

УДК 58.009:58.01/.07(571.5)

ЗАПАСЫ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЕТОШИ И ВОЙЛОКА ЛЕЙМУСОВЫХ СООБЩЕСТВ (*Leymus chinensis* (TRIN.) TZVEL.) ЮГА ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ И ОЦЕНКА ИХ УСТОЙЧИВОСТИ К РАЗЛОЖЕНИЮ[§]

© 2025 г. М. Г. Меркушева^{1,*}, Л. Н. Болонева¹, И. Н. Лаврентьева¹, Н. К. Бадмаева¹¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН

670047 Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, Россия

*E-mail: merkusheva48@mail.ru

Исследованы запасы и химический состав ветоши и войлока в монодоминантных китайско-леймусовых сообществах южной части Восточного Забайкалья, произрастающих в разных почвенно-экологических условиях резко континентального климата и выполняющих в зимний период протекторные функции для термического и водного режимов верхних горизонтов почв, сохранения почек возобновления растений. Выявлено, что запасы ветоши и войлока значительно варьировали: 2.9–102.9 и 54–107 г/м² соответственно. Количество ветоши в основном зависело от видового состава сообществ и степени пастбищной нагрузки. Установлена корреляция накопления ветоши и войлока от продукции доминанта и общей зеленой фитомассы леймусовых сообществ, но связь между содержанием ветоши и войлока в леймусовых сообществах была слабая ($r = 0.44$). Для восстановления оптимального накопления ветоши, согласно величинам подстильно-опадного коэффициента (ПОК) и коэффициента деструкции (K_d), потребуется относительно длительный срок. Выявлена высокая отрицательная корреляция между этими показателями ($r = -0.89... -0.91$). Концентрации макроэлементов в ветоши и войлоке разных сообществ определялись видовым составом и обеспеченностью питательными веществами и влагой. По величинам соотношений $C : N$, $C : P$, $C : N : S : P$, $Ca : K$ и $Si : Ca$ в надземной фитомассе сообществ впервые показано, что ветошь и войлок леймусовых сообществ южной части Восточного Забайкалья устойчивы к разложению и минерализации. Однако степень устойчивости может быть скорректирована при изменении видового состава, климатических (засуха, обильные осадки) и антропогенных (весенний пал и степные пожары) условий.

Ключевые слова: ветошь, войлок, леймусовые сообщества, химический состав, южные степи, Восточное Забайкалье.

DOI: 10.31857/S0002188125010073, **EDN:** VCLSRT

ВВЕДЕНИЕ

Одним из факторов устойчивого функционирования экосистем выступает сбалансированное соотношение между синтезом фитомассы и ее деструкцией [1, 2]. В этих работах показано, что в степных экосистемах биотические круговороты ускорены

и смещены в почву, где концентрируется основная фитомасса, а из-за аридности климата процессы разложения и минерализации уступают по скорости продуцированию, что нарушает равновесие между синтезом и деструкцией.

Сезонная динамика развития степных сообществ для каждого отрезка вегетационного периода характеризуется определенным сочетанием нарастания и отмирания зеленых частей растений, накоплением на поверхности почвы ветоши и войлока. В результате этих процессов осуществляется возврат в почву зольных элементов и происходит обогащение ее органическими веществами. Цикл разложения войлока в луговых степях, остепненных лугах и галоксерофитной степи проходит в среднем в течение нескольких лет [3, 4]. Сходство оптимума гидротермических условий для жизни фотосинтезируемой части растений

[§]Работа выполнена по темам НИР (Госзадание 121030100228-4 “Эволюционно-генетические, биогеохимические и продукционные функции почв Байкальского региона как компонента биосферы, оценка их ресурсного потенциала и разработка технологий рационального использования и охраны”; 121030900138-8 “Биота наземных экосистем Байкальского региона: состав, структура, эколого-географические особенности”), а также по проекту РФФИ-Бурятия № 18-416-030028 “Поиск перспективных популяций *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel. для введения в культуру на основе молекулярно-генетических исследований, параметров биопродуктивности и питательной ценности”.

и организмов, разлагающих фитомассу, показывает на биогеоэкологическую организованность этих ландшафтов, направленную на удержание элементов в системе почва–растение.

Размер накопления войлока в разных типах степной растительности значительно различается и определяется видовым составом и количеством осадков. Например, в степи, лесостепи и лугах запасы войлока могут составлять 8–10, в умеренно засушливых степях – 6, в сухих – 3 т/га [5]. Такие высокие показатели в настоящее время возможны только при заповедном режиме и на территориях с достаточным количеством осадков. В связи с изменением климата запасы войлока существенно снизились в природных степных экосистемах Южно-Минусинской котловины на юге Средней Сибири и в Харанорской степи Юго-Восточного Забайкалья [6].

Важными факторами, влияющими на запасы войлока и длительность его минерализации, являются пастбища [7–9] и степные пожары [10]. Восстановление естественного уровня мортмассы после снятия сильных пастбищных нагрузок может продолжаться годами, например в сухой степи (Тува) накопление мортмассы заняло 10 лет, с 43–107 до 178–250 г/м² [11].

