



**«Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы.
Серыя 5. Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія»**

Заснавальнік – Установа адукацыі «Гродзенскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Янкі Купалы».

Часопіс зарэгістраваны ў Міністэрстве інфармацыі Рэспублікі Беларусь.

Пасведчанне № 1459 ад 01.07.2011.

Навуковы, вытворча-практычны часопіс
Выдаецца з ліпеня 2011 года, выходзіць 3 разы на год.

**“Vesnik Hrodzenskaha Dziarzhauaha Universiteta Imia Ianki Kupaly.
Seryia 5. Ekanomika. Satsyialohiia. Biialohiia”**

*Часопіс уключаны ў Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь
для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў,
а таксама*

ўваходзіць у навукаметрычную базу дадзеных «Расійскі індэкс навуковага цытавання»

Часопіс асвятляе пытанні эканамічнага росту і канкурэнтаздольнасці, эканамічнай навукі і адукацыі, інавацыі і інвестыцыі, мікраэканомікі, макраэканамічнага рэгулявання, фінансаў і крэдыту, сусветнай эканомікі, рэгіянальнай эканомікі, сферы паслуг і крэатыўнай эканомікі, эканомікі прадпрыемства; матэматычнай і інструментальнай метадалогіі эканомікі, сацыяльнай палітыкі і ўстойлівага развіцця; тэорыі, метадалогіі і гісторыі сацыялогіі, эканамічнай сацыялогіі, сацыяльнай структуры, сацыяльных інстытутаў і працэсаў, сацыялогіі культуры і духоўнага жыцця, сацыялогіі кіравання; батанікі, заалогіі, фізіялогіі жывёл, гісталогіі, матэрыяльных умоў жыцця, біяхіміі, малекулярнай біялогіі, біяфізікі, агульнай экалогіі, гідрабіялогіі, экалагічнага выхавання і экалагічнай адукацыі. Публікуюцца таксама рэцэнзіі, артыкулы, прысвечаныя выдатным беларускім вучоным, хроніка навуковага жыцця ГрДУ імя Янкі Купалы, іншыя матэрыялы.

Артыкулы друкуюцца на беларускай, рускай, польскай, англійскай мовах.

Разлічаны на спецыялістаў і шырокае кола чытачоў.

Нашы падпісныя індэксы: для індывідуальных падпісчыкаў – 01329, для арганізацый – 013292.

Адрас рэдакцыі: вул. Ажэшкі, 22,
230023, г. Гродна, Рэспубліка Беларусь.
Тэл./факс: 8(0152) 73-19-10.

Адрас для карэспандэнцыі: вул. Леніна, 4,
230025, г. Гродна, Рэспубліка Беларусь.
Тэл.: 8(0152) 77-21-47, +375 33 6893315,
e-mail: vesnik@grsu.by

Адрас вэб-сайта: <http://vesnik.grsu.by>

Рэдактар: Т. В. Комар.

Падрыхтоўка арыгінал-макета: Т. А. Пахомава.

Падпісана да друку 15.02.2019. Фармац 70 × 108%. Папера афсетная. Рызаграфія.
Ум. друк. арк. 14,53. Ул.-выд. арк. 17,64. Тыраж 100 экз. Заказ 012.

Надрукавана на тэхніцы выдавецкага цэнтра
Установы адукацыі «Гродзенскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Янкі Купалы».
ЛП № 02330/146 да 30.04.2019.

Б-р Ленінскага Камсамола, 5, 230009, г. Гродна. Тэл.: 8(0152) 55-67-69, e-mail: pko_izdat@grsu.by

Том 9, № 1, 2019



Біялогія

Батаніка

УДК 58.02+623.1

А. А. Сакович

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БИОТОПОВ БЕТОННЫХ ФОРТИФИКАЦИЙ БЕЛАРУСИ

Во введении указан объект исследования – бетонные фортификации Беларуси времен Первой и Второй мировых войн. Обсуждена экологическая уникальность фортификационных сооружений для равнинных территорий как аналогов карбонатных горных пород, а также приведены основания, в связи с которыми данный субстрат следует рассматривать как рефугиум для заселения растениями, в том числе и мохообразными, и проводить более детальное изучение его экологических и ценологических характеристик. Цель работы – выявление экологических характеристик разновременных бетонных фортификаций Беларуси. Полевые исследования фортификационных сооружений проведены в период с 2008 по 2015 г. более чем на 140 сооружениях, объединяющихся в 9 укрепленных районов (укрепрайонов), расположенных в 5 административных областях Беларуси. В основной части работы приведен сравнительный анализ экологических характеристик укрепрайонов по степени освещенности, уровню увлажнения и степени деструкции сооружений, проанализированы сходства и различия укрепрайонов по данным параметрам. На основе сравнительного анализа состояния сооружений выделены основные экологические различия между укрепрайонами. По результатам кластеризации они сгруппированы по индексам освещения, увлажнения и деструкции на три класса: с наименьшей средней и высокой степенью выраженностью фактора. Показана корреляционная зависимость между степенью освещенности и уровнем увлажнения, а также между уровнем увлажнения и степенью деструкции. Установлено, что экологические условия на фортификациях Первой мировой войны более сходны между собой, чем на фортификациях Второй мировой войны.

Ключевые слова: мохообразные, бетонные фортификации, Беларусь, экологические параметры, увлажнение, деструкция, освещение, антропогенный субстрат.

Введение. Антропогенные факторы в совокупности не только вызывают трансформацию и деградацию природных экосистем, но также могут образовывать принципиально новые искусственные неравновесные экосистемы. Такие системы зачастую способны заселяться растениями, в том числе и редкими видами, ассоциируясь с природными факторами.

