

УДК 565.76:66.013(476.2-25)

А. Н. Крицкая¹, Н. Г. Галиновский²

¹Старший преподаватель кафедры анатомии человека с курсом оперативной хирургии и топографической анатомии, УО «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Республика Беларусь

²Кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биологии, УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», г. Гомель, Республика Беларусь

АССАМБЛЕИ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ, ОБИТАЮЩИХ НА ОТВАЛАХ ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

Статья представляет собой обобщение полученных данных за весь период исследования о сообществах жесткокрылых, обитавших на отвалах фосфогипса, на контрольном участке. Здесь дается обзор видового состава этих сообществ, а также рассматриваются его изменения за длительный период.

Ключевые слова: сообщества жесткокрылых, отвалы фосфогипса, анализ альфа-разнообразия, кластерный анализ.

Введение

Хозяйственная деятельность человека активно участвует в динамике развития сообществ беспозвоночных животных [1]. Почвенные жесткокрылые являются важной составляющей как естественных биоценозов, так и созданных человеком. При этом сохранение их биологического разнообразия является одной из очень важных проблем в экологии [2]. Такого рода знания просто необходимы для представления функционирования наземных экосистем в различных экстремальных условиях для выживания организмов, что позволяет не только накапливать знания, но и складывать их в систему [3]. В свою очередь, такая система способствует при необходимости сохранению и защите различных популяций беспозвоночных животных в различных условиях обитания. Следует подчеркнуть, что накопленная информация помогает выявить адаптационные способности жесткокрылых насекомых, которые позволяют им развиваться в самых различных условиях. Кроме того, этот материал содействует разработке модели для охраны либо районов обитания, либо самих ассамблей жесткокрылых [4].

Цель нашего исследования – оценить динамику состояния ассамблей жесткокрылых – обитателей герпетобия отвалов фосфогипса различного возраста.

Для изучения существования ассамблей жесткокрылых в таких экстремальных условиях, как отходы производства фосфорных удобрений, мы рассматривали видовой состав и параметры альфа-разнообразия в существующих сообществах на данной территории на протяжении 8 лет учетов [5; 6]. Благодаря полученной информации можно провести оценку состояния и изменения сообществ жесткокрылых по мере естественных сукцессионных изменений на отвалах фосфогипса в процессе восстановления экосистемы после антропогенной трансформации территории.

Методы и методология исследования

Исследования проводились на территории ОАО «Гомельский химический завод» в три этапа: с 2006 по 2009 год, с 2011 по 2013 год и в 2019 году. Для сбора материала нами было выбрано 3 стационара на отвалах фосфогипса с разной степенью проективного покрытия растительностью и контрольный участок, находившийся в рядом расположенном лесу.

Стационар № 1 (Отвал 1). Представляет собой открытый участок у подножья отвала фосфогипса, на который до 2013 года производился сброс отходов производства. При этом рядом с подошвой отвала располагается обводной канал. Проективное покрытие растительностью составило 1 % площади участка.

Стационар № 2 (Отвал 2) – участок у подножья отвала, который располагается в двухстах метрах от первого участка и покрыт несмыкающимся травянистым покровом. На стационаре имеются молодая поросль осины и клена ясенелистного. Обводной канал проходит в 40-ка метрах от стационара. Проективное покрытие растительностью составило 60–70 % площади участка.

Стационар № 3 (Отвал 3) – участок у подножья отвала возрастом более 50 лет. Верхний горизонт почвы на глубину 5–10 см представлял собой сплошной слой фосфогипса. Здесь наблюдается развитый моховой и лишайниковый покров, а также островки растительности (вейник наземный, иван-чай и др.). На отвале присутствуют кустарники (клен ясенелистный и крушина ломкая). Проективное покрытие растительностью составило 90 % площади участка.

Стационар № 4 (контрольный участок). Представляет собой участок смешанного леса, который располагается в километре от отвала 2. В травянистом ярусе встречались мятлик луговой, одуванчик лекарственный, вероника дубравная, фиалка лесная. Подлесок представлен преимущественно крушиной ломкой. В подросте преобладали береза повислая, сосна обыкновенная и дуб черешчатый.