Темпы разложения ветоши фитоценозов определяются на начальных стадиях в большей степени их структурой и химическим составом (содержанием легкогидролизуемых углеводов и зольных элементов), на конечных – свойствами почв, численностью аэробных и анаэробных целлюлозолитиков, входящих в состав деструкционного звена, а интенсивность биогенного обмена может быть оценена по разности между количеством синтезированной и разложившейся за год надземной фитомассы [12, 13]. Известно также, что активность трансформации ветоши и войлока зависит от видовой принадлежности растений, например злаки разлагаются медленнее, чем разнотравье и бобовые [14, 15]. Скорость разложения ветоши и войлока может служить критерием, определяющим устойчивость биогеоценоза и позволяющим оценить качественные и количественные показатели малого биологического круговорота [16, 17]. Величина подстильно-опадного коэффициента (ПОК) определяется типом экосистемы, биологическими особенностями вида, фракцией растительного вещества и его химического состава, зависит от почвенно-экологических условий места обитания сообщества. Этот показатель определяется количеством лет, необходимых для накопления ветоши при имеющихся скоростях ежегодного поступления в войлок и последующего разложения. В процессах превращения степного войлока принимают участие не только микроорганизмы, но и представители почвенной фауны. Это многоступенчатый биологический процесс, при котором происходит не только разложение, но и синтез сложных органических соединений [18].

Основная трансформация химического состава растительного материала происходит в звене зеленая масса – ветошь. Войлок служит активным биогеохимическим барьером, задерживающим и вторично накапливающим элементы-биогены. Закономерности трансформации химического состава в звене зеленая фитомасса – ветошь – войлок являются в целом общими для травяных экосистем [19].

Характерной особенностью степных пастбищ Забайкалья является их пригодность для выпаса во все сезоны года, преобладание в травостое злаков, в т.ч. леймуса китайского [20]. Для степных сообществ Восточного Забайкалья изучена сезонная и многолетняя динамика мортмассы до аридизации [21] и в условиях современного климата [22], также имеются данные о микробиологической деструкции опада степных экосистем Юго-Восточного Забайкалья [13]. Показано, что короткий период вегетации трав и низкая влагообеспеченность сезона не способствуют интенсивной минерализации мортмассы. Наличие степного войлока в степях с резко континентальным климатом имеет большое значение для термического и водного режимов верхних горизонтов почв, сохранения почек возобновления в зимний период, т.к. почвы промерзают на глубину 3–4 м.

В настоящее время нами установлено [23], что сходство между видовым составом леймусовых сообществ – слабое или среднее из-за значительной доли в них одновидовых семейств и родов и разных условий их произрастания (галоксероморфная степь, остепненные луга). Это позволяет охарактеризовать леймусовые сообщества как экологически гетерогенные [24]. Первичная продукция сообществ с *L. chinensis* оценена как высокая. Выявлена зависимость накопления питательных веществ от почвенно-экологических условий, продолжительности вегетационного периода и фазы развития растения, адаптационного приспособления этого вида к длительной аридизации, что вызывает его вегетативное размножение за счет снижения генеративного [25]. Несмотря на широкое распространение леймусовых сообществ в Забайкалье, Северной Монголии и Северном Китае, данные о накоплении ветоши, войлока и их химического состава в зависимости от почвенно-экологических условий их произрастания отсутствуют.

Цель работы – определить запасы и химический состав ветоши и войлока в монодоминантных леймусовых сообществах южной части Восточного Забайкалья и дать оценку их устойчивости к разложению и минерализации.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2019 г. в степной зоне Забайкальского края в монодоминантных леймусовых

сообществах (*Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel.) в административных районах: Оловянинском — 1–3, Агинском — 4, 5, Дульдургинском — 6 (табл. 1).

Фитоценозы приурочены к разным типам почв, расположенным в галоксерофитной (1) и луговой (2, 3, 5) степи, пойменных остепненных лугах (4, 6).

Выбор районов обусловлен большими площадями травяных экосистем: в Оловянинском р-не сенокосы составляют 98 973, пастбища — 247 608 га, в Агинском р-не — соответственно 55 746 и 326 467 га. Среднегодовая температура воздуха равна -3°C , сумма температур $>10^{\circ}\text{C}$ — 1700–1950 $^{\circ}\text{C}$, гидротермический коэффициент — 1.4. Продолжительность безморозного периода — 90–110 сут [26]. Многолетнее количество осадков в районах исследования составляет 325 мм, за вегетационный период — 306 мм (табл. 2).

В период проведения исследования сумма осадков за май–сентябрь была равна 309 мм. В связи с изменением климата следует отметить крайне неравномерное выпадение количества осадков и их распределение в южной части Забайкальского края, что оказывает большое влияние на формирование всех видов наземной фитомассы (зеленой, ветоши, войлока).

Леймусовые экосистемы в Забайкалье, как указывали выше, произрастают на разных типах почв, различающихся по своим свойствам, особенно гранулометрическому составу, реакции среды, количеству карбонатов, гумуса и др. (табл. 3).

Обеспеченность почв нитратным азотом — очень низкая, подвижным фосфором — от очень низкой до повышенной грации, обменным калием — от средней-повышенной до низкой.

