних обростань: на стовбурах дерев чітко виокремлюються окремі асоціації союзу *Brachythecio populei-Homalienion trichomanoidis* Marstaller (D: *Homalia trichomanoides*, *Brachythecium populeum*, *Isothecium alopecuroides*), а саме: *Anomodontetum attenuati* Cain & Sharp 1938 (D: *Anomodon attenuatus*), *Isothecietum myuri* Hilitzer 1925 (D: *Isothecium alopecuroides*), *Brachythecietum populei* Philippi 1972 (D: *Brachythecium populeum*) та *Homalo trichomanoidis-Isothecietum myurii* Waldheim 1944 (D: *Homalia trichomanoides*, *Isothecium alopecuroides*) із загальним ПВ до 85%. Індикаторні показники за шкалами температури та вологості залишаються незмінними (5 і 5) (табл.).

Дослідження показали, що мохоподібні є чутливим маркером змін мікрокліматичного режиму у фрагментованій екосистемі. Так, була визначена група видів, яка трапляється лише у «внутрішньому лісі» та відсутні на узліссі. У досліджуваних бучинах Стільського Горбогір'я це такі види, як *Metzgeria furcata* (L.) Dumort., *Radula complanata* (L.) Dumort., *Anodon attenuatus* (Hedw.) Hüb., *A. viticulosus* (Hedw.) Hook. & Taylor, *Cirriphyllum crassinervium* (Wils.) Loeske & Fleisch.

Отже, фрагментація лісових оселищ призводить до зміни корінної (неморальної) мохової рослинності в смузі шириною близько 150 м., таким чином, що види та синтаксони, що потребують стабільних умов виростання (клімаксові) випадають та змінюються на менш спеціалізовані (пост-піонерні). Тобто, не зважаючи на фактичне «вирівнювання» водно-температурних параметрів на позначці 20-40 м у глибину лісу, мікрокліматичні зміни унаслідок фрагментації зачіпають значно більшу площу. Це може бути критичним для невеликих ділянок лісу та призводити до втрат біорізноманіття чутливих до мікроклімату груп біоти, насамперед, мохоподібних.

Висновки

1. Фрагментація лісових оселищ спричиняє помітні зміни мікрокліматичних параметрів на їх крайових ділянках, що призводить, як до втрат біорізноманіття, так і до зменшення площі лісу, який не зазнає змін.

2. У фрагментованих букових лісах вплив крайового ефекту на водно-температурний режим ґрунтів спостерігається на відстані 20-40 м.

3. Встановлено, що крайовий ефект фрагментованих лісових оселищ проявляється через заміну неморальної мохової рослинності неспеціалізованими пост-піонерними бріоугрупованнями в смузі шириною від 150 м. Тобто, не зважаючи на показники прямих замірів водно-температурних параметрів, мікрокліматичні зміни унаслідок фрагментації зачіпають значно більшу територію.

4. Таким чином, як показали дослідження, мохоподібні є чутливим маркером змін мікрокліматичного режиму у фрагментованій екосистемі. Індикаторами «внутрішнього лісу» у досліджуваних бучинах є *Metzgeria furcata*, *Radula complanata*, *Anodon attenuatus*, *A. viticulosus*, *Cirriphyllum crassinervium*.

5. Визначена амплітуда крайового ефекту свідчить про критичність фрагментації для невеликих ділянок лісу та втрати чутливих до мікроклімату груп біоти, насамперед, мохоподібних.

Подяка. Дослідження виконано за сприяння ГО «Дунайсько-Карпатська Програма».

