

Влияние засоления на сообщества панцирных клещей (Acari: Oribatida) и микроорганизмов в подземном блоке сухостепной экосистемы в Южной Туве

The influence of salinization on oribatid mites (Acari: Oribatida) and microorganisms communities in underground block of dry steppe ecosystem in South Tuva

В.С. Андриевский, М.В. Якутин
V.S. Andrievskii, M.V. Yakutin

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Проспект Академика Лаврентьева 8/2, Новосибирск 630090 Россия. E-mail: VS@issa.nsc.ru, yakutin@issa.nsc.ru

Institute of Soil Sciences and Agrochemistry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Akademika Lavrenteva Prosp. 8/2, Novosibirsk 630090 Russia.

Ключевые слова: Южная Тува, сухая степь, почва, панцирные клещи, микроорганизмы, трансформация, засоление.

Key words: South Tuva, dry steppe, soil, oribatid mites, microorganisms, transformation, salinization.

Резюме. Изучены особенности трансформации сообществ панцирных клещей и микроорганизмов в условиях засоления в зоне сухих степей в Южной Туве. Показано, что зоологический и микробиологический компоненты подземного блока сухостепной экосистемы реагируют на экстремальное засоление резким снижением количественных показателей. При снижении уровня засоления с сохранением относительно благоприятного режима увлажнения в экосистемах, формирующихся на полугидроморфных почвах, происходит значительный синхронный рост основных показателей зоологического и микробиологического компонентов. Снижение до практически нулевых значений уровня засоления и снижение уровня общей увлажнённости в сухостепных экосистемах на автоморфных каштановых почвах по сравнению с лугово-каштановыми приводит к снижению видового богатства панцирных клещей и к снижению биомассы и метаболической активности микроорганизмов. При этом численность орибатид может в три раза увеличиваться за счёт отдельных ксероморфных солечувствительных видов или снижаться в зависимости от специфических условий конкретной сухостепной экосистемы.

Abstract. The peculiarities of transformation of the oribatid mites and microorganisms communities under the conditions of salinization in dry steppes in Southern Tuva are investigated. It is shown that zoological and microbiological components of underground block of dry steppe ecosystem respond on extreme salinization by sharp reduction of quantitative parameters. While reducing the level of salinization with maintenance of relatively favorable moisture regime in ecosystems forming on half-hydromorphic soils, there is a significant simultaneous growth of main parameters of zoological and microbiological components. Reduction to near zero level of salinization and further reduction of total moisture in dry-steppe ecosystems on automorphic chestnut soils leads to a decrease in species richness of oribatid mites and to reduce of biomass and metabolic activity of microor-

ganisms. Meanwhile, the abundance of oribatid mites can three times increase by some xerophilous salt-sensitive species or decrease depending on specific conditions of a concrete steppe ecosystem.

Введение

Сухие степи на каштановых почвах составляют основу ландшафта в межгорных котловинах Южной Тувы. Каштановые почвы формируются на подгорно-пролювиальных равнинах, на широковолнистых равнинных территориях, древних озёрных и речных террасах. На относительно пониженных участках в более увлажнённых условиях под чиевыми лугами в зоне каштановых почв формируются лугово-каштановые почвы. Приречные и приозёрные пространства в подзоне сухих степей часто заняты сообществами галофитов на солончаках. Для аридных ландшафтов вообще характерны переходы от автоморфных каштановых почв к лугово-каштановым и луговым почвам и солончакам [Nosin, 1963; Bugrovskii et al., 1995].

Основа деструкционного звена биологического круговорота в подземном блоке наземных экосистем — почвенные микроорганизмы. Они осуществляют минерализацию примерно 90 % органического вещества в почве. Остальные 10 % минерализуются почвенной фауной или химическим путём [Tate, 1987]. Помимо микроорганизмов важнейшим компонентом деструкционного звена биологического круговорота являются почвенные животные, осуществляющие деятельность по разложению органического вещества почвы в тесном взаимодействии с микроорганизмами [Vyzov, 2005; Coleman et al., 1984].

Одной из важнейших групп почвообитающих животных являются микроартроподы. Среди них до-

минируют две таксономические группы: коллемболы и панцирные клещи (Oribatida). Их численности в некоторых почвах достигают сотен и даже миллионов экземпляров на квадратный метр. Так же как микроорганизмы, панцирные клещи являются важным агентом разложения органического вещества в почве. Им принадлежит исключительная роль в регуляции процесса деструкции растительных остатков, в их присутствии значительно ускоряются процессы минерализации опада и гумусообразования [Striganova, 1980; Zyvagintsev et al., 2005].

