

Влияние пастбищной нагрузки на комплекс деструкторов в почвах сухих степей Южной Тывы

М. В. ЯКУТИН, В. С. АНДРИЕВСКИЙ

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630099, Новосибирск, ул. Советская, 18
E-mail: yakutin@issa.nsc.ru, VS@issa.nsc.ru

АННОТАЦИЯ

Показано, что усиление интенсивности пастбищной нагрузки в почвах сухих степей Южной Тывы ведет к увеличению содержания микроббиомассы и снижению уровня ее удельной активности, к снижению показателей численности и видового богатства панцирных клещей. В процессе восстановления пастбища в течение трех лет содержание микроббиомассы снижается, уровень ее удельной активности увеличивается, но восстановления численности и видового богатства сообщества панцирных клещей не происходит.

Ключевые слова: сухая степь, пастбищная дигрессия, восстановление, комплекс деструкторов, биомасса микроорганизмов, дыхательная активность, удельная активность, панцирные клещи, численность, видовое богатство.

Сухие степи на каштановых почвах являются типичным ценозом в межгорных котловинах Южной Тывы. Эти степи на протяжении тысячелетий использовались в качестве зимних и летних пастбищ. Сложившиеся веками традиции кочевания были залогом более или менее равномерной пастбищной нагрузки на степные экосистемы. Эти традиции были забыты при переходе кочевнико-скотоводов к оседлому образу жизни после вхождения Тывы в состав СССР: появились участки сильно деградированных пастбищ вблизи колодцев и населенных пунктов [1].

Обследование состояния пастбищ на севере Центральной Азии в начале 90-х гг. XX в. показало, что около 75 % пастбищ деградированы в той или иной степени и нуждаются в различных мероприятиях по улучшению [2].

При переходе к рыночной экономике в последнее десятилетие в Тыве произошли возврат к индивидуальным аратским хозяй-

ствам, перераспределение земельного фонда и изменение структуры землепользования. На ряде участков прежде деградированных пастбищ резко снизилась пастбищная нагрузка и, как следствие, восстановились степные экосистемы [3].

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 путем [4]. Микроорганизмы, формируя пул гидролитических ферментов в почве, напрямую разлагают почвенную органику. Участие почвенных животных в этом процессе в меньшей степени является прямым, а в большей – опосредованным [5–7].

Одна из многочисленных и важнейших групп среди почвообитающих животных – микроартроподы, среди которых доминируют две таксономические группы: коллемболы и панцирные клещи (орибатиды). Их численность в некоторых типах почв достигает

Якутин Михаил Владимирович
Андреевский Владислав Семенович

сотен тысяч и даже миллионов экземпляров на 1 м². Уровень потребления микробной биомассы у мелких беспозвоночных в сотни раз выше, чем у крупных. С учетом их большей численности вклад этих животных в регуляцию микробного комплекса намного больше. Тем самым они влияют на рост и активность микроорганизмов, а также на видовой состав и структуру микробных сообществ, формирующихся при разложении растительных остатков [8, 9]. Так же как микроорганизмы, панцирные клещи являются важными агентами разложения органического вещества в почве. В их присутствии процессы минерализации опада и гумусообразования значительно ускоряются [3, 10, 11].

Влияние пастбищной нагрузки на сообщество почвенных микроорганизмов изучалось в различных природных зонах планеты. Оценено влияние выпаса на дыхание почвы [12], показано увеличение интенсивности выделения CO₂ в пастбищах, восстановленных в разной степени после сильной пастбищной нагрузки [13, 14], изучено влияние доступности элементов питания на почвенную микробную биомассу и почвообитающих животных на пастбищах [15], проанализировано изменение запаса почвенной микробной биомассы в ряду степных экосистем, находящихся под различной пастбищной нагрузкой [16].

