

Трансформация зоомикробиологического комплекса в почвах южной части Котловины Больших озёр Западной Монголии в условиях опустынивания

Transformation of zoo-microbial complex in soils of the southern part of the Great Lakes Depression of Western Mongolia in conditions of desertification

М.В. Якутин*, В.С. Андриевский*, Ч. Лхагвасурен**, Д. Батцэцэг**
M.V. Yakutin*, V.S. Andrievskii*, Ch. Lhagvasuren**, D. Battsetseg**

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

* Institute of Soil Sciences and Agrochemistry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Academician Lavrentjev Av. 8/2, Novosibirsk 630090 Russia.

** Ховдский государственный университет, Институт естественных наук и технологии, ул. Арата Аюша 5, Ховд 213500 Монголия. E-mail: lha157@yahoo.com

** Hovd State University, Institute of Natural Sciences and Technology, Arata Ayusha Str. 5, Hovd 213500 Mongolia.

Ключевые слова: Западная Монголия, почва, аридизация, микроорганизмы, панцирные клещи, зоомикробиологический комплекс, трансформация.

Key words: Western Mongolia, soil, desertification, microorganisms, oribatid mites, zoo-microbial complex, transformation.

Резюме. Проведено исследование состояния зоомикробиологического комплекса в почвах основных типов в южной части Котловины Больших озёр Западной Монголии и выявление характера трансформации этого комплекса в процессе опустынивания. Показано, что при снижении уровня увлажнённости и увеличении уровня засоления происходят существенные перестройки в зоомикробиологическом комплексе в катенном ряду почв в зоне пустынь Западной Монголии. Происходит снижение и биомассы микроорганизмов, и численности панцирных клещей. При этом в более засушливых автоморфных почвах уровень снижения биомассы микроорганизмов ниже, а в менее засушливых гидроморфных — выше, чем уровень снижения численности панцирных клещей. Из этого можно сделать вывод, что при усилении ксероморфности почв всё большую роль в процессах разрушения органического вещества начинают играть почвенные микроорганизмы, а при увеличении степени засоления в деструкционных процессах, по-видимому, увеличивается роль зоологического компонента зоомикробиального комплекса.

Abstract. The state of zoo-microbial complex in the main soil types in the southern part of the Great Lakes Depression of Western Mongolia and clarification of the nature of the transformation of this complex in the process of desertification are studied. It is shown that attached to lowering of moisture level and increase of the salinity level a significant change in zoo-microbial complex in catena series of soils in a zone of deserts of Western Mongolia take place. The reduction of microbiomass and soil mites abundance take place. In more arid automorphous soils the reduction of microbiomass is below and in less arid hydromorphous soils is higher than

the level of reduction of soil oribatid mites numbers. From this we can do that with increasing of xeromorphizm of soils increasingly important role in the processes of decomposition of organic substances start to play soil microorganisms, while increasing of the degree of salinity appears to be increasing role of the zoological component of the zoo-microbial complex in destruction processes.

Котловина Больших озёр Западной Монголии — одна из самых засушливых областей Центральной Азии. Район расположен между хребтами Танну-Ола на севере, Монгольского Алтая на Западе и Хангая на востоке. В ландшафте Котловины Больших озёр преобладают наклонные равнины, иногда сильно всхолмлённые и повсюду изрытые сухими руслами (сайрами). В больших понижениях располагаются озёра, окружённые глинистыми равнинами, в прошлом также представлявшими дно озера. Современные озёра Западной Монголии являются реликтами огромных водоёмов, существовавших в раннечетвертичное время. По распространению озёрных отложений установлено, что древние озёра по площади превосходили современные в 5–8 раз [Синицын, 1959].

Климат Центральной Азии становится аридным уже в верхней юре, и сухость его с тех пор продолжает усиливаться. Уменьшение количества осадков связано с постепенным поднятием на окраинах Центральной Азии высоких хребтов, изолировавших этот регион от влажных воздушных потоков [Синицын,

1959]. Процесс «усыхания Азии» продолжается и в настоящее время. Основная причина этого — увеличение среднегодовых температур приземного воздуха. Причём, если глобальная среднегодовая температура воздуха выросла за последние 100 лет на 0,4–0,8 °С [Баженова, Мартыанова, 2000], то в аридных районах Внутренней Азии только за последние 50 лет (1955–2005 гг.) среднегодовая температура воздуха выросла на 1,0–2,3 °С [Хруцкий, Голубева, 2011]. При этом, несмотря на некоторое увеличение среднегодового количества осадков, происходит уменьшение запасов влаги в почве вследствие высокой испаряемости, которая в 4–5 раз превышает количество осадков и составляет 1000–1250 мм [Почвенный покров основных природных зон Монголии, 1978].