Биота засоленных почв на протяжении длительного времени вызывает значительный интерес микробиологов и зоологов, но комплексные исследования сообществ почвообитающих животных и микроорганизмов в условиях засоления единичны [Kazeev et al., 2005]. В настоящее время установлено, что для засоленных почв характерны специфические микробные сообщества [Zenova et al., 2007]. В солонцовом и подсолонцовом горизонтах солонцов разнообразие бактерий резко снижено и выделяются лишь галотолерантные виды родов *Bacillus* и *Streptomyces* [Semionova et al., 2002; Zenova et al., 2005]. Засоленные почвы характеризуются минимальными величинами микробной биомассы и дыхательной активности [Mallouhi, Jacquin, 1985; Badia, Alkaniz, 1993; Kaur et al., 2002; Boyerahmadi et al., 2010]. При увеличении уровня засоления в микробной биомассе уменьшается C/N-отношение, что свидетельствует о доминировании бактерий в общей массе микроорганизмов [Yakutin, 2001; Sardinha et al., 2003; Yuan et al., 2007; Mahajan et al., 2015].

Население почвенных беспозвоночных засоленных почв в разных ландшафтных зонах обеднено и специфично по сравнению с таковым не засоленных аналогов. Это показано, например, для микроартропод (орибатид и коллембол) западно-сибирской лесостепи [Grishina et al., 1991; Verezhina, 2006]. Аналогичная картина выявлена и для почвенной мезофауны. Например, в Голодной степи (Ташкентская область Узбекистана) на незасоленном целинном участке было обнаружено в почве на площади 1 м² в среднем 7,4 личинки насекомых, принадлежащих к семействам *Scarabaeidae*, *Elateridae* и *Tenebrionidae*, на засоленном же участке в среднем

только 1,2 личинки, принадлежавших к одному виду семейства *Tenebrionidae*, не встречающемуся на незасоленных почвах [Yahontov, 1964].

Цель данной работы состояла в изучении влияния засоления на сообщества панцирных клещей и микроорганизмов в подземном блоке сухостепной экосистемы Тувы.

Объекты и методы исследования

Исследование было проведено в Южной Туве, в Убсунурской котловине. Объекты исследования были выбраны на останцовой равнине хребта Сангилен. Широковолнистая пологая увалисто-холмистая равнина с останцами массивно-кристаллических пород занимает большую площадь в восточной части Убсунурской котловины. Останцовые горы в виде сопок, гряд, увалов и холмов имеют превышения над окружающими равнинами от нескольких десятков до сотен метров. Пространства между останцами заняты пологонаклонными волнистыми и слаборасчленёнными равнинами, обращёнными к замкнутым вытянутым понижениям. Почвенный покров равнин представлен каштановыми, лугово-каштановыми, аллювиально-луговыми почвами, солонцами и солончаками [Nosin, 1963; Vugrovskii et al., 1995].

В качестве объектов исследования были выбраны четыре участка, находящиеся на одной катене на юго-восточном склоне в подгорной равнине останца Онджалан. Крутизна склона около 5°. В нижней части подгорной равнины находится небольшое периодически пересыхающее солёное озеро. Абсолютные высоты участков 1050–1150 м над уровнем моря. Все участки находятся под умеренной пастбищной нагрузкой (зимний выпас). Основные характеристики исследованных экосистем приведены в таблице 1.

Образцы почв для микробиологического и зоологического анализов отбирались в начале лета. Для анализа населения панцирных клещей отбирались почвенные пробы стандартным цилиндрическим пробоотборником на глубину 5 см в 10-кратной повторности в каждом биотопе. Выгонка клещей из почвы осуществлялась общепринятым методом термоэлекции Берлезе-Тульгрена. Извлечённые из почвы клещи помещались в постоянные препараты, в

Таблица 1. Основные характеристики исследованных экосистем
Table 1. The main characteristics of the investigated ecosystems

№ п/п	Геоморфологическое положение	Почва	Фитоценоз	Проективное покрытие (%) / Высота травостоя (см)
Т. 1	Верхняя часть подгорной равнины	Каштановая супесчаная среднемощная мелкощебнистая	Злаково-разнотравная сухая степь	50 / 10–30
Т. 2	Средняя часть подгорной равнины	Каштановая супесчаная среднемощная	Разнотравно-полынно-злаковая сухая степь	45 / 5–30
Т. 3	Первая надпойменная терраса озера	Лугово-каштановая солончаковатая	Чиевый разреженный луг	20 / 30–50
Т. 4	Берег озера	Солончак типичный	Солеросовое сообщество	50 / 2–5

которых под микроскопом определялась их видовая принадлежность. Анализ распределения панцирных клещей в исследованном ряду экосистем проведён по таким параметрам сообщества как видовое богатство и численность (плотность), отражающих экологический статус живых организмов [Chernov, 1991]. Численности (плотность) клещей рассчитывались по стандартной методике на 1 м², исходя из площади пробоотборника [Gilyafov, 1975].