Таблица 1. Некоторые характеристики леймусовых сообществ Восточного Забайкалья

№ сообщества, почва	Координаты	Общее проективное покрытие	Проективное покрытие леймуса	Число видов	Содоминанты
		%			
1, солончак	50.93630° с.ш. 115.41905° в.д. h – 635.5 м	80	55	19	<i>Artemisia anetifolia</i>
2, светлогумусовая	50.86464° с.ш. 115.46143° в.д. h – 692.9 м	90	70	16	<i>Carex duriuscula</i>
3, светлогумусовая	50.86435° с.ш. 115.46164° в.д. h – 707.5 м	95	80	24	<i>Thesium longifolium</i>
4, аллювиальная светлогумусовая	50.86311° с.ш. 115.46511° в.д. h – 691.2 м	85	70	20	<i>Equisetum arvense</i>
5, светлогумусовая	51.04865° с.ш. 114.37504° в.д. h – 702.1 м	65	40	17	<i>Carex duriuscula</i>
6, слоисто-аллювиальная гумусовая	50.47533° с.ш. 114.02410° в.д. h – 671.3 м	55	40	9	<i>Potentilla bifurca</i> , <i>Carex duriuscula</i>

Таблица 2. Количество осадков в районе исследования (по данным метеостанции Агинское), мм

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средне-годовая норма
2016	3.9	0.2	18.1	6.1	28.7	13.9	31.3	53.4	84.5	4.8	8.0	2.7	256
2017	1.1	3.5	0.7	32.5	24.3	20.5	58.7	91.1	36.2	2.3	1.9	11.2	284
2018	1.3	1.6	7.3	1.0	14.0	61.9	253.4	54.4	65.0	4.6	0.7	0	465
2019	1	0	5	6	1	72	84	98	54	6	8	0	335
средне-голетнее	0	0	0	8	29	59	98	76	44	8	3	0	325

Таблица 3. Физико-химические и химические свойства почв под леймусовыми сообществами Восточного Забайкалья

Глубина, см	Содержание фракций (мм), %		рН _{Н₂О}	ЕКО	Na ²⁺	CO ₂ карб	Гумус	N _{общ}	Подвижные по Мачигину		
	<0.01	<0.001								P ₂ O ₅	K ₂ O
										ммоль(+)/100 г	%
Сообщество 1, солончак											
0–3(14)	34	6	8.6	14.0	3.8	17.1	1.5	0.1	19.3	202	
3(14)–55(61)	74	15	9.2	6.0	4.3	19.6	0.5	0.1	18.7	72.3	
Сообщества 2, 3, светлогумусовая											
0–10(14)	16	2	7.2	16.0	0.2	0.6	2.8	0.1	16.7	121	
10(14)–63(67)	33	3	7.7	14.0	0.2	0.8	1.2	0.1	9.3	74.7	
Сообщество 4, аллювиальная светлогумусовая											
0–32(36)	22	2	8.0	24.0	0.4	9.0	4.3	0.3	15.3	101	
32(36)–80	34	4	7.6	12.0	0.3	1.1	0.5	0.1	9.3	84.4	
Сообщество 5, светлогумусовая											
0–23	14	2	7.3	12.0	0.1	0.4	2.8	0.2	34.7	176	
23–103	29	4	7.5	10.0	0.1	0.8	0.8	0.1	16.7	86.8	
Сообщество 6, слоисто-аллювиальная гумусовая											
0–8	38	5	6.4	14.0	0.1	0.8	3.6	0.2	25.3	239	
8–46	23	3	6.6	7.0	0.1	0.8	1.3	0.1	13.3	60.3	

Определение проективного покрытия и обилия видов в сообществах проводили по Браун–Бланке на площади 100 м² (10 × 10 м). Названия растений даны по [27]. Запасы надземной фитомассы определяли в 3-ю декаду июля. В этот период формируется наибольшая продуктивность трав. Надземную массу определяли укосным методом с площадок 50 × 50 см в пятикратной повторности. Укос разделяли на зеленую массу, ветошь. Войлок отбирали вручную на площадках, после удаления травостоя и ветоши. Пробы очищали от почвы до и после высушивания. Полученные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния. Химический анализ растений проведен по [28].

После мокрого озоления в растениях определяли общий азот и фосфор фотометрическим методом, калий и натрий – пламенно-фотометрическим методом, после сухого озоления – кальций и магний комплексонометрическим методом. Серу определяли турбидиметрическим методом [29], углерод – в модификации метода Тюрина [30], кремний – весовым методом [31].

Подстильно-опадный коэффициент (ПОК) рассчитывали по величине отношения количества войлока к массе ветоши [32]. Скорость разложения войлока определяли по величине коэффициента деструкции: $K_d = [\Phi / (\Phi + A)] \times 100$ (%), где Φ – количество ветоши, A – войлока.

Классификацию и диагностику почв проводили по [33]. При изучении свойств почв были

использованы общепринятые методы [28]: гранулометрический состав – пипеточный, рН_{H₂O} – потенциометрический, ЕКО – метод Бобко–Аскинази–Алешинной в модификации ЦИНАО, обменный натрий в солончаке – метод Пфеффера в модификации Молодцова и Игнатовой и в незасоленных почвах – пламенно-фотометрический метод, С_{орг} – метод Тюрина в модификации Никитина, азот общий – фотометрический метод, карбонаты – газово-люметрический метод, подвижные формы фосфора и калия – метод Мачигина.