Учет жесткокрылых производился при помощи почвенных ловушек. Всего за весь период исследования было собрано 2392 экземпляра жесткокрылых на контрольном участке и 3766 экземпляров на отвалах. Первичная обработка данных проводилась при помощи электронных таблиц Calc офисного пакета Libre Office 7.6 (<https://www.libreoffice.org>). Расчет параметров альфа-разнообразия проводился на основании натурального логарифма с использованием специализированной программы BioDiversity Pro ver. 2.0 (<https://www.sams.ac.uk/science/outputs>), дендрограммный кластерный анализ проведен методом Уорда на основании евклидовой метрики при помощи пакета RStudio (<https://posit.co/download/rstudio-desktop>).

Латинские названия жесткокрылых и семейств, а также таксономическая принадлежность видов дана по О. Р. Александровичу [7].

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам нашего исследования на отвале с наименьшей степенью проективного покрытия растительностью (Отвал 1) был выявлен 31 вид жесткокрылых из 8 семейств (таблица 1).

Таблица 1 – Семейства исследованных ассамблей жесткокрылых с частичным видовым составом и относительным обилием (в процентах)

Семейство и вид	Отвал 1	Отвал 2	Отвал 3	Контроль
1	2	3	4	5
Anthicidae Latreille, 1819 (Быстрянки)	0	0,36	0,18	0,33
Brentidae Billberg, 1820 (Брентиды)	0	0,36	0	0,12
Buprestidae Leach, 1815 (Златки)	0	0,12	0	0
Byrrhidae Latreille, 1804 (Пилюльщики)	11,11	11,96	37,48	0,21
<i>Chaetophora spinosa</i> (Rossi, 1794)	6,35	7,78	27,39	0,04
<i>Morychus aeneus</i> (Fabricius, 1775)	4,76	2,15	8,52	0
Byturidae Jacquelin Du Val, 1858 (Малинники)	0	0,12	0	0,17
Cantharidae Imhoff, 1856 (Мягкотелки)	0	0,12	0	0,12
Carabidae Latreille, 1802 (Жужелицы)	73,81	43,78	40,23	52,76
<i>Amara aenea</i> (DeGeer, 1774)	0,79	0,6	0,25	1,21
<i>Anisodactylus nemorivagus</i> (Duftschmid, 1812)	0,79	0	0	0
<i>Bembidion femoratum</i> (Sturm, 1825)	0,79	0	0	0
<i>Bembidion quadrimaculatum</i> (Linnaeus 1761)	6,35	1,56	1,71	0
<i>Broscus cephalotes</i> (Linnaeus, 1758)	23,81	0,12	0,07	0,04
<i>Calathus erratus</i> (Sahlberg, 1829)	3,97	21,53	11,52	1,09
<i>Calathus fuscipes</i> (Goeze, 1777)	3,97	2,15	0,68	0,17
<i>Cicindela campestris</i> (Linnaeus, 1758)	9,52	1,56	0	0
<i>Cicindela hybrida</i> (Linnaeus, 1758)	8,73	0	0	0
<i>Harpalus flavescens</i> (Piller et Mitterpacher, 1783)	3,17	0	0	0
<i>Harpalus rubripes</i> (Duftschmid, 1812)	1,59	1,2	0,57	0,16
<i>Harpalus rufipes</i> (De Geer, 1774)	0,79	2,27	8,1	6,15
<i>Harpalus tardus</i> (Panzer, 1796)	1,59	0,24	0,53	0,17
<i>Omphron limbatum</i> (Fabricius, 1777)	0,79	0	0	0
<i>Pterostichus niger</i> (Schaller, 1783)	2,38	0,36	1,32	5,1
<i>Pterostichus quadrioveolatus</i> (Letzner, 1852)	1,59	0	0	0
Cerambycidae Latreille, 1802 (Усачи)	0	0,12	0,07	3,22
Chrysomelidae Latreille, 1802 (Листоеды)	3,17	2,75	4,49	3,97