Образцы для почвенно-микробиологического анализа отбирались по общепринятой методике [Zvyagintsev, 1991] из верхнего (0–10 см) слоя исследованных почв. В почвенных образцах определялись влажность и содержание С_{орг} методом мокрого сжигания по Тюрину [Arinushkina, 1970]. Углерод в биомассе почвенных микроорганизмов (С-биомасса) определялся методом фумигации-инкубации [Schinner et al., 1996]. Измерение скорости выделения СО₂ является самым простым методом оценки общей метаболической активности почвенного микробного сообщества [Tate, 1987]. Дыхательная активность оценивалась по количеству СО₂, выделившемуся из почвы (навеска 2 г), инкубированных 2 суток в темноте в плотно закрытом пенициллиновом флаконе при температуре 28 °С и влажности равной 60 % полной влагоёмкости [Klevenskaya et al., 1985]. Вычислялся также показатель удельной активности микроббиомассы — метаболический коэффициент qСО₂, как отношение величины С-СО₂, выделившегося из почвы за 1 час к величине С-биомассы микроорганизмов [Anderson, Domsch, 1985].

Статистическая обработка результатов проводилась методами вариационного и дисперсионного анализов. В процессе выполнения дисперсионного анализа рассчитывалась НСР (наименьшая существенная разность) [Plochinskii, 1970; Sorokin, 2004].

Результаты и обсуждение

Солончаковатые лугово-каштановые почвы в Туве связаны с режимом слабого, но относительно постоянного капиллярного подпитывания грунтовыми водами или влагой внутрипочвенного бокового стока. Такие условия нередко возникают в нижних частях делювиально-пролювиальных подгорных шлейфов и по днищам межгорных котловин. Благодаря устойчивому увлажнению, такие почвы часто бывают покрыты растительным покровом, более мощным, чем близкорасположенные каштановые почвы. Верхние горизонты солончаковатых лугово-каштановых почв содержат более 0,5 % солей. Озёра в сухостепной зоне Тувы редки и, как правило, засоленные. По краям солёных озёр с низкими плоскими берегами часто встречаются солёные грязи, которые по мере удаления от воды переходят в типичные корковые солончаки. Если в нижней части подгорного шлейфа расположено озеро, то лугово-каштановые почвы часто образуют пояс вокруг пояса со-

лончаков на берегу этого озера. Характерной чертой типичных солончаков является поверхностная солевая корка мощностью 3–5 см и засоление верхних горизонтов почвы. Содержание растворимых солей здесь составляет в среднем 1,5–5,5 % [Nosin, 1963]. Таким образом, в ряду исследованных нами почв можно проследить характерные для Тувы особенности трансформации различных компонентов сухостепной экосистемы при снижении уровня общей увлажнённости [Bugrovskii et al., 1995] и связанного с ним увеличения содержания растворимых солей в профилях почв, занимающих пониженные элементы рельефа [Yakutin, 2001].

Влажность исследованных каштановых почв во время отбора образцов не превышала 2 % во всех горизонтах почвенного профиля. В верхнем (0–10 см) слое лугово-каштановой почвы влажность также находилась на уровне 2 %, но в нижележащих горизонтах она поднималась выше 5 %. В типичном солончаке во всех горизонтах почвенного профиля влажность оказалась выше 13 %.

Всего на исследованной катене обнаружено 15 видов панцирных клещей (табл. 2). По позициям катены виды распределены неравномерно: от одного (на урезе воды) до одиннадцати на первой надпойменной террасе. Верхние позиции катены (Т1 и Т2) богаче нижней — (Т4) и беднее средней (Т3), которая отличается наибольшим видовым богатством. По численностям самой бедной также является нижняя позиция катены (Т4), а наиболее богатой становится позиция в верхней части профиля (Т1), причём показатель численности здесь имеет очень высокое значение — 71 тыс. экз./м². Как было показано ранее, такая плотность характерна не для степных экосистем, а для некоторых лесных [Andrievskii, 2003]. Второй по плотности орибатид является сообщество первой надпойменной террасы (Т3). Оно беднее сообщества верхней части подгорной равнины более чем в 3 раза. Сообщество Т2, в свою очередь, беднее сообщества Т3 также более чем в 3 раза. На Т4 (урез воды) клещей практически не встречено (по сути — единичные экземпляры).

