

Сообщества почвенных микроартропод (Acari, Collembola) золоотвалов ТЭЦ в условиях разной степени консервации

Н. В. ВЛАДИМИРОВА¹, И. И. МАРЧЕНКО¹, И. П. БЕЛАНОВ², Т. А. НОВГОРДОВА¹

¹Институт систематики и экологии животных СО РАН
630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 11
E-mail: nv-vlad@yandex.ru

²Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 8/2

Статья поступила 12.05.2020

После доработки 09.06.2020

Принята к печати 19.06.2020

АННОТАЦИЯ

Исследованы особенности состава и структуры сообществ почвенных микроартропод, сформировавшихся на начальных этапах самозарастания золоотвалов ТЭЦ в условиях разной степени консервации. Исследование проводилось в 2017 г. на золоотвале ТЭЦ-5 г. Новосибирска (55°00' с. ш., 83°04' в. д.), состоящем из двух секций – нерекультивированной (S1) и рекультивированной (S2) путем отсыпки золошлаков потенциально плодородными породами. В качестве контроля использован участок прилегающего к золоотвалу березового леса. Сбор материала проводился в разных по степени увлажнения зонах золоотвала (по три в каждой секции) и в контроле (всего 7 участков). Сообщества микроартропод включали клещей (Mesostigmata, Oribatida, Prostigmata) и ногохвосток (Collembola). Плотность населения всех групп микроартропод в целом на территории обеих секций золоотвала оказалась значительно ниже, чем в контроле, при этом между секциями золоотвала значимых различий не обнаружено. Влияние рекультивации выявлено только для клещей, при этом наиболее чувствительными оказались представители Oribatida. На S1 значимых различий в доле участия разных групп в сообществе не обнаружено. На S2 и в контроле ведущее место занимали Oribatida. На примере модельных групп Oribatida и Mesostigmata показано, что на золоотвале формируется бедное в видовом отношении сообщество широко распространенных видов при высокой степени доминирования отдельных из них. Oribatida могут служить хорошим биоиндикатором для оценки состояния почвы в ходе восстановительных сукцессий на золоотвалах ТЭЦ.

Ключевые слова: нарушенные территории, золоотвалы ТЭЦ, восстановительная сукцессия, почвенные микроартроподы, Oribatida, Mesostigmata, структура сообществ.

Микроартроподы – одна из наиболее многочисленных и разнообразных групп почвенных беспозвоночных. Они играют существенную роль в почвообразовании, ускоряя процессы разложения и гумификации органических остатков [A manual of acarology, 2009]. Благодаря своей чувствительности к любым

формам антропогенного воздействия на среду обитания, микроартроподы служат хорошим биоиндикатором состояния почвенного покрова [van Straalen, 1998; Gulvik, 2007; Кузнецова, 2009; Dunger, Voigtländer, 2009; Lehmitz et al., 2020]. Это активно используется для оценки степени и темпов восстанов-

ления биоценозов в ходе регенерации нарушенных территорий [Scubala, 2002; Scubala, Gulvik, 2005; Штирц, 2015; Вершинина, Козлов, 2019]. В частности, достаточно подробно изучены особенности структуры сообществ микроартропод, формирующиеся в ходе сукцессии на угольных разрезах [Бабенко, 1980; Стебаева, Андриевский, 1997; Рябинин, Паньков, 2009; Мордкович и др., 2014; Madej, Kozub, 2014].

Среди техногенных объектов особое место занимают золоотвалы ТЭЦ, которые служат для сбора и консервации золошлаков, образующихся при работе теплоэлектростанции. Выработавшие свою емкость старые золоотвалы представляют собой техногенную пустыню и являются потенциальным источником загрязнения окружающей среды, включая воздушную среду и грунтовые воды [Haynes, 2009]. Локализация золоотвалов в черте города требует разработки эффективных способов их консервации, а также восстановления естественных биоценозов для предотвращения негативного влияния на здоровье человека [Juwarkar, Jambhulkar, 2008; Dobre, Cotiga, 2018]. Несмотря на высокую перспективность использования почвенных микроартропод в качестве биоиндикатора для оценки темпов регенерации подобных территорий, работы, посвященные сообществам микроартропод, формирующимся на золоотвалах в ходе восстановительной сукцессии, до сих пор остаются единичными [Bielska, 1995]. Цель данной работы – исследовать особенности состава и структуры сообществ почвенных микроартропод, которые формируются на территории старого золоотвала в ходе восстановительной сукцессии при самозарастании в условиях разной степени консервации и увлажнения грунта.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в июле 2017 г. на золоотвале ТЭЦ-5 г. Новосибирска (55°00' с. ш., 83°04' в. д.). Данный объект оказался идеальным модельным полигоном для проведения подобного рода исследований. Его уникальность заключается в том, что золоотвал состоит из двух секций (S1 – около 17,7 га, S2 – около 23,7 га), разделенных дамбой и представляющих собой территории с разной степе-

нью консервации золошлаков (рис. 1). Секция S1 не подвергалась рекультивации, материнская порода представлена зольным материалом. Поверхность секции S2 в зимний период 2010 г. была отсыпана потенциально плодородными породами (ППП), в частности лессовидным суглинком мощностью от 30 до 60 см поверх золошлакового материала, а также выложена с учетом изначального уклона, образованного при формировании золоотвала. До 2010 г. с момента прекращения эксплуатации данного золоотвала в 2008 г. для предотвращения пыления на его поверхности постоянно поддерживалось зеркало воды. Начиная с 2010 г. территория обеих секций была оставлена под самозарастание, и к началу проведения исследований на территории как S2, так и S1 сформировались разнообразные растительные сообщества.

В ходе эксплуатации техногенного объекта под влиянием гравитационных сил при осадении частиц поступающих золошлаков в каждой из секций сформировались три зоны седиментации (приустьевая, основная, ядерная), отличающиеся по степени увлажнения грунта (сухая, умеренно влажная и влажная соответственно) и растительным сообществом [Sheremet et al., 2018; Шеремет и др., 2019]. В каждой зоне обеих секций золоотвала заложено по одному рабочему участку площадью около 1 га каждый (всего 6 участков). В качестве контроля выбран участок в прилегающем к золоотвалу березовом лесу, поскольку именно данный тип биотопа ранее был характерен для большей части территории, отведенной под сооружения ТЭЦ-5. Почвенный покров территории золоотвала представлен эмбриозом инициальным и эмбриозом органоаккумулятивным в соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов [Курачев, Андроханов, 2002]. Почва контрольного участка характеризуется как серая лесная [Классификация..., 2004]. Влажность почвы в слое 0–5 см определяли термовесовым методом [ГОСТ 28268–89]. Краткая характеристика рабочих участков приведена в табл. 1.

На каждом из семи рабочих участков сбор материала проводился на трех площадках (10 × 10 м). В зависимости от степени однородности условий на каждой площадке брали по 3–4 пробы (в целом по 10 на каждом из выбранных участков золоотвала и в кон-



Рис. 1. Карта-схема расположения секций и разных по степени увлажнения зон золоотвала ТЭЦ-5 г. Новосибирска. Секции: S1 – нерекультивированная, S2 – рекультивированная. Зоны: 1 – сухая, 2 – умеренно-влажная, 3 – влажная

троле). Сбор материала, выгонка микроартропод из проб и их фиксация осуществлены по стандартным методикам [Криволицкий, 1975]. Пробы подстилки и почвы брали цилиндрическим буром на глубину 5 см, объемом 0,125 дм³. Всего собрано 70 проб, извлечено более 3000 экз. почвенных беспозвоночных, включая клещей (1880 экз.) и ногохвосток (1150 экз.). Плотность населения микроартропод пересчитывалась на 1 м² исходя из площади пробоотборника. В качестве основных модельных объектов выбраны почвенные клещи Oribatida и Mesostigmata. Для определения имago клещей изготавливали постоянные препараты, в качестве фиксатора использовали жидкость Фора – Берлеза.

