**ЖУКИ-ЖУЖЕЛИЦЫ (COLEOPTERA, CARABIDAE) КАК ПРИРОДНЫЙ ИНДИКАТОР ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ БИОЦЕНОЗА ЗОЛОТВАЛОВ ТВЁРДОТОПЛИВНОЙ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ПРИМЕРЕ ТЭЦ №5 (НОВОСИБИРСК)**© 2021 А. Н. Беспалов , И. П. Беланов 

Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: [bespalov@issa-siberia.ru](mailto:bespalov@issa-siberia.ru)

**Цель исследования.** Выявить закономерности развития сообщества жуужелиц (Coleoptera, Carabidae), показать их видовую специфику на золоотвалах ТЭЦ в зависимости от уровня развития почвообразовательных процессов и почвенно-экологического состояния нарушенных участков.

**Место и время проведения.** В качестве объекта исследования был выбран золоотвал №1 ТЭЦ-5 г. Новосибирска (54°59' с.ш., 83°03' в.д.). Образцы почв отбирали в 2019 г.; жуужелиц собирали в 2017 и 2019 гг.

**Методология.** На золоотвале были выбрано шесть учетных площадок, соответствующих зонам седиментации частиц. В качестве контроля были выбраны: березовый колос и луг кострцево-клеверный. Почвенный покров территории золоотвала описывали в соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов; почвенный покров сформирован различными типами эмбриоземов. Влажность почвы на каждом из участков исследования определяли в слое 0–5 см термовесовым методом. Отбор почвенных образцов проводили в мае 2019 г. Для сбора жуужелиц на каждом участке было установлено пять ловушек, на 1/3 заполненных для фиксации жуков 4% уксусной кислотой. Сбор жуужелиц проводили в мае–июне 2017 г. и в июне–июле 2019 г. По данным о населении жуужелиц рассчитаны индексы α-биоразнообразия. Фауны различных биотопов сравнивали с помощью кластерного анализа в программе PAST 3.09.

**Основные результаты.** На всех участках обнаружено 74 вида жуужелиц: на участках золоотвала обнаружено 60 видов жуужелиц, при этом на секции с отсыпкой потенциально плодородной породой (ППП) отмечено 48 видов, а на секции с зольным материалом 35 видов. На контрольных участках отмечено 24 вида: в березовом колке 14 и на лугу 10 видов. Обилие жуужелиц на рекультивированной секции почти в 3 раза больше, чем на нереккультивированной (973 экземпляра против 347). Кластерный анализ показал, что участки золоотвала по фауне жуужелиц разделяются на 3 группы: группа сухих нереккультивированных участков, группа сухих рекультивированных участков и группа участков с переувлажнением. Почвенный покров исследуемого золоотвала представлен инициальным, органо-аккумулятивным, дерновым и гумусово-аккумулятивным эмбриоземами.

**Заключение.** За девять лет самозарастания золоотвала на нем образовались сообщества жуужелиц с высоким видовым богатством и обилием. Эти сообщества существенно отличаются от сообществ соседних ненарушенных биоценозов, выбранных для сравнения. Видовой состав и динамическая плотность жуужелиц увеличивается в ряду контроль – зольный материал – отсыпка ППП. Установлена закономерность: автономное положение в ландшафтно-геохимической катене занимает эволюционно менее развитый тип эмбриозема, и с увеличением степени увлажненности и подчиненности по положению в рельефе эволюционный порядок типа почвы увеличивается. Проведение технического этапа рекультивации с применением потенциально плодородной породы или плодородного слоя почв, позволяет значительно ускорить развитие почвенного покрова и биогеоценозов в целом.

**Ключевые слова:** ТЭЦ; почвообразовательные процессы; мезофауна; жуужелицы; Carabidae; техногенные почвы; рекультивация

**Цитирование:** Беспалов А.Н., Беланов И.П. Жуки-жуужелицы (Coleoptera, Carabidae) как природный индикатор процессов развития биоценоза золоотвалов твёрдотопливной теплоэлектростанции на примере ТЭЦ № 5 (Новосибирск) // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 4. е132. doi: 10.31251/pos.v3i4.132

**ВВЕДЕНИЕ**

Более 60% электроэнергии в России вырабатывают тепловые электростанции (Veselov et al., 2019). В результате работы электростанций на твердом топливе (каменный и бурый уголь, торф и т.д.) образуется большое количество золошлаковых отходов, часто не подлежащих вторичному использованию и требующих безопасного захоронения на специальных полигонах, занимающих огромные площади (Андреева, 2006). Золоотвалы ТЭЦ являются серьезными источниками

загрязнения окружающей среды, в первую очередь – атмосферного воздуха (Носков и др., 1990; Haynes, 2009). Поэтому большое внимание уделяют консервации и рекультивации данных территорий. Для разработки эффективных технологий консервации и восстановления старых золоотвалов необходимо всестороннее изучение вопросов, касающихся особенностей формирования биоценозов в условиях нарушенных территорий.