Характерной чертой распределения видов орибатид по исследованному профилю является резко выраженной предпочтительностью наиболее обильными видами отдельных позиций катены. Так, абсолютный доминант сообщества, как верха подгорной равнины, так и всей катены *Eporibatula prominens* (98,6 % населения Т1) на второй по предпочтительности позиции — средней части подгорной равнины — составляет уже только 26,5 % сообщества, а на других позициях практически отсутствует (0,3 % на 1-ой надпойменной террасе и 0 % на уровне уреза воды). Два следующих по обилию вида исследуемого профиля *Tectoribates ornatus* и *Exochocephus laticuspis* явно предпочитают первую надпойменную террасу, где доля *T. ornatus* составляет 27,6 %, а *E. laticuspis* — 26,6 %. Эту же экосистему предпочитают следующие по численности доминантные виды профиля *Tectocephus velatus*,

Таблица 2. Распределение панцирных клещей (орибатид) по профилю катены (численности даны в экз./м²)
Table 2. The distribution of oribatid mites along the soils of catena (specimen/m²)

Вид	Экосистема			
	T1	T2	T3	T4
<i>Eporibatula prominens</i> Bayartogtokh et Aoki, 1998	69867	1733	67	–
<i>Oribatula elegantissima</i> Balogh et Mahunka, 1965	67	3867	–	–
<i>Tectoribates ornatus</i> (Schuster, 1958)	–	–	6000	–
<i>Exochocepheus laticuspis</i> (Balogh et Mahunka, 1965)	133	–	5800	–
<i>Tectocepheus velatus</i> (Michael, 1880)	–	–	2800	–
<i>Bipassalozetes</i> sp. 1	800	533	2700	–
<i>Proteremaeus chadaevae</i> Golosova, 1983	–	–	2533	–
<i>Pedrocortesella inaequalis</i> (Balogh et Mahunka, 1965)	–	133	733	–
<i>Brachychthonius impressus</i> Moritz, 1976	–	–	600	–
<i>Trichoribates trimaculatus</i> (C.L.Koch, 1835)	–	–	400	400
<i>Oribatula pallida</i> Banks, 1906	–	133	–	–
<i>Bipassalozetes</i> sp. 2	–	133	–	–
<i>Protoribates badensis</i> Sellnick, 1928	67	–	–	–
<i>Joshuella mongolica</i> (Bayartogtokh et Aoki, 1997)	–	–	67	–
<i>Subiasella krivolutskyi</i> (Poltavskaja, 1994)	–	–	67	–
Суммарная численность	70934	6532	21767	400
Число видов	5	6	11	1

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения численностей доминантных видов.
Note. Bold type designates the values for the dominant species.

Bipassalozetes sp.1 и *Proteremaeus chadaevae*, доли которых составляют там близкие величины (соответственно 12,9, 12,4 и 11,6 % сообщества). При этом первый и третий из этих видов обнаружены только на T3, а второй из них найден ещё и на T1 и T2, но его доля составляет там всего 1,1 и 8,2 % сообщества соответственно. Таким образом, первая надпойменная терраса является биотопом катены, который предпочитает наибольшее число видов, в том числе доминантных. Последний из многочисленных видов исследуемого профиля — *Oribatula elegantissima* — является доминантом средней части подгорной равнины, составляя там 59,2 % сообщества, тогда как в верхней её части его доля в сообществе составляет всего 1 %, а в нижних частях профиля (T3 и T4) он отсутствует. Остальные 8 видов, обнаруженные на исследуемом профиле, можно охарактеризовать как малочисленные, так как абсолютные показатели их плотности не превышают 733 экз./м², а относительные доли участия в составе сообществ биотопов — 3,4 %.