Общая система микроартропод приведена по G. W. Krantz, D. E. Walter [A manual of acarology, 2009] и Z.-Q. Zhang [2011]. Таксономи-

ческий список видов Oribatida и Mesostigmata составлен в соответствии с принятыми в настоящее время системами [Weigmann, 2006; Norton, Behan-Pelletier, 2009; Lindquist et al., 2009; Beaulieu et al., 2011; Schatz et al., 2011; Norton, Ermilov, 2014; Subias, 2020]. Материалы хранятся в коллекции Сибирского зоологического музея ИСиЭЖ СО РАН (Новосибирск).

При оценке таксономического состава почвенных микроартропод и структуры сообществ Oribatida и Mesostigmata на территории золоотвала использовали следующие параметры: плотность населения (суммарное обилие, экз./м²), общее число видов (видовое богатство). Структура доминирования в сообществах оценивалась по шкале Г. Энгельманна [Engelmann, 1978]: эудоминант (>40 % от общего числа всех собранных особей), доминант (12,5–39,9 %), субдоминант (4,0–12,4 %), ре-

Т а б л и ц а 1

Характеристика рабочих участков (РУ) в разных зонах нерекультивированной (S1) и рекультивированной (S2) секций золотвала ТЭЦ (1 – сухая, 2 – умеренно-влажная, 3 – влажная) и в контроле (С)

РУ	Растительное сообщество по данным Н. Шеремет с соавторами [Sheremet et al., 2018; Шеремет и др., 2019]					Почва, ВЛ, %
	Тип	ПП, %	ВТ, см	Травянистые растения (доминанты)	Древесные растения	Примечание
S1-1	Разнотравно-вейниковое с облепихой	5	40	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth., <i>Artemisia integrifolia</i> L., <i>A. vulgaris</i> L., <i>Tarritis glabra</i> L., <i>Melilotus albus</i> Medic.	<i>Hierophaea rhamnoides</i> L., <i>Populus italica</i> (Du Roi) Moench	Мхи занимают около 80 % территории, доминируют: <i>Leptobryum pyriforme</i> (Hedw.) Wils., <i>Bryum</i> sp.
S1-2	Доннико-вейниковое	90–100	90	<i>C. epigeios</i> , <i>M. albus</i>	<i>H. rhamnoides</i>	Мхи: <i>Barbula unguiculata</i> Hedw., <i>Bryum</i> cf. <i>caespiticium</i> Hedw., <i>Ditrichum pusillum</i> (Hedw.) Hampe
S1-3	Тростниково-вейниковое	50	110	<i>C. epigeios</i> , <i>Agrostis gigantea</i> Roth.	<i>Salix caprea</i> L., <i>S. viminalis</i> L.	Подвержен затоплению: отмечены гидрофиты – <i>Typha laxmannii</i> Lepech., <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.
S2-1	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 dracunculula</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>	Самый богатый видовой состав. Мхи: <i>Brachythecium</i> sp.
S2-2	Разнотравно-бобово-злаковое с кустарниками 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>	Мхи: <i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid., <i>Bryum</i> sp., <i>Brachythecium</i> sp.
S2-3	Клеверополевцевое	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>	Подвержен затоплению: отмечен <i>T. laxmannii</i> Мхи: <i>Bryum caespiticium</i> Hedw., <i>L. pyriforme</i> , <i>B. unguiculata</i>
С	Березовый лес со злаково-снотравным 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>	Мхи: <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.

П р и м е ч а н и е. ПП – проективное покрытие; ВТ – высота травостоя; ВЛ – влажность грунта в слое 0–5 см.

цедент (1,3–3,9 %), субрецидент (<1,3 %). Для определения степени сходства населения почвенных клещей отдельных секций и зон золоотвала между собой и с контролем использовался коэффициент Жаккара (%).

Статистическую обработку материала осуществляли с помощью пакетов STATISTICA v.8.0.725 и Microsoft Excel. Распределение изучаемых параметров отличалось от нормального (критерий Шапиро – Уилка, $p < 0,05$), поэтому при оценке влияния различных факторов на плотность населения микроартропод использовали непараметрические критерии. Оценку влияния рекультивации (отсыпка ППП) на плотность населения микроартропод и структуру их сообществ (доля отдельных групп) в разных секциях золоотвала и контроле проводили с помощью критерия Краскела – Уоллиса. При наличии значимых различий проводили попарное сравнение групп с помощью критерия Манна – Уитни с поправкой Бонферрони. Для сравнительного анализа плотности населения микроартропод и структуры сообществ в разных по степени увлажнения грунта зонах на территории обеих секций золоотвала использован аналогичный подход.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Плотность населения микроартропод.

В ходе исследования в пробах выявлены представители четырех групп микроартропод: клещей (*Mesostigmata*, *Oribatida*, *Prostigmata*) и ногохвосток (*Collembola*). В контроле микроартроподы были распределены достаточно равномерно: значимых различий в плотности их населения на различных площадках не выявлено (критерий Краскела – Уоллиса: микроартроподы, $H(df = 2, N = 10) = 4,41$, $p = 0,11$; *Oribatida*, $H(2, N = 10) = 0,16$, $p = 0,92$; *Mesostigmata*, $H(2, N = 10) = 3,95$, $p = 0,14$; *Prostigmata*, $H(2, N = 10) = 2,44$, $p = 0,3$; *Collembola*, $H(2, N = 10) = 4,53$, $p = 0,1$). Это позволило при дальнейшем анализе для контроля объединить данные всех площадок и использовать единую выборку. Плотность населения микроартропод на территории обеих секций золоотвала оказалась значительно ниже, чем в контроле (рис. 2). Несмотря на небольшое увеличение на территории рекультивированной секции (S2) по сравнению с нереккультивированной (S1),

значимых различий между секциями золоотвала не обнаружено (критерий Манна – Уитни: $U = 31,5$, $p = 0,43$).

В ходе сравнительного анализа данных по отдельным группам значимые различия были выявлены только для клещей (см. рис. 2). Наиболее чувствительными оказались *Oribatida*: отмечено значительное увеличение плотности населения в направлении от S1 к S2 и далее к контролю (см. рис. 2). У представителей *Mesostigmata* существенные различия для обеих секций золоотвала выявлены только с контролем. Для *Prostigmata* ситуация обратная: плотность населения на золоотвале оказалась выше, чем в контроле, при этом значимые различия выявлены только для S2 (см. рис. 2). Ногохвостки (*Collembola*) на исследованных рабочих участках были распределены крайне неравномерно, значимых различий в плотности их населения на золоотвале и в контроле не выявлено (критерий Краскела – Уоллиса: $H(2, N = 28) = 1,58$, $p = 0,46$).

Структура сообществ (соотношение разных групп) микроартропод в разных секциях золоотвала существенно отличалась: секция S2 оказалась более близка к контролю (рис. 3). На S1 значимых различий в долевом участии разных групп не обнаружено, однако на уровне тенденции преобладали ногохвостки (критерий Краскела – Уоллиса: $H(3, N = 36) = 6,44$, $p = 0,09$). На S2 и в контроле ведущее место в сообществе занимали *Oribatida* (см. рис. 3).