Для статистической обработки полученных данных накопления ветоши и войлока использовали программное обеспечение RStudio 2023.12.1. Дескриптивные характеристики представлены в виде медианы, 25 и 75-го процентиля (график box plot). В качестве предварительного статистического метода применяли критерий Краскела–Уоллиса, с последующим попарным сравнением с помощью критерия Манна–Уитни (пакет multcomp). Поправку на множественность сравнений выполняли методом Бенджамини–Хохберга. Корреляционную зависимость определяли с помощью коэффициента корреляции Спирмена. Данные химического состава обработаны в процессоре Excel из пакета MS Office 2017.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Запасы. В каждом сообществе выявлено наличие ветоши и степного войлока, но размер их

накопления существенно различался в разных сообществах (рис. 1) и зависел в основном от запасов ветоши, формирующихся в конце вегетационного сезона.

Малое количество ветоши в сообществах 6 и 1 было обусловлено значительной долей в видовом составе малолетников, соответственно 33 и 21%, которые, как правило, представлены разнотравьем с коротким сроком вегетации [23]. Например, количество ветоши различалось между ценозом 1 и сообществами 3–6, между 2–4 и 5 и 6, между 5 и 6. Вариабельность накопления войлока обусловлена разной структурой сообществ, неоднородностью почвенно-экологических условий и воздействием внешних факторов (выпас, пал). По содержанию войлока выявлено различие между фитоценозами 1, 2, 3, 5 и 6. Установлена зависимость накопления ветоши и войлока от продукции доминанта и общей зеленой фитомассы леймусовых сообществ (табл. 4), но коэффициент корреляции между содержанием ветоши и войлока в леймусовых сообществах был слабым ($r = 0.44$). Это обусловлено в основном природными факторами, в частности, сильными весенне-раннелетними ветрами, переносящими ветошь на расстоянии, что характерно для всего Забайкалья, как и осенне-зимний выпас.

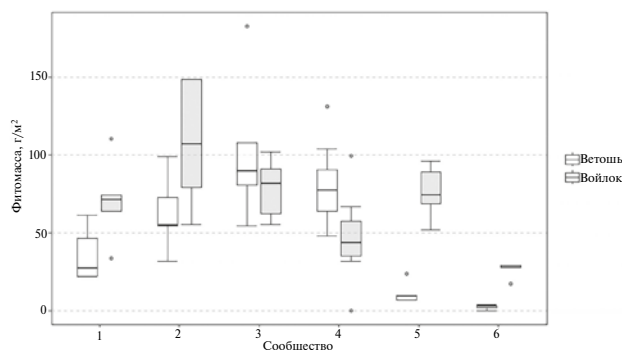


Рис. 1. Содержание ветоши и войлока в леймусовых сообществах юга Восточного Забайкалья, г/м²/год.

Таблица 4. Корреляционная матрица связей между показателями структуры надземной фитомассы леймусовых сообществ юга Восточного Забайкалья ($n = 30$)

Показатель		Ветошь	Войлок	Зеленая фитомасса		
				леймус	другие виды	общая
Ветошь		1.00	—	—	—	—
Войлок		0.25 (0.163)	1.00	—	—	—
Зеленая фитомасса	леймус	0.77* (0.000)	0.42* (0.017)	1.00	—	—
	другие виды	0.06 (0.755)	0.34 (0.055)	0.00 (0.996)	1.00	—
	общая	0.76* (0.000)	0.56* (0.001)	0.91* (0.000)	0.34 (0.054)	1.00

Примечание. * статистически значимые, в скобках — величина p .

В отличие от степных территорий европейской части России и Западной Сибири [5], в леймусовых сообществах основная доля (61–83%) в формировании надземной фитомассы приходилась на зеленые побеги, ветоши (12–22%), кроме сообществ 5–6 (2 и 4% соответственно) (рис. 2). Это связано с ботаническим составом сообщества 5 и пастбищной нагрузкой в 6-м. Количество войлока составляло 15–28%.

Скорость разложения ветоши и войлока может служить критерием, определяющим устойчивость биогеоценоза и позволяющим оценить качественные и количественные показатели малого биологического круговорота [16, 17]. Величина подстильно-опадного коэффициента (ПОК) определяется типом экосистемы, биологическими особенностями вида, фракцией растительного вещества и его химического состава, зависит от почвенно-экологических условий места обитания сообщества. ПОК указывает на количество лет, необходимых для накопления ветоши при имеющихся скоростях ежегодного поступления в войлок и последующего разложения. Согласно нашим расчетам (табл. 5), наиболее нарушенный продукционный процесс был выявлен в сообществах 5 и 6 из-за максимального антропогенного воздействия (выпаса), который способствовал снижению общего проективного покрытия, в т. ч. доли доминанта и уменьшению запасов ветоши.

Для восстановления ее оптимального накопления потребуется относительно длительный срок. Судя по величинам ПОК и K_d , именно в этих сообществах нарушены продукционные процессы. Корреляция между этими показателями варьировала в очень узком диапазоне: $-0.89...-0.91$.

Химический состав. Почти полная трансформация химического состава растений происходила при их отмирании — в процессе образования ветоши. Обеднение ветоши физиологически важными элементами объясняется их оттоком из стареющих тканей растений и вторичной утилизацией



Рис. 2. Распределение фитомассы леймусовых сообществ, % от общей наземной массы, 1, 2, 3, 4, 5, 6 – номера сообществ.