В результате проведённого исследования можно сделать вывод, что реакция сообщества панцирных клещей на такие экологические факторы, как степень увлажнённости и засоления, выражается неодинаково на разных позициях катены. Условия экстремального засоления (солончак типичный на берегу озера) оказались неприемлемы для выживания орибатид: здесь обнаружен единственный экземпляр единственного вида. Наиболее благоприятной экосистемой для сообщества орибатид в целом можно признать первую надпойменную террасу на солончаковой лугово-каштановой почве: она оказалась

предпочитаемой для наибольшего числа видов, в том числе доминантных, заселяющих биотоп относительно равномерно по сравнению с тремя другими позициями катены. В этом биотопе увлажнённость оказалась несколько выше чем на участках на верхних позициях катены (T1 и T2), а засоление ещё не достигло стрессовых для орибатид величин, свойственных биотопу типичного солончака на берегу озера. Две верхних позиции катены по степени благоприятности обитания на них орибатидного населения занимают промежуточное положение. В верхней части подгорной равнины численность панцирных клещей наивысшая для всего профиля, но, в основном, за счёт одного вида-эудоминанта *Eporibatula prominens*. Этот вид, по-видимому, наиболее чувствителен к высокой концентрации солей, в соответствии с этим при продвижении вниз по изученному профилю убывают как его абсолютная плотность, так и доля участия в составе сообщества. В средней части подгорной равнины наибольшую долю в сообществе составляют два вида (*Oribatula elegantissima* и тот же *Eporibatula prominens*) — соответственно 59 и 26,5 % группировки. Первый из этих видов, по-видимому, тоже чувствителен к повышенной концентрации солей, но в меньшей степени, чем второй.

Таким образом, распределение панцирных клещей на изученной катене в зависимости от ведущих экологических факторов (увлажнённости и засоления) отражается как количественными параметрами сообщества (численностями и видовым богатством), так и предпочтением тех или иных биотопов видами, в разной степени чувствительными по отношению к

этим факторам среды, что выражается в их неравномерном распределении по позициям катены.

Минимальная концентрация почвенного органического вещества (0,13 %) была зафиксирована в верхнем слое солончака типичного (Т4). Низкие значения $C_{\text{орг}}$ здесь объясняются минимальным запасом растительного вещества и высоким уровнем засоления (рис. 1). В лугово-каштановой почве (Т3) концентрация почвенного органического вещества увеличивается в 10 раз по сравнению с солончаком. Сохранение в целом повышенного, по сравнению с автоморфными каштановыми почвами (Т1 и Т2), режима увлажнения этой почвы в условиях резкого снижения концентрации растворимых солей способствует формированию значительного количества растительного вещества, что результируется в увеличенный запас $C_{\text{орг}}$.

В изученных каштановых почвах уровень $C_{\text{орг}}$ колебался от 0,72 до 1,22 %. При этом почва, находящаяся в верхней части изученной катены (Т1), по-видимому, характеризуется лучшими условиями увлажнения, чем почва, расположенная в средней части склона (Т2). Это может являться причиной увеличения запасов растительного вещества и содержания $C_{\text{орг}}$ в почве Т1.

Закономерность изменения С-биомассы и дыхательной активности почвенного микробиоценоза в исследованных почвах оказалась подобной закономерности изменения $C_{\text{орг}}$ (рис. 2, 3). Значительное увеличение концентрации солей в верхнем слое почвенного профиля солончака типичного (Т4) приводит к резкому снижению концентрации С-биомассы и дыхательной активности. Снижение концентрации солей при сохранении в целом благоприятных условий увлажнения в лугово-каштановой почве (Т3) способствует значительному увеличению концентрации С-биомассы и дыхательной активности. Эти результаты согласуются с данными других авторов, продемонстрировавших в своей работе более высокую биологическую активность лугово-каштановых почв по сравнению с каштановыми [Kazeev et al., 2005].

С-биомассы и дыхательная активность в автоморфных каштановых почвах (Т1 и Т2), характеризующихся менее благоприятными условиями увлажнения, чем лугово-каштановая почва (Т3), оказались в целом ниже, чем аналогичные показатели в полугидроморфной почве.

Удельная активность биомассы почвенных микроорганизмов оценивалась по метаболическому коэффициенту, который часто рассматривается в качестве показателя устойчивости микробного сообщества почвы. Чем ниже этот коэффициент, тем устойчивее данное микробное сообщество. Соответственно, $q\text{CO}_2$ должен быть ниже в стабильных экосистемах. Показано, что величина $q\text{CO}_2$ в разных типах почв и экосистем варьирует от 0,9 до 6,1 $\text{мкг CO}_2\text{-C} / \text{мг C-биомассы в час}$ [Ananyeva et al., 2002].