В разных зонах золоотвала микроартроподы распределены неравномерно. Однако имеющийся материал позволяет говорить о различиях только на уровне тенденции. На территории S1 наиболее высокое суммарное обилие микроартропод отмечено во влажной зоне (критерий Краскела – Уоллиса: $H(2, N = 9) = 5,6$, $p = 0,06$). У доминирующих на S1 групп – *Collembola* и *Oribatida* – наиболее высокая плотность характерна для влажной зоны (критерий Краскела – Уоллиса: $H(2, N = 9) = 5,79$, $p = 0,06$). *Prostigmata* предпочитали сухую и влажную зону (критерий Краскела – Уоллиса: $H(2, N = 9) = 6,49$, $p = 0,04$), однако при попарных сравнениях значимых отличий выявить не удалось (критерий Манна – Уитни, $p > 0,017$). На S2 существенных различий в суммарном обилии микроартропод между зонами не выявлено

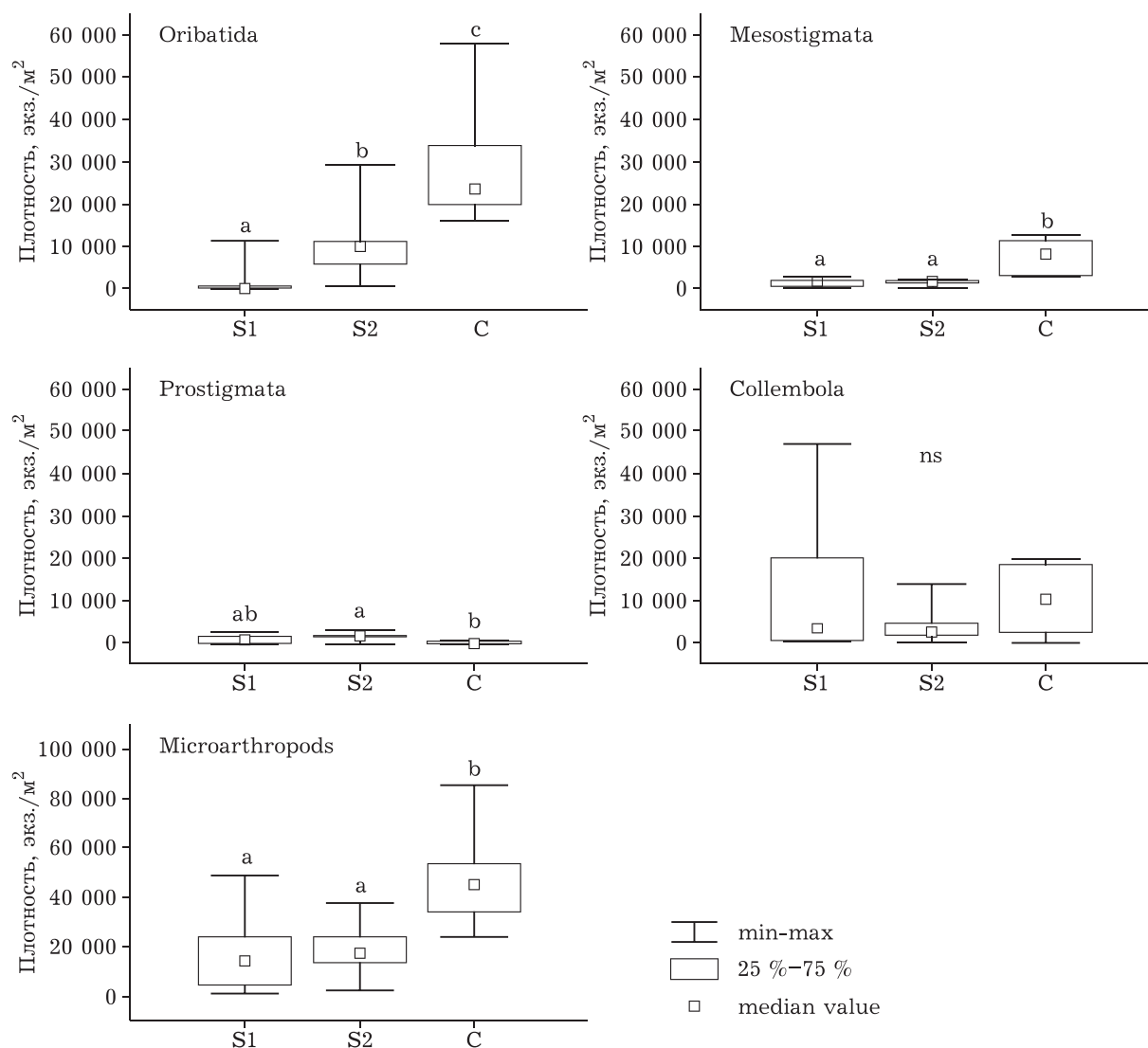


Рис. 2. Плотность населения микроартропод в разных секциях золоотвала ТЭЦ-5 г. Новосибирска и контроле (С). Секции: S1 – нерекультивированная, S2 – рекультивированная. Критерий Краскела – Уоллиса: ns – значимых различий нет, $p > 0,05$. Критерий Манна – Уитни с поправкой Бонферрони: разными буквами обозначены значимые различия, $p < 0,017$

(критерий Краскела – Уоллиса: $H(2, N = 9) = 2,4$, $p = 0,3$). Аналогичная ситуация наблюдается и для большинства групп (критерий Краскела – Уоллиса: Oribatida, $H(2, N = 9) = 3,82$, $p = 0,15$; Prostigmata, $H(2, N = 9) = 4,51$, $p = 0,11$; Collembola, $H(2, N = 9) = 1,87$, $p = 0,39$). Исключением являются Mesostigmata, которые предпочитали сухую и влажную зону (критерий Краскела – Уоллиса: $H(2, N = 9) = 7,32$, $p = 0,03$), однако при попарных сравнениях значимых отличий не выявлено (критерий Манна – Уитни, $p > 0,017$).

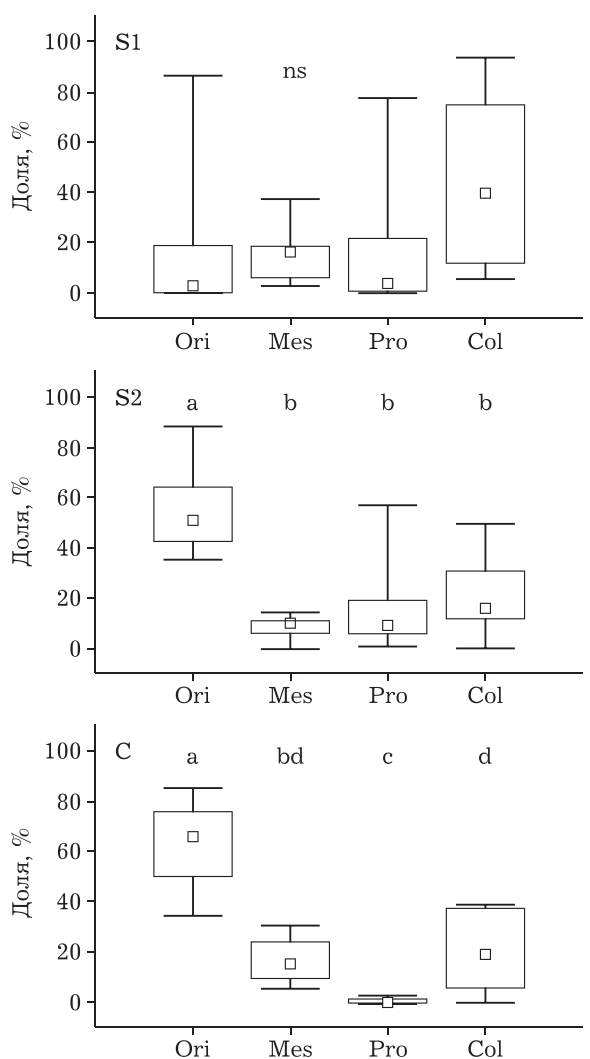
Таксономический состав и структура сообществ микроартропод. Oribatida. На исследованной территории отмечено 33 вида панцирных клещей из 30 родов и 21 семейства (табл. 2). Наиболее богаты видами семейства Oribiidae (4 вида), Damaeidae и Galumnidae (по 3 вида). Все остальные семейства включали по 1–2 вида. Большинство родов представлены одним видом и только три рода (Suctobelbella, Punctoribates, Galumna) включали по 2 вида.