Научный интерес представляют широко распространенные на территории Беларуси комплексы бетонных и железобетонных фортификаций оборонительного характера времен Первой и Второй мировых войн (ПМВ и ВМВ). Среди них имеется ряд крупных сооружений (крепости и оборонные линии), которые довольно хорошо сохранились до настоящего времени и представляют собой искусственные экосистемы [1; 2]. Фортификационные сооружения – это уникальные аналоги карбонатных горных пород на равнинной территории Беларуси, в пределах которой отсутствуют природные субстраты аналогичного состава и структуры. Данный субстрат повышает спектр экосистем страны и расширяет диапазон пригодных для заселения растениями экотопов. Эти сооружения проявляют свойства устойчивых многолетних натуральных экосистем [1].

Данные специфические характеристики фортификаций являются основанием для изучения динамики видового состава растений, особенностей их состояния в связи с воздействием комплекса различных экологических факторов. Исследование этих параметров дает возможность

Сакович Анастасия Александровна, преподаватель каф. ботаники ГрГУ им. Янки Купалы (Беларусь).
Адрес для корреспонденции: п-к Доватора, 3/1, 230012, г. Гродно, Беларусь; e-mail: anastasia_pryaz@inbox.ru

раскрыть экологические и биологические, во многом специфичные, особенности поведения (адаптации) растений на карбонатном субстрате. В связи с этим следует рассматривать данный субстрат как рефугиум для заселения растениями, в том числе и мохообразными, и проводить более детальное изучение его экологических и ценологических характеристик [1; 3; 4].

Объектом исследования являются бетонные фортификации Беларуси времен Первой и Второй мировых войн, предметом – экологические параметры фортификаций.

Цель работы – выявление экологических характеристик разновременных бетонных фортификаций Беларуси.

Материалы и методы. Полевые исследования проведены нами на всей западной и юго-восточной части Беларуси, охватывая территорию с севера на юг. Всего исследовано более 140 сооружений, которые составляют 9 укрепрайонов (УР) в период с 2008 по 2015 г. методом конкретных или локальных флор [5–9]. Данные укрепрайоны включают в себя сооружения Первой мировой войны: Гродненскую и Брестскую крепости, Нарочанский и Полоцкий укрепрайоны, которые состоят как из крепостей (это пояса крупных сооружений – фортов), так и построек более мелкого масштаба – дотов (немецкие постройки), остальные укрепрайоны – Полоцкий, Брестский, Пинский, Барановичский, Мозырский – это линии долговременных огневых точек Второй мировой войны. При описании окружения сооружений использовали детальный и детально-маршрутный подходы [1; 3; 5–9]. Приведены аутентичные названия укрепрайонов [2].

В связи со спецификой субстрата в качестве пробной площади выступает каждое обследуемое сооружение – дот или форт [9].

Исследованные сооружения располагаются на территории лесхозов либо сельскохозяйственных предприятий и изредка – на территории частного сектора. Фортификации разделены нами на две категории: открытые (для солнечной инсоляции) и закрытые (находящиеся в лесных фитоценозах или в затенении другой растительностью). Для выявления эколого-ценологических характеристик сооружений проведена оценка уровня локальных экологических факторов (степень освещенности, уровень увлажнения, степень деструкции) отдельных фортов и дотов по разработанной нами пятибалльной шкале, где 1 – это самая низкая выраженность фактора (таблица 1). При этом каждому форту/доту присваивался определенный балл по данным экологическим режимам на основе визуальной оценки характеристики растительности и субстрата.

Таблица 1 – Балльная шкала экологических режимов фортификаций

Баллы	Факторы		
	степень освещенности	уровень влажности	степень деструкции
1	затененность незначительная (не более 15 %) либо ее нет	низкий	слабая деструкция (не более 15 %)
2	небольшая затененность (16–30 %)	пониженный	небольшая деструкция (16–30 %)
3	средняя затененность (31–50 %)	средний	средняя деструкция (31–50 %)
4	значительная затененность (51–70 %)	повышенный	значительная деструкция (51–70 %)
5	сильная затененность (более 70 %)	высокий	сильная деструкция (более 70 %)

Для сравнения экологических режимов исследуемых укрепрайонов нами рассчитаны индексы уровня увлажнения – I_{hydro} (*hydro* – вода), степени освещенности – I_{lux} (*lux* – свет) и степени деструкции – $I_{destructio}$ (*destructio* – деструкция) по следующим формулам:

$$I_{hydro} = h_1 / h_2, \quad (1)$$

где h_1 – сумма встречаемости фортификаций с уровнем увлажнения 1 и 2 балла (группа фортификаций с невысоким уровнем увлажнения), h_2 – сумма встречаемости фортификаций с уровнем увлажнения 3–5 баллов (группа фортификаций со средним уровнем увлажнения);

$$I_{lux} = l_1 / l_2, \quad (2)$$

где l_1 – сумма долей встречаемости фортификаций со степенью освещенности 1 и 2 балла (хорошо освещенная группировка сооружений), l_2 – сумма встречаемости фортификаций со степенью освещенности 3–5 баллов (затененная группировка сооружений);

$$I_{destructio} = d_1 / d_2, \quad (3)$$

где d_1 – сумма встречаемости фортификаций со степенью деструкции 1–2 балла (группа со слабой степенью разрушенности), d_2 – сумма встречаемости фортификаций со степенью деструкции 3–5 баллов (группа со значительной степенью разрушенности).