Таблица 5. Величины подстильно-опадного коэффициента и коэффициента деструкции в леймусовых сообществах юга Восточного Забайкалья

Показатель	Сообщества					
	1	2	3	4	5	6
ПОК	<u>2.0</u> 1.8	<u>1.7</u> 2.0	<u>0.8</u> 1.1	<u>0.7</u> 0.5	<u>6.8</u> 7.8	<u>9.0</u> 10.6
К _д	<u>33.6</u> 35.8	<u>36.8</u> 32.9	<u>41.4</u> 46.9	<u>59.7</u> 66.9	<u>12.8</u> 11.3	<u>10.0</u> 8.6

Примечание. Над чертой – среднее арифметическое, под чертой – медиана.

элементов растущими и активно вегетирующими органами [19]. По нашим данным (табл. 6), содержание золы изменялось в небольшом диапазоне (5.76–7.92%). Снизились концентрации N, K и S, увеличилось количество углерода.

Особенностью химического состава войлока под леймусовыми сообществами является относительно высокое содержание сырой золы, Ca, S и Si. По количеству азота, серы, кальция в войлоке галоксерофитного сообщества 1 оно превосходило остальные, т.к. солончак обогащен минеральными солями. Следует выделить сообщество 6, имеющее в минеральном составе войлока повышенные концентрации азота, фосфора, калия и магния, что, возможно, связано с ботаническим составом и наличием отавы из-за нерегулируемого выпаса. Другие сообщества характеризовались практически одинаковым количеством этих элементов.

Оценка устойчивости к минерализации. Интенсивное разложение мортмассы возможно только при определенном уровне содержания в ней азота, недостаток которого сильно ограничивает скорость минерализации, и она идет не до конца. Если его количество в разлагающихся остатках не превышает 1.5%, то отсутствует накопление минеральной формы N в почве, т.к. он весь связывается микроорганизмами. Минерализация начинается при соотношении C : N = 20. Однако известно, что в зависимости от характера химических соединений, входящих в состав растительных

тканей, величина этого показателя может меняться. При разложении остатков растений, принадлежащих к разным видам, минерализация азота прекращается при различных соотношениях C : N, причем критическая величина этого показателя варьирует в диапазоне 16.1–23.8 [34]. Согласно полученным данным (табл. 7), величина C : N была характерной для каждого компонента фитомассы: *Leymus chinensis*, других видов, ветоши, войлока. Ветошь и войлок по величине C : N являются трудноразлагаемыми, независимо от почвенно-экологических условий сообществ.

Скорость микробиологического разложения растительного опада степных сообществ Юго-Восточного Забайкалья зависит от видового состава, более устойчивы к разложению степные злаки, обогащенные целлюлозой и лигнином [13]. Процесс деструкции в значительной мере определяется оптимальным соотношением температуры воздуха и достаточной влагообеспеченностью вегетационного сезона, при этих условиях степной растительный опад может разлагаться до 49–66%.

На скорость разложения мортмассы оказывают влияние содержание элементов зольного питания и их качественный состав. Особенно важную роль играет уровень концентрации фосфора, минерализация которого становится возможной лишь при определенных отношениях C : P. Это соотношение должно быть <112 [34]. Если оно находится в пределах

Таблица 6. Химический состав ветоши и войлока в леймусовых сообществах юга Восточного Забайкалья, % ($n = 5$)

№ сообщ- щества	N	C	Сырая зола	P	K	Ca	Mg	S	Na	Si
Ветошь										
1	1.17 ± 0.06	37.2 ± 1.8	5.88 ± 0.26	0.28 ± 0.01	0.29 ± 0.02	0.33 ± 0.02	0.15 ± 0.007	0.43 ± 0.02	0.08 ± 0.004	1.81 ± 0.09
2	0.61 ± 0.04	42.3 ± 1.6	6.16 ± 0.30	0.29 ± 0.01	0.28 ± 0.01	0.29 ± 0.01	0.11 ± 0.005	0.40 ± 0.02	0.04 ± 0.002	2.32 ± 0.12
3	0.44 ± 0.02	22.3 ± 1.1	5.91 ± 0.27	0.22 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.10 ± 0.005	0.10 ± 0.005	0.03 ± 0.001	2.29 ± 0.10
4	0.58 ± 0.03	47.7 ± 1.8	7.92 ± 0.30	0.19 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.40 ± 0.02	0.11 ± 0.005	0.11 ± 0.005	0.04 ± 0.002	3.32 ± 0.16
5	0.75 ± 0.04	35.0 ± 1.5	5.76 ± 0.25	0.13 ± 0.01	0.32 ± 0.02	0.27 ± 0.01	0.10 ± 0.005	0.10 ± 0.005	0.03 ± 0.001	3.10 ± 0.13
6	1.01 ± 0.04	37.8 ± 1.8	6.59 ± 0.30	0.14 ± 0.01	0.74 ± 0.04	0.46 ± 0.02	0.14 ± 0.008	0.14 ± 0.008	0.04 ± 0.002	2.22 ± 0.10
Медиана	0.62	37.5	6.16	0.23	0.21	0.33	0.11	0.28	0.04	2.30
Войлок										
1	1.04 ± 0.04	28.1 ± 1.3	9.58 ± 0.43	0.16 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.57 ± 0.03	0.14 ± 0.008	0.62 ± 0.03	0.16 ± 0.008	2.64 ± 0.12
2	0.84 ± 0.04	42.6 ± 1.7	9.17 ± 0.40	0.14 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.51 ± 0.02	0.15 ± 0.007	0.31 ± 0.01	0.04 ± 0.002	3.26 ± 0.15
3	0.79 ± 0.04	42.1 ± 1.5	7.89 ± 0.30	0.19 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.37 ± 0.02	0.10 ± 0.005	0.27 ± 0.01	0.04 ± 0.002	3.10 ± 0.13
4	0.73 ± 0.03	41.8 ± 1.8	9.90 ± 0.44	0.29 ± 0.01	0.28 ± 0.01	0.50 ± 0.02	0.15 ± 0.007	0.33 ± 0.01	0.02 ± 0.001	4.03 ± 0.17
5	0.89 ± 0.04	34.5 ± 1.7	8.68 ± 0.37	0.27 ± 0.01	0.41 ± 0.02	0.51 ± 0.03	0.13 ± 0.008	0.36 ± 0.02	0.02 ± 0.001	3.10 ± 0.12
6	1.40 ± 0.07	38.2 ± 1.8	9.19 ± 0.40	0.36 ± 0.02	0.63 ± 0.03	0.45 ± 0.02	0.30 ± 0.015	0.39 ± 0.02	0.04 ± 0.002	2.99 ± 0.12
Медиана	0.94	39.2	9.19	0.25	0.25	0.51	0.14	0.35	0.04	3.10