На территории нерекультивированной секции (S1) золоотвала отмечено 9 видов ори-

батид из 9 родов и 8 семейств (см. табл. 2). Доминировали виды-эврибионты с широкой экологической пластичностью: *Oppeilla nova* (Oudemans, 1902) – 80,1 % (эудоминант) и *Tectocephus velatus* (Michael, 1880) – 11,3 % (субдоминант). Отмечено 7 общих с контролем видов (см. табл. 2). В разных зонах S1 сообщества орибатид включали от 1 до 8 видов, при этом наибольшее число видов отмечено в умеренно-влажной зоне (см. табл. 2). В сухой зоне господствовал один эврибионтный вид: *O. nova* – 100 % (эудоминант). В умеренно-влажной и влажной зонах *O. nova* также был в большинстве (80,6 и 50 % соответственно). Кроме того, во влажной зоне в число доминантов входили *Moritzopria praestans* (Gordeeva et Grishina, 1991) и *Suctobelbella* sp. 1 – по 25 % соответственно.

На территории рекультивированной секции (S2) зооотвала отмечено 16 видов орибатид из 15 родов и 11 семейств (см. табл. 2). Доминировали: *T. velatus* – 45,4 % (эудоминант), *Punctoribates hexagonus* Berlese, 1908 – 25,5 % и *O. nova* – 22,2 % (доминанты). Отмечено 9 общих с контролем видов (см. табл. 2). В разных зонах S2 сообщества орибатид включали от 4 до 13 видов, при этом наибольшее число видов отмечено в умеренно-влажной зоне (см. табл. 2). Во всех зонах доминировало по 2 вида, большинство из которых эврибионты. В сухой и умеренно-влажной зоне доминировали: *T. velatus* – 69,9 и 52,9 % (эудоминант) и *O. nova* – 27,3 и 14,4 % соответственно (доминант). Во влажной зоне *O. nova* также входил в число доминантов (17,4 %), однако эудоминантом являлся стенофильный гигрофил *P. hexagonus* – 81,6 %. Мезофильный вид *Scheloribates latipes* (C. L. Koch, 1844) отмечен в умеренно-влажной зоне лишь в числе субдоминантов (9,6 %). Также на зооотвале секции S2 отмечены единичные экземпляры видов ксерофилов – *Scutovertex sculptus* Michael, 1879 и *Tectoribates ornatus* (Schuster, 1958), которые, по-видимому, были занесены случайно при отсыпке зоошлаков ППП.

В контроле отмечено 25 видов из 23 родов и 17 семейств (см. табл. 2). К числу доминантов относятся 7 видов. Среди них отмечены виды как эврибионтные: *O. nova* – 27,3 % (доминант), *T. velatus* – 8,7 % и *Conchogneta traegardhi* (Forsslund, 1947) – 4,6 % (субдоминанты), так и типичные лесные мезофильные:



— min-max □ 25 %–75 % ◻ median value

Рис. 3. Доля разных групп микроартропод в разных секциях зооотвала ТЭЦ-5 г. Новосибирска и контроле (C). Секции: S1 – некультивированная, S2 – рекультивированная. Ori – Oribatida; Mes – Mesostigmata, Pro – Prostigmata, Col – Collembola. Критерий Краскела – Уоллиса: ns – значимых различий нет, $p > 0,05$. Критерий Манна – Уитни с поправкой Бонферрони: разными буквами обозначены значимые различия, $p < 0,008$

S. latipes – 17,8 % (доминант) и *Birsteinus perlongus* Krivolutsky, 1965 – 11,8 %, *Neoribates sibiricus* Vladimirova, 2009 – 7 % (субдоминанты). Более половины найденных здесь видов (13) оказались общими с территорией зооотвала (см. табл. 2).

Общими для обеих секций зооотвала и контроля были виды: *O. nova*, *Suctobelbella* sp. 1 и *T. velatus*. Двенадцать видов были найдены только на территории зооотвала (см. табл. 2).

Население панцирных и гамазовых клещей на территории нерекультивированной (S1) и рекультивированной (S2) секций золоотвала в разных по увлажнению зонах (1 – сухая, 2 – умеренно-влажная, 3 – влажная), и в контроле (С) с указанием обилия (экз./м²) и экологической группы (ЭГ)