Для интегральной оценки освещенности, увлажнения и деструкции фортификаций по группам фортификаций (ПМВ и ВМВ) нами использовались показатели разницы между минимальными и максимальными значениями данных индексов Δ (дельта): ΔI_{hydro} , ΔI_{lux} , $\Delta I_{destructio}$ – и вычислялись по общей формуле

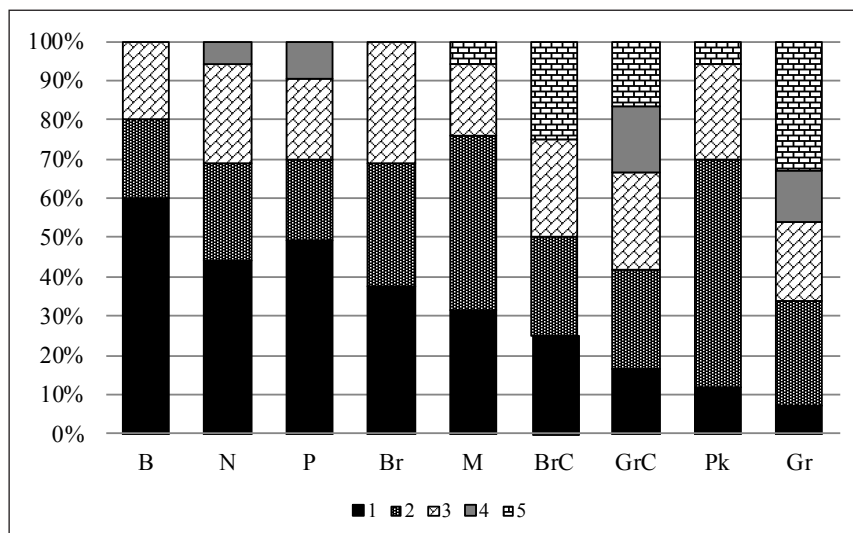
$$\Delta I_x = I_x \max / I_x \min, \quad (4)$$

где x – значение используемого индекса (увлажнения, освещенности, деструкции), $I_x \max$ – максимальный показатель индекса по экологическому фактору в пределах фортификационных районов ПМВ или ВМВ, $I_x \min$ – минимальный показатель индекса по экологическому фактору в пределах фортификационных районов ПМВ или ВМВ.

При построении кластеров (Cluster analysis) применяли алгоритм «метод дальнего соседа» (Linkage distance) с метрикой 1 – коэффициент корреляции Пирсона (1-Pearson r).

Результаты и обсуждение. Сравнительный анализ экологических характеристик укрепрайонов проводили по степени освещенности, уровню увлажнения и степени деструкции сооружений.

Степень освещенности. Сравнение биотопов относительно режима освещенности в пределах каждого исследуемого укрепрайона (рисунок 1) позволило получить следующие данные. Резко выделяется по степени освещенности Барановичский укрепрайон как наиболее открытый для солнечной инсоляции, где в основном преобладают доты, располагающиеся на возвышенностях и на безлесных территориях. Брестский укрепрайон также характеризуется высоким уровнем освещенности и полным отсутствием дотов со значительной затененностью. Такая контрастность связана с расположением сооружений в разреженных робинниках (сообществах с доминированием *Robinia pseudoacacia* L.), по лесным опушкам и на необлесённых территориях. Наиболее затененным районом является Гродненский укрепрайон, также значительно затенены форты Гродненской и Брестской крепостей, что связано с расположением большинства сооружений в смешанных лесных фитоценозах.

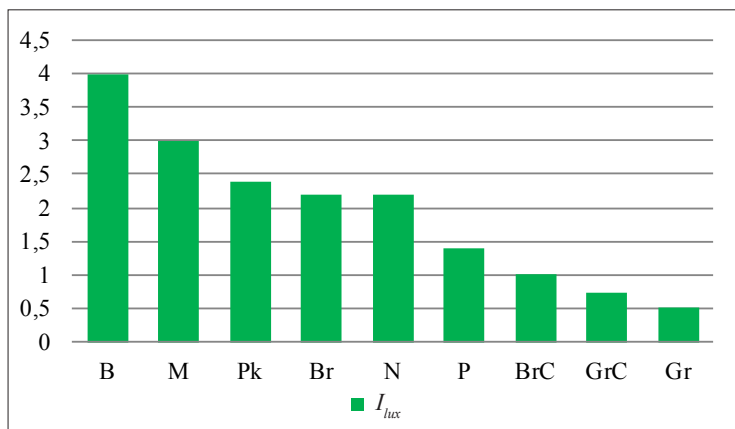


Пояснения: 1 – затененность не более 15 %; 2 – частичная затененность (16–30 %); 3 – средняя затененность (31–50 %); 4 – значительная затененность (51–75 %); 5 – затененность более 76 %.

В – Барановичский УР (13 сооружений), N – Нарочанский УР (12), P – Полоцкий УР (12), Br – Брестский УР (12), M – Мозырский УР (17), BrC – Брестская крепость (4), GrC – Гродненская крепость (12), Gr – Гродненский УР (15), Pk – Пинский УР (35).

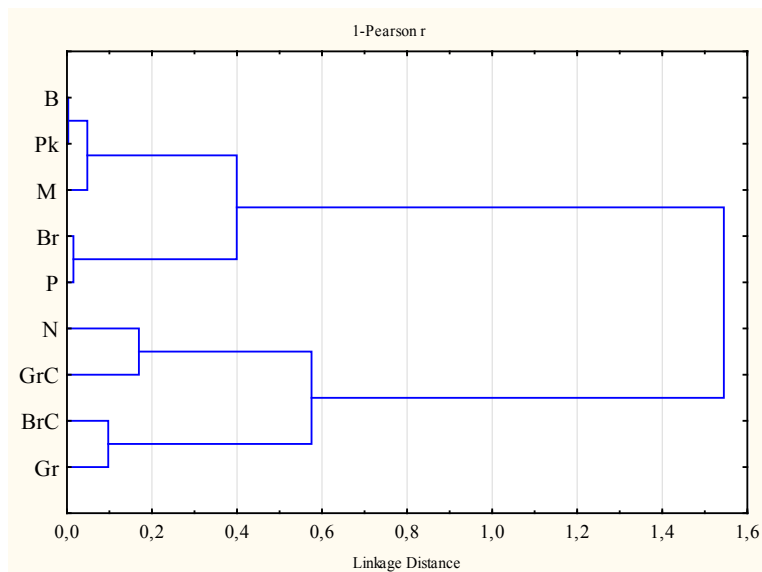
Рисунок 1 – Распределение фортификационных районов исследования по уровню освещения биотопов