В исследованных каштановых и лугово-каштановой почве $q\text{CO}_2$ варьировал от 1,5 до 2,0 $\text{мкг CO}_2\text{-C} / \text{мг}$

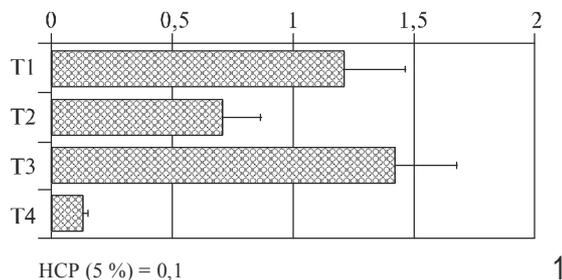


Рис. 1. $C_{\text{орг}}$ (%) в верхних горизонтах исследованных почв (обозначения см. табл. 1).

Fig. 1. Soil carbon (%) in the top layers of investigated soils (Designations see table 1).

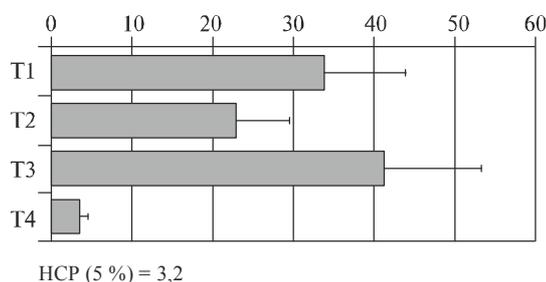


Рис. 2. С-биомассы микроорганизмов ($\text{мг C} / 100 \text{ г}$ почвы) в верхних горизонтах исследованных почв (обозначения см. табл. 1).

Fig. 2. C-biomass of microorganisms ($\text{mg C} / 100 \text{ g}$ of soil) in the top layers of investigated soils (Designations see table 1).

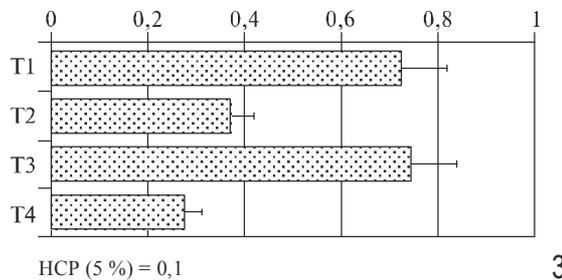


Рис. 3. Дыхательная активность микроорганизмов ($\text{мкг C-CO}_2 / \text{г}$ почвы в час) в верхних горизонтах исследованных почв (обозначения см. табл. 1).

Fig. 3. Respiratory activity of microorganisms ($\text{мкг C-CO}_2 / \text{г}$ of soil in hour) in the top layers of investigated soils (Designations see table 1).

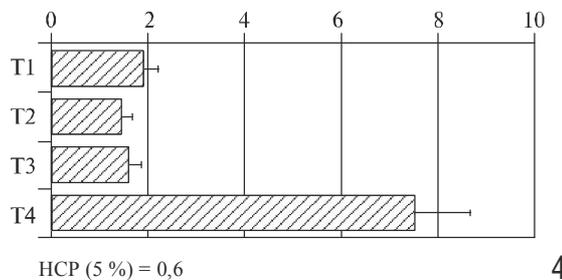


Рис. 4. Метаболический коэффициент ($\text{мкг C-CO}_2 / \text{мг C-биомассы в час}$) в верхних горизонтах исследованных почв (обозначения см. табл. 1).

Fig. 4. Metabolic coefficient ($\text{мкг C-CO}_2 / \text{мг C-биомассы в час}$) in the top layers of investigated soils (Designations see table 1).

С-биомассы в час (рис. 4). В солончаке типичном метаболический коэффициент резко увеличивался до 7,6 мкг CO₂-С / мг С-биомассы в час. Увеличение метаболического коэффициента в данном случае, по-видимому, является не только индикатором стрессовой нагрузки (экстремальное засоление), но и индикатором изменений в микробном сообществе [Sarig et al., 1999].

Таким образом, засоление является мощным фактором, влияющим на микробиологический компонент деструкционного звена биологического круговорота в подземном блоке сухостепной экосистемы. Экстремально засоленные почвы характеризуются минимальными значениями биомассы микроорганизмов и показателями общей метаболической активности. Наряду с фактором засоления, большое влияние на изученные микробиологические показатели оказывает влагообеспеченность почв. Увеличение удельной активности относительно небольшой микроббиомассы в типичном солончаке по сравнению с каштановыми и лугово-каштановыми почвами может свидетельствовать о значительной перестройке почвенного микробиоценоза под воздействием высоких концентраций солей в почвенном профиле. При повышении уровня влагообеспеченности в условиях низкой степени засоления (лугово-каштановая солончаковая почва) уровень микроббиомассы и её метаболической активности оказывается, в общем, выше, чем в автоморфных каштановых почвах.