К настоящему времени выполнено много работ по исследованию функционирования и восстановления биоценозов золоотвалов как в нашей стране, так и за рубежом. Большинство работ посвящено изучению одного определенного компонента экосистемы: почвенного покрова и процессов почвообразования (Константинов и др. 2018), почвенных беспозвоночных животных (Полчанинова, Форшук, 2013; Новгородова, 2018) и растительности (Гурина, 2014; Maiti, Prasad, 2016). В то же время существующих работ явно недостаточно для понимания полной картины функционирования и восстановления разрушенных экосистем. Использование биоиндикаторов позволяет установить стадии сукцессии и охарактеризовать экологическое состояние территории, а также в определенной мере оценить эффективность рекультивационных работ. Среди различных биоиндикаторов жуки-жужелицы являются одним из самых удобных объектов, позволяющих четко проследить сукцессионные смены и установить их направление, так как жужелицы активно реагируют на изменения среды (Koivula, 2011). В данной работе мы попытались применить комплексный подход для изучения восстановления экосистемы на золоотвалах ТЭЦ. Целью нашей работы было исследовать сообщества жуков-жужелиц на золоотвале, провести сравнение сообществ жужелиц на рекультивированных и нереккультивированных участках отвала, исследовать особенности почвообразовательных процессов, изучить взаимосвязи между почвенными беспозвоночными, а именно жужелицами, почвой и растительностью на золоотвале.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследований нами был выбран золоотвал № 1 ТЭЦ №5 г. Новосибирска. Золоотвал расположен в черте города в верховьях лога «Барышевский» вблизи водораздела р.Ини и р. Плющихи (54.997 с.ш., 83.069 в.д.). Отвал был введен в эксплуатацию в 1987 г., подача золошлакового материала прекращена в 2008 г. Золоотвал состоит из двух секций, разделенных дамбой; общая площадь его составляет 41,4 га. В 2010–2011 гг. на одной секции (S1) золоотвала площадью 17,7 га отсыпку не проводили. На другой секции (S2) отработанного золоотвала был проведен технический этап рекультивации, который состоял в нанесении на поверхность золоотвала слоёв потенциально плодородных пород (ППП) различной мощности. На каждой секции сформирован уклон, обусловленный тремя зонами седиментации частиц: приустьевая, основная и ядерная, отличающимися по степени увлажнения грунта (сухая, умеренно влажная и влажная соответственно), а также по развившимся на них растительным сообществам. Биологический этап рекультивации не проводили. Поселение растений происходило на свободный минеральный субстрат, поэтому восстановительная сукцессия идет по типу первичных. Для исследования на золоотвале было выбрано шесть учетных площадок по три на каждую секцию; в качестве контроля взяли два ненарушенных участка: березовый колос и луг, расположенные в непосредственной близости. Характеристика растительного покрова, а также влажность каждого из полигонов, где проводили наблюдение, представлены в Таблице 1.

Почвенный покров территории золоотвала описывали в соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов. Почвенный покров представлен различными типами эмбриоземов (Курачев, Андроханов, 2002). Почву контрольных участков классифицировали как серую лесную (Классификация..., 1977), или Phaeozem (IUSS, 2015). Влажность почвы на каждом из участков исследования определялась в слое 0–5 см термовесовым методом согласно ГОСТ 28268-89: Почвы. Методы определения влажности, гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. (ГОСТ 28268–89).

Описание флористического состава и его характеристик в каждом из местообитаний использовано по данным Н.В.Шермет с соавторами (Sheremet et al., 2018). Флористический состав золоотвала представлен 130 видами сосудистых растений из 96 родов и 37 семейств. Флора секции 2 состоит из 42 видов 36 родов из 14 семейств. В то же время флора секции 1 с нанесением ППП в настоящий момент представлена 93 видами 67 родами 30 семействами, что показывает ее большее разнообразие. Наибольший вклад в состав хозяйственно-ботанических групп на участках регенерации на зольном материале вносят злаки, доминирующая роль среди которых принадлежит вейнику наземному (*Calamagrostis epigeios*) и тростнику южному (*Phragmites australis*). На

участках с нанесением ППП доминируют виды бобовых — клевер луговой (*Tripholium pratense*), клевер гибридный (*Tripholium hybridum*) и чина луговая (*Lathyrus pratensis*). В целом нанесение потенциально плодородных пород, обладающих более высоким литогенным потенциалом, способствует увеличению видового разнообразия и продуктивности растительных сообществ.

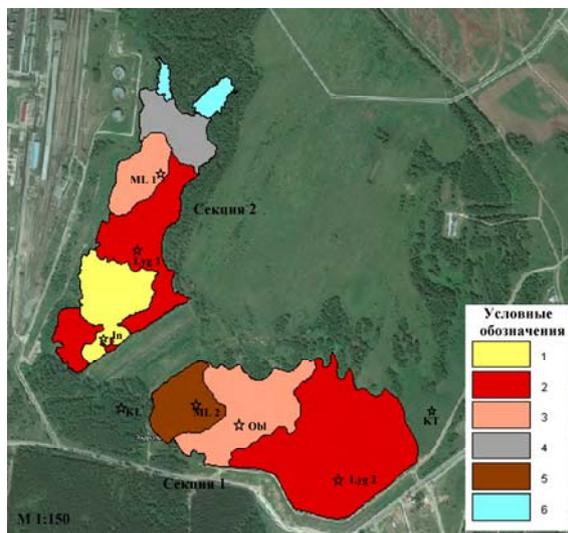
Исследования жуков-жужелиц проводили одновременно на всех участках с 30 мая по 13 июня 2017 (контрольный травянистый участок КТ не исследовали в 2017 г.) и с 27 июня по 4 июля 2019 г. На каждом участке было установлено 5 ловушек, на 1/3 заполненных 4% уксусной кислотой в качестве фиксатора. Ловушки представляли собой пластиковые стаканчики объемом 200 мл и диаметром 6,5 см. Ловушки ставили в линии с расстоянием 1 метр между ловушками (Фасулати, 1971). Проверяли ловушки каждые 7 дней. Отработано более 700 ловушко-суток.