Сравнение укрепрайонов по индексу освещенности (I_{lux}) показало высокий уровень освещения в Барановичском укрепрайоне ($I_{lux} = 4$), а Гродненский укрепрайон – наиболее затененный ($I_{lux} = 0,5$). Практически все исследованные доты Гродненского укрепрайона расположены в хвойных фитоценозах с разной степенью участия *Pinus sylvestris* L. и *Picea abies* L. Мозырский укрепрайон освещен менее ($I_{lux} = 3$), чем Барановичский, и имеет небольшую степень затененности. Это связано с расположением многих исследованных сооружений Мозырского укрепрайона в монодоминантных светлохвойных лесах – сосняках мшистых или лишайниковых. Среднеосвещенными и аналогичными по световому режиму являются Брестский, Пинский и Нарочанский укрепрайоны. Сильно затененными и сходными по данному экологическому режиму можно считать районы Брестской и Гродненской крепостей, а также Полоцкий укрепрайон (рисунок 2).



Пояснения: I_{lux} – индекс освещенности; В – Барановичский УР, N – Нарочанский УР, P – Полоцкий УР, Br – Брестский УР, M – Мозырский УР, BrC – Брестская крепость, GrC – Гродненская крепость, Gr – Гродненский УР, Pk – Пинский УР.

Рисунок 2 – Распределение районов исследования на основе индекса освещения



Пояснения: 1-Pearson r – 1-коэффициент корреляции Пирсона; В – Барановичский УР, N – Нарочанский УР, P – Полоцкий УР, Br – Брестский УР, M – Мозырский УР, BrC – Брестская крепость, GrC – Гродненская крепость, Gr – Гродненский УР, Pk – Пинский УР.

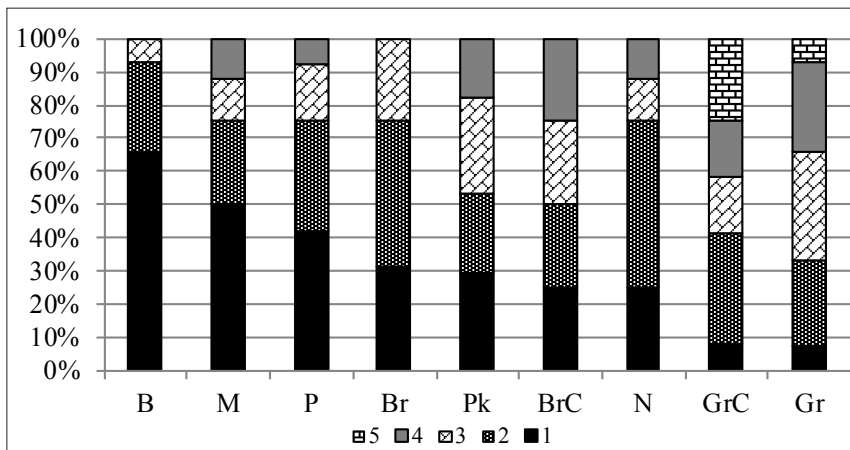
Рисунок 3 – Кластерограмма распределения районов исследования по уровню освещения

В результате классификации укрепрайонов по режиму освещенности на основе кластерного анализа выявлены два класса наиболее сходных районов по данному фактору. Первый класс представлен довольно освещенными укрепрайонами – Барановичским, Пинским, Мозырским, Брестским и Полоцким. При этом выделяются два подкласса: первый характеризуется значительной степенью освещенности и включает Барановичский, Пинский и Мозырский укрепрайоны, второй подкласс объединяет укрепрайоны, степень освещенности которых несколько ниже относительно первого подкласса – Брестский и Пинский укрепрайоны (рисунок 3).

Во второй класс объединены укрепрайоны с низкой степенью освещенности. Это Гродненский укрепрайон, Брестская и Гродненская крепости, а также Нарочанский укрепрайон. При этом первый подкласс здесь составляют сильно затененные районы – Гродненский укрепрайон и Брестская крепость, второй подкласс – значительно затененные районы – Гродненская крепость и Нарочанский укрепрайон (рисунок 3).

Уровень влажности. По режиму увлажнения фортификационные районы подразделяются на группы с низким и пониженным уровнем влажности – Барановичский и Брестский укрепрайоны; средним уровнем влажности – фортификационные районы Мозыря, Полоцка, Пинска и Брестской крепости и высоким уровнем влажности – форты Гродненской крепости и доты Гродненского укрепрайона (рисунок 4).

Уровень влажности на сооружениях имеет прямую корреляционную зависимость со степенью освещенности ($p \leq 0,05$, $r = 0,77$) фортификаций, т.е. при увеличении степени затененности сооружений увеличивается уровень влажности в пределах экотопа. Соответственно, исследованные районы с самым низким уровнем освещения наиболее увлажнены и наоборот. Эта же зависимость наблюдается и относительно фактора деструкции сооружений ($p \leq 0,05$, $r = 0,77$): с увеличением степени деструкции сооружения возрастает и уровень влажности. Эта закономерность, прежде всего, связана с площадью поверхности сооружений, а затем – с наличием большого количества фрагментов бетона. Иными словами, чем выше степень деструкции, тем больше площадь поверхности сооружений, что способствует удержанию и накоплению влаги. Следовательно, с увеличением мозаичности поверхности сооружений создается больше вариантов светового режима на их поверхности, что способствует удержанию влаги на сооружениях.