Вид	S1			S2			С	ЭГ
	1	2	3	1	2	3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Oribatida								
<i>Palaeacarus kamenskii</i> (Zachvatkin, 1945)	–	255	–	–	–	–	–	М
<i>Rhysotritia ardua</i> (C. L. Koch, 1841)	–	–	–	–	102	–	153	Э
<i>Atropacarus striculus</i> (C. L. Koch, 1835)	–	–	–	–	–	–	356	М
<i>Gymnodamaeus bicostatus</i> (C. L. Koch, 1835)	–	–	–	–	–	–	51	М
<i>Belba compta</i> (Kulczynski, 1902)	–	–	–	–	–	–	1069	Э
<i>Damaeus (Epidamaeus) affinis</i> (B.-Z., 1957)	–	–	–	–	–	–	51	М
<i>Parabelbella elisabethae</i> B.-Z., 1967	–	–	–	–	–	–	356	Э
<i>Eremaeus</i> sp.	–	–	–	–	51	–	–	?
<i>Birsteinus perlongus</i> Krivolutsky, 1965	–	–	–	–	–	–	3512	Э
<i>Xenillus tegeocranus</i> (Hermann, 1804)	–	–	–	–	–	–	153	М
<i>Carabodes areolatus</i> Berlese, 1916	–	–	–	–	51	–	51	М
<i>Conchogneta traegardhi</i> (Forsslund, 1947)	–	51	–	–	–	–	1374	Э
<i>Berniniella bicarinata</i> (Paoli, 1908)	–	–	–	–	–	–	102	М
<i>Microppia minus</i> (Paoli, 1908)	–	–	–	102	–	–	255	М
<i>Oppiella nova</i> (Oudemans, 1902)	153	6108	102	4886	764	1832	8195	Э
<i>Moritzoppia praestans</i> (Gordeeva et Grishina, 1991)	–	–	51	–	–	–	102	М
<i>Quadroppia quadricarinata</i> (Michael, 1885)	–	–	–	–	102	–	–	Э
<i>Suctobelbella</i> sp. 1	–	102	51	51	458	51	1476	?
<i>Suctobelbella</i> sp. 2	–	–	–	–	–	–	407	?
<i>Tectocephus velatus</i> (Michael, 1880)	–	865	–	12521	2800	–	2596	Э
<i>Scutovertex sculptus</i> Michael, 1879	–	–	–	255	–	–	–	К
<i>Eupelops occultus</i> (C. L. Koch, 1835)	–	51	–	–	–	–	407	М
<i>Tectoribates ornatus</i> (Schuster, 1958)	–	–	–	–	204	51	–	К
<i>Neoribates sibiricus</i> Vladimirova, 2009	–	51	–	–	–	–	2087	М
<i>Liebstadia similis</i> (Michael, 1888)	–	–	–	–	–	–	916	Э
<i>Scheloribates latipes</i> (C. L. Koch, 1844)	–	–	–	102	509	–	5294	Э
<i>Ceratozetes sellnicki</i> Rajski, 1958	–	–	–	–	51	–	255	Э
<i>Lepidozetes conjunctus</i> (Schweizer, 1922)	–	–	–	–	–	–	255	М
<i>Punctoribates hexagonus</i> Berlese, 1908	–	–	–	–	–	8602	–	Г
<i>Punctoribates sphaericus</i> Shaldybina, 1987	–	51	–	–	51	–	–	М
<i>Galumna lanceata</i> (Oudemans, 1900)	–	–	–	–	–	–	356	М
<i>Galumna rossica</i> Sellnick, 1926	–	–	–	–	102	–	51	М
<i>Pergalumna nervosa</i> (Berlese, 1915)	–	–	–	–	51	–	–	М
Число видов	1	8	3	6	13	4	25	
Число видов / родов		9/9			16/15		25/23	
Суммарное обилие, экз./м²	153	7534	204	17917	5296	10536	29880	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mesostigmata								
<i>Discourella dubiosa</i> (Schweizer, 1961)	–	–	–	–	–	–	458	М
<i>Trachytes aegrota</i> (C. L. Koch, 1841)	–	–	–	–	–	–	2952	М
<i>Zercon</i> sp.	–	–	51	–	–	–	–	М
<i>Lysigamasus lapponicus</i> (Tragardh, 1910)	–	102	–	–	102	–	1069	М
<i>Lysigamasus misellus</i> (Berlese, 1903)	–	458	–	–	–	–	255	М
<i>Pergamasus crassipies</i> (Linnaeus, 1758)	–	51	–	–	–	51	51	М
<i>Pergamasus septentrionalis</i> Oudemans, 1902	–	51	–	–	–	–	51	М
<i>Phorytocarpais beta</i> (Oudemans et Voigts, 1904)	–	–	–	–	–	204	–	М
<i>Vulgarogamasus kraepelini</i> (Berlese, 1905)	–	–	–	–	–	–	204	М
<i>Veigaia exigua</i> (Berlese, 1916)	–	407	–	–	153	–	764	Э
<i>Veigaia nemorensis</i> (C. L. Koch, 1839)	–	–	–	–	51	–	204	М
<i>Dendrolaelaps</i> sp.	–	–	–	–	–	–	51	?
<i>Dendrolaelaspis</i> sp.	–	–	509	–	–	–	–	?
<i>Rhodacarellus silesiacus</i> Willmann, 1936	–	–	–	–	–	–	407	Э
<i>Antennoseius alexandrovi</i> Bregetova, 1977	–	–	–	51	–	–	–	М
<i>Antennoseius bullitus</i> Karg, 1961	–	–	–	–	–	–	51	М
<i>Antennoseius oudemansi</i> (Thor, 1930)	102	–	–	–	–	–	–	М
<i>Asca aphidioides</i> (Linnaeus, 1758)	–	51	–	–	–	–	–	Э
<i>Asca bicornis</i> (Canestrini et Fanzago, 1887)	51	–	–	1120	102	255	560	Э
<i>Asca nubes</i> Ishikawa, 1969	–	–	51	–	–	–	–	М
<i>Arctoseius cetratus</i> (Sellnick, 1940)	–	–	662	–	102	51	–	Э
<i>Gamasellodes bicolor</i> (Berlese, 1918)	–	–	–	–	–	–	51	Э
<i>Lasioseius youcefi</i> Athias-Henriot, 1959	458	–	102	–	–	51	–	М
<i>Leioseius naglischi</i> Karg, 1965	–	–	–	–	102	–	–	Э
<i>Blattisocius mali</i> (Oudemans, 1929)	102	–	–	–	153	–	–	М
<i>Cheiroseius necorniger</i> (Oudemans, 1903)	–	–	–	–	–	204	–	Г
<i>Cheiroseius nepalensis</i> (Evans et Hyatt, 1960)	–	–	407	–	–	560	–	Г
<i>Amblyseius</i> sp.	102	–	–	–	–	–	153	?
<i>Gaeolaelaps aculeifer</i> (Canestrini, 1883)	–	–	–	–	51	–	51	М
<i>Gaeolaelaps kargi</i> (Costa, 1968)	–	–	–	204	51	305	305	Э
<i>Gaeolaelaps noll</i> Karg, 1962	51	–	255	560	–	–	–	Э
Число видов	6	6	7	4	9	8	17	
Число видов / родов	17/13			16/12			17/13	
Суммарное обилие, экз./м²	866	1120	2037	1935	867	1681	7637	

П р и м е ч а н и е. Э – эврибионт, М – мезофил, К – ксерофил, Г – гигрофил.

Структура населения орибатид на S1 и S2 золоотвала и в контроле существенно отличалась, при этом к контролю наиболее близка секция S2 (28 %). Сходство населения орибатид, обитающих в разных зонах обеих секций золоотвала, с контролем варьировало от 4 %

(сухая зона S1) до 27 % (умеренно-влажная зона S2).

Mesostigmata. Всего обнаружен 31 вид гамазовых клещей, относящихся к 21 роду и 11 семействам (см. табл. 2). Наиболее богаты видами семейства Ascidae (10 видов) и Parasitidae

(6). Все остальные семейства включают по 1–3 вида. В отличие от Oribatida, у гамазовых клещей имеются роды с относительно широким набором видов: *Antennoseius*, *Asca* и *Gaeolaelaps* включали по 3 вида, *Lysigamasus*, *Pergamasus*, *Veigaia* и *Cheiroseius* – по 2.

На территории S1 отмечено 17 видов из 13 родов и 8 семейств (см. табл. 2). Сообщества отдельных зон включают от 6 до 7 видов. Общих доминантов не выявлено. В сухой зоне доминировал *Lasioseius youcefi* Athias-Henriot, 1959 – 52,8 %, в зоне с умеренным увлажнением грунта – *Lysigamasus misellus* (Berlese, 1903) – 40,8 % и *Veigaia exigua* (Berlese, 1916) – 36,3 %, во влажной зоне – 4 вида: *Arctoseius cetratus* (Sellnick, 1940) – 32,4 %, *Dendrolaelaspis* sp. – 25 %, *Cheiroseius nepalensis* (Evans et Hyatt, 1960) – 20 % и *Gaeolaelaps nolli* Karg, 1962 – 12,5 %. Сообщество гамазид нерекультивированной секции при переходе от сухой зоны к влажной превращается из монодоминантного в полидоминантное. Часть доминирующих видов можно отнести к эврибионтам, только два – *L. youcefi* и *L. misellus* – к мезофилам и *Ch. nepalensis* – к гигрофилам. Также на золоотвале нерекультивированной секции помимо перечисленных видов – пионеров почвенных сукцессий, отдельные виды встречаются в единичных экземплярах: *Zercon* sp., *Antennoseius oudemansi* (Thor, 1930), *Asca nubes* Ishikawa, 1969. Они относятся к случайным обитателям золоотвала, мигрировавшим из лесного биоценоза. Отмечено 7 общих с контролем видов (см. табл. 2).

