

УДК 574.4+631.4

**РАСТИТЕЛЬНОСТЬ КРИОАРИДНЫХ ПОЧВ: ПРОДУКТИВНОСТЬ,
ВИДОВОЙ, ЭЛЕМЕНТНЫЙ И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВЫ**

© 2023 г. Э.О. Чимитдоржиева, Г.Д. Чимитдоржиева

*Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6. E-mail: erzhenach@mail.ru*

Поступила в редакцию 09.02.2023. После доработки 30.06.2023. Принята к публикации 01.07.2023.

Экстремальные погодные условия Забайкалья, из-за которых растения испытывают фитостресс, приводят к формированию защитных систем и мобилизации, при которой происходят некоторые метаболические изменения как средства выживания. Эти изменения включают увеличение количества липидов и лигнина. Происходит изменение обмена веществ, которые определяются быстротой и глубиной его изменений без нарушения баланса между отдельными функциями, поэтому не нарушается единство организма и среды. Криоаридные условия вызвали специфические морфологические и химические адаптации у растений. Было обнаружено, что общее содержание липидов и лигнина в исследуемых почвах Забайкалья выше, а содержание протеинов ниже по сравнению с аналогичными почвами европейской части России. Выявлено, что больше липидов, лигнина и протеинов обнаружено в каштановых целинных почвах по сравнению с залежными и пахотными.

Ключевые слова: растительность, углерод, продуктивность, элементный состав, липиды, лигнин, протеины, каштановые почвы, криоаридный климат, континентальность

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-4-63-72

EDN: MENGTС

Сухие степи с каштановыми почвами распространены по побережью Черного и Азовского морей, в Восточном Предкавказье, Среднем и Нижнем Поводжье, Алтае, Республике Тыва. Каштановые почвы Забайкалья являются самыми восточными на территории России, входят в Тувинско-Южно-Забайкальскую провинцию темно-каштановых и каштановых мучнисто-карбонатных почв (Наумов, 2023). В Бурятии они встречаются в Баргузинской котловине, Удинской котловине – на подгорных шлейфах и выровненных конусах выносов южных склонов хребтов Улан-Бургасы и Курбинского, в Тугнуйской степи – на подгорных шлейфах южных склонов хребта Цаган-Дабан и древних террасах реки Тугнуй. В Бичурской котловине каштановые почвы занимают западную часть южных склонов хребта Заганский, в Кударинской – южные склоны хребта Бичурский и Кударинской гряды, прилегающих к реке Чикою. Каштановые почвы встречаются также в междуречьях рр. Селенга–Чикой и рр. Чикой–Хилок. По левобережью р. Селенги обширные массивы каштановых почв расположены в Селенгинских и Боргойских степях, на южных склонах хребтов Моностой и Малый Хамар-Дабан, на отрогах Ганзуринского, прилегающих к Иволгинской долине (Ишигенов, 1972).

Каштановые почвы в межгорных котловинах бассейна озера Байкал являются доминирующими (Цыбжитов и др., 1999). Их ареал на этих высоких равнинах представляет собой северный форпост Центрально-азиатского пустынно-степного массива. Растительный покров забайкальских степей имеет своеобразную криоксерофильность, что видно по широкому распространению растений-подушек, растений-куртинок, проникновению арктоальпийских видов (астра альпийская, эдельвейс сибирский) наряду с сохранившимися доледниковыми реликтами (бересклет священный, ильм низкий). Эдификаторами сухой степи являются полыни (холодная, Гмелина), тонконог стройный, типчак ленский, осока твердоватая.

Криоаридные экосистемы являются важными элементами ландшафтов суббореальной зоны, т.к. они оказывают значительное влияние на динамику природных процессов, активно депонируя углерод. Специфика таких экосистем обуславливает своеобразие их растительного мира; они играют важную роль в сохранении биологического разнообразия сухостепных регионов на видовом и ценолитическом уровнях, а также в поддержании разнообразия ландшафтов.