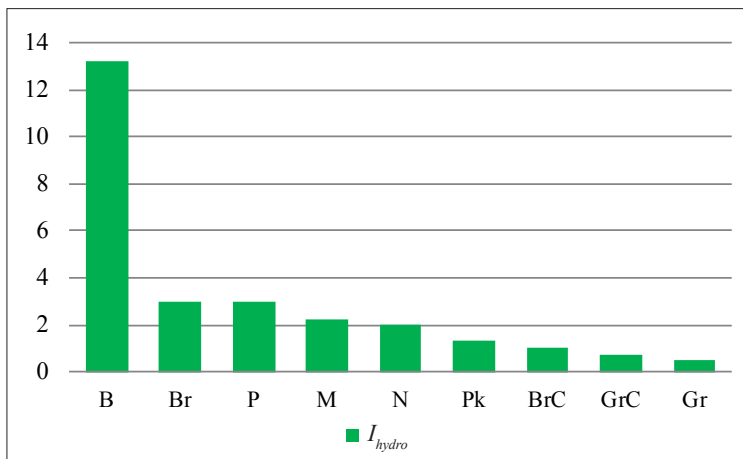


Пояснения: 1 – низкий; 2 – пониженный; 3 – средний; 4 – значительный; 5 – высокий.

В – Барановичский УР (13 сооружений), N – Нарочанский УР (12), P – Полоцкий УР (12), Br – Брестский УР (12), M – Мозырский УР (17), BrC – Брестская крепость (4), GrC – Гродненская крепость (12), Gr – Гродненский УР (15), Pk – Пинский УР (35).

Рисунок 4 – Распределение исследуемых фортификационных районов по уровню увлажнения биотопов

Сравнение районов исследования по индексу уровня увлажнения (I_{hydro}) показало относительно сглаженное распределение по исследуемому фактору большинства районов. Однако к наименее влагообеспеченным относится Барановичский укрепрайон ($I_{hydro} = 13$), а самый высокий уровень увлажнения – в Гродненском укрепрайоне ($I_{hydro} = 0,5$) (рисунок 5).



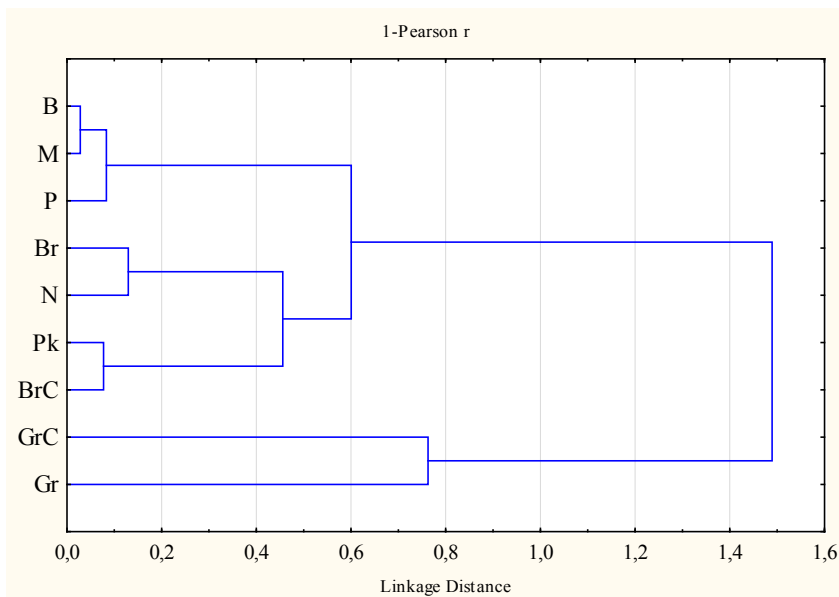
Пояснения: I_{hydro} – индекс увлажнения; В – Барановичский УР, N – Нарочанский УР, P – Полоцкий УР, Br – Брестский УР, M – Мозырский УР, BrC – Брестская крепость, GrC – Гродненская крепость, Gr – Гродненский УР, Pk – Пинский УР.

Рисунок 5 – Градации районов исследования по индексу увлажнения

Кластеризация по уровню увлажнения позволила распределить исследуемые укрепрайоны на три класса: с высоким, средним и низким уровнями увлажнения. Первый класс составляет Гродненский укрепрайон и Гродненская крепость, которые характеризуются высоким уровнем увлажнения (рисунок 6).

Во второй класс объединены районы со средним уровнем увлажнения. Он включает два подкласса. Первый из них составляют Пинский укрепрайон и Брестская крепость, имеющие повышенный уровень влажности. Второй подкласс представлен Нарочанским и Брестским укрепрайонами, где уровень влажности несколько ниже, чем в первом подклассе (рисунок 6).

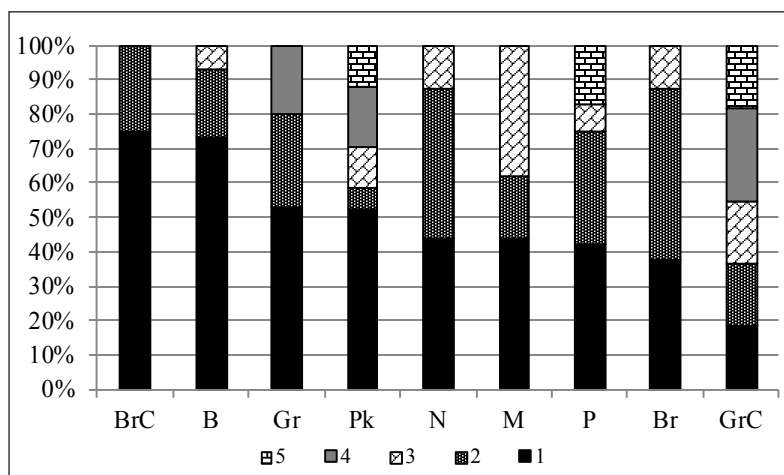
Третий класс объединяет укрепрайоны с низким и пониженным уровнем влажности – это Полоцкий, Мозырский и Барановичский укрепрайоны (рисунок 6).