На территории Котловины Больших озёр выделяются две большие бессточные котловины (Убсунурская и Хиргиснурская) и одна маленькая, самая южная, Шаргын Гоби. С севера на юг в пределах рассматриваемого региона происходит усиление аридности климата и связанное с ним изменение почвенного покрова. В Убсанурской котловине преобладают каштановые почвы, в Хиргиснурской — бурые полупустынные почвы [Синицын, 1959; Носин, 1963; Панкова, 1997].

Для относительно небольшой по размеру, окружающей горными хребтами Дарвийн-Нуру, Хасагт-Хайрхан, Хан-Тайшир-Нуру и Алтаин-Нуру, котловины Шаргын Гоби характерно усиление континентальности климата по сравнению с окружающими эту котловину территориями. Зимой ярко выраженная инверсия температур и стекание холодного тяжелого воздуха вниз по склонам делают межгорные депрессии вообще более холодными, чем окружающие равнины. Летом воздух в нижних слоях и поверхность прогреваются гораздо сильнее, чем окружающие равнины. Такая особенность климата межгорных депрессий, приводящая к усилению его континентальности была названа «котловинным эффектом» [Растительный покров..., 1985; Береснева, 2006]. Почвенный покров котловины Шаргын Гоби составляют в основном бурые полупустынные и серые пустынные почвы. Формирование типично гобийских серых пустынных почв в этом районе связано с котловинным эффектом. При сохранении общих тенденций изменения климата в Центральной Азии можно ожидать постепенную эволюцию почв равнин в Котловине Больших озёр в сторону всё большей их аридизации в направлении от светлокаштановых почв к бурым полупустынным и далее к серым пустынным почвам. Определенные тенденции такого опустынивания просматриваются уже сегодня [Хруцкий, Голубева, 2011].

Для аридных почв характерны жёсткие условия разложения и гумификации растительных остатков, что весьма существенно сказывается на процессах гумусообразования. Интенсивность гумификации растительных остатков очень низкая, особенно в верхних горизонтах, поскольку деятельность микроор-

ганизмов-деструкторов лимитируется экстремально низкой влажностью и жёстким температурным режимом. Но во влажные периоды микробиологические процессы протекают бурно до глубоких стадий минерализации. Прижатость к поверхности массы корней приводит к тому, что и животное население почв концентрируется в верхнем 0–15 см слое почвы. Здесь сосредоточено более 90 % от общего количества педобионтов [Волковинцер, 1978].

К настоящему времени микробиологические и зоологические характеристики почв в зоне полупустынь Западной Монголии изучены очень слабо. Также для этого региона практически отсутствуют данные об особенностях функционирования деструкционного блока экосистем и об особенностях трансформации этого блока в процессе естественной эволюции почв и экосистем [Гунин и др., 1998; Якутин и др., 2010].

Цель данного исследования состояла в оценке состояния зоомикробиологического комплекса в почвах основных типов в южной части Котловины Больших озёр Западной Монголии и выявлении характера трансформации этого комплекса в процессе опустынивания.

В качестве объектов исследования во время совместной российско-монгольской экспедиционной поездки в сентябре 2009 г. были выбраны четыре почвы в южной части Котловины Больших озёр Западной Монголии (Шаргын Гоби). Все исследованные почвы расположены на территории Гоби-Алтайского аймака на одной катене длиной около 25 км. Катена начинается в нижней части северо-восточного склона хребта Дарвийн-Нуру. В аккумулятивной позиции катены находится озеро Шаргын-Цаган-Нур, лежащее на дне котловины.