Исследования панцирных клещей в условиях пастбищной нагрузки на экосистемы в большинстве своем носят описательный характер, без учета степени пастбищной дигрессии и без сравнения с ненарушенными экосистемами. Так, описываются фауна и население орибатид разных типов пастбищ [17], динамика их численности [18–21]; рассматривается влияние на эту группу различных факторов среды, например влажности [22]. Публикации, рассматривающие население орибатид при пастбищном режиме в сравнительном аспекте, будь то сравнение пастбищ с другими биотопами или сравнение разных типов пастбищ между собой, немногочисленны [23–26], носят разрозненный характер и оставляют обширное поле для исследований.

Попыток проследить изменение населения панцирных клещей, как и комплексных исследований основных компонентов деструкционного звена биологического круговорота в ряду

биотопов с разной степенью пастбищной нагрузки, до сих пор вообще не предпринималось.

Цель работы – изучение закономерностей изменения основных компонентов комплекса деструкторов (почвенных микроорганизмов и панцирных клещей) при изменении пастбищной нагрузки в степях Южной Тывы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в Южной Тыве. Были выбраны три участка сухой степи на каштановых почвах в северо-восточной части Убсу-Нурской котловины (Эрзинский кожуун). Абсолютные высоты участков 1050–1150 м над ур. м. Участки находятся под различной пастбищной нагрузкой. История использования пастбищ выяснена по материалам Администрации Эрзинского кожууна. Степень пастбищной дигрессии определялась по состоянию растительного покрова [3]. Основные характеристики исследованных экосистем приведены в табл. 1.

Для определения микробиологических показателей образцы отбирали в июле–августе 1998, 1999 и 2000 гг. из верхнего (0–10 см) слоя почвы по общепринятой методике [27].

Изучали основные показатели состояния сообщества почвенных микроорганизмов: содержание углерода в биомассе почвенных микроорганизмов (С-биомассы) методом фумигации-инкубации [28, 29] и дыхательную активность по количеству CO₂, выделившегося из почвы [27]. Удельная активность микроббиомассы оценивалась по величине метаболического коэффициента qCO₂ (отношение величины С-CO₂, выделившегося из почвы за 1 ч, к величине углерода биомассы почвенных микроорганизмов [30]. Одновременно в почвенных образцах определяли влажность в момент отбора и C_{орг} методом Тюрина [31].

Основные характеристики структуры комплекса панцирных клещей (орибатид) – видовое богатство и численность – определяли в течение вегетационного сезона 1998 г. Образцы отбирали стандартным пробоотборником из 0–5-сантиметрового слоя почвы. Выгонка орибатид из почвенных образцов осуществлялась традиционным методом – в воронках Тулльгрена–Берлезе [32].

Основные характеристики исследованных экосистем

Пастбище, нагрузка	Геоморфологическое положение	Экосистема / проективное покрытие, %/высота травостоя, см	Почва
1. Умеренный зимний выпас или легкий летний выпас	Шлейф останца горы, юго-восточный склон	Разнотравно-злаковая сухая степь / 65 / 10–30	Каштановая супесчаная среднемощная
2. Ранее тяжелая нагрузка, последние 3–5 лет легкий летний выпас (восстановление)	То же	То же / 65 / 10–20	То же
3. Тяжелая нагрузка в течение всего года, перевыпас (деградация)	Междуречье Эрзин и Тес-Хем	Злаково-полынная сухая степь / 50 / 2–5	Каштановая супесчаная на аллювиальных отложениях

Статистическая обработка результатов проводилась методами вариационного, корреляционного и дисперсионного анализов [33].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Пастбищный режим характеризуется ксеризацией условий среды, ведущей к дигрессии степной растительности, ксеризации степных фитоценозов. В отсутствие опада увеличивается инсоляция, повышается температура поверхности почвы, она уплотняется, повышается испарение [24]. Эти изменения почвенно-растительных условий не могут не сказаться на почвенной биоте, в частности на комплексе деструкторов.

В почве под пастбищем с легким выпасом (1) концентрация $C_{орг}$ составила 0,63 %. Максимальная концентрация $C_{орг}$ была в почве под деградированным пастбищем (3) – 1,03 %, а минимальная – под восстанавливающимся пастбищем (2) – 0,53 % (рис. 1).