Продолжение таблицы 1

<i>Chaetocnema concinna</i> (Marsham, 1802)	1,59	1,08	2,6	0,29
Coccinellidae Latreille, 1807 (Божьи коровки)	0	0,12	0,18	0,21
Cryptophagidae Kirby, 1837 (Скрытноеды)	0	0	0	0,08
Cucujidae Latreille, 1802 (Плоскотелки)	0	0	0	0,04
Curculionidae Latreille, 1802 (Долгоносики)	7,13	11,25	1,74	3,52
<i>Hypera arator</i> (Linnaeus, 1758)	0,79	0	0	0
<i>Otiorynchus raucus</i> (Fabricius, 1777)	0	6,22	0,71	0,46
<i>Otiorynchus tristis</i> (Scopoli, 1763)	0,79	0,24	0,07	0,07
Dermestidae Latreille, 1804 (Кожееды)	0,79	0,12	0,07	0
Dryopidae Billberg, 1820 (Прицепыши)	0	0	0,04	0
Dytiscidae Leach, 1815 (Плавунцы)	0,79	0	0,04	0
<i>Rhantus frontalis</i> (Marsham, 1802)	0,79	0	0	0
Elateridae Leach, 1815 (Щелкуны)	0	3,60	0,15	0,85
Erotylidae Latreille, 1802 (Грибовики)	0	0,12	0	0
Eucinetidae Lacordaire, 1857 (Кувырчалки)	0	0,48	0	0,17
Geotrupidae Latreille, 1802 (Навозники)	0	0	0	8,65
Haliplidae Kirby, 1837 (Плавунчики)	0	0	0	0,04
Histeridae Gyllenhal, 1808 (Карапузики)	0	0	0	0,08
Leiodidae Fleming, 1821 (Лейодиды)	0	0	0	0,04
Limnichidae Erichson, 1846 (Лимнихиды)	0	0,48	0	0
Lucanidae Latreille, 1804 (Рогачи)	0	0,48	0	0,08
Malachiidae Fleming, 1821 (Малашки)	0	3,11	0,11	0,46
Mordellidae Latreille, 1802 (Горбатки)	0	0,12	0,07	0
Mycetophagidae Leach, 1815 (Грибоеды)	0	0	0	0,04
Nitidulidae Latreille, 1802 (Блестянки)	0	0,6	0,29	0,29
Phalacridae Leach, 1815 (Фалакриды)	0	1,08	0,07	0,26
Ptinidae Latreille, 1802 (Притворяшки)	0	0	0	0,04
Scarabaeidae Latreille, 1802 (Пластинчатоусые)	0,79	0,84	0,57	1,04
<i>Liothorax niger</i> (Illiger, 1798)	0,79	0	0	0
Silphidae Latreille, 1806 (Мертвоеды)	0	0	0,53	6,77
Silvanidae Kirby, 1837 (Сильваниды)	0	0,48	1,85	0,04
Staphylinidae Latreille, 1802 (Стафилиниды)	2,38	14,72	7,02	15,47
<i>Aleochara brevipennis</i> (Gravenhorst, 1806)	0,79	4,31	0,43	2,97
<i>Drusilla canaliculata</i> (Fabricius, 1787)	0	8,37	5,21	4,77
Tenebrionidae Latreille, 1802 (Чернотелки)	0	2,51	4,46	0,70
Trogidae MacLeay (Троксы)	0	0	0,39	0
Trogossitidae Latreille, 1802 (Трогосситиды)	0	0	0,04	0
Всего семейств	8	25	22	29
Всего видов	31	101	126	175
Всего экземпляров	126	836	2804	2392
Информационное разнообразие, H	2,849	3,43	2,85	3,86
Концентрация доминирования, D	0,087	0,072	0,12	0,037
Выравненность по Пielу, J	0,83	0,74	0,59	0,75

Стоит отметить, что 9 видов были зафиксированы только на данном стационаре – жужелицы *Anisodactylus nemorivagus*, *Bembidion femoratum*, *Cicindela hybrida*, *Harpalus flavescens*, *Omphron limbatum* и *Pterostichus quadriveolatus*, долгоносик *Hypera arator*, плавунец *Rhantus frontalis*, навозничек *Liothorax niger*. При этом самым многочисленным семейством, как и на всех стационарах, оказались жужелицы (относительное обилие особей составило 73,81 %). Следующим по численности оказалось семейство пилюльщиков (11,11 %), которое было представлено всего двумя видами: *Morychus aeneus* и *Chaetophora spinosa*. Семейства долгоносиков, листоедов и стафилинид оказались мало-численными: их относительное обилие составило 7,14 %, 3,17 % и 2,38 % соответственно. Также было выявлено три семейства (*Dermestidae*, *Dytiscidae* и *Scarabaeidae*), представленные всего по одному виду.

В наших ловушках на самом молодом стационаре (Отвал 1) оказались наиболее многочисленными представители семейства жужелицы *Brosicus cephalotes* (23,81 % от общей численности), *Cicindela campestris* (9,52 %) и *Cicindela hybrida* (8,73 %). Такая высокая численность видов может быть связана с тем, что они предпочитают сухие открытые места обитания.