Заключение

Проведённое исследование позволяет сделать вывод о том, что высокие концентрации солей в верхних горизонтах почвенного профиля в сухостепной зоне приводят к резкому снижению запасов почвенного органического вещества, показателей численности и видового богатства панцирных клещей, биомассы микроорганизмов и её дыхательной активности. В тоже время наблюдается рост удельной активности микроббиомассы, что может свидетельствовать о трансформации микробного комплекса. Т.е. сообщества и панцирных клещей, и микроорганизмов в подземном блоке сухостепной экосистемы реагируют на экстремальное засоление резким снижением количественных параметров.

Снижение уровня засоления с сохранением относительно благоприятного режима увлажнения в экосистемах, формирующихся на полугидроморфных почвах, способствует резкому росту запасов почвенного органического вещества, росту показателей видового богатства и численности панцирных клещей (в 12–54 раза) и росту показателей, характеризующих биомассу и метаболическую активность почвенного микробиоценоза (в 2,6–12 раз). Т.е. происходит значительный синхронный рост основных показателей и зоологического, и микробиологического компонентов деструкционного звена биологического круговорота.

Снижение до практически нулевых значений уровня засоления и дальнейшее снижение уровня общей увлажнённости в сухостепных экосистемах на автоморфных каштановых почвах (верхние позиции катены) приводит к снижению показателей видового богатства панцирных клещей (в 2–2,4 раза) и к снижению биомассы и метаболической активности микроорганизмов (в 1,2–2 раза). При этом численность оribатид может втрое увеличиваться за счёт отдельных ксерофильных видов, или снижаться в зависимости от специфических условий конкретной сухостепной экосистемы.

Благодарности

Авторы считают своим долгом выразить глубокую благодарность к.б.н. С.К. Стебаевой и д.г.н. С.С. Курбатской за деятельную помощь и плодотворное научное сотрудничество.

Литература

- Ananyeva N.D., Blagodatskaya E.V., Demkina T.S. 2002. Temporal and spatial variability of the microbial metabolic quotient in soils // *Eurasian Soil Science*. Vol.35. No.10. P.1092–1099.
- Anderson T.H., Domsch K.H. 1985. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state // *Biology and Fertility of Soil*. Vol.1. P.81–89.
- Andrievskii V.S. 2003. [The dynamics of oribatid mites populations in natural and disturbed ecosystems of northern taiga of Western Siberia] // *Bulletin of Tomsk State University*. No.7b. P.7–15. [In Russian].
- Arinushkina E.V. 1970. [Manual on chemical analysis of soils]. M.: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta. 487 p. [In Russian].
- Badia D., Alkaniz J.M. 1993. Basal and specific microbial respiration in semiarid agricultural soils: organic amendment and irrigation management effects // *Geomicrobiology Journal*. Vol.11. P.261–274.
- Berezina O.G. 2006. [The springtails (Hexapoda, Collembola) on the salty lakes catenas of the southern forest-steppe of West Siberia] // *Euraziatskii entomologicheskii zhurnal (Euroasian Entomological Journal)*. Vol.5. No.3. P.199–202 [In Russian].
- Boyerahmadi M., Raiesi F., Mohammadi J. 2010. Influence of different salinity levels on some microbial indices in the presence and absence of plant's living roots // *Water and Soil Science*. Vol.14. P.103–115.
- Bugrovskii V.V., Golubeva E.I., Kerdgentsev A.S., Koropochinskii I.Yu., Kurbatskaya S.S., Pivovarova G.F., Sedelnikov V.P., Surov A.V., Tebleeva U.Tz., Hakimov F.I., Hudyakov Yu.S. 1995. [Experiment «Ubsu-Nur»]. Vol.1. Terrestrial investigations. Moscow: INTELEKT. 336 p. [In Russian].
- Byzov B.A. 2005. [Zoo-microbial interactions in soil]. M.: GEOS. 213 p. [In Russian].
- Chernov Yu.I. 1991. [Biological diversity: essence and problems] // *Achievements of Contemporary Biology*. Vol.111. No.4. P.499–507. [In Russian].
- Coleman, D.C., Ingham R.E., Trofimov J.A. 1984. Soil nutrient transformations in the rhizosphere via animal-microbial interactions // *Invertebrate-microbial interactions*. Cambridge: Cambridge University Press. P.35–58.
- Gilyarov M.S. 1975. [Methods of soil zoological studies]. Moscow: Nauka. 280 p. [In Russian].
- Grishina L.G., Stebaeva S.K., Lapshina E.I., Mordkovich V.G., Folitarek S.S. 1991. [Microarthropods, soils, vegetation