Фауны различных биотопов сравнивали с помощью кластерного анализа с использованием программы PAST 3.09 (Hammer et al., 2001). К видам доминантного комплекса отнесены виды, доля особей которых в учетах составляла не ниже 5% от общего числа особей. Рассчитывали следующие индексы  $\alpha$ -биоразнообразия: индекс Маргалефа для оценки видового богатства, индекс Бергера-Паркера для оценки степени доминирования, и индекс Шеннона для оценки сложности структуры сообщества жужелиц (Мэгарран, 1992). Экологические группы жужелиц по биотопической приуроченности (лесная, луговая, лугово-степная, эвритопная, пойменно-прибрежная) определены на основе литературных источников (Дудко, Самбыла, 2005; Лузянин и др, 2015; Воронин, Чумаков, 2015; Важенина, Сергеева 2018) и собственных наблюдений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Почвы и растительность

Почвенный покров исследуемого золоотвала представлен инициальным, органо-аккумулятивным, дерновым и гумусово-аккумулятивным эмбриоземами согласно классификации почв техногенных ландшафтов, разработанной в ИПА СО РАН (Курачев, Андроханов, 2002). Почвы характеризуются разной степенью накопления и разложения растительного опада, и, как следствие, отсутствием или наличием формирующегося гумусового горизонта.



**Рисунок 1.** Карта-схема почвенного покрова сформировавшегося на поверхности золоотвала ТЭЦ-5 Условные обозначения: 1 – эмбриозем инициальный; 2 - эмбриозем органо-аккумулятивный; 3 – эмбриозем дерновый; 4 – эмбриозем дерновый глеевый; 5 - эмбриозем грубогумусово-аккумулятивный глеевый; 6 – вода.

Представленная карта-схема показывает, что почвенный покров в каждой из зон катены при отсыпке ППП однороден, в то время как на зольном материале наблюдается некоторая мозаичность (Рис. 1). При этом за одинаковый период времени на территории секции 2 сформировались типы эмбриоземов более высокого эволюционного порядка.

Установлена закономерность: автономное положение в катене занимает эволюционно менее развитый тип эмбриозема, и при увеличении степени увлажненности и подчиненности по положению в рельефе эволюционный порядок типа почвы увеличивается. Так, в вегетационный период средняя влажность (в слое 0–5 см) на травянистом участке с облепихой In составляет в среднем 8,3%, на участке с травянистой растительностью Lyg1 – 18,3%, на травянистом участке

ML1 – 22%. Аналогичная закономерность прослеживалась на территории секции с нанесением ППП, где на травянистом участке Lyg2 влажность составляла 10,9%, на травянистом участке с облепихой и ивой Obl 17,5%, на травянистом участке ML2 – 18,9% (см. Табл. 1).

Таблица 1

Характеристика рабочих полигонов в разных зонах нерекультивированной (S1) и рекультивированной (S2) секций золоотвала ТЭЦ; растительное сообщество охарактеризовано по данным Н. Шеремет с соавторами (Sheremet et al., 2018)

Полигон	Тип растительных сообществ	Проективное покрытие, %	Высота травостоя, см	Травянистые растения (доминанты)	Древесные растения	Полевая влажность в слое 0-5см, %
In	Разнотравно-вейниковое с облепихой	5	40	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth., <i>Artemisia integrifolia</i> L., <i>A. vulgaris</i> L., <i>Turritis glabra</i> L., <i>Melilotus albus</i> Medic.	<i>Hi ppophaë rhamnoides</i> L., <i>Populus italica</i> (Du Roi) Moench	8,3
Lyg1	Донниково-вейниковое	90–100	90	<i>C. epigeios</i> , <i>M. albus</i>	<i>H. rhamnoides</i>	18,3
ML1	Тростниково-вейниковое	50	110	<i>C. epigeios</i> , <i>Agrostis gigantea</i> Roth.	<i>Salix caprea</i> L., <i>S. viminalis</i> L.	22
Lyg2	Разнотравно-клеверозлаковое	70	70–80	<i>Phleum pratense</i> L., <i>Dactylis glomerata</i> L., <i>C. epigeios</i> , <i>Trifolium hybridum</i> L., <i>T. pratense</i> L., <i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Bess., <i>Artemisia dracunculus</i> L., <i>Galium boreale</i> L.	<i>Acer negundo</i> L., <i>S. rosmarinifolia</i> L., <i>Pinus sylvestris</i> L., <i>H. rhamnoides</i>	10,9
Obl	Разнотравно-бобово-злаковое с кустами облепихи и ивы	90–100	80–90	<i>P. pratense</i> , <i>C. epigeios</i> , <i>A. gigantea</i> , <i>T. pratense</i> , <i>T. hybridum</i> , <i>Sonchus arvensis</i> L.	<i>H. rhamnoides</i> , <i>S. caprea</i> , <i>S. viminalis</i>	17,5
ML2	Клеверополевищное	60	55–60	<i>A. gigantea</i> , <i>C. epigeios</i> , <i>Phragmites australis</i> (Gav.) Trin. ex Steudel, <i>T. pratense</i> , <i>T. hybridum</i> , <i>T. repens</i> L.	<i>Betula pendula</i> Roth., <i>P. italica</i> , <i>P. sylvestris</i> , <i>S. caprea</i> , <i>S. viminalis</i> , <i>H. rhamnoides</i>	18,9
KL	Березовый лес со злаково-снытьевым покровом	-	-	<i>D. glomerata</i> , <i>Festuca pratensis</i> Huds., <i>Aegopodium podagraria</i> L., <i>G. boreale</i> , <i>Lathyrus gmelinii</i> Fritsch, <i>Sanguisorba officinalis</i> L.	<i>B. pendula</i> , <i>P. sylvestris</i>	22
КТ	Луг кострцово-клеверный	100	90	<i>A. gigantea</i> , <i>C. epigeios</i> , <i>Phragmites australis</i> (Gav.) Trin. ex Steudel, <i>T. pratense</i> , <i>T. hybridum</i> , <i>T. repens</i> L.	-	12

Примечание: нерекультивированная секция (S1): In, Lyg1, ML1, рекультивированная секция (S2): Lyg2, Obl, ML2, контрольные участки KL и КТ.