На территории S2 выявлено 16 видов гамазид, относящихся к 12 родам и 5 семействам (см. табл. 2). В сухой зоне доминировали два вида: *Asca bicornis* (Canestrini et Fanzago, 1887) – 57,8 % и *G. nolli* – 28,9 %. В умеренно-влажной зоне в число доминантов входили 6 видов: *V. exigua*, *Blattisocius mali* (Oudemans, 1929) – по 17,6 %, *Lysigamasus lapponicus* (Tragardh, 1910), *A. bicornis*, *A. cetratus*, *Leioseius naglischi* Karg, 1965 – по 11,7 %. Во влажной зоне к числу доминантов относились 5 видов: *Ch. nepalensis* – 33,3 %, *Gaeolaelaps kargi* (Costa, 1968) – 18,1 %, *A. bicornis* – 15,1 % и *Cheiroseius necorniger* (Oudemans, 1903), *Phorytocarpais beta* (Oudemans et Voigts, 1904) – по 12,1 %.

Сухая зона на S2 так же, как и на S1, отличалась высокой долей обилия 1–2 видов.

При переходе к средней и влажной зонам структура сообщества становилась более выровненной по обилию и полидоминантной. Среди доминантов рекультивированной зоны преобладали эврибионтные виды: *A. bicornis*, *G. nolli*, *V. exigua*, *A. cetratus*, *L. naglischi*, способные в короткие сроки развития достигать высокого обилия и заселять нарушенные территории с нулевого цикла, так называемые пионерные виды. Если в сухой зоне доминируют только эврибионты, то в умеренно-влажной к ним добавляется мезофильный доминант *L. lapponicus*. А во влажной зоне в состав доминантов входят как эврибионты, так и мезофилы – *P. beta*, *G. kargi* с гигрофилами – *Ch. nepalensis*, *Ch. necorniger*. Отмечено 7 общих с контролем видов (см. табл. 2).

В контроле отмечено 17 видов, относящихся к 13 родам и 9 семействам (см. табл. 2). Доминировали 3 вида: типичные лесные мезофильные виды *Trachytes aegrota* (C. L. Koch, 1841) – 38,6 % и *L. lapponicus* – 13,9 %, а также эврибионтный вид *V. exigua* – 10 %. Более 58 % найденных здесь видов (10) оказались общими с территорией золоотвала (см. табл. 2).

Сходство населения гамазид на S1 и S2 золоотвала с таковым в контроле в целом низкое и примерно одинаковое (26 и 27 % соответственно), а между секциями S1 и S2 оно составило 38 %. Сходство населения гамазид, обитающих в разных зонах обеих секций золоотвала, с контролем варьировало от 4 % (влажная зона S1) до 32 % (умеренно-влажная зона S2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что структура населения микроартропод в значительной степени зависит от гидротермического режима (соотношение тепла и влаги), мощности подстилки и запаса органических остатков в почве [Криволуцкий и др., 1995]. Любая форма антропогенного воздействия на экосистемы, включая техногенную трансформацию ландшафтов, приводит к изменению основных экологических показателей в структуре сообществ почвенных беспозвоночных: плотности населения, видового богатства, структуры доминирования и пр. [Кузнецова, 2009; Рябинин, Паньков, 2009; Штирц, 2015; Вершинина, Козлов, 2019]. Сообщества микроартропод, которые

формируются в ходе восстановительной сукцессии на участках золоотвала ТЭЦ в условиях разной степени консервации, обладают определенной спецификой.

На золоотвале плотность населения микроартропод оказалась значительно ниже, чем в контроле. Несмотря на наличие потенциально плодородного слоя почвы (ППП), значимых отличий в плотности населения всех групп микроартропод в целом на S2 по сравнению с S1 не обнаружено. Однако при детальном анализе данных удалось выявить группу, наиболее чувствительную к условиям обитания на золоотвале и рекультивационным мероприятиям. Плотность населения Oribatida значительно возростала от S1 к S2 и далее к контролю. Нанесение ППП поверх золошлакового материала даже в условиях самозаращения приводит к значительному увеличению плотности их населения на территории секции S2. Семена, присутствующие в ППП, способствуют ускоренному зарастанию территории, приводя к увеличению запаса органического вещества в почве [Bielska, 1995; Frouz et al., 2007; Вершинина, Козлов, 2019]. В то же время появление и увеличение толщины подстилки способствуют существенному расширению диапазона возможных укрытий и спектра питания микроартропод. Все это приводит к росту населения и биоразнообразия микроартропод.

Пионерные группы Prostigmata и Collembola известны своей способностью первыми колонизировать безжизненные субстраты за счет коротких жизненных циклов либо высокой мобильности [Бабенко, 1980; Лапина, 1988; Стебаева, Андриевский, 1997; Scubala, Gulvik, 2005]. У Prostigmata плотность населения на золоотвале оказалась даже выше, чем в контроле, причем для S2 были выявлены значимые различия. Для Collembola значимых различий плотности населения не обнаружено, что, по-видимому, объясняется их крайне неравномерным распределением. Несмотря на то что панцирные клещи известны как медленные колонизаторы новых мест обитания [Bielska, 1995; Стебаева, Андриевский, 1997; Вершинина, Козлов, 2019], отсыпка золошлаков ППП привела к тому, что они заняли лидирующую позицию в сообществе микроартропод, структура которого стала сходна с таковой в контроле. Преобладание Oribatida

в составе комплексов почвенных микроартропод типично для естественных биоценозов [Scubala, Gulvik, 2005; Рябинин, Паньков, 2009; Вершинина, Козлов, 2019].

Что касается видового состава почвенных клещей, на золоотвале сформировалось бедное в видовом отношении сообщество широко распространенных видов при высокой степени доминирования отдельных из них. Это свидетельствует о продолжительной начальной стадии сукцессии нарушенного биогеоценоза [Бабенко, 1980; Стебаева, Андриевский, 1997; Murvanidze et al., 2013]. Относительно низкий уровень родового и видового богатства двух модельных групп клещей – Oribatida и Mesostigmata – указывает на ограниченную в отношении разнообразия экологических ниш и доступных пищевых ресурсов среду обитания на старом золоотвале по сравнению с березовым лесом. Сходные данные о длительном восстановлении сообществ микроартропод получены при исследовании отвалов каменных карьеров разного возраста в окрестностях Хабаровска [Рябинин, Паньков, 2009] и отвалах бурогольных карьеров КАТЭКа в пределах Назаровской котловины в Красноярском крае [Стебаева, Андриевский, 1997]. Установлено, что даже после 25 лет структура населения почвенных беспозвоночных не достигает идентичности с природными сообществами ненарушенных экосистем [Мордкович, Любечанский, 2019].