- under conditions of intermittent wetting (for example, Karasukkiy plains)]. Novosibirsk: Nauka. 164 p. [In Russian].
- Kaur B., Gupta S.R., Singh G. 2002. Bioremediation of a sodic soil by silvopastoral systems in northwestern India // *Agroforestry Systems*. Vol.54. P.13–20.
- Kazeev K.Sh., Kremenitsa A.M., Kolesnikov S.I., Kazadaev A.A., Bulysheva N.I., Utyanskaya S.V., Vnukov N.V., Val'kov V.F. 2005. Biological properties of soils of the Chestnut-Solonetz Complexes // *Eurasian Soil Science*. Vol.38. No.4. P.408–418.
- Klevenskaya I.L., Taranov S.A., Trofimov S.S., Fatkulin F.A. 1985. [Slope processes in technogenic ecosystems as a factor of soil formation] // *Tehnogennye ekosistemi. Organizatsiya i funkcionirovanie*. Novosibirsk: Nauka. P.23–38. [In Russian].
- Mahajan G.R., Manjunath B.L., Latare A.M., Souza R.D., Vishwakarma S., Singh N.P. 2015. Spatial and temporal variability in microbial activities of coastal acid saline soils of Goa, India // *Solid Earth Discussions*. Vol.7. P.3087–3115.
- Mallouhi N., Jacquin F. 1985. Essai de corrélation entre propriétés biochimiques d'un sol salsodique et sa biomasse // *Soil Biology and Biochemistry*. Vol.17. P.23–26.
- Nosin V.A. 1968. [Soils of Tuva] M.: Izdatel'stvo RAN. 342 p. [In Russian].
- Plochinskii N.A. 1970. [Biometrics]. M.: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo uniuersiteta. 367 p. [In Russian].
- Sardinha M., Mulle T., Schmeisky H., Joergensen R.G. 2003. Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions // *Applied Soil Ecology*. Vol.23. P.237–244.
- Sarig S., Fliessbach A., Steinberger Y. 1999. Soil microbial biomass under the canopy of coastal sand dune shrubs // *Arid Soil Research and Rehabilitation*. Vol.13. P.75–80.
- Schinner F., Ohlinger R., Kandeler E., Margesin R. 1996. *Methods in soil biology*. Berlin: Springer-Verlag. 420 p.
- Semionova N.A., Lysak L.V., Gorlenko M.V., Zvyagintsev D.G. 2002. Structural and functional diversity of bacterial complexes in different soil types // *Eurasian Soil Science*. Vol.35. No.4. P.401–411.
- Sorokin O.D. 2004. [Applied statistics with the computer]. Krasnoobsk: Izdatel'stvo SO RASHN. 162 p. [In Russian].
- Striganova B.R. 1980. [The feeding of soil saprophages]. M.: Nauka. 244 p. [In Russian].
- Tate R.L. 1987. *Soil organic matter: Biological and ecological effects*. New York: Wiley. 291 p.
- Yahontov V.V. 1964. [Ecology of insects]. Moscow: High school. 460 p. [In Russian].
- Yakutin M.V. 2001. [Microbial biomass in saline soils of the East Baraba] // *Siberian Ecological Journal*. Vol.1. No.3. P.299–304. [In Russian].
- Yuan B.-C., Li Z.-Z., Liu H., Gao M., Zhang Y.-Y. 2007. Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions // *Applied Soil Ecology*. Vol.35. P.319–328.
- Zenova G.M., Oborotov G.V., Zvyagintsev D.G. 2005. Solonchaks: the ecotopes of halophilic and alkalotolerant streptomycetes // *Eurasian Soil Science*. Vol.38. No.11. P.1190–1193.
- Zenova G.M., Oborotov G.V., Norovsuren Zh., Fedotova A.V., Yakovleva L.V. 2007. Halophilic and alkaliphilic streptomycetes in salt-affected soils // *Eurasian Soil Science*. Vol.40. No.11. P.1203–1208.
- Zvyagintsev D.G. 1991. [Methods of soil microbiology and biochemistry]. M.: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo uniuersiteta. 304 p. [In Russian].
- Zvyagintsev D.G., Babjeva I.P., Zenova G.M. 2005. [Soil biology]. M.: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo uniuersiteta. 445 p. [In Russian].

Поступила в редакцию 4.6.2016