Пояснения: 1-Pearson r – 1-коэффициент корреляции Пирсона; В – Барановичский УР, N – Нарочанский УР, P – Полоцкий УР, Br – Брестский УР, M – Мозырский УР, BrC – Брестская крепость, GrC – Гродненская крепость, Gr – Гродненский УР, Pk – Пинский УР.

Рисунок 6 – Кластерограмма распределения исследованных районов по уровню увлажнения

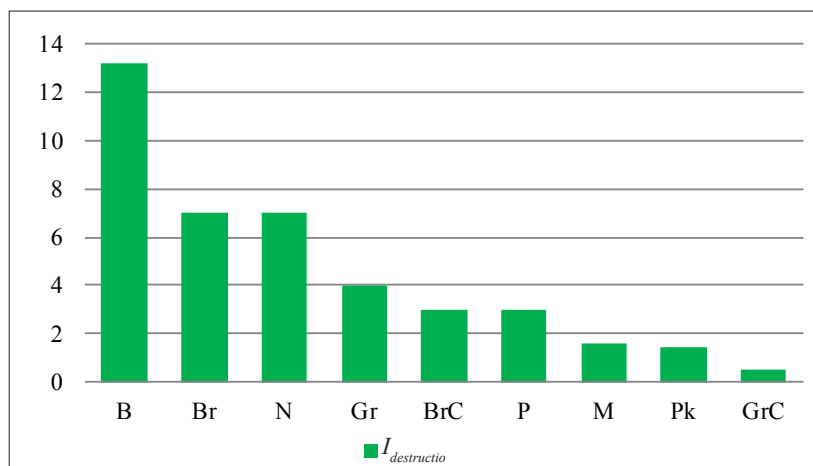
Степень деструкции. В результате анализа степени деструкции сооружений выявлено, что половина исследованных укрепрайонов нарушена в незначительной степени: Брестская крепость и Барановичский укрепрайоны слабо нарушены. Брестский, Нарочанский и Мозырский укрепрайоны характеризуются небольшой нарушенностью. Значительно разрушены сооружения Гродненского и Полоцкого укрепрайонов. Степень деструкции многих укрепрайонов связана в первую очередь с использованием этих укрепрайонов во время боевых действий, а во-вторых – с расположением укрепрайонов относительно населенных пунктов. Наибольшей степенью деструкции характеризуются форты Гродненской крепости и доты Пинского укрепрайона. Высокая степень деструкции Гродненской крепости, прежде всего, связана с интенсивными боевыми действиями времен Первой и Второй мировых войн. Доты Пинского укрепрайона также частично были взорваны, а частично подверглись дальнейшей значительной антропогенной нагрузке. Разрушено более половины сооружений в Полоцком и Мозырском укрепрайонах (рисунок 7).



Пояснения: 1 – разрушения не более 15 %; 2 – частичная разрушенность (16–30 %); 3 – средняя разрушенность (31–50 %); 4 – значительная разрушенность (51–70 %); 5 – разрушения более 71 %.

В – Барановичский УР (13 сооружений), N – Нарочанский УР (12), P – Полоцкий УР (12), Br – Брестский УР (12), M – Мозырский УР (17), BrC – Брестская крепость (4), GrC – Гродненская крепость (12), Gr – Гродненский УР (15), Pk – Пинский УР (35).

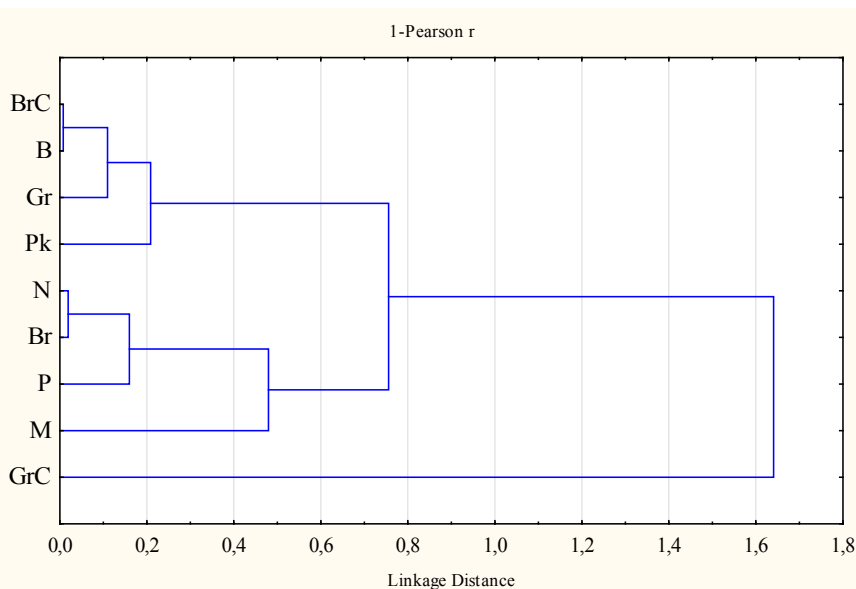
Рисунок 7 – Степень деструкции биотопов исследуемых фортификационных районов



Пояснения: $I_{destructio}$ – индекс деструкции; В – Барановичский УР, N – Нарочанский УР, P – Полоцкий УР, Br – Брестский УР, M – Мозырский УР, BrC – Брестская крепость, GrC – Гродненская крепость, Gr – Гродненский УР, Pk – Пинский УР.