В структуре населения Oribatida и Mesostigmata эудоминанты и доминанты составляют до 70–80 %, а рецеденты и субрецеденты практически отсутствуют, что характерно для экосистем пионерных стадий сукцессий [Стебаева, Андриевский, 1997; Salmane, Heldt, 2001]. На восьмой год самозаращения золоотвала среди почвенных клещей преобладают пионерные виды, легко осваивающие голый субстрат и достигающие высокой плотности, а также случайные мигранты в случае с гамазовыми клещами – активно передвигающиеся хищники, которые появляются на новых для них территориях в поисках добычи – ногохвосток, нематод и личинок клещей. У Oribatida это виды-эврибионты с широкой экологической пластичностью (*O. nova* и *T. velatus*), что позволяет им повсеместно, включая нарушенные территории, заселять разнообразные экологические ниши [Бабенко, 1980; Murvanidze et al., 2013; Мордкович

и др., 2014]. Эти виды характеризуются короткими жизненными циклами и партеногенетическим размножением, а также способностью быстро достигать высокой численности и выходить в число доминантов при освоении новых мест обитания [Skubala, Gulvik, 2005; Рябинин, Паньков, 2009]. В сообществах Mesostigmata максимальной плотности населения достигают как эврибионтные виды, типичные для пионерно осваиваемых территорий: *A. bicornis*, *A. cetratus*, *G. nolli*, *V. exigua*, так и мезофилы – *L. misellus*, *L. yosefi*, и гигрофилы – *Ch. nepalensis*.

Видовой состав сообществ почвенных клещей на территории золоотвала определяется влажностью субстрата. Число видов оribатид увеличивается в умеренно-влажной зоне обеих секций золоотвала, что объясняется оптимальными здесь условиями для их существования и развития, тогда как сухие и влажные зоны характеризуются экстремальными условиями обитания, нарушением гидротермического преферендума и дефицитом пищевых ресурсов. Для гамазид наибольшее видовое богатство в обеих секциях золоотвала отмечено в умеренно-влажной и влажной зонах, причем последняя характеризуется как наиболее благоприятная. По мере увеличения степени увлажнения грунта структура сообществ Oribatida и Mesostigmata из монодоминантного с пионерными видами с *r*-стратегией размножения становится полидоминантной с различными стратегиями (*r*- и *k*-) размножения. В сухой зоне обеих секций золоотвала основными доминантами являются эврибионтные виды, за исключением одного мезофильного вида Mesostigmata, доминировавшего в сухой зоне S1. В умеренно-влажной зоне число мезофильных видов среди доминантов существенно возрастает. Во влажной зоне в состав доминантов помимо эврибионтов и мезофилов входят также гигрофилы. Это свидетельствует об усложнении и мозаичности среды их обитания, что обусловлено гидротермическим режимом и разнообразием экологических условий на территории S2 золоотвала, вызванной рекультивацией в виде отсыпки ППП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сообщества почвенных микроартропод золоотвала ТЭЦ включали клещей (Mesostig-

mata, Oribatida, Prostigmata) и ногохвосток (Collembola). Плотность населения всех групп микроартропод в целом на территории обеих секций золоотвала оказалась значительно ниже, чем в контроле, при этом между секциями золоотвала значимых различий не обнаружено. Детальный анализ показал, что наиболее чувствительными к изменению параметров окружающей среды на золоотвалах ТЭЦ являются Oribatida, для которых характерно существенное увеличение плотности населения не только в контроле, но и в результате влияния рекультивационных мероприятий.

На S1 значимых различий в долевом участии разных групп в сообществе не обнаружено. На S2 и в контроле ведущее место занимали оribатиды. На примере модельных групп Oribatida и Mesostigmata показано, что на золоотвале формируется бедное в видовом отношении сообщество широко распространенных видов при высокой степени доминирования отдельных из них. По мере увеличения степени увлажнения грунта структура их сообществ из монодоминантной становится полидоминантной. Oribatida могут служить хорошим биоиндикатором для оценки состояния почвы в ходе восстановительных сукцессий на золоотвалах ТЭЦ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 18-44-540002, а также Программы фундаментальных научных исследований (ФНИ) государственных академий наук на 2013–2020 гг., проект VI.51.1.7. (AAA-A16-116121410123-1).

ЛИТЕРАТУРА

- Бабенко А. Б. Некоторые закономерности формирования комплекса почвенных микроартропод на отвалах открытых горных разработок // Зоол. журн. 1980. Т. 59, вып. 1. С. 43–54.
- Вершинина И. В., Козлов А. В. Экологическая оценка регенерационных способностей микрофаунистического комплекса почвенных беспозвоночных в условиях рекультивации техногенно трансформированных светло-серых лесных почв // Самарский науч. вестн. 2019. Т. 8, № 2. С. 18–23.
- ГОСТ 28268–89 Почвы. Методы определения влажности, гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. 2005. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023556>
- Классификация и диагностика почв России / сост.: Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