Таблица 7. Соотношения макроэлементов в надземной фитомассе леймусовых сообществ юга Восточного Забайкалья

Фитомасса	Номер сообщества					
	1	2	3	4	5	6
C : N						
<i>L. chinensis</i>	22.5	22.8	33.2	31.9	20.8	20.0
Другие виды	15.9	28.2	26.7	19.3	18.0	18.3
Ветошь	31.8	69.4	50.7	75.8	46.7	37.5
Войлок	27.0	50.7	53.3	57.2	38.8	27.3
C : P						
<i>L. chinensis</i>	109	123	135	185	177	182
Другие виды	105	148	133	133	160	198
Ветошь	133	146	192	251	269	270
Войлок	176	304	222	144	128	106
C : N : S : P						
<i>L. chinensis</i>	54:2:1:0.5	114:5:1:0.9	119:4:1:0.9	131:4:1:0.6	99:5:1:0.6	72:4:1:0.4
Другие виды	28:2:1:0.3	74:3:1:0.5	57:2:1:0.4	74:2.6:1:0.5	69:4:1:0.4	69:4:1:0.3
Ветошь	87:3:1:0.6	106:2:1:0.7	211:2:1:1.1	199:3:1:0.8	159:3:1:0.6	115:3:1:0.4
Войлок	45:2:1:0.3	137:3:1:0.5	156:3:1:0.7	127:2:1:0.7	96:2:1:0.7	98:4:1:0.9
Ca : K						
<i>L. chinensis</i>	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2
Другие виды	0.3	0.4	0.4	1.1	0.4	0.6
Ветошь	1.1	1.0	1.4	2.9	0.8	0.6
Войлок	2.8	2.7	1.8	1.8	1.2	0.7
Si : Ca						
<i>L. chinensis</i>	2.4	3.3	1.0	3.1	2.0	3.6
Другие виды	3.3	1.1	3.0	0.9	1.6	1.2
Ветошь	3.8	5.9	7.5	3.4	5.7	2.4
Войлок	6.0	6.4	11.2	7.8	7.2	6.1

112–501, то происходит иммобилизация фосфора почвы. Наиболее благоприятные условия для процессов разложения создаются при соотношении C : N : S : P, равном 100 : 8 : 1 : 1.2 [35]. Судя по величинам соотношения C : P, ветошь и войлок во всех леймусовых сообществах, кроме 6-го, трудноминерализуемые.

Соотношения C : N : S : P в ветоши и войлоке степных сообществ не соответствуют условиям для процессов разложения фитомассы, что является, наряду с высоким содержанием кремния, а также целлюлозолигнинового комплекса [36], причиной длительного срока минерализации войлока в южной части Восточного Забайкалья.

Согласно данным табл. 7, в зеленой фитомассе соотношение Ca : K относительно небольшое, что обусловлено доминированием злаков в сообществах. Однако оно существенно возрастает в ветоши и войлоке (кроме сообщества 6), т.к. калий может интенсивно вымываться осадками. Более низкие величины этого показателя в ценозе 6 связаны с ботаническим составом сообщества.

Растения-кремнефилы, к которым относятся злаковые, отличаются высокой скоростью роста и мало содержат кальция, соотношение Si : Ca > 1, у других растений это отношение < 1 и даже < 0.5. Одной из важных функций кремния в растениях является повышение устойчивости к неблагоприятным абиотическим условиям внешней среды, в т.ч. предохранение растений от излишнего испарения из-за снижения интенсивности транспирации [37–41]. Это объясняется пропитыванием стенок эпидермиса и сосудов тканей аморфным кремнием. При переходе растений в леймусовых сообществах в стадию ветоши, а затем и войлока соотношения Si : Ca значительно возрастали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в южной части Восточного Забайкалья широко распространены монодоминантные китайско-леймусовые сообщества, однако сходство между их видовым составом слабое или среднее из-за значительной доли в них одновидовых семейств

и родов, отличающихся продолжительностью вегетационного периода и фаз развития растений. Большое влияние оказывают условия произрастания (галоксероморфная степь, остепненные луга), в том числе разная обеспеченность почв влагой и доступными формами элементов минерального питания.