Исследования показывают, что в разных регионах изменения гидротермических показателей осуществляется по-разному (Давыдова, 2022). Если в Калмыкии (Шумова, 2020) и Каменной степи (Чевердин, Зборищук, 2009) идет процесс гумидного потепления, то в сухих степях Поволжья (Пугачева, 2020), напротив, особенности влагообеспечения свидетельствуют об изменении климата в сторону аридизации. Особенно ярко этот процесс проявился в первое десятилетие XXI века на востоке Центральной Азии. Многими исследователями установлены катастрофические признаки аридизации: иссушение водоемов и болот (Замана, 2010; Slynko et al., 2010; Sirin et al., 2010; Давыдова, 2020), гибель древостоев (Malykh et al., 2015; Давыдова, 2014), снижение численности краснокнижных птиц (Горошко, 2010), смещение границы опустыненных степей к северу (Иванов и др., 2010).

В Забайкалье основным трендом климатических изменений является потепление, влекущее за собой аридизацию (Куликов и др., 2014). Детальное изучение состава и особенностей функционирования растительных сообществ является особенно актуальным в настоящее время. Поэтому целью работы было изучить растительность криоаридных почв, их продуктивность, видовой, элементный и биохимический составы.

Материалы и методы

Объекты исследования – каштановые почвы Тугнуйской и Гусиноозерской котловин Западного Забайкалья, являющиеся зональными почвами сухой степи. Опытные участки были выбраны на разных угодьях: целина, залежь, пашня.

Ниже приводим климатические характеристики сухостепной зоны изучаемого региона, а для сравнения по литературным данным приводим данные сухих степей Дагестана (Агроклиматические ..., 1975), Казахстана (Агроклиматические ..., 2017) и Северного Прикаспия (Агроклиматический ..., 1961; табл. 1). Из таблицы 1 видно, что по сравнению с климатическими характеристиками европейской части России (ЕЧР) сухая степь Забайкалья имеет более суровые условия, с коэффициентом континентальности 200, где растительность приспосабливается к стрессовым экстремальным условиям.

Таблица 1. Климатическая характеристика сухостепной зоны.

Климатический показатель	Сухая степь, ст. Гусиноозерск	Степь, сухая степь, ст. Мухор-шибирь	Каштановая, Дагестан (Агроклиматический ..., 1975)	Каштановая, Казахстан (Агроклиматические ..., 2017)	Каштановая, Северный Прикаспий (Агроклиматический ..., 1961)
Осадки	180-200	180-250	340-360	180-290	125-300
Температура, °С (средняя)					
Годовая	-3.4	-2.4	+11.2	+6.5	+10
Января	-27	-24.8	-4	-16-18	-10-23
Июля	+19	+18.3	+24.5	+18	+20+30
Сумма активных температур выше 10°С	1800	1637	3578	3400	3000-3700
Безморозный период	116	100	220	120	160-190
Коэффициент Иванова					
Средний показатель за апрель-сентябрь	0.47	0.33-0.55	0.38	0.31-0.35	0.12-0.33
Коэффициент континентальности	200	200	174	200	190

Водные и физические свойства каштановых почв Забайкалья недостаточно благоприятны с точки зрения агромелиорации: они имеют низкую водоудерживающую способность и высокую пористость. Эти почвы, как правило, легкие по гранулометрическому составу, непродуктивно теряют влагу и склонны к дефляции. Опесчаненность и достаточное уплотнение определяют высокую теплопроводность и низкую теплоемкость. Недостаток влаги в каштановых почвах является основным фактором, ограничивающим биологическую активность, трансформацию органического вещества (ОВ) урожайность сельскохозяйственных культур.

Биопродуктивность определяли по методике А.А. Титляновой (1979). Биохимическое исследование растительности (липиды, лигнин) – по А.И. Ермакову (1972). Для пересчета на сырой протеин содержание общего азота умножали на коэффициент 6.25.