Нами был проведен анализ альфа-разнообразия, в результате которого показатель информационного разнообразия Шеннона составил 2,849, что указывает на невысокое разнообразие сообщества жесткокрылых, обитавших на данном стационаре. При этом концентрация доминирования Симпсона оказалась низкой – 0,087, что на фоне высокой выравненности по Пиелу (0,83) может говорить о том, что изучаемое сообщество находится на стадии формирования, где виды слабо отличаются по обилию.

На следующем стационаре, где проективное покрытие растительностью составило 60–70 % (Отвал 2), был выявлен 101 вид жесткокрылых, относящихся к 25 семействам. При этом 23 вида было отмечено только на этом стационаре. На фоне всех видов по численности выделялись жужелица *Calathus erratus* (21,53 %), стафилинида *Drusilla canaliculata* (8,37 %), пилюльщик *Chaetophora spinosa* (7,78 %) и долгоносик *Otiornychus raucus* (6,22 %).

Видовое богатство жужелиц составило 35 видов с долей особей 43,78 %. Вторую позицию после жужелиц заняли стафилиниды с 10 видами и относительным обилием особей – 14,95 %. Семейства пилюльщиков и долгоносиков были приблизительно на одном уровне и составили 7 видов с долей особей 11,96 % и 6 видов – с долей особей 11,24 % соответственно. Среди отмеченных семейств было зафиксировано 14, представленных только одним видом. Кроме того, златки, грибовики и лимнихиды отмечались только на рассматриваемом стационаре, а брентиды, малинники, мягкотелки, кувырчалки и рогачи в наших ловушках были зафиксированы и на данном стационаре, и на контрольном участке.

Изучая структуру сообщества жесткокрылых на стационаре со средней степенью зарастания растительностью, можно сказать, что оно имеет высокое видовое богатство. Это подтверждается высоким значением информационного разнообразия Шеннона – 3,43 при низкой концентрации доминирования (0,072) на фоне высокой выравненности. Такое значение показателей может указывать на тот факт, что ассамблеи жесткокрылых продолжают еще формироваться.

Следует отметить, что на самом старом стационаре с наибольшей степенью проективного покрытия (Отвал 3) нами было зафиксировано 126 видов из 22 семейств, из которых 9 семейств характеризовались наличием одного вида: Anthicidae, Dermestidae, Dryopidae, Dytiscidae, Melyridae, Mordellidae, Phalacridae, Trogidae и Trogossitidae (таблица 1). При этом нами было отмечено 32 вида, которые попались в наши ловушки только на данном стационаре.

Рассматривая материал более подробно, можно сказать, что семейство жужелиц неизменно занимает лидирующую позицию как по видовому богатству, так и по численности – 47 видов с относительным обилием 40,23 %. В свою очередь, жужелица *Bembidion quadrimaculatum* отмечалась на трех отвалах фосфогипса и ее численность увеличивалась по мере возрастания степени зарастания территории. Пилюльщики по численности немного уступали жужелицам – относительное обилие 37,48 % при видовом богатстве всего 6 видов. Добавим, что доминирующим видом на самом старом стационаре оказался именно пилюльщик *Chaetophora spinosa* (27,39 % от общей численности), который встречался на всех четырех стационарах. Многочисленный и доминировавший здесь пилюльщик *Morychus aeneus* (8,52 % от общей численности) был зафиксирован нами также на трех отвалах фосфогипса в разном количестве.

Видовое разнообразие таких семейств, как стафилиниды, листоеды и долгоносики, составило 13, 12 и 12 видов соответственно. При этом, несмотря на одинаковое количество видов, их относительное обилие варьировалось и составило 6,99 %, 4,49 % и 1,71 % соответственно. Отсюда следует, что с увеличением растительности на стационаре увеличивается и видовое богатство фитофагов. Вместе с тем стафилинида *Drusilla canaliculata* по численности существенно отличалась не только от других представителей данного семейства, но и от представителей других семейств (относительное обилие особей составило 5,21 % от общей численности на данном стационаре). Далее можно отметить, что остальные семейства были зафиксированы в незначительном количестве. При этом прицепыши, плавунцы, темнотелки и троксы отмечались нами только на рассматриваемом стационаре. Кроме того, эти семейства были представлены единично, за исключением троксов – 0,39 % от общей численности на самом заросшем стационаре.

В результате анализа альфа-разнообразия мы получили значение информационного разнообразия, близкое к первому отвалу – 2,85 с выравненностью по Пиелу 0,59, а концентрация доминирования составила самый высокий показатель из всех исследованных стационаров – 0,12. Таким образом, наблюдается неоднородность сообщества жесткокрылых, обитавших на третьем, самом заросшем, стационаре, хотя и характеризуется оно достаточно высоким видовым разнообразием.