В настоящее время в монодоминантных леймусовых сообществах южной части Восточного Забайкалья запасы ветоши и войлока значительно варьировали: 2.9–102.9 и 54–107 г/м² соответственно, что определялось видовым составом сообщества, в т.ч. долей доминанта, почвенно-экологическими условиями их произрастания и степенью пастбищной нагрузки. Установлена зависимость накопления ветоши и войлока от продукции доминанта и общей зеленой фитомассы леймусовых сообществ, но коэффициент корреляции между содержанием ветоши и войлока в леймусовых сообществах слабый ($r = 0.44$). Это обусловлено в основном природными факторами, в частности, сильными весенне-раннелетними ветрами, переносящими ветошь на значительные расстояния, что характерно для всего Забайкалья, как и осенне-зимний выпас. Для восстановления ее оптимального накопления, согласно величинам ПОК и Кд, потребуется относительно длительный срок. Корреляция между этими показателями варьировала в очень узком диапазоне ($r = -0.89...-0.91$).

Химический состав ветоши и войлока леймусовых сообществ выявил их зависимость от почвенно-экологических условий произрастания (обеспеченность питательными веществами и влагой). По величинам соотношений C : N, C : P, C : N : S : P, Ca : K и Si : Са первые установлено, что ветошь и войлок китайско-леймусовых сообществ обладают достаточной устойчивостью к разложению и минерализации. Однако степень устойчивости может быть скорректирована при изменении климатических факторов (засуха, обильные осадки), видового состава и антропогенных условий (пастыба, весенний пал и степные пожары).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базилевич Н.И., Титлянова А.А.* Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск: Наука СО РАН, 2008. 381 с.
2. *Абатуров Б.Д., Кулакова Н.Ю.* Роль выпаса животных и степных палов в круговороте азота и зольных элементов в степных пастбищных экосистемах // Аридн. экосист. 2010. № 2(42). С. 54–64.
3. *Семенова-Тян-Шанская А.М.* Динамика степной растительности. М.-Л.: Наука, 1966. 174 с.
4. *Семенова-Тян-Шанская А.М.* Накопление и роль подстилки в травяных сообществах. Л.: Наука, 1977. 191 с.
5. *Базилевич Н.А.* Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.
6. *Нечаева Е.Г., Давыдова Н.Д., Щетников А.И., Кузьмин В.А., Напрасникова Е.В., Семенова Л.Н., Воробьева И.Б., Белозерцева И.А., Дубынина С.С., Антоненко А.М.* Тренды ландшафтно-геохимических процессов в геосистемах юга Сибири. Новосибирск: Наука, 2004. 184 с.
7. *Crawley M.J.* Herbivory: the Dynamics of animal–plant interactions. Oxford: Blackwell Sci. Publ., 1983. 437 p.
8. *Holland E.A., Parton W.J., Detling J.K., Coppock D.L.* Physiological responses of plant populations to herbivory and their consequences for ecosystem nutrient flow // Amer. Naturalist. 1992. V. 140. P. 685.
9. *Хакимзянова Ф.И., Зайченко О.А.* Изменение биотических компонентов степных геосистем Минусинской котловины после снятия пастбищной нагрузки // Географ. и природн. ресурсы. 1986. № 1. С. 87.
10. *Frost P.G.H., Robertson F.* The ecological effects of fire in savannas // Determinant. Tropic. Savannas / Ed. Walker B.H. Oxford: OX8 1JJ, 1987. P. 93–140.
11. *Кыргыз Ч.О., Самбуу А.Д., Титлянова А.А.* Сухие и опустыненные степи Тувы. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. С. 77–87.
12. *Гордеева В.А.* Фитомасса и темпы ее разложения в травяных сообществах в условиях техногенного загрязнения почвы: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Н. Новгород, 2018. 24 с.
13. *Санданова И.Б.* Микробиологическая деструкция растительного опада степных экосистем Юго-Восточного Забайкалья. Улан-Удэ, 2007. 20 с.
14. *Паршина Е.К.* Разложение растительного вещества в тундре // Сибир. экол. журн. 2007. № 5. С. 781–787.
15. *Лисецкий Ф.И.* Особенности трансформации растительного вещества степных экосистем // Фундамент. исслед.-я. Биол. науки. 2012. № 3. С. 245–249.
16. *Попова Н.В.* Оценка интенсивности процессов трансформации органического вещества подстилки для диагностики устойчивости экосистем // Вестн. РУДН. Сер. Экол. и безопасность жизнедеят.-ти. 2007. № 1. С. 27–31.
17. *Попова Н.В., Михно В.Б.* Оптимизация ландшафтно-экологической обстановки на основе метода индикации экосистем // Вестн. ВГУ. Сер. Географ. Геоэкол. 2012. № 1. С. 21–28.
18. *Аристовская Т.В.* Микробиология процессов почвообразования. М.: Наука, 1980. 187 с.
19. *Титлянова А.А.* Биологический круговорот азота и зольных элементов в травяных биогеоценозах. Новосибирск: Наука, 1979. 151 с.