Почвы, выбранные в качестве объектов настоящего исследования, составляют ряд, характерный для котловин южной части Котловины Больших озёр Западной Монголии. На более высоких элементах рельефа формируются светло-каштановые почвы. Ниже по высоте их сменяют бурые пустынно-степные почвы. Еще ниже находится пояс серых пустынных почв, занимающих основные территории в равнинной части Гоби. Самые низкие элементы рельефа занимают солончаки, лежащие на побережье постоянных или пересыхающих озёр [Синицын, 1959]. В нашем случае солончак был выбран в 500 м от уреза воды пересыхающего озера Шаргын-Цаган-Нур. Участки на светло-каштановой и на бурой полупустынной щебнистой почвах находятся под сильной пастбищной нагрузкой, участки на серо-бурой пустынной гипсоносной почве и на солончаке типичном — под умеренной пастбищной нагрузкой. Основные характеристики исследованных экосистем приведены в таблице 1.

Основой деструкционного звена биологического круговорота в почвах являются микроорганизмы. Фундаментальными характеристиками состояния почвенного микробиоценоза являются его биомасса

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

№ п/п	Высота над уровнем моря	Почва	Экосистема	Проективное покрытие (%) / Высота растений (см)
P 1	1749	Светло-каштановая типичная	Полынно-злаковая сильно разреженная засушливая степь	25 / 5–4
P 2	1080	Бурая полупустынная щебнистая	Сильно разреженное кустарничковое сообщество	10 / 2–5
P 3	976	Серо-бурая пустынная гипсоносная	Разреженное кустарничково-кустарничковое сообщество	10 / 5–100
P 4	956	Солончак типичный	Разреженная тростниково-чиевая ассоциация	15 / 20–200

и метаболическая активность. В отобранных образцах определяли влажность почвы, содержание углерода в биомассе почвенных микроорганизмов (С-биомассы) методом SIR и базальное дыхание [Schinner et al., 1996].

Оценка особенностей функционирования почвенной микроббиомассы возможна только при определении показателей, характеризующих её метаболическую активность. На настоящий момент не существует универсального показателя метаболической активности. Комплекс почвенных микроорганизмов — это сложная биологическая система. Для оценки особенностей функционирования этой сложной системы может использоваться множество параметров. Но, исходя из положения о том, что основная функция комплекса почвенных микроорганизмов в экосистеме — это разложение органического вещества, основная характеристика метаболической активности комплекса почвенных микроорганизмов — дыхательная активность (т.е. скорость выделения CO_2) [Schinner et al., 1996].

Изменения в интенсивности выделения CO_2 из почвы дают представления о масштабе деятельности почвенных микроорганизмов, характеризуют интенсивность биологических процессов в почве. Вследствие этого «дыхание» почвы можно рассматривать как важнейший показатель биологической активности почвы, а определение интенсивности выделения CO_2 из почвы является простым и чувствительным методом определения общей ее биологической активности [Тейт, 1991].

Второй важнейшей частью деструкционного звена биологического круговорота в почвах являются животные. Одной из наиболее важных размерно-функциональных групп почвообитающих животных являются панцирные клещи (орибатиды). Их численности в некоторых типах почв достигают сотен тысяч и даже миллионов экземпляров на квадратный метр. Эти животные относятся к комплексу сапротрофов (питаются разлагающимися органическими остатками и микроорганизмами). Они влияют на рост и активность микроорганизмов, а также на видовой состав и структуру микробных сообществ [Бызов, 2005].

Зоомикробиальные взаимодействия в той или иной степени определяют протекание основных почвенных процессов и состояние биотического сообщества в целом. Эффекты от взаимодействий микроорганизмов и животных реализуются в процессах

разложения и минерализации органического вещества, мобилизации-иммобилизации и др. Эти взаимодействия определяют судьбу популяций микроорганизмов и фауны: состав, обилие, активность. Следствием этих взаимодействий является формирование микробных сообществ и комплекса фауны почвы [Бызов, 2005].

Для обозначения тесных ассоциаций сапротрофных микроорганизмов с беспозвоночными животными, существующих в почве и подстилках, И.В. Стебаевым был предложен термин «зоомикробиологический комплекс». Поскольку никакие почвенные животные не способны самостоятельно перерабатывать растительное вещество, на разных этапах в этом процессе участвуют микроорганизмы [Стебаев, 1984]. В настоящее время нашёл употребление также подобный термин «зоомикробный комплекс» [Бызов, 2005].

Для анализа населения панцирных клещей отбирались почвенные пробы стандартным цилиндрическим пробоотборником послойно, по 5 см в глубину в 10-кратной повторности в каждой экосистеме. Выгонка клещей из почвы осуществлялась также общепринятым для микроартропод методом термоэктелекции Тулльгрена-Берлезе [Методы почвенно-зоологических исследований, 1975].