*Фауна и население жуков-жужелиц*

В отличие от почвы и растений сообщество животных обладает важным качеством – возможностью передвижения особей в пространстве и, соответственно, выбора ими наиболее подходящих для своего существования местообитаний. Всего за время исследования собрано 1565 экземпляров жужелиц 74 видов из 26 родов. На участках с нанесением ППП собрано 973 экземпляра жуков жужелиц из 48 видов, а на нерекультивированных участках – 347 экземпляров из 35 видов. На контрольных участках отмечено 24 вида: в березовом колке – 14 видов и на лугу – 10 видов, по 209 и 36 особей жужелиц соответственно. Количество видов в крупных родах распределилось следующим образом: *Amara* – 11, *Harpalus* и *Bembidion* по 9 видов и *Dyschiriodes* – 6, что составляет 47% от общего видового состава, выявленного на всех учетных площадках. Наибольший вклад в население нарушенных территорий вносят 5 родов: *Poecilus* (51%), *Agonum* (10,5%), *Pterostichus* (10%), *Bembidion* (7%) и *Dyschiriodes* (5%): их суммарное обилие составляет более 83% всех собранных экземпляров жужелиц. В количественном отношении наиболее многочисленными оказались три вида рода *Poecilus*: *P. versicolor* (Sturm) (25,3%), *P. cupreus* (L.) (11,8%) и *P. lepidus* (Leske) (9,6%). Достаточно многочисленны были *Agonum sexpunctatum* (L.) (9,5%) и *Pterostichus magus* Mnnh. (9%). Остальные виды имеют обилие менее 5 %.

Таблица 2

Параметры таксоценов жужелиц в разных биотопах

Показатель разнообразия	Биотопы							
	In	Lyg1	ML1	Lyg2	Obl	ML2	KL	KT
Число видов	15	22	18	20	23	24	14	10
Средняя динамическая плотность (ДП), особей на 100 ловушко-суток	45,2	264,2	82,8	273,3	343,8	309,5	199	102,8
Индекс Бергера-Паркера	0,21	0,17	0,37	0,54	0,55	0,43	0,67	0,53
Индекс Шеннона, H	2,48	2,52	2,17	1,67	1,60	1,83	1,30	1,60
Индекс Маргалефа	3,85	3,89	3,81	3,36	3,74	4,00	2,43	2,51

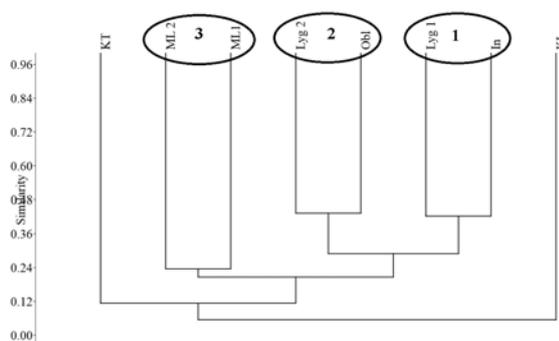
Для сообществ жужелиц были рассчитаны индексы  $\alpha$ -биоразнообразия (Табл. 2). Индекс Шеннона отражает сложность структуры сообщества. Минимальные значения индекса Шеннона были рассчитаны для контрольных участков (1,2–1,6). Эти значения указывают на то, что данные участки отличаются небольшим набором видов, однако сообщества жужелиц имеют хорошо сбалансированный видовой состав. Наибольшие значения индекса рассчитаны для травянистого участка с облепихой In и травянистого участка Lyg1 (2,4–2,5), что указывает на среднюю сложность структуры сообществ: в видовом составе здесь преобладают пионерные виды, устойчивого сообщества здесь не сформировано.

Увеличение индекса Бергера-Паркера указывает на снижение  $\alpha$ -биоразнообразия и увеличение степени доминирования одного вида, то есть состояние сообщества становится менее стабильным. Максимальные значения этого индекса отмечены для контрольных точек, т.е. травянистого участка Lyg2 и травянистого участка с облепихой и ивой Obl, где они находятся в пределах 0,5–0,6. Эти значения показывают, что сообщества жужелиц на нарушенных территориях характеризуются небольшим количеством доминирующих видов с высоким обилием и значительным числом видов с низким обилием. Исключение составили только травянистый участок с облепихой In и травянистый участок Lyg1, отличающиеся от других большим количеством видов с высокой численностью и маленьким числом видов с низкой численностью.

Индекс Маргалефа отражает плотность видов, или видовое богатство, на определенной территории, т.е. чем выше индекс, тем большим видовым богатством характеризуется данная территория. Для исследованных нарушенных территорий значение индекса Маргалефа колеблется в пределах от 3,3 до 4,0, что указывает на большее видовое богатство данных сообществ жужелиц. Наименьшее значение данного индекса отмечено для контрольных участков (2,4–2,5), что показывает относительную бедность их сообществ жужелиц.