20. Цыганова Г.П. Протеиновая питательность и минеральный состав степного травостоя в Забайкальском крае // Сибир. вестн. сел.-хоз. науки. 2015. № 1. С. 32–38.
21. Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Шмакова Е.И., Снытко В.А., Дубынина С.С., Магомедова Л.Н., Нефедьева Л.Г., Семенюк Н. В. Тишков А.А., Ти Тран, Хакимзянова Ф.И., Шатохина Н.Г., Кыргыс Ч.О., Самбуу А.Д. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. 110 с.
22. Дубынина С.С. Сезонная и многолетняя динамика мортмассы степей Забайкалья в условиях современного климата // Совр. пробл. науки и образ-я. 2017. № 6. С. 262–271.
23. Меркушева М.Г., Бадмаева Н.К., Болонева Л.Н., Лаврентьева И.Н. Структура, разнообразие и продукция леймусовых сообществ (*Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel.) южной части Восточного Забайкалья // Изв. ИркутГУ. Сер. Биол. Экол. 2022. Т. 40. С. 24–41.
DOI:10.26516/2073-3372.2022.40.24
24. Королук А.Ю. Экологическая ординация степных сообществ Забайкалья // Уч. зап. ЗабайкалГУ. Сер. Естеств. науки. 2013. № 1(48). С. 26–30.
25. Болонева Л.Н., Бадмаева Н.К., Лаврентьева И.Н., Меркушева М.Г. Качественные показатели питательной ценности леймуса китайского (*Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel.) Восточного Забайкалья // Химия раст. сырья. 2021. № 3. С. 191–200.
26. Бобринев В.П., Пак Л.Н. Агролесомелиоративное районирование Забайкальского края // Вестн. КрасГАУ. 2009. № 4. С. 152–157.
27. Определитель растений Бурятии. Улан-Удэ, 2021. 672 с.
28. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
29. Методические указания по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения. М.: Росинформагротех, 2004. 8 с.
30. Янишевский Ф.В., Серегин В.В. Модификация метода Тюрина для определения содержания углерода в растительном материале // Агрохимия. 2000. № 3. С. 69–71.
31. Методы биохимического исследований растений. Л.: Колос, 1987. 430 с.
32. Родин Л.Р., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. Л., М.: Наука, 1965. 253 с.
33. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
34. Enwezor W.O. The mineralization of nitrogen and phosphorus in organic materials of varying C : N and C : P ratios // Plant Soil. 1976. V. 44. P. 237–240.
35. Walker N. Soil microorganisms and plant protection chemicals // Soil biology / Eds. Burges A., Raw F. N.Y.: Academic Press, 1967. 493 p.
36. Чимитдоржиева Г.Д. Органическое вещество холодных почв. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2016. 388 с.
37. Самсонова Н.Е. Кремний в растительных и животных организмах // Агрохимия. 2019. № 1. С. 86–96.
38. Chanchal M.C.H., RitiThapar K., Deepak G. Alleviation of abiotic and biotic stresses in plants by silicon supplementation // Sci. Agricult. 2016. V. 13. № 2. P. 59–73.
39. Ma J.F. Function of silicon in higher plants // Prog. Mol. Subcell. Biol. 2003. V. 33. P. 127–147.
40. Richmond R.E., Sussman M. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient // Cur. Opin. Plant Biol. 2003. № 6. P. 268–272.
41. Ma J.F., Yamaji N. Functions and transport of silicon in plants // Cell Mol. Life Sci. 2008. V. 65. P. 3049–3057.

Stocks, Chemical Composition of Grassland Litter and Felts of *Leymus* Communities (*Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel.) in the South of Eastern Transbaikalia and Assessment of Their Resistance to Decomposition

M. G. Merkusheva^{a, #}, L. N. Boloneva^a, I. N. Lavrentieva^a, N. K. Badmaeva^a

^a*Institute of General and Experimental Biology SB RAS,
ul. Sakhyanovoy 6, Ulan-Ude 670047, Russia*

[#]*E-mail: merkusheva48@mail.ru*

The reserves and chemical composition of grassland litter and felts in monodominant *Leymus chinensis* communities of the southern part of Eastern Transbaikalia, growing in different soil and ecological conditions of a distinctly continental climate and performing protective functions in winter for the thermal and water regimes of the upper soil horizons, the preservation of plant renewal buds, are studied. It was revealed that the stocks of grassland litter and felts varied significantly: 2.9–102.9 and 54–107 g/m², respectively. The amount of grassland litter mainly depended on the species composition of communities and the degree of pasture load. A correlation was established between the accumulation of grassland litter and felts from the dominant production and the total green phytomass of leymus communities, but the relationship between the content of grassland litter and felts in leymus communities was weak ($r = 0.44$). To restore the optimal accumulation of rags, according to the values of the litter fall coefficient (LFC) and the destruction coefficient (K_d), will take a relatively long time. A high negative correlation between these indicators was revealed ($r = -0.89... -0.91$). Concentrations of macronutrients in grassland litter and felts from different communities were determined by species composition and availability of nutrients and moisture. According to the values of the C : N, C : P, C : N : S : P, Ca : K and Si : Ca ratios in the aboveground phytomass of communities, it was shown for the first time that the grassland litter and felts of leymus communities in the southern part of Eastern Transbaikalia are resistant to decomposition and mineralization. However, the degree of stability can be adjusted with changes in species composition, climatic (drought, heavy rainfall) and anthropogenic (spring snowfall and steppe fires) conditions.

Keywords: grassland litter, felts, leymus communities, chemical composition, southern steppes, Eastern Transbaikalia.