Химический состав надземной массы и корней растительных остатков определен на элементном анализаторе CHNS/O Series II фирмы Perkin Elmer (Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ).

Исследуемые каштановые почвы характеризуются небольшой мощностью гор. А (24-26 см) – низкой емкостью катионного обмена и низким содержанием гумуса – 1.0-2.3%. В аналогичных почвах Сибири среднее содержание гумуса, по данным Г.П. Гамзикова (2009), находится в пределах 1.5-4.0%, и даже в пахотных почвах ЕЧР эти цифры выше – 2.3-3.3% (Когут, 2012), когда в региональных пахотных вариантах они составляют всего 0.8-1.3%.

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена в среде электронной таблицы Microsoft Excel 2010 из пакета Microsoft Office.

Результаты исследования

А. Видовой состав растительности криоаридных почв. Климатические условия Забайкалья способствовали формированию своеобразного криофитного растительного покрова (Осипов, 2005). Травянистый покров сухостепной зоны представлен засухоустойчивыми ценозами, не образующими сплошного покрова; характеризуются низкорослостью, комплексностью и изреженностью. Проективное покрытие не превышает 70%. Количество осадков ограничивает развитие травянистой растительности. Климатические условия обуславливают резкую периодичность биологических циклов. Зимой они подавляются, а летом в периоды длительной засухи стихают.

Сухие степи на территории Селенгинского среднегорья встречаются обычно на южных склонах и в виде узких полос предгорных шлейфов. Большинство растений сухой степи устойчиво к суровым и малоснежным условиям зимовки. Сухие степи, хотя и практически не отличаются от настоящих по растительному составу, но представлены еще более низкорослыми, редкими и засухоустойчивыми растениями. Среди злаков наиболее распространены змеевка растопыренная (*Cleistogenes squarrosa*¹), ковыль-волосатик (*Stipa capillata*), житняк гребенчатый (*Agropyron cristatum*), мятлик кистевидный (*Poa botryoides*); а из разнотравья – лапчатка бесстебельная (*Potentilla acaulis*), остролодочник остролистный (*Oxytropis oxiphylla*), прострел Турчанинова (*Pulsatilla Turczaninowii*), лук полевой (*Allium odorum*), эдельвейс сибирский (*Leontopodium sibiricum*), осока твердоватая (*Carex duriscula*), василисник малый (*Thalictrum minus*), скабиоза Фишера (*Scabiosa Fischerii*); и почти всегда встречаются такие полукустарники, как полынь холодная (*Artemisia frigida*) и карагана алтайская (*Caragana pugnata*). Степень проективного покрытия составляет всего лишь 40-60% при высоте растений 15-20 см (Бойков и др., 2002).

Характер растительности сухих степей Забайкалья отличается от аналогов Казахстана и европейской части. Сухая ветреная весна создает картину выгоревшей степи. Относительно обильный рост растительности начинается здесь летом по мере выпадения летних осадков, тогда как в этот момент в Казахстане и на юге Европейской части, наоборот, только начинают выгорать степи.

Встречаются сухие степи тонконогово-лапчатковые, полынно-злаковые, с распространением змеевки растопыренной, осоки твердоватой, прострелов и караганы мелколистой.

Растительность экспериментальных точек. Каштановые почвы формируются под сухостепной полынно-разнотравно-злаковой, злаково-разнотравно-полынной и полынно-типчакковой

¹ Латинские названия видов растений приведены по работе С.К. Черепанова (1995).

растительностью, для которых характерны низкорослость, изреженность и засухоустойчивость.