Для анализа сходства видовых композиций исследованных участков был проведен кластерный анализ (Рис.2). Первыми от дендрограммы отделяются ветви с контрольными участками, что объясняется небольшим набором видов и низким обилием жужелиц. Сообщества жужелиц тут находятся в стабильном состоянии, в то время сообщества жужелиц нарушенных территорий нестабильны, и в их составе большое количество видов, не свойственных для данных биотопов. Ядро дендрограммы состоит из 3 ветвей. В первую ветвь вошли два участка:

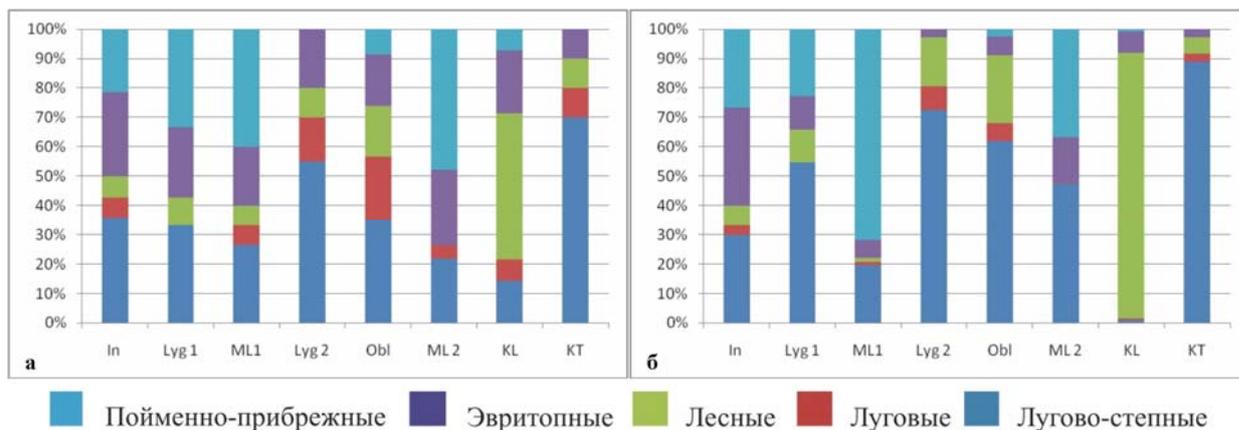
травянистый участок с облепихой In и участок с травянистой растительностью Lyg1, участки находятся в сухой зоне секции 1, где рекультивацию не проводили. Это участки характеризуются достаточно богатым видовым составом, но небольшим обилием. Вторая ветвь содержит участки: травянистый участок с облепихой и ивой Obl и травянистый участок Lyg2; участки находятся в сухой зоне секции 2, где рекультивацию проводили. Участки отличаются большим количеством видов и богатым населением жужелиц. Третья, смешанная, группа состоит из травянистых участков ML1 и ML2, находящихся в более влажной ядерной зоне: здесь представлены участки как из секции № 1, так и секции № 2. В фауне и населении жужелиц здесь отмечено большое количество влаголюбивых видов жужелиц. Однако участок первой, нерекультивированной секции, отличается меньшим набором видов, и население жужелиц на нем почти в 4 раза беднее, чем на участке ML2. Такое распределение биотопов по дендрограмме показывает, что проведение рекультивации ускоряет процесс восстановления сообщества жужелиц. Эти различия более выражены на участках, расположенных в сухих зонах.



**Рисунок 2.** Дендрограмма сходства видовых композиций жуков-жужелиц исследованных участков нарушенных территорий (индекс Жаккара, метод невзвешенной пары, UPGMA). Обозначение биотопов, как в таблице 1.

Биотопический спектр жужелиц сформирован пятью экологическими группами (рис.3). По числу видов в фауне жужелиц преобладают лугово-степная и пойменно-прибрежная группы (по 26,8% соответственно). По числу экземпляров в населении жужелиц преобладает лугово-степная группа (49,3%), лесная группа (22,8%) и группа пойменно-прибрежных видов (15,8 %).

Рассмотрим соотношение экологических групп жужелиц основных участков в отдельности. В фауне травянистого участка с облепихой In преобладала лугово-степная группа (35,7%), на втором месте группа эвритопных видов (28,6 %), на третьем месте пойменно-прибрежные виды (21,5%). В населении лидировала группа эвритопных видов (33,3%), а группа лугово-степных видов находилась на втором месте с показателем 30%. В фауне травянистого участка Lyg 1 лугово-степная группа и пойменно-прибрежная группа имели одинаковое значение, по 33,3%. В населении резко преобладает лугово-степная группа (54,6%), а группа пойменно-прибрежных видов занимала только второе место с показателем 22,8%. В фауне влажного участка с травянистой растительностью ML1 преобладали пойменно-прибрежные виды (40%), а на втором месте находилась лугово-степная группа (26,6%). В населении преобладали пойменно-прибрежные виды (71,9%); на втором месте были лугово-степные виды (19,6%). В фауне травянистого участка Lyg 2 резко преобладали лугово-степная группа (55,0%), на втором месте находилась эвритопная группа (20%). В населении преобладала лугово-степная группа (72,5%), на второе место выходит группа лесных видов (16,7%). На травянистом участке с присутствием облепихи и ивы Obl в фауне преобладали лугово-степные виды жужелиц (34,8%), а на втором месте луговые виды (21,7%). В населении преобладали представители лугово-степных видов (62%), а на второе место вышли лесные виды с показателем 23%. В целом можно отметить, что для нерекультивированных участков характерно доминирование лугово-степных видов, с большой долей эвритопных и пойменно-прибрежных видов. Для рекультивированных участков характерно доминирование лугово-степных видов, при этом доля эвритопных и пойменно-прибрежных видов здесь значительно меньше, за исключением влажного участка, где доминировали пойменно-прибрежные виды.