Статистическая обработка полученных результатов проводилась методами вариационного и дисперсионного анализов [Плохинский, 1970; Сорокин, 2004].

Подзоны сухих степей, полупустынь и пустынь вообще характеризуется экстремально аридными условиями, и влажность является одним из основных факторов, лимитирующих функциональную активность деструкторов в почвах этих подзон. Но микроорганизмы почв аридной зоны характеризуются высокой устойчивостью к недостатку влаги, в моменты благоприятного сочетания температуры и влажности отмечается высокая напряжённость микробиологических процессов [Клевенская и др., 1970].

Влажность в момент отбора образцов составила в проанализированных слоях бурой полупустынной щебнистой и серо-бурой пустынной гипсоносной почв 3–6 %, светло-каштановой типичной почвы — 6–10 %, солончака типичного (наиболее гидроморфной почвы) — 14–23 %.

Содержание С-биомассы оказалось максимальным в верхнем (0–10 см) слое почвы 1 (P. 1) и резко снижалось вниз по профилю (рис. 1).

В верхнем слое в почве 2 (Р. 2) и почве 3 (Р. 3) этот показатель был, соответственно, в 1,4 и в 1,7 раза ниже, чем в почве 1. В слое 10–20 см достоверных различий между почвами по данному показателю установлено не было. В почве 4 (Р. 4) отмечены минимальные значения С-биомассы среди всех изученных почв и в слое 0–10, и в слое 10–20 см.

При изучении влияния солёности почв на микробную биомассу рядом авторов было показано, что засоление оказывает сильное влияние на С-биомассу микроорганизмов [Sardinha, 2003].

В процессе проведения данного исследования встал вопрос об оценке силы влияния таких факторов, как тип почвы и глубина взятия образцов на изучаемые показатели. С использованием дисперсионного анализа был рассчитан F критерий для этих факторов и их взаимодействия. Влияние факторов, определяемых глубиной по профилю почвы на содержание С-биомассы, оказалось сильным и достоверным ($F = 7,3; p < 0,001$). Но наиболее значительным, как и следовало ожидать, оказалось влияние типа почвы ($F = 19,1; p < 0,001$).

Максимум дыхательной активности был зафиксирован в верхнем (0–10 см) слое почвы 1 (рис. 2). При продвижении от почвы 1 к почве 2 дыхательная активность снижается: в 1,8 раза в слое 0–10 см и в 1,4 раза в слое 10–20 см. При переходе от почвы 2 к почве 3 достоверного изменения дыхательной активности не происходит. Минимальные значения дыхательной активности (0,14 мкг $\text{CO}_2\text{-C} / \text{г}$ почвы в час) были зафиксированы в солончаке (Р. 4). Это является следствием влияния высоких концентраций солей в почве. Показано, что в засоленных почвах важнейшим фактором, лимитирующим метаболическую активность почвенных микроорганизмов является уровень и характер засоления [Sardinha, 2003].

Влияние факторов, определяемых глубиной по профилю почвы на дыхательную активность оказалось сильным и достоверным ($F = 11,1; p < 0,001$). Но наиболее значительным оказалось влияние типа почвы ($F = 48,0; p < 0,001$).

Таким образом, в бурой полупустынной почве (Р. 2) по сравнению со светлокаштановой почвой (Р. 1) происходит резкое уменьшение биомассы и снижение дыхательной активности. В серой пустынной почве (Р. 3) по сравнению с бурой полупустынной почвой (Р. 2) достоверного снижения биомассы микроорганизмов и дыхательной активности не происходит. Минимальные значения биомассы и дыхательной активности отмечены в солончаке. Все это свидетельствует о значительных перестройках комплексов почвенных микроорганизмов в катенном ряду почв от светлокаштановых к бурым полупустынным почвам и от серых пустынных к солончакам. Значительного изменения в характере функционирования микробоценозов при переходе от бурых полупустынных почв к серым пустынным, по-видимому, не происходит.