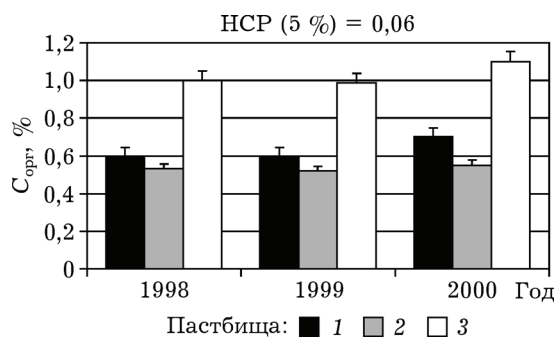


Рис. 1. Доля органического углерода в почве раз-

Похожая ситуация отмечена для показателя С-биомассы. Максимальные значения биомассы почвенных микроорганизмов зарегистрированы в почве деградированного пастбища (3) (в среднем 25 мг С/100 г почвы). В почвах других участков пастбищ С-биомассы оказался в среднем в 1,8–2,3 раза ниже (рис. 2).

Максимальная дыхательная активность зафиксирована в почве восстанавливающегося пастбища (2) (в среднем 13,7 мкг/(г почвы · сут)), минимальная – в почве деградированного пастбища (3) (в среднем 8,0 мкг С-СО₂/(г почвы · сут)). Различия между этими пастбищами по данному показателю были достоверными. В почве пастбища с легким выпасом (1) дыхательная активность составила в среднем 10,7 мкг С-СО₂/(г почвы · сут) (рис. 3).

Максимальная удельная активность зафиксирована в почве восстанавливающегося пастбища (2) (в среднем 5,7 (мкг С-СО₂/(мг С-биомассы · ч))), что было в 3,8 раза выше, чем

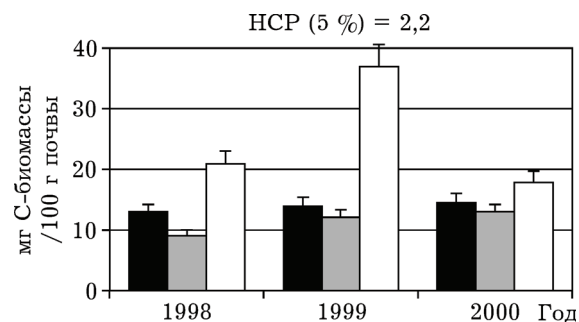


Рис. 2. С-биомассы микроорганизмов (мг С/100 г почвы) в почве различных пастбищ (обозначения

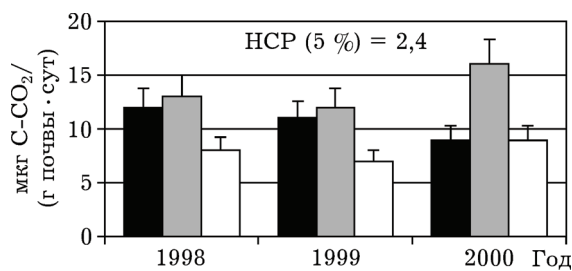


Рис. 3. Дыхательная активность микроорганизмов (мкг С-СО₂/(г почвы · ч)) в почве различных пастбищ (обозначения см. рис. 1)

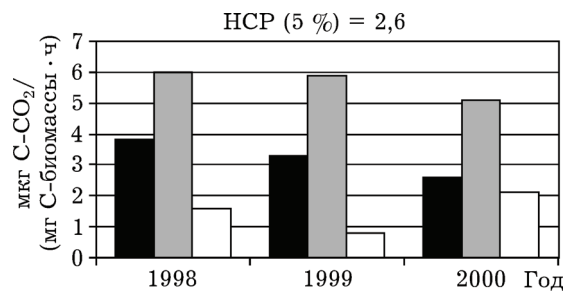


Рис. 4. Метаболический коэффициент (мкг С-СО₂/(мг С-биомассы · ч)) в почве различных пастбищ (обозначения см. рис. 1)

в среднем в почве деградированного пастбища (3) (1,5 мкг С-СО₂/(мг С-биомассы · ч)). Средняя величина метаболического коэффициента в почве пастбища под легким выпасом (1) составила 3,2 мкг С-СО₂/(мг С-биомассы · ч) (рис. 4).