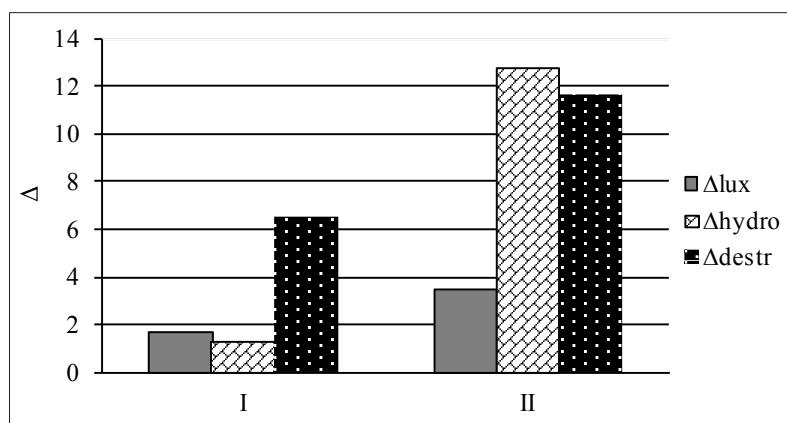
Рисунок 8 – Распределение районов исследования на основе индекса деструкции

Сравнение фортификационных районов по индексу деструкции ($I_{destructio}$) выявило близкую ее степень между Пинским и Мозырским укрепрайонами ($I_{destructio} = 1,4-1,6$). Они характеризуются значительной разрушенностью. Средняя степень деструкции – у сооружений Брестской крепости и Полоцкого укрепрайона ($I_{destructio} = 3$), а менее разрушены и схожи в этом отношении Брестский и Нарочанский укрепрайоны ($I_{destructio} = 7$). Доты Барановичского укрепрайона характеризуются незначительной степенью деструкции ($I_{destructio} = 13,2$), тогда как сооружения Гродненской крепости имеют самую высокую степень деструкции ($I_{destructio} = 0,5$) (рисунок 8).



Пояснения: 1-Pearson r – 1-коэффициент корреляции Пирсона; В – Барановичский УР, N – Нарочанский УР, P – Полоцкий УР, Br – Брестский УР, M – Мозырский УР, BrC – Брестская крепость, GrC – Гродненская крепость, Gr – Гродненский УР, Pk – Пинский УР.

Рисунок 9 – Кластерограмма распределения фортификационных районов исследования по степени деструкции



Пояснения: I – сооружения ПМВ, II – сооружения ВМВ; Δ (дельта) – интегральный показатель разницы между минимальными и максимальными значениями для индексов освещенности (Δlux), увлажнения ($\Delta hydro$), деструкции ($\Delta destructio$).

Рисунок 10 – Относительная дифференциация сооружений Первой и Второй Мировых войн по экологическим режимам

Кластерный анализ по степени деструкции фортификационных районов позволил подразделить все исследованные районы на три класса. Первый класс составляют только

форты Гродненской крепости как наиболее разрушенные. Второй класс включает укрепрайоны со средней степенью деструкции – Мозырский, Полоцкий, Брестский и Нарочанский. Наименее пострадали Пинский, Гродненский и Барановичский укрепрайоны, а также Брестская крепость (рисунок 9).

Оценка уровня дифференциации фортификационных групп, относящихся по времени их сооружения к Первой и Второй мировым войнам, проводилась нами путем сопоставления разницы между минимальным и максимальным значениями экологических индексов фортификаций. Для более ранней группы (ПМВ) характерны низкие значения различий в первую очередь по индексам освещенности и увлажнения ($\Delta lux_1 = 1,58$, $\Delta hydro_1 = 1,08$), тогда как для дотов Второй мировой войны свойственны более высокие значения по данным факторам ($\Delta lux_{II} = 3,8$, $\Delta hydro_{II} = 12,68$). Уровень деструкции фортов Второй мировой войны больше ($\Delta destr_{II} = 11,8$), так как этот фактор в первую очередь зависит от характерных исторических событий, происходящих во время войн. Одной из причин меньших различий сооружений ПМВ является более выровненные условия, сформировавшиеся вследствие более длительных процессов выветривания и последовательного изменения растительного покрова (рисунок 10).

Заключение. В результате проведенного анализа представлена сравнительная эколого-ценотическая характеристика 9 укрепрайонов в составе систем ПМВ и ВМВ. Для фортификаций каждого укрепрайона рассчитаны экологические режимы по трем факторам: освещенности, увлажнения и деструкции. На основе сравнительного анализа состояния сооружений выделены основные экологические различия между укрепрайонами. По результатам кластеризации они сгруппированы по индексам освещения, увлажнения и деструкции на три класса: группа с наименьшей степенью выраженности фактора, группа со средней и высокой выраженностью фактора. Показана корреляционная зависимость между степенью освещенности и уровнем увлажнения, а также между уровнем увлажнения и степенью деструкции. Установлено, что экологические условия на фортификациях ПМВ более сходны между собой, чем на фортификациях ВМВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сакович, А. А. Изменчивость ценотических параметров бриофитов фортификационных сооружений Первой и Второй мировых войн в Беларуси / А. А. Сакович // Социально-экологические технологии. – 2016. – № 4. – С. 34–49.
2. Пивоварчик, С. А. Белорусские земли в системе фортификационных строений Российской империи и СССР (1772–1941 гг.): монография / С. А. Пивоварчик. – Гродно: ГрГУ, 2006. – 252 с.
3. Сакович, А. А. Мохообразные-кальцефилы на фортификациях Беларуси / А. А. Сакович // Бюллетень Брянского отделения РБО. – 2017. – № 1 (9). – С. 13–22.
4. Sakovich A. Comparative analysis of the bryophyte floras of northwest Belarus concrete fortification and the Carpathians / A. Sakovich, G. Rykovskij // Biodiversity: Research and Conservation. – 2012. – Vol. 24. – P. 23–27.
5. Жукова, Л. А. Полевой экологический практикум: учеб. пособие: в 2 ч. / Л. А. Жукова; под ред. Л. А. Жукова. – Йошкар-Ола: Марийский гос. ун-т, 2000. – Ч. 1. – 112 с.
6. Ипатов, В. С. Методы описания фитоценоза: монография / В. С. Ипатов. – СПб.: СПбГУ, 2000. – 89 с.
7. Ипатов, В. С. Описание фитоценоза: Методические рекомендации: учеб.-метод. пособие / В. С. Ипатов, Д. М. Мишин. – СПб.: СПбГУ, 2008. – 71 с.
8. Глуздаков, С. О. Методика полевого изучения лишайников: учеб. пособие / С. О. Глуздаков. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 1959. – 44 с.
9. Методы полевых и лабораторных исследований растений и растительного покрова: сб. статей / отв. ред. Е. Ф. Марковская. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2001. – 320 с.
10. Пряжникова, А. А. Эколого-бриологическая характеристика территории Гродненской крепости, включая окружение / А. А. Пряжникова, Г. Ф. Рыковский // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: материалы IV Всероссийской науч. конф. с междунар. участием, Йошкар-Ола, 22–26 сент. 2010 г. / Марийский гос. ун-т; редкол.: Л. М. Абрамова [и др.]. – Йошкар-Ола, 2010. – С. 141–143.