Пробная площадка 1. Селенгинское Среднегорье, центральная часть Тугнуйской котловины, в средней части южного склона увала, целина. Видовой состав растительности: ковыль Крылова (*Stipa Krylovii*), житняк гребенчатый (*Agropyron cristatum*), лапчатка бесстебельная (*Potentilla acaulis*), марь остистая (*Chenopodium aristatum*), гетеропоппус алтайский (*Heteropappus Altaicus*), тонконог гребенчатый (*Koeleria cristata*), змеевка растопыренная (*Cleistogenes squarrosa*), осока твердоватая (*Carex duriuscula*), вероника седая (*Veronica incana*), полынь холодная (*Artemisia frigida*). Проективное покрытие – 40-50%.

Пробная площадка 2. Селенгинское Среднегорье, центральная часть Тугнуйской котловины, средняя часть южного склона увала, залежь. Видовой состав растительности: чий сибирский (*Achnatherum sibiricum*), ирис низкий (*Iris humilis*), кохия стелющаяся (*Kochia prostrata*), иксерис злаковидный (*Ixeris graminea*), ковыль Крылова (*Stipa krylovii*), цимбария даурская (*Cymbaria dahurica*), козелец австрийский (*Scorzonera austriaca*), лапчатка вильчатая (*Potentilla biturca*) и бесстебельная (*P. acaulis*), солонечник даурский (*Galatella dahurica*), вероника седая (*Veronica incana*), серпуха васильковая (*Serratulla centauroides*), полынь холодная (*Artemisia frigida*). Степень проективного покрытия – 40-50%.

Пробная площадка 3. Селенгинское Среднегорье, центральная часть Тугнуйской котловины, средняя часть южного склона увала, пашня. Видовой состав растительности: агроценоз яровой пшеницы.

Пробная площадка 4. Селенгинское Среднегорье, Гусиноозерская котловина, южнее г. Гусиноозерск, на западном склоне одного из отрогов Моностойского хребта, целина. Видовой состав растительности: полынь холодная (*Artemisia frigida*), камнеломка (*Saxifraga* sp.), карагана алтайская (*Caragana pygmaea*), лапчатка бесстебельная (*Potentilla acaulis*). Проективное покрытие – 40-50%.

Пробная площадка 5. Селенгинское Среднегорье, Гусиноозерская котловина, пашня в 30 м от разреза 11с, пар. Поверхность почвы слабокаменистая.

Для сравнения ниже приводим видовой состав растительности каштановых почв других широт.

Терско-Сулакская низменность Дагестана, слегка наклонная вершина гряды (Титлянова, 1988). Видовой состав растительности: ковыли (*Stipa capillata*, *S. Pennata*), тонконог гребенчатый (*Koeleria cristata*), житняк гребенчатый (*Agropyron cristatum*), типчак валезийский (*Festuca valesiaca*), полынь таврическая (*Artemisia taurica*), бурачка чашечного (*Alyssum calycinum*), ясколки даурской (*Cerastium davuricum*), тимopheевки метельчатой (*Phleum paniculatum*), люцерны малой (*Medicago minima*), пажитника дугообразного (*Trigonella arcuata*), вульпии реснитчатой (*Vulpia ciliata*), вероники полевой (*Veronica arvensis*), фиалки полевой (*Viola arvensis*), мятлик луковичный (*Poa bulbosa*), шалфей крупноцветный (*Salvia tomentosa*), тысячелистник (*Achillea micrantha*), дубровник настоящий (*Teucrium polium*), рогац песчаный (*Ceratocarpus arenarius*), гвоздика (*Dianthus pallidiflorus*). Всего насчитывается около 40 видов растений.

Тенгизская озерно-аккумулятивная равнина Казахского мелкосопочника (Титлянова, 1988). Верхняя часть склона пологого увала. Видовой состав растительности: ковыль Лессинга (*Stipa lessingiana*), овсяница валлиская (*Festuca valesiaca*), жабрица Ледебурра (*Seseli ledebourii*), наголоватка многоцветковая (*Jurinea multiflora*), полынь холодная (*Artemisia frigida*), полынь австрийская (*A. austriaca*), *Crinitaria tatarica* (солонечник татарский), гвоздика узколепестная (*Dianthus leptopetalus*), виды рода астрагалов (*Astragalus*).