1. Атлас Львівської області [Електронний ресурс] Режим доступу: http://geoknigi.com/view_map.php?id=28
2. Бойко М. Ф. Характеристика мохоподібних як індикаторів стану навколишнього середовища // Чорноморськ. бот. журн., 2010. – Т. 6, № 1. – С. 35-40.
3. Гапон С. В. Стан вивчення мохової рослинності в Україні та особливості її класифікації // Укр. ботан. журн., 2004. – Т. 61, № 2. – С. 60-67.
4. Природа Львівської області / За ред. К. І. Геренчука. – Львів : Вища школа. Вид-во при Львов. ун-ті, 1972. – 151 с.
5. Рагуліна М. Є., Вовк О. Б., Орлов О. Л. Функціональна роль бріофітів у ренатуралізації техногенно змінених екосистем Волино-Поділля // Наук. зап. Держ. природозн. музею, 2009. – Вип. 25. – С. 117-124.
6. Улична К. О., Гапон С. В., Кулик Т. Г. К методике изучения эпифитных моховых обрастаний // Проблемы бриологии в СССР – Л.: Наука, 1989. – С. 201-206.
7. Шеляг-Сосонко Ю. Р. Європейська широколистянолісова область. Східноєвропейська провінція. Західноукраїнська під провінція // Геоботанічне районування Української РСР/ Андрієнко Т. Л., Білик Г. І., Брадїс Є. М., Голубець М. А. та ін. – К. : Наук. думка, 1977. – С. 54-65.
8. Bardat J., Hauguel J-C. Synopsis bryosociologique pour la France // Cryptogamie Bryologie, 2002. – Vol. 23 – P. 279-343.
9. Camargo J.L.C., Kapos V. Complex edge effects on soil moisture and microclimate in central Amazonian forest // Journal of Tropical Ecology, 1995. – Vol. 11 (2). – P. 205-221.
10. Chatterjee S. Extinction risk, ecological stress and climate change: how species respond to changes in global biodiversity // hal-00868902, version 1-2. – 2013. – 11 p.
11. Davies-Colley R.J., Payne G.W., Elswijk M. Microclimate gradients across a forest edge. // New Zealand Journal of Ecology, 2000. – Vol. 24(2) – P. 111-121.
12. Dull R. Zeigerwerte von Laub und Lebermoosen // Zeigerwerte von pflanzen in Mitteleuropa. – Gattingen. – 1992. – Aufl. 18.2. – S. 175-214.
13. Ewers R.M., Banks-Leite C. Fragmentation Impairs the Microclimate Buffering Effect of Tropical Forests // PLoS One, 2013 – Vol. 8(3): <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0058093>
14. Fahrig L. Effect of habitat fragmentation on biodiversity // Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst., 2003. – Vol. 34. – P. 487-515.
15. Gignak L .D., Dale M. R. T. Effects of fragment size and habitat heterogeneity on cryptogam diversity in the lowboreal forest of western Canada // The Bryologist, 2005. – Vol. 108 (1). – P. 50-66.
16. Gonzalez-Varo J., Arroyo J., Aparicio A. Effects of fragmentation on pollinator assemblage, pollen limitation and seed production of Mediterranean myrtle (*Myrtus communis*) // Biological Conservation. – 2009. – Vol. 142. – P. 1058-1065.
17. Hanski I. Single-species metapopulation dynamics: concepts, models and observations // Metapopulation dynamics: Empirical and theoretical investigations / Eds. M. Gilpin, I. Hanski. – London : Acad. Press, 1991. – P. 17-38.
18. Jiang T. et al. Species composition and diversity of ground bryophytes across a forest edge-to-interior gradient // Scientific Reports, 2018. – Vo. 8, Article number: 11868 https://www.researchgate.net/publication/326902890_Species_composition_and_diversity_of_ground_bryophytes_across_a_forest_edge-to-interior_gradient/link/5b722c2c92851ca6_50582ed7/download

19. McGarigal, K., McComb W. C. Forest fragmentation effects on breeding birds in the Oregon Coast Range // Forest fragmentation: wildlife and management implications. Koninklijke Brill NV, Leiden, The Netherlands. – 1999. – P. 223-246.
20. Stewart K. J., Mallik A. U. Bryophyte responses to microclimatic edge effects across riparian buffers. // Ecol Appl., 2006 – Vol. 16(4) – P. 1474-1486.
21. Tsaliki M., Diekmann M. Fitness and survival in fragmented populations of *Narthecium ossifragum* at the species' range margin // Acta Oecologica, 2009. – Vol. 35. – P. 415-421.
22. Westhoff V., Maarel E. The Braun-Blanquet approach // Handbook of vegetation science. Ordination and classification of vegetation / Ed. W. Junk. – Hague, 1973. – Vol. 5. – P. 619-726.

Державний природознавчий музей НАН України, Львів
e-mail: funaria@ukr.net

Orlov O., Ragulina M.

Influence of beech forests fragmentation of Stilsky Hillside on their microclimatic parameters

*Estimation of changes in the microclimatic parameters of beech forests of the Stilsky Hillside, by measuring the water-temperature indicators of the soil regime and bryoindication, were performed. Fragmentation of forest causes significant changes in microclimatic parameters in boundary habitats areas, which leads to both biodiversity loss and a decrease of the unchanged forest areas. In fragmented beech forests, the influence of the edge effect on the water-temperature regime of soils is observed within a distance of 20-40 meters, but the eco-floristic structure of nemoral moss vegetation is stabilized only at a distance from 160 m. Thus, bryobiontes are shown to be a sensitive marker of the microclimatic regime changes in a fragmented ecosystem. In the studied beeches *Metzgeria furcata*, *Radula complanata*, *Anomodon attenuatus*, *A. viticulosus*, *Cirriphyllum crassinervium* are indicators of the "interior forest". The determined amplitude of the edge effect indicates the fragmentation as a crucial factor on the small areas of forest and its role in the loss of climate-sensitive groups of biota, primarily mosses.*

Key words: fragmentation, beech forests, microclimatic parameters, bryoindication, old-growth forest indicators, edge effect.