Ecological characteristics of biotopes of concrete fortifications of Belarus

A. A. Sakovich

Yanka Kupala State University of Grodno (Belarus)

Dovatora Lane, 3/1, 230012, Grodno, Belarus; e-mail: anastasia_pryaz@inbox.ru

Abstract. The introduction indicates the object of study – concrete fortifications of Belarus during the First and Second World Wars. The ecological uniqueness of fortification structures for lowland areas as analogs of carbonate rocks is discussed, and the reasons are given in connection with which this substrate should be considered as a refugium for planting, including bryophytes, and conducting a more detailed study of its environmental and cenotic characteristics. The purpose of research is to identify the ecological characteristics of the multi-temporal concrete fortifications of Belarus. Field studies of fortifications were carried out in the period from 2008 to 2015 on more than 140 buildings, united in 9 fortified areas located in 5 administrative regions of Belarus. The main part of the work presents a comparative analysis of the environmental characteristics of fortified areas according to the degree of illumination, the level of moisture and the degree of destruction of structures, and the similarities and differences between fortified areas by these parameters are analyzed. On the basis of a comparative analysis of the state of structures, the main environmental differences between fortified areas are highlighted. According to the results of clustering, they are grouped by the indices of illumination, moisture, and destruction into three classes: the group with the least, medium and high severity of the factor. A correlation is shown between the degree of illumination and the level of moisture, as well as between the level of moisture and the degree of destruction. It is established that the environmental conditions on the fortifications of the First World War are more similar to each other than on the fortifications of the Second World War.

Keywords: bryophytes, concrete fortifications, Belarus, environmental parameters, moisture, destruction, lighting, anthropogenic substrate.

References

1. Sakovich A. A. The variability of the cenotic parameters of the bryophytes of the fortifications of the First World War and the Second World War in Belarus [*Izmenchivost' tsenoticheskikh parametrov bryofitov fortifikatsionnykh sooruzhenii Pervoi i Vtoroi mirovykh vojn v Belarusi*]. *Socio-ecological technologies*, 2016, No. 4, pp. 34-49.
2. Pivovarchik S. A. Belarusian lands in the system of fortification structures of the Russian Empire and the USSR (1772-1941) [*Belorusskie zemli v sisteme fortifikatsionnykh stroenii Rossiiskoi imperii i SSSR (1772-1941 gg.) : monografiia*]. Grodno, 2006, 252 p.
3. Sakovich A. A. Calcicole bryophytes of the fortification in Belarus [*Mokhoobraznye-kal'tsefily na fortifikatsiakh Belarusi*]. *Bulletin of Bryansk dept. of RBS*, 2017, No. 1 (9), pp. 13-22.
4. Sakovich A., Rykovskij G. Comparative analysis of the bryophyte floras of northwest Belarus concrete fortification and the Carpathians. *Biodiversity: Research and Conservation*, 2012, vol. 24, pp. 23-27.
5. Zhukova L. A. Field environmental workshop [*Polevoi ekologicheskii praktikum : ucheb. posobie : v 2 ch.*]; Ed. L. A. Zhukova. Yoshkar-Ola, 2000, part 1, 112 p.
6. Ipatov V. S. Methods for describing phytocenosis [*Metody opisaniia fitotsenoza : monografiia*]. St. Petersburg, 2000, 89 p.
7. Ipatov V. S., Mirin D. M. Description of phytocenosis [*Opisanie fitotsenoza: Metodicheskie rekomendatsii : ucheb.-metod. posobie*]. St. Petersburg, 2008, 71 p.
8. Gluzdakov S. O. Methods of the field study of lichens [*Metodika polevogo izucheniia lishainikov : ucheb. posobie*]. Moscow, 1959, 44 p.
9. Methods of field and laboratory studies of plants and vegetation [*Metody polevykh i laboratornykh issledovaniy rastenii i ratitel'nogo pokrova : sb. statei*]; Ed. E. F. Markovskaya. Petrozavodsk, 2001, 320 p.
10. Priazhnikova A. A., Rykovskij G. F. Ecological and bryological characteristic of the territory of the Grodno fortress, including the environment [*Ekologo-briologicheskaiia kharakteristika territorii Grodnenskoj kreposti, vkluchaia okruzenie*]. *Principles and methods of biodiversity conservation : materials of the 4th All-Russian scientific conf. with the Intl. participation*, Yoshkar-Ola, Sept. 22-26, 2010; ed. board: L. M. Abramova [et al.]. Yoshkar-Ola, 2010, pp. 141-143.