Кочубейская биосферная станции на территории Терско-Кумской низменности Прикаспия (Фартушина, 1986; Гасанов и др., 2014). Разнотравье состоит из полыней таврической (*Artemisia taurica*) и Лерха (*Artemisia lercheana*), петросимонии супротиволистной (*Petrosimonia oppositifolia*), петросимонии трехтычинковой (*Petrosimonia triandra*), солянки южной (*Salsola australis*), лебеды татарской (*Atriplex tatarica*), парнолистника обыкновенного (*Zygophyllum vulgare*); и из злаковых – житняка пустынного (*Agropyrondes ertorum*). Доминантами из эфемеровых на экспериментальном участке являются мятлик однолетний (*Poa annua*), мятлик луковичный (*Poa bulbosa*), мортук восточный (*Eremopyrum orientale*), костер растопыренный (*Bromuss quarrosus*), костер кровельный (*Anisantha tectorum*), полевичка малая (*Eragrostic minor*), из крестоцветных – бурачок пустынный (*Alussum desertorum*).

К примеру, **Заволжско-Казахстанские сухие степи** обычно сформированы сообществами ковылковой (*S. lessingiana*) формации и приурочены к темно-каштановым, чаще – к каштановым почвам, а также бывают сформированы сообществами тырсовой (*S. capillata*) формации, обычно на почвах легкого гранулометрического состава.

Сухие степи Тувы образованы дерновинными злаками и полукустарничками. Наиболее типичной является четырехзлаковая степь, основу которой составляют ковыль Крылова (*Stipa krylovii*), овсяница ложноовечья (*Festuca pseudovina*), тонконог гребенчатый (*Koeleria cristata*) и змеевка растопыренная (*Cleistogenes squarrosa*). Сухие степи произрастают на каштановых почвах как тяжелого, так и легкого механического состава (Титлянова, Шибарева, 2017).

Следует отметить, что видовой состав сухостепной растительности Дагестана, Казахстана и Северного Прикаспия богаче, чем растительность Забайкалья и Тувы, что связано с климатическими особенностями, а также с физико-химическими характеристиками каштановых почв.

Б. Биопродуктивность криоаридных почв. Каждая автотрофная система создает определенное количество органического вещества за определенный период времени. Суммарное количество органического вещества, произведенного за определенное время, называется чистой первичной продукцией или NPP, ее надземная часть – ANP, подземная – BNP (Титлянова, Шибарева, 2019).

Образование растительного материала и его поступление в почву различны в зависимости от условий окружающей среды. В слое 0-20 см в сухой степи Забайкалья масса корней составляет 2.0 кг/м² (Чимитдоржиева, 2016). В целинных почвах Казахстана и Западной Сибири масса дернины и корней в слое 0-20 см оценивается в 2.0-2.5 кг/м² (Кононова, 1963). На степных криоаридных почвах Горного Алтая их количество составляло 1.5-2.6 кг/м² (Волковинцер, 1978).

Содержание корневой массы в целинной степной растительности может достигать 1-2 кг/м². В целом общее годовое количество биомассы (0-20 см) в степях составляет около 1.5-2.0 кг/м², в сухих степях – 1.2-2.1 кг/м². В слое 0-20 см сосредоточено до 82% всех корней, в слое 20-40 см – 15%, в слое 40-100 см – 8%. В зоне сухой степи в слое 0-20 см сосредоточено 85% общей корневой массы (Чимитдоржиева, 2016). Для Русской равнины и Казахстана это значение оценивается примерно в 1.8-2.2 кг/м² (Титлянова, Нурмедов, 1982).

Экосистемы травянистой растительности характеризуются исключительно быстрым круговоротом углерода и большой продуктивностью, которая может составлять от 1.0 до 4.5 кг/м² ежегодно в зависимости от количества доступной влаги.