- Криволицкий Д. А. Методика комплексного обследования почв на заселенность микроартроподами // Методы почвенно-зоологических исследований. М.: Наука, 1975. С. 44–48.
- Криволицкий Д. А., Лебрен Ф., Кунст М., Акимов И. А., Баяртогтох Б., Василиу Н., Голосова Л. Д., Гришина Л. Г., Карпинин Э., Крамной В. Я., Ласкова Л. М., Лакстэн М., Маршалл В., Матвеев А. А., Нетушили И. А., Нортон Р., Ситникова Л. Г., Смирн Я., Стари И., Тарба З. М., Шалдыбина Е. С., Эйтнавичюте И. С. Панцирные клещи: Морфология, развитие, филогения, экология, методы исследования, характеристика модельного вида *Nothrus palustris* C. L. Koch, 1839. М.: Наука, 1995. 224 с.
- Кузнецова Н. А. Население почвообитающих коллембол в градиенте загрязнения хвойных лесов выбросами Среднеуральского медеплавильного завода // Экология. 2009. № 6. С. 439–448 [Kuznetsova N. A. Soil-dwelling Collembola in coniferous forests along the gradient of pollution with emissions from the Middle Ural Copper Smelter // Rus. J. Ecol. 2009. Vol. 40, N 6. С. 415–423].
- Курачев В. М., Андроханов В. А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сиб. экол. журн. 2002. № 3. С. 255–262.
- Лапина И. М. Газовые клещи Латвии. Рига: Зинатне, 1988. 197 с.
- Мордкович В. Г., Любечанский И. И. Жуки-жужелицы (Coleoptera, Carabidae) и зоодиагностика экологической сукцессии на техногенных катенах буроугольных отвалов КАТЭКа (Красноярский край) // Изв. РАН. Сер. биол. 2019. № 5. С. 1–11 [Mordkovich V. G., Lyubechanskii I. I. Ground Beetles (Coleoptera, Carabidae) and Zoodiagnostics of Ecological Succession on Technogenic Catenas of Brown Coal Dumps in the KAFEC Area (Krasnoyarsk Krai) // Biol. Bull. 2019. Vol. 46, N 5. P. 500–509].
- Мордкович В. Г., Любечанский И. И., Березина О. Г., Марченко И. И., Андриевский В. С. Зооадафон Западно-Сибирской северной тайги: Пространственная экология населения почвообразующих членистоногих естественных и нарушенных местообитаний. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2014. 168 с.
- Рябинин Н. А., Паньков А. Н. Сукцессии панцирных клещей (Acariformes: Oribatida) нарушенных территорий // Изв. РАН. Сер. биол. 2009. № 5. С. 604–609 [Ryabinin N. A., Pan'kov A. N. Successions of Oribatid Mites (Acariformes: Oribatida) on Disturbed Areas // Biol. Bull. 2009. Vol. 36, N 5. P. 510–515].
- Стебаева С. К., Андриевский В. С. Ногохвостки (Collembola) и панцирные клещи (Oribatei) на буроугольных отвалах Сибири // Зоол. журн. 1997. Т. 76, № 9. С. 1004–1015.
- Шеремет Н. В., Ламанова Т. Г., Доронькин В. М. Формирование растительных сообществ на начальных этапах самозарастания золоотвалов с нанесением плодородного слоя почвы (ТЭЦ-5, г. Новосибирск) // Раст. мир Азиат. России. 2019. № 4, вып. 36. С. 35–42.
- Штирц А. Д. Оценка влияния антропогенной нагрузки на экосистемы с использованием интегрального показателя сообществ панцирных клещей // Acta Biologica Sibirica. 2015. № 1–2. С. 51–66.
- A manual of acarology / Eds. G. W. Krantz, D. E. Walter. 3rd ed. Lubbock, Texas: Texas Tech. University Press, 2009. 807 p.
- Beaulieu F., Dowling A. P. G., Klompen H., Moraes G. J., Walter D. E. Superorder Parasitiformes Reuter, 1909 // Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness / Zhang Z.-Q. (Ed.) // Zootaxa. 2011. Vol. 3148. P. 123–128.
- Bielska I. Mining dump and electrical power plant dump Oribatida // The Acari. Physiological and ecological aspects of acari-host relationships. Oficyna Dabor, Warszawa, 1995. P. 173–182.
- Dobre C., Cotiga C. Ecological rehabilitation of coal ash dump, essential objective in order to protect the environment // Advanced Eng. Forum. 2018. Vol. 27. P. 165–169.
- Dunger W., Voigtländer K. Soil fauna (Lumbricidae, Collembola, Diplopoda and Chilopoda) as indicators of soil eco-subsystem development in post-mining sites of eastern Germany – a review // Soil Organisms. 2009. Vol. 81, N 1. P. 1–51.
- Engelmann H.-D. Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden // Pedobiologia. 1978. Bd. 18, Hf. 5/6. S. 378–380.
- Frouz J., Pižl V., Tajovsky K. The effect of earthworms and other saprophagous macrofauna on soil microstructure in reclaimed and un-reclaimed post-mining sites in Central Europe // Eur. J. Soil Biol. 2007. Vol. 43. P. S184–S189.
- Gulvik M. E. Mites (Acari) as indicators of soil biodiversity and land use monitoring: A review // Pol. J. Ecol. 2007. Vol. 55. P. 415–440.
- Haynes R. J. Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites – Challenges and research needs // J. Environmental Management. 2009. Vol. 90, N 1. P. 43–53.
- Juwarkar A., Jambhulkar H. P. Restoration of fly ash dump through biological interventions // Environmental Monitoring and Assessment. 2008. Vol. 139, N 1–3. P. 355–365.
- Lehmitz R., Haase H., Otte V., Russell D. Bioindication in peatlands by means of multi-taxa indicators (Oribatida, Araneae, Carabidae, Vegetation) // Ecol. Indic. 2020. Vol. 109. P. 1–11.
- Lindquist E. E., Krantz G. W., Walter D. E. Order Mesostigmata // A manual of acarology / Eds. G. W. Krantz, D. E. Walter. Lubbock, Texas: Texas Tech. University Press, 2009. P. 124–232.
- Madej G., Kozub M. Possibilities of using soil microarthropods, with emphasis on mites (Arachnida, Acari, Mesostigmata), in assessment of successional stages in a reclaimed coal mine dump (Pszów, S. Poland) // Biol. Lett. 2014. Vol. 51, N 1. P. 19–36.
- Murvanidze M., Mumladze L., Arabuli T., Kvavadze E. Oribatid mite colonization of sand and manganese tailing sites // Acarologia. 2013. Vol. 53, N 2. P. 203–215.
- Norton R. A., Behan-Pelletier V. M. Suborder Oribatida // A manual of acarology / Eds. G. W. Krantz, D. E. Walter. Lubbock, Texas: Texas Tech. University Press, 2009. P. 430–464.
- Norton R. A., Ermilov S. P. Catalogue and hystorical overview of juvenile instars of oribatid mites (Acari: Oribatida) // Zootaxa. 2014. Vol. 3833, N 1. 132 p.
- Salmane I., Heldt S. Predatory soil mites (Acari, Mesostigmata, Gamasina) from the western Baltic coast of Latvia // Acarologia. 2001. Vol. 41, N 3. P. 295–301.
- Schatz H., Behan-Pelletier V. M., O'Connor B. M., Norton R. A. Suborder Oribatida van der Hammen, 1968 // Animal biodiversity: An outline of higher-level

- el classification and survey of taxonomic richness. Zhang Z.-Q. (Ed.) // Zootaxa. 2011. Vol. 3148. P. 141–148.
- Sheremet N., Belanov I., Doronkin V., Lamanova T., Naimova 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, N 00038.
- Skubała P. Biodiversity of oribatid mites (Acari: Oribatida) on postindustrial dumps // Postepy Polskiej Akarologii. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2002. P. 194–202.
- Skubała P., Gulvik M. Pioneer oribatid mite communities (Acari, Oribatida) in newly exposed natural (Glacier foreland) and anthropogenic (post-industrial dump) habitats // Polish J. Ecol. 2005. Vol. 53, N 3. P. 395–407.
- Subias L. S. Listado sistemático, sinonímico y biogeográfico de los ácaros oribátidos (Acariformes: Oribatida) del mundo (Excepto fósiles) // Graellsia. 2004. Vol. 60. Número extraordinario. P. 3–305. Actualizado en enero de 2020. 527 p.
- van Straalen N. M. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities // Appl. Soil Ecol. 1998. Vol. 9. P. 429–437.
- Weigmann G. Hornmilben (Oribatida) // Die Tierwelt Deutschlands. Teil 76. Keltern: Goecke & Evers, 2006. 520 p.
- Zhang Z.-Q. Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness // Zootaxa. 2011. Vol. 3148. 237 p.

Communities of soil microarthropods (Acari, Collembola) at ash dumps of combined heat and power plant in conditions of varying degrees of conservation

N. V. VLADIMIROVA¹, I. I. MARCHENKO¹, I. P. BELANOV², T. A. NOVGORODOVA¹

¹*Institute of Systematics and Ecology of Animals of SB RAS
630091, Novosibirsk, Frunze str., 11
E-mail: nv-vlad@yandex.ru*

²*Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB RAS
630090, Novosibirsk, Akademician Lavrentiev av., 8/2*

The features of the composition and structure of soil microarthropod communities formed on ash dumps of combined heat and power (CHP) plants at the initial stages of their self-restoration under conditions of varying degrees of conservation were studied. The investigation was carried out in 2017 in Novosibirsk (55°00' c. ш., 83°04' в. д.) at the ash dump of CHPP no.5 consisting of two sections – non-reclaimed (S 1) and reclaimed by covering ash and slag with potentially fertile soil (S2). A plot in a birch forest adjacent to the ash dump was used as a control. The collection of material was carried out in the ash dump zones of different degrees of moisture (three plots in both S1 and S2) and in the control (in total, 7 plots). Microarthropod communities included mites (Mesostigmata, Oribatida, Prostigmata) and springtails (Collembola). The microarthropod abundance on the territory of both sections of the ash dump was significantly lower than in the control, while no significant differences were found between the ash dump sections. The influence of reclamation was revealed only for the mites. The representatives of Oribatida appeared to be the most sensitive. There were no significant differences in the proportion of the different groups in the community on S1. On S2 and under control, Oribatida took the lead. Using the example of Oribatida and Mesostigmata model groups, it was shown that the mite communities formed at the ash dump were species-poor and consisted of widely distributed species with a high degree of dominance of some of them. Oribatida appeared to be a good bioindicator for assessing the soil state while restoration succession at ash dumps of CHP plants.

Key words: disturbed territories, ash dumps of CHP, regenerative succession, soil microarthropods, Oribatida, Mesostigmata, community structure.