По аридным экосистемам имеются отдельные данные, демонстрирующие тесную взаимосвязь пан-

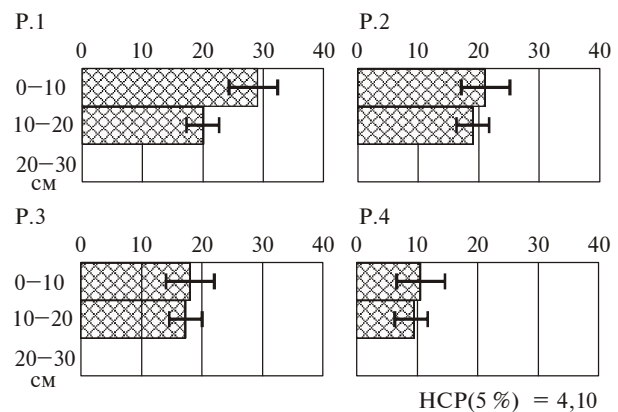


Рис. 1. Распределение С-биомассы микроорганизмов в верхних горизонтах исследованных почв (мг С / 100 г почвы) (обозначения см. табл. 1).

Fig. 1. C-biomass of microorganisms (mg C / 100 g of soil) in the top layer of different investigated soils (refer see table 1).

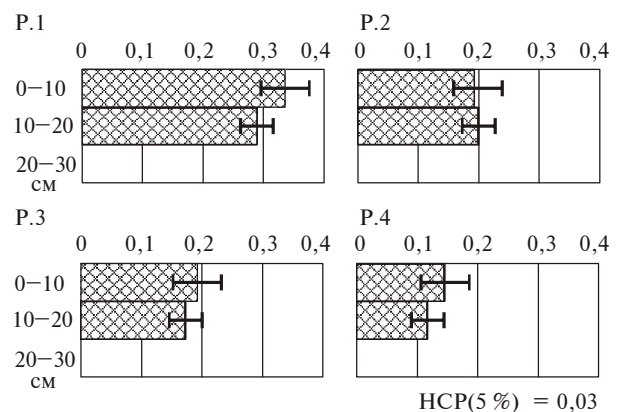


Рис. 2. Дыхательная активность в верхних горизонтах исследованных почв (мкг $\text{CO}_2\text{-C} / \text{г}$ почвы в час) (Обозначения см. табл. 1).

Fig. 2. Respiratory activity (mkg $\text{CO}_2\text{-C} / \text{g}$ of soil in hour) in the top layer of different investigated soils (refer see table 1).

цирных клещей и микроорганизмов. Например, в экосистемах пустыни Чиуауа в Мексике, в полевых опытах показано, что исключение микроартропод (среди которых орибатиды играют одну из ведущих ролей) снижает разложение на 40–43 % [Santos, Withford, 1981]. Этот эффект авторы объясняют увеличением в опыте числа нематод-бактериофагов, которыми питались микроартроподы, и соответственным снижением числа бактерий, а также заселением подстилки спорами грибов посредством микроартропод.

При обследовании катенного профиля с целью выявления населения панцирных клещей всего было обнаружено 6 видов. Численности орибатид находились в пределах от 40 до 300 экз. / m^2 (табл. 2). Такие низкие показатели видового богатства и обилия являются характерными для сообществ орибатид аридных экосистем пустынной зоны Монголии [Баяртогтох, 1995].

Таблица 2. Распределение панцирных клещей (орибатид) в почвах катены (экз./ м²)
Table 2. The distribution of oribatid mites in the catena (specimen/m²)

Вид	Почва			
	1	2	3	4
<i>Galumna obvia</i> (Berlese, 1915)	133	–	–	–
<i>Scheloribates latipes</i> (C.L. Koch, 1844)	133	–	–	–
<i>Oribatula alata</i> (Hermann, 1804)	44	–	–	–
<i>Bipasalozetes</i> cf. <i>lineolatus</i> (Sitnikova, 1975)	–	40	–	–
<i>Liebstadia similis</i> (Michael, 1880)	–	–	100	200
<i>Oppia</i> sp.	–	–	–	100
Суммарная численность	310	40	100	300

Малое видовое богатство связывается с малым запасом растительного опада и низким уровнем увлажнённости. Среди панцирных клещей существует лишь небольшое количество видов относительно толерантных к засушливым условиям.