**Рисунок 3.** Соотношение экологических групп жуслиц: а – по числу видов, б – по суммарной динамической плотности. Обозначения биотопов, как в таблице 1.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За девять лет самозарастания золоотвала на его территории образовались сообщества жуслиц с большим видовым богатством и высокой численностью. Эти сообщества существенно отличаются от ненарушенных биоценозов, расположенных по соседству с золоотвалом и выбранных для сравнения. На участках золоотвала обнаружено 60 видов жуслиц, при этом на рекультивированных участках отмечено 48 видов, а на нереккультивированных – 35 видов. Обилие жуслиц на рекультивированных участках почти в три раза больше, чем на нереккультивированных, 973 экземпляра, против 347. На контрольных участках отмечено 24 вида: в березовом колке отмечено 14 видов и на лугу 10 видов, 209 и 36 особей жуслиц соответственно. Видовой состав и плотность жуслиц увеличивались в ряду контроль – зольный материал – отсыпка ППП. Кластерный анализ показал, что участки золоотвала по фауне жуслиц разделяются на три группы: группа сухих нереккультивированных участков, группа сухих рекультивированных участков и группа участков с переувлажнением. В фауне жуслиц нарушенных территорий преобладают виды лугово-степной группы, велика доля эвритопных и прибрежных видов. В населении нарушенных территорий наиболее многочисленны представители лугово-степной группы, второе место занимали представители пойменно-прибрежной группы.

Почвенный покров исследуемого золоотвала представлен инициальным, органо-аккумулятивным, дерновым и гумусово-аккумулятивным эмбриоземами. Они характеризуются разной степенью накопления и разложения растительного опада и как следствие отсутствием или наличием формирующегося гумусового горизонта. Представленная карта-схема показывает, что почвенный покров в каждой из зон катены при отсыпке ППП однороден, в то время как на зольном материале наблюдается некоторая мозаичность. При этом за одинаковый период времени на территории секции 2 сформировались типы эмбриоземов более высокого эволюционного порядка.

Проведение технического этапа рекультивации с применением потенциально плодородных пород или плодородного слоя почв, позволяет значительно ускорить развитие почвенного покрова и биогеоценозов в целом при естественном самозарастании.

### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева С.Г. *Гигиеническая оценка золошлаковых отходов, образующихся при сжигании углей Канско-Ачинского бассейна*. Автореф. дисс. ... к.м.н. Кемерово, 2006. 21 с.
2. *Важенина Н.В., Сергеева Е.В.* Структура и динамика населения жуслиц (*Coleoptera, Carabidae*) поймы Нижнего Иртыша // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2018. №43. С.111 – 135. DOI: [10.17223/19988591/43/6](https://doi.org/10.17223/19988591/43/6)
3. *Воронин А.Г., Чумаков Л.Н.* Распределение жуслиц (*Coleoptera, Carabidae*) различных экологических групп по лесолуговому экотону // *Экология*. 2015. №6. С.470 – 472.
4. *ГОСТ 28268-89*. Почвы. Методы определения влажности, гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. 2005. 8 с.
5. *Гурина И.В.* Зависимость продуктивности травосмеси на золоотвале от минерального питания // *Природообустройство*. 2014. №1. С.23 – 25.

6. Дудко Р.Ю., Самбыла Ч.Н. Высокогорная фауна жужелиц (Coleoptera, Carabidae) восточно-тувинского нагорья // *Евразийский энтомологический журнал*. 2005. Т.4. №3. С.209 – 218.
7. Классификация и диагностика почв СССР / Составители: В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розова, В.А. Носин, Т.А. Фриев. М.: Колос, 1977. 224 с.
8. Константинов А.О., Новоселов А.А., Лойко С.В. Особенности процессов почвообразования на участках самозарастающих золоотвалов твердотопливной теплоэлектро станции // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2018. № 43. С.6 – 24. DOI: [10.17223/19988591/43/1](https://doi.org/10.17223/19988591/43/1)
9. Курачев В. М., Андроханов В. А. Классификация почв техногенных ландшафтов // *Сибирский экологический журнал*. 2002. №3. С.255 – 262.
10. Лузянин С.Л., Дудко Р.Ю., Беспалов А.Н., Еремеева Н.И. Биоразнообразие жужелиц (Coleoptera, Carabidae) на отвалах угольных разрезов Кузбасса // *Евразийский энтомологический журнал*. 2015. Т.14. № 5. С. 455–467.
11. Мэгарран Э. *Экологическое разнообразие и его измерение*. М.: Мир, 1992. 161 с.
12. Наумова Н.Б., Беланов И.П., Аликина Т.Ю. Таксономическое разнообразие бактериального ансамбля в эмбриоземе самозарастающего золоотвала // *Почвы и окружающая среда*. 2019. Т.2. № 3. e84. DOI: [10.31251/pos.v2i3.84](https://doi.org/10.31251/pos.v2i3.84)
13. Новгородова Т.А. Мирмекофауна золоотвала ТЭЦ-5 г. Новосибирска на начальных этапах самозарастания. // *Евразийский энтомологический журнал*. 2018. Т.17. № 5. С.340 – 344.
14. Носков А.С., Савинкина М.А., Анищенко Л.Я. *Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1990. 178 с.
15. Полчанинова Н.Ю., Фороцук П.В. Первые сведения о населении пауков (Araneae) рекультивированных золоотвалов (Луганская ТЭЦ, Украина) // *Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета им. Богдана Хмельницкого*. 2013. № 3(9). С.238-249.
16. Фасулати К.К. *Полевые изучения наземных беспозвоночных*. М.: Высшая школа, 1971. 424 с.
17. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // *Palaeontologia Electronica*. 2001. Vol.4. Iss.1. P.9.
18. Haynes R.J. Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites – Challenges and research needs // *Journal of Environmental Management*. 2009. Vol.90. Is.1. P.43 – 53. DOI: [10.1016/j.jenvman.2008.07.003](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.003)
19. *IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps (2015) update 2015. World Soil Resources Reports*. Rome: FAO.
20. Koivula M.J. Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) reflecting environmental conditions // *ZooKeys*. 2011. №. 100. P. 287–317. DOI: [10.3897/zookeys.100.1533](https://doi.org/10.3897/zookeys.100.1533)
21. Maiti D., Prasad B. Revegetation of fly ash – a review with emphasis on grass-legume plantation and bioaccumulation of metals // *Applied ecology and environmental research*. 2016. V.14 №2. P.185 – 212. DOI: [10.15666/aecer/1402\\_185212](https://doi.org/10.15666/aecer/1402_185212)
22. Sheremet N., Belanov I., Doronkin V., Lamanova T., Naumova N. Biogeocenosis development during initial revegetation of a coal combustion ash dump. BIO Web of Conferences // *Pros. Development and Challenges of Modern Botany*. 2018. V.11. N00038. DOI: [10.1051/bioconf/20181100038](https://doi.org/10.1051/bioconf/20181100038)
23. Veselov F.V., Khorshev A.A., Erokhina I.V., Alikin R.O. Economic Challenges For Coal-Fired Power Plants In Russia And Around The World // *Power Technology and Engineering*. 2019. Vol. 53. № 3. P. 324-330. DOI: [10.1007/s10749-019-01079-9](https://doi.org/10.1007/s10749-019-01079-9)