Абсолютные значения параметров видового богатства и численности панцирных клещей могут быть занижены из-за недостаточно полного обследования (одноразовый отбор). Однако они вполне пригодны для относительного сравнения исследуемых участков между собой.

Всего обнаружено 5 видов орибатид, которые распределяются в исследуемых экосистемах неравномерно. Два явных доминанта, характерных для большинства биотопов Тывы [34], – *Latovortex laticuspis* и *Eporibatula prominens* – заселяют исключительно пастбище с легким выпасом (1), отсутствуя в восстанавливающемся (2) и деградированном (3). В последних обнаружены в малом количестве другие виды – *Vipassalozetes* sp. и *Zygoribatula propinquus* (табл. 2).

Если судить по видовому богатству и в гораздо большей степени – по численности, очевидно, что усиление пастбищной нагрузки приводит к деградации сообщества пан-

цирных клещей, а трехлетний период восстановления пастбища после сильного сбоя не сказывается на их сообществе – оно остается в угнетенном состоянии. Видимо, трехлетнего срока недостаточно даже для частичного восстановления сообщества.

Почвенные микроорганизмы – главный агент процесса разложения органического вещества в почве, включающего в себя два процесса: минерализацию и гумификацию. Запасы почвенного органического вещества – это интегральный итог двух разнонаправленных процессов: образования гумуса и его минерализации [35]. В почве под деградированным пастбищем (3) низкий уровень дыхательной активности свидетельствует об ослаблении процессов минерализации органического вещества. Увеличение запасов гумуса здесь свидетельствует о смещении соотношения процессов гумификация – минерализация в сторону гумификации. При деградации пастбища (3) увеличиваются запасы микроббиомассы и снижается уровень ее удельной активности, т. е. для деградированного пастбища характерен относительно большой запас метаболически низкоактивной биомассы микроорганизмов.

В процессе восстановления пастбища (2) снижается запас микроббиомассы, но уси-

Т а б л и ц а 2

Население панцирных клещей (орибатид) в почвах исследованных пастбищ, тыс. экз./м²

Вид	Пастбище		
	1	2	3
<i>Latovortex laticuspis</i> Balogh et Mahunka, 1965	12,0	–	–
<i>Eporibatula prominens</i> Bayartogtokh et Aoki, 1998	7,6	–	–
<i>Proteremaeus chadaevae</i> Golosova, 1983	0,4	–	–
<i>Zygoribatula propinquus</i> (Oudemans, 1902)	–	0,04	–
<i>Vipassalozetes</i> sp.	–	–	0,16
Общая численность	20,0	0,04	0,16

ливаются дыхательная активность и уровень удельной активности. Уже через 5 лет восстановления запас органического углерода снижается практически до уровня ненарушенного пастбища, т. е. в процессе восстановления интенсивность процессов минерализации усиливается, а гумификации – снижается. При этом и часть гумуса при восстановлении пастбища вовлекается в процесс минерализации.

Все изменения запасов гумуса, биомассы микроорганизмов и ее метаболической активности при увеличении пастбищной нагрузки могут быть связаны с изменениями запасов корней и с уплотнением почвы [36]. Показано, что запас корней был максимальным в почве восстанавливающегося пастбища (2) и минимальным в почве деградированного пастбища (3) [3]. Количество корней в почве различных пастбищ положительно коррелировало с показателем дыхательной активности и отрицательно – с запасом органического углерода и биомассой микроорганизмов. Увеличение запаса корней при уменьшении пастбищной нагрузки приводит к увеличению количества легкометаболизируемых корневых экссудатов, поступающих в почву. А процессы минерализации гумуса ускоряются, как известно, в присутствии доступных микроорганизмам водорастворимых органических соединений благодаря реакциям соокисления [10]. Таким образом, увеличение запаса корней приводит к усилению интенсивности процессов минерализации растительного и почвенного органического вещества. И, как следствие, происходит уменьшение запасов гумуса в почве.