На контрольном участке нами было зафиксировано 175 видов жесткокрылых из 29 семейств. При этом 71 вид был отмечен только на контрольном участке. По видовому богатству лидировали все те же жужелицы – 54 вида с относительным обилием особей 52,76 %. Стоит отметить виды, относящиеся к данному семейству, которые отмечались на всех исследованных четырех стационарах: *Amara*

aenea, *Broscus cephalotes*, *Calathus erratus*, *Calathus fuscipes*, *Harpalus rubripes*, *H. rufipes*, *H. tardus* и *Pterostichus niger*. Перечисленные виды оказались экологически пластичными и способными приспосабливаться к различным условиям существования. Следующими семействами по количеству видов оказались семейства стафилинид и листоедов – 22 и 20 видов соответственно. Несмотря на количество видов, относительное обилие особей значительно различалось – 15,51 % и 3,97 % соответственно. Листоед *Chaetocnema concinna* был также зафиксирован на всех изучаемых стационарах, а среди стафилинид таким представителем оказался вид *Aleochara brevipennis*. Семейство долгоносиков было представлено 19 видами с относительным обилием особей 3,55 %, среди которых на всех стационарах был отмечен *Otiornychus tristis*, хоть и в незначительном количестве. По результатам наших исследований оказалось, что на контрольном участке обитает 12 семейств, представленных только одним видом. Кроме того, семейства скрытноеды, плоскотелки, плавунчики, карапузики, грибоеды и притворяшки в наших исследованиях отмечались только на контрольном участке.

Подводя итоги, можно сказать, что видовое разнообразие жесткокрылых на контрольном участке высокое, хотя по обилию они слабо различаются. Это подтверждается высоким значением информационного разнообразия Шеннона (3,86) при достаточно низкой концентрации доминирования (0,037) на фоне высокой выравненности (0,75). Это свидетельствует, что данное сообщество также далеко до достаточно устоявшегося ценоза, но на фоне ассамблей жесткокрылых отвалов фосфогипса может служить прогнозом при дальнейшем восстановлении их растительности в результате вторичной сукцессии.

Для дополнительных исследований сукцессионных изменений в сообществах отвалов фосфогипса и возможных связанных с ними видовых изменений в ассамблеях жесткокрылых нами был проведен дендрограммный кластерный анализ сходства численности жесткокрылых (рисунок 1).