Поступила в редакцию 16.03.2021

Принята 14.05.2021

Опубликована 17.05.2021

#### Сведения об авторах:

**Беспалов Алексей Николаевич** - к.б.н., научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); [bespalov@issa-siberia.ru](mailto:bespalov@issa-siberia.ru)

**Беланов Иван Петрович** - к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); [belanov@issa-siberia.ru](mailto:belanov@issa-siberia.ru)

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

**GROUND BEETLE (*COLEOPTERA*, *CARABIDAE*) COMMUNITIES AS NATURAL INDICATORS OF ECOSYSTEM RESTORATION ON THE TERMINATED FLY ASH DUMP OF THE THERMOELECTRIC POWER STATION (NOVOSIBIRSK, RUSSIA)**

© 2021 A. N. Bepalov , I. P. Belanov 

Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: [bepalov@issa-siberia.ru](mailto:bepalov@issa-siberia.ru)

**The aim of the study.** The aim of the study was to reveal regularities in the development of ground beetles (*Coleoptera*, *Carabidae*)' communities, to determine their species peculiarities as dependent on soil formation rate and soil ecology in the ecosystems developed on the terminated fly ash dump of the thermoelectric power station over nine years of restoration.

**Location and time of the study.** The main object of the study was a terminated fly ash dump No.1 of the thermoelectric power station No.5 in Novosibirsk, Russia. (54°59' NL, , 83°03' EL). Soil samples were collected in 2019, whereas the ground beetles were collected in 2017 and 2019.

**Methodology.** Six study sites, corresponding to the fly ash dump sedimentation zones, were chosen. The undisturbed white birch forest and clover-brome meadow were chosen as controls representing mature climax ecosystems. Soil cover, developing on the fly ash dump after its termination, was described according to the soil classification of technogenic landscapes, and was shown to consist of various types of embryozems (*Technosols*). Soil water content on each study site was measured in 0–5cm layer by gravimetric method. Soil samples were collected in May 2019. To collect ground beetles five traps were placed on each study site, each trap filled up to 1/3 of its volume with 4% acetic acid for fixing the trapped beetles. The beetles were collected in May–June 2017 and in June–July 2019. The data obtained were used to calculate  $\alpha$ -biodiversity indices and perform cluster analysis using PAST v.3.09 software.

**Main results.** Altogether 74 species of the ground beetle we found: 60 species of ground beetles were identified in the revegetating fly ash dump areas, with 48 species found at the sites amended with potentially fertile substrate (PFS), and 35 species found at the sites without PFS addition. The control sites under birch forest and meadow had 14 and 10 species, respectively. Thus the ground beetles' abundance in the reclaimed area was almost 3 times greater than in the non-reclaimed area (973 specimens vs. 347). Cluster analysis discriminated three groups in the studied fly ash dump sites, namely dry non-reclaimed sites, dry PFS sites and moist sites. Soil cover of the studied fly ash dump was represented by initial, organic matter accumulating, humus-accumulating and sod embryozems (*Technosols*).

**Conclusion.** Over nine years of spontaneous restoration at the terminated fly ash dump of the thermoelectric power station species rich and abundant communities of ground beetles were formed. These communities differed significantly from those at the adjacent undisturbed climax ecosystems used for comparison. Species richness and dynamic density of ground beetles was shown to increase from the control sites to non-reclaimed sites and PFS-reclaimed sites. The autonomous position in the catena was found to be occupied by the less evolutionary developed embryozem type, whereas downwards along the catena, i.e. with increasing soil moisture content, identified soil types belonged to higher evolutionary order. Therefore technical recultivation with fly ash dump overlaying with potentially fertile substrate or fertile soil allow accelerating soil cover development, as well as the development of an entire biogeocenosis.

**Key words:** thermoelectric power station; soil formation processes; mesofauna; *Technosols*; spontaneous restoration

**How to cite:** Bepalov A.N., Belanov I.P. Ground beetle (*Coleoptera*, *Carabidae*) communities as natural indicators of ecosystem restoration on the terminated fly ash dump of the thermoelectric power station (Novosibirsk, Russia) // *The Journal of Soils and Environment*. 2020. 3(4). e132. doi: [10.31251/pos.v3i4.132](https://doi.org/10.31251/pos.v3i4.132) (in Russian with an English abstract).