Почвенные животные и микроорганизмы осуществляют процесс разложения органического вещества в почве в тесном взаимодействии [5]. Снижение запаса корней и, по-видимому, высокая степень воздействия копыт пасущегося скота способствуют ксеризации условий обитания панцирных клещей в почве, что влечет резкое снижение численности орибатид и является дополнительным фактором, приводящим к снижению интенсивности процессов минерализации в почве под деградированным пастбищем. Сбой также приводит к изменению видового состава панцирных клещей.

Переход к умеренной пастбищной нагрузке и восстановление пастбища связаны с из-

менением характера функционирования почвенной микроббиомассы: ее запас снижается в почве восстанавливающегося пастбища (2), но резко возрастает дыхательная активность и, как следствие, – удельная активность микроббиомассы. Это может быть связано с перестройкой комплекса почвенных микроорганизмов.

Влияние пастбищной нагрузки отражается на разных компонентах деструкционного звена биологического круговорота неодинаково. За сравнительно небольшой (трехлетний) временной отрезок исследований комплекс микроорганизмов проявляет заметную тенденцию к восстановлению, а сообщество панцирных клещей восстановиться даже частично не успевает. Для него, по-видимому, на восстановление нужно больше времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гомбоев Б. О. Аграрное землепользование Внутренней Азии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 228 с.
2. Эксперимент “Убсу-Нур”. Ч. 1. Наземные исследования. М.: Интеллект, 1995. 336 с.
3. Степи Центральной Азии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 299 с.
4. Тейт Р. III. Органическое вещество почвы: биологические и экологические аспекты. М.: Мир, 1991. 400 с.
5. Luxton M. Substrate utilization by the soil fauna // *Oikos*. 1982. Vol. 39, N 3. P. 340–341.
6. Visser S. The role of the soil invertebrates in determining the composition of soil microbial communities // *Ecological Interactions in Soil*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985. P. 297–317.
7. Anderson J. M. Food web functioning and ecosystems processes: problems and perception of scaling // *Invertebrates as Webmasters in Ecosystems*.: CABI Publishing, 2000. P. 3–24.
8. Siepel H., de Ruiter-Dukman E. M. Feeding guilds of oribatid mites based on their carbohydrase activities // *Soil Biol. Biochem.* 1993. Vol. 25, N 11. P. 1491–1497.
9. Бызов Б. А. Зоомикробные взаимодействия в почве. М.: ГЕОС, 2005. 213 с.
10. Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. 336 с.
11. Стриганова Б. Р. Структура и функции сообщества почвообитающих животных // Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. М.: ГЕОС, 1999. 278 с.
12. Bremer D. J., Ham J. M., Owensby C. E., Knapp A. K. Responses of soil respiration to clipping and grazing in a tallgrass prairie // *J. Environ. Qual.* 1998. N 27. P. 1539–1548.
13. Abril A., Bucher E. H. The effects of overgrazing on soil microbial community and fertility in the Chaco dry savannas of Argentina // *Applied Soil Ecology*. 1999. N 12. P. 159–167.
14. LeCain D. R., Morgan J. A., Schuman G. E., Reeder J. D., Hart R. H. Carbon exchange and species composition