В почве 1, отличающейся более значительными запасами влаги и корней, численность панцирных клещей в 3–8 раз превышала численность в следующих по степени увлажнения экосистемах (почва 2 и 3). В почве 4 увеличивается степень увлажнённости и запас растительного вещества, но также резко увеличивается и концентрация солей. Панцирных клещей становится здесь значительно больше, чем в почвах 2 и 3, хотя их обилие здесь гораздо ниже такового в незасоленных луговых почвах этой же природной зоны [Якутин и др., 2010].

В целом, обследование показало, что население панцирных клещей катенного профиля в пустынной зоне Западной Монголии достаточно бедно как по численности, так и по видовому богатству.

Таким образом, в результате проведённого исследования можно сделать вывод, что при снижении уровня увлажнённости и увеличении уровня засоления происходят существенные перестройки деструкционного звена биологического круговорота, основой которого является зоомикробиологический комплекс (почвенные микроорганизмы и панцирные клещи), в катенном ряду почв в зоне пустынь Западной Монголии. Происходит снижение и биомассы микроорганизмов, и численности панцирных клещей. При этом в более засушливых автоморфных почвах уровень снижения биомассы микроорганизмов ниже, а в менее засушливых гидроморфных — выше, чем уровень снижения численности панцирных клещей. Из этого можно заключить, что при усилении ксероморфности почв всё большую роль

в процессах деструкции органического вещества начинают играть почвенные микроорганизмы, а при увеличении степени засоления в деструкционных процессах, по-видимому, увеличивается роль зоологического компонента зоомикробиального комплекса.

Благодарности

Авторы выражают благодарность В.П. Баранову за огромную помощь в отборе образцов почв.

Литература

- Баженова О.И., Мартынова Г.Н. 2000. Реакция степных и лесостепных морфодинамических систем на современные изменения климата // География и природные ресурсы. No.4. С.23–32.
- Береснева И.А. 2006. Климаты аридной зоны Азии. М.: Наука. 288 с.
- Бызов Б.А. 2005. Зоомикробные взаимодействия в почве. М.: ГЕОС. 213 с.
- Волковинцер В.И. 1978. Степные криоаридные почвы. Новосибирск: Наука. Сибирское Отделение. 208 с.
- Гунин П.Д., Востокова Е.А., Матюшкин Е.Н. 1998. Охрана экосистем Внутренней Азии. М.: Наука. 219 с.
- Клевенская И.Л., Наплёкова Н.Н., Гантимурова Н.И. 1970. Микрофлора почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. 222 с.
- Методы почвенно-зоологических исследований. 1975. М.: Наука. 206 с.
- Носин В.А. 1963. Почвы Тувы. М.: Изд-во Акад. наук СССР. 342 с.
- Панкова Е.И. 1997. Закономерности формирования почвенного покрова и особенности почв степей и пустынь Монголии // Почвоведение. No.7. С.789–798.
- Плохинский Н.А. 1970. Биометрия. М.: МГУ. 367 с.
- Почвенный покров основных природных зон Монголии. 1978. М.: Наука. 275 с.
- Растительный покров и естественные кормовые угодья Тувинской АССР. 1985. Новосибирск: Наука. 256 с.
- Синицын В.М. 1959. Центральная Азия. М.: Государственное издательство географической литературы. 456 с.
- Сорокин О.Д. 2004. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН. 162 с.
- Стебаев И.В. 1984. Зоомикробиологические комплексы в биогеоценозах // Почвенные организмы как компоненты биогеоценоза. М.: Наука. С.3–15.
- Тейт Р. 1991. Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты. М.: Мир. 400 с.
- Хруцкий В.С., Голубева Е.И. 2011. Динамика опустынивания аридных систем Внутренней Азии // География и природные ресурсы. No.4. С.148–156.
- Якутин М.В., Андриевский В.С., Лхагвасурен Ч. 2010. Изменение основных компонентов деструкционного звена биологического круговорота в ряду равнинных почв Котловины Больших озёр Западной монголии // Сибирский экологический журнал. No.3. С.437–444.
- Santos F., Withford W.J. 1981. The effect of microarthropods on litter decomposition in a Chichuachuan desert ecosystem // Ecology. Vol.62. No.3. P.654–663.
- Sardinha M. 2003. Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions // Applied Soil Ecology. Vol.23. P.237–244.
- Schinner F., Ohlinger R., Kandeler E., Margesin R. 1996. Methods in soil biology. Berlin: Springer-Verlag. 420 p.