## REFERENCES

1. Andreeva S. G. Hygienic assessment of ash and slag waste generated during coal burning in the Kansk-Achinsk basin, Abstract of Dissertation ... Cand. Of Medical Sci. in Biology. Kemerovo, 2006, 21 p. (in Russian)
2. Vazhenina N. V., Sergeeva E. V. Structure and dynamics of the population of ground beetles (*Coleoptera*, *Carabidae*) in the floodplain of the Lower Irtysh, *Bull. of Tomsk State University. Biology*, 2018, No 43. p. 111–135. DOI: [10.17223/19988591/43/6](https://doi.org/10.17223/19988591/43/6) (in Russian)
3. Voronin A. G., Chumakov L. N. Distribution of ground beetles (*Coleoptera*, *Carabidae*) of various ecological groups in the forest-meadow ecotone, *Ecology*, 2015, No 6. p.470-472 (in Russian)
4. GOST 28268-89 Soil. Methods for determining humidity, hygroscopic humidity and humidity of sustainable wilting of plants. 2005. 8 p. (in Russian)

5. Gurina I. V. Dependence of the productivity of the grass mixture on the ash dump on mineral nutrition, *Nature management*, 2014, No 1. p. 23-25. (in Russian)
6. Dudko R. Yu., Sambyla Ch. N. High-mountain fauna of ground beetles (*Coleoptera, Carabidae*) of the East Tuva highlands, *Euroasian Entomological Journal*, 2005, Vol. 4, No 3. p. 209-218 (in Russian)
7. *Classification and diagnostics of soils of the USSR*. Moscow, Kolos Publ., 1977, 224 p. (in Russian)
8. Konstantinov A. O., Novoselov A. A., Loiko S. V. Features of soil formation processes in the areas of self-infesting ash dumps of a solid-fuel thermal power plant, *Bull. of Tomsk State University. Biology*, 2018, No. 43, p. 6-24. DOI: [10.17223/19988591/43/1](https://doi.org/10.17223/19988591/43/1) (in Russian)
9. Kurachev V.M., Androkhanov V.A. Classification of soils of technogenic landscapes, *Contemporary Problems of Ecology*, 2002, No 3. p. 255–262 (in Russian)
10. Luzyanin S.L., Dudko R.Yu., Bepalov A.N., Ereemeva N.I. Biodiversity of carabids (*Coleoptera, Carabidae*) on coal mining dumps of Kuzbass region, Kemerovskaya oblast", Russia, *Euroasian Entomological Journal*, 2015, Vol.14, No. 5, p. 625–628 (in Russian)
11. Megarran E. *Ecological diversity and its measurement*. Moscow, Mir Publ., 1992, 161 p. (in Russian).
12. Naumova N.B., Belanov I.P., Alikina T.Y. Taxonomic diversity of bacterial assemblage in Technosol of the revegetating fly ash dump, *The Journal of Soils and Environment*, 2019, Vol.2, Iss.3., e84. DOI: [10.31251/pos.v2i3.84](https://doi.org/10.31251/pos.v2i3.84) (in Russian with an English abstract)
13. Novgorodova T.A. Myrmecofauna of ash dump of the Novosibirsk combined heat and power plant (CHPP-5) at the initial stages of self-revegetation, *Euroasian Entomological Journal*, 2018, Vol. 17, No 5. p. 340-344 (in Russian)
14. Noskov A. S., Savinkina M. A., Anishchenko L. Ya. *The impact of TPP on the environment and ways to reduce the damage caused*. Novosibirsk, SB RAS Publ., 1990, 178 p. (in Russian)
15. Polchaninova N. Yu., Foroshchuk P. V. The first data on the population of spiders (Araneae) of recultivated ash dumps (Luhansk TPP, Ukraine), *Biological Bulletin of the Melitopol State Pedagogical University. Bogdan Khmelnytsky*, 2013, No 3(9). p. 238-249. (in Russian)
16. Fasulati K. K. *Field studies of terrestrial invertebrates*. Moscow, Higher School Publ., 1971, 424 p. (in Russian)
17. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis, *Palaeontologia Electronica*, 2001, 4(1), p.9.
18. Haynes R.J. Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites – Challenges and research needs, *J. Environ. Manage*, 2009, Vol. 90, No1. p. 43-53. DOI: [10.1016/j.jenvman.2008.07.003](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.003)
19. *IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps (2015) World Soil Resources Reports*. Rome: FAO.
20. Koivula M.J. Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (*Coleoptera, Carabidae*) reflecting environmental conditions, *ZooKeys*, 2011, No 100. p. 287–317. DOI: [10.3897/zookeys.100.1533](https://doi.org/10.3897/zookeys.100.1533)
21. Maiti D., Prasad B. Revegetation of fly ash – a review with emphasis on grass-legume plantation and bioaccumulation of metals, *Applied ecology and environmental research*, 2016, Vol.14, No 2. p.185-212. DOI: [10.15666/aecer/1402\\_185212](https://doi.org/10.15666/aecer/1402_185212)
22. Sheremet N., Belanov I., Doronkin V., Lamanova T., Naumova N. Biogeocenosis development during initial revegetation of a coal combustion ash dump. BIO Web of Conferences, *Pros. Development and Challenges of Modern Botany*, 2018, Vol.11, N00038. DOI: [10.1051/bioconf/20181100038](https://doi.org/10.1051/bioconf/20181100038)
24. Veselov F.V., Khorshev A.A., Erokhina I.V., Alikin R.O. Economic Challenges For Coal-Fired Power Plants In Russia And Around The World, *Power Technology and Engineering*, 2019, Vol. 53, No 3. p. 324-330. DOI: [10.1007/s10749-019-01079-9](https://doi.org/10.1007/s10749-019-01079-9)

Received 16 April 2021

Accepted 14 May 2021

Published 17 May 2021

**About the authors:**

**Bepalov Alexey N.** – Candidate of Biological Sciences, Researcher in the Laboratory of Recultivation of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [bepalov@issa-siberia.ru](mailto:bepalov@issa-siberia.ru)

**Belanov Ivan P.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Recultivation of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [belanov@issa-siberia.ru](mailto:belanov@issa-siberia.ru)

*The authors read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)