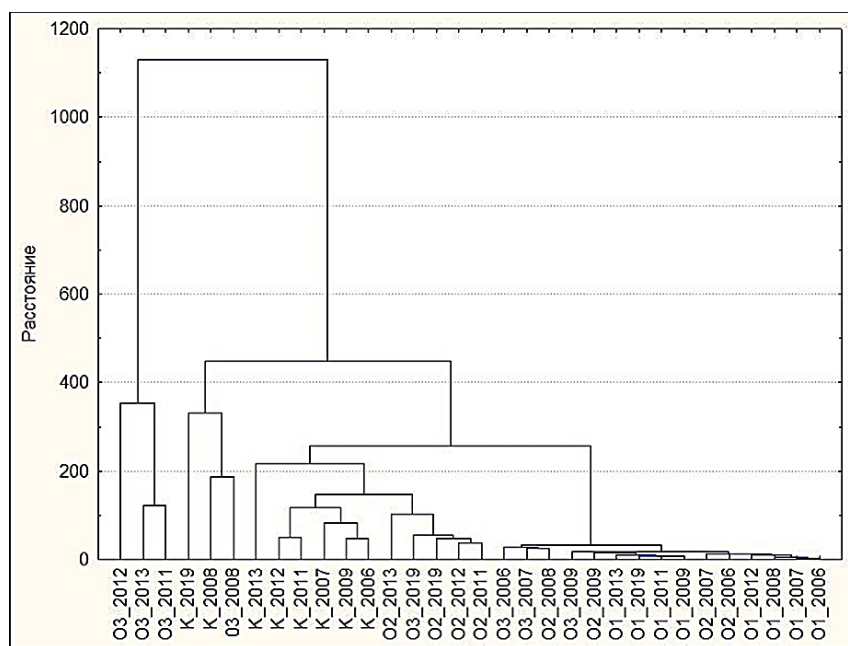


Рисунок 1 – Кластерный анализ ассамблей жесткокрылых в исследованных сообществах

Необходимо подчеркнуть, что по его итогам кластер, в который включены группы по отвалу фосфогипса 3 за 2011–2013 годы исследования, находится отдельно от остальной группы видов. В ходе анализа можно выделить, что кластеры отвала фосфогипса 1 за 2006–2008 очень близки к отвалу фосфогипса 2 за 2006 год. Далее видно, что данные отвала фосфогипса 1 за 2011–2013 годы близки с отвалом фосфогипса 2 за 2006–2007 год. При этом этот же кластер объединяется с данными, которые отражены на отвале фосфогипса 3 за 2009 год. В то же время кластер отвалов фосфогипса 2 и 3 2019-го года очень близок к кластеру, который объединяет в себя контрольный участок. По итогам можно говорить о тенденции закономерных изменений как сходство видов отвалов фосфогипса 1 и 2 их поздних лет исследования с отвалами фосфогипса 2 и 3 ранних лет исследования. При этом самый заросший стационар поздних лет исследования схож с контрольным участком более ранних лет исследования.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено:

1) по мере увеличения проективного покрытия на отвалах существенно изменяется видовой состав ассамблей жесткокрылых;

2) каждый отвал фосфогипса имеет собственную видовую структуру жесткокрылых, выражающуюся в наборе как видов-доминантов, так и видов, встречающихся только в этих местообитаниях в условиях отходов фосфогипса;

3) кластерный анализ видового сходства исследованных ассамблей жесткокрылых свидетельствует: что по мере зарастания отвалов фосфогипса экологическая структура сообществ приближается к исходному состоянию на момент начала исследования на контрольном участке.

Таким образом, дальнейшее зарастание отвалов может привести к полному восстановлению ассамблей жесткокрылых антропогенно нарушенной экосистемы, и для ускорения этого процесса нами рекомендована тщательная рекультивация отвалов фосфогипса.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Симкин, Г. Н. Антропогенная трансформация фауны и преобразование естественных экосистем / Г. Н. Симкин // Экополис 2000: Экология и устойчивое развитие города : материалы III междунар. конф., Москва, МГУ, 24–25 нояб. 2000 г. – М., 2000. – С. 105–106.

2. Строганова, М. Н. Почва как основа устойчивости функционирования городских экосистем / М. Н. Строганова, Т. В. Прокофьева // Экополис 2000: Экология и устойчивое развитие города : материалы III междунар. конф., Москва, МГУ, 24–25 нояб. 2000 г. – М., 2000. – С. 113–116.

3. Пикулик, М. М. Важнейшие проблемы сохранения, изучения и использования биоразнообразия животного мира Беларуси / М. М. Пикулик, М. Е. Никифиров // Пробл. сохран. биол. разнообразия : тез. докл. междунар. научно-практ. конф., Минск, октяб. 1993 г. – Минск, 1993. – С. 18–20.

4. Национальная стратегия сохранения биологического разнообразия Республики Беларусь / В. М. Яцухно [и др.]. – Минск : Конкордия, 1997. – 56 с.

5. Крицкая, А. Н. Население и экологическая структура герпетобионтных жесткокрылых, обитающих на отвалах фосфогипса ОАО «Гомельский химический завод» / А. Н. Крицкая, Н. Г. Галиновский // Экологический вестн. Междунар. гос. экологический ин-т им. А. Д. Сахарова. – 2015. – № 4. – С. 25–30.

6. Крицкая, А. Н. Биотопический преферendum герпетобионтных жесткокрылых – обитателей отвалов ОАО «Гомельский химический завод» / А. Н. Крицкая, Н. Г. Галиновский // Изв. Гомел. гос. ун-та. Сер. Естественные науки. – 2022. – № 3 (132). – С. 66–69.

7. The Check-list of Belarus Coleoptera / O. Aleksandrowicz [et al.]. – Slupsk : Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Pomorskiego w Slupsku, 2023. – 192 s.

Поступила в редакцию 27.02.2024

E-mail: aeterus_amica@mail.ru

A. N. Krytskaya, M. N. Halinowski

ASSEMBLIES OF COLEOPTERA INHIBITING THE DUMPS OF “GOMEL CHEMICAL PLANT”

The article is a summary of the data obtained for the entire study period on the communities of beetles that lived on phosphogypsum dumps, as well as on the control site. It provides an overview of the species composition of these communities and considers its changes over a long period of time.

Keywords: coleopteran communities, phosphogypsum dumps, alpha diversity analysis, cluster analysis.