- of grazed pastures and exclosures in the shortgrass steppe of Colorado // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2002. N 93. P. 421–435.
15. Parfitt R. L., Yeates G. W., Ross D. J., Mackay A. D., Budding P. J. Relationships between soil biota, nitrogen and phosphorus availability, and pasture growth under organic and conventional management // *Applied Soil Ecology*. 2005. N 28. P. 1–13.
 16. Титлянова А. А., Кудряшова С. Я., Якутин М. В., Булавко Г. И., Миронычева-Токарева Н. П. Запасы углерода в растительном веществе и микробной биомассе в экосистемах Сибири // *Почвоведение*. 2001. № 8. С. 942–954.
 17. Scull I., De La Cruz J. Acaros oribatidos de los suelos pecuarios de Cuba. 3 parte. // *Rev. Cubana Cienc. Vet.* 1984. Vol. 15, N 3–4. P. 277–280.
 18. Усова З. В., Ярошенко Н. Н. Орибатида пастбищ Донецкой области // *Вестн. зоол.* 1979. № 4. С. 88–92.
 19. Orta T., Hollands I. Migracion y distribucion de los acaros oribatidos en el pasto // *Rev. Cubana Cienc. Vet.* 1982. Vol. 13, N 3. P. 79–84.
 20. Медоева З. Н., Калабеков А. Л., Кудахтина А. В. Структура комплекса панцирных клещей пастбищ крестового перевала // *Фауна и экология животных Кавказа. Орджоникидзе*, 1987. С. 111–119.
 21. Газалиев Н. А. Микроартроподы пастбищных экосистем Терско-Кумской низменности Дагестана // *Изв. Сев. Кав. научн. центра высш. шк. естеств. наук*. 1988. № 4. С. 18–25.
 22. Москачева Е. А. Выживаемость панцирных клещей (Oribatei) на ежегодно заливаемых пойменных пастбищах Белоруссии // *Зоол. журн.* 1960. Т. 39, вып. 3. С. 365–374.
 23. Соколова И. Б. Распространение почвенных клещей на пастбищах Западного Казахстана // *Труды Ин-та зоологии АН Каз. ССР*. 1956. Т. 5. С. 161–165.
 24. Гордеева Е. В. Изменение структуры комплексов панцирных клещей при сукцессионных изменениях степных фитоценозов // *Исследование почв и почвенных режимов в степных биогеоценозах Приазовья. Пушино*, 1977. С. 79–98.
 25. Purvis G., Curry J. P. Successional changes in the arthropod fauna of a new ley pasture established on previously cultivated arable land // *J. of Appl. Ecology*. 1980. Vol. 17, N 2. P. 309–321.
 26. Petersen B., Kelly M. J., Poe B., Weaver B., Hargan L. Mites and collembola from adjacent overgrazed and ungrazed pastures in Jackson County, Illinois // *Trans. Ill. State Acad. Sci.* 1982. Vol. 75, N 3–4. P. 193–199.
 27. *Методы почвенной микробиологии и биохимии*. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
 28. Jenkinson D. S., Powlson D. S. The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass // *Soil Biol. Biochem.* 1976. N 3. P. 209–213.
 29. Schinner F., Ohlinger R., Kandeler E., Margesin R. *Methods in soil biology*. Berlin: Springer-Verlag, 1996. 420 p.
 30. Anderson T. H., Domsch K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state // *Biol. Fert. Soil*. 1985. N 5. P. 81–89.
 31. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
 32. *Количественные методы в почвенной зоологии*. М.: Наука, 1987. 288 с.
 33. Плохинский Н. А. *Биометрия*. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
 34. Смелянский И. Э., Андриевский В. С. Некоторые закономерности организации населения орибатид (Acariformes, Oribatei) на степной катене в Центральной Азии // *Убсу-Нурская котловина как индикатор биосферных процессов в Центральной Азии*. Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2004. С. 109–111.
 35. Аристовская Т. В. *Микробиология процессов почвообразования*. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1980. 187 с.
 36. *Микроорганизмы и охрана почв*. М.: Изд-во МГУ, 1989. 206 с.

Effect of Grazing Pressure on the Complex of Destructors in the Soil of Dry Steppe of Southern Tyva

M. V. YAKUTIN, V. S. ANDRIEVSKY

*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS
630099, Novosibirsk, Sovetskaya str., 18
E-mail: yakutin@issa.nsc.ru, VS@issa.nsc.ru*

It is demonstrated that an increase in grazing pressure on the soil of dry steppe in Southern Tyva causes an increase in the content of microbiomass and a decrease in the level of its specific activity, a decrease in the number and species diversity of oribatid mites. During the recovery of the pasture for three years, the content of the microbial biomass decreases, the level of its specific activity increases but the number and species diversity of the oribatid mites community do not recover.

Key words: dry steppe, pasture digression, reduction, complex of destructors, biomass of microorganisms, respiratory activity, specific activity, oribatid mites, number, species diversity.