На территориях от засушливых степей до лугов значение NPP имеет тенденцию к увеличению от 1.0 до 2.0 кг/м²-год (Титлянова, 1988). В разнотравно-злаковом сообществе умеренно засушливой лесостепи NPP достигает 2.4 кг/м²-год, а количество корневой массы составляет 80% от NPP (Чимитдоржиева и др., 2010). Сопоставимые показатели можно найти во влажных лугах Западной Сибири (Титлянова, 1988). Сходство в величинах первичной продукции, а также соотношение надземной и подземной биомассы связаны с почвенными условиями и ботаническим составом основных видов, присутствующих в этих сообществах (Чимитдоржиева и др., 2010).

В весенние и летние периоды, когда влаги не хватает, в сухостепном осоково-злаково-разнотравном сообществе за счет активного прироста корней больше накапливается NPP, в результате чего отношение корневой массы к надземной достигает 10.6 (Чимитдоржиева и др., 2010). Напротив, повышенная водообеспеченность на разнотравно-ячменевых лугах увеличивает NPP и надземную фитомассу, при этом отношение BNP/ANP сужается до 6.6 (Меркушева и др., 2006). По данным Н.И. Базилевич и А.А. Титляновой (2008), в сухих степях BNP составляет 1.3 кг/м²-год, что в 6.5 раз превышает значение ANP.

Показатели NPP для настоящих степей, расположенных в плакорных позициях (Казахстан) и на южных склонах сопков (Забайкалье), близки между собой. Значение NPP для степей на северных склонах снижается. При переходе от опустыненных степей к сухим происходит увеличение на 0.5 кг/м²-год, а при переходе от сухих к настоящим – на 0.4 кг/м²-год (табл. 2).

Исследования показали, что чистая первичная продукция на каштановой целине составляет 1.5, залежи – 1.1, пашни – 0.3 кг/м²-год (табл. 3). Соотношение надземной и подземной массы колеблется в пределах 4-10% и 90-96% соответственно. Существенные различия были обнаружены в соотношении между надземной и подземной частями фитоценоза, которое составило от 1 : 15 до

1 : 29. Результаты наших исследований по оценке запасов корневого растительного материала степных сообществ согласуются с результатами других исследований (Титлянова и др., 1996), отмечена значительная изменчивость пулов корневой массы степных растений с соотношением надземной и подземной частями – от 1 : 5 до 1 : 41.

Коэффициент вариации в целинной растительности составлял 9.15-18.29%, в залежной – 10.58-22.91%, в пахотной – 2.44-14.56%. Количество чистой первичной продукции коррелировало с содержанием гумуса в почвах ($r = 0.8-0.9$).

Таблица 2. Биохимический состав сухостепной растительности, % на воздушно-сухое вещество.

Почва	Растительность	ANP/ BNP	Лигнин	Липиды	Протеин
Каштановая, Бурятия, Тугнуйская котловина	Польнно-разнотравно-злаковая, целина	ANP	35.9	4.5	13.1
		BNP	39.9	4.9	15.0
	Злаково-разнотравно-польнная, залежь	ANP	37.5	4.8	11.9
		BNP	40.3	5.1	13.8
	Яровая пшеница, пашня	ANP	28.7	1.8	9.4
		BNP	37.4	1.6	8.1
Каштановая, Бурятия, Гусиноозерская котловина	Польнно-типчаковая, целина	ANP	33.2	не опр.	9.4
		BNP	38.4	не опр.	9.4
	Яровая пшеница, пашня	ANP	33.2	не опр.	1.8
		BNP	38.4	не опр.	6.2

Таблица 3. Травяные сообщества сухой степи и их продукция.

Почва	Угодье	Растительность	Продукция, кг/м ² ·год			BNP / ANP
			NPP	ANP	BNP	
Каштановая, Бурятия, Тугнуйская котловина	Целина	Польнно-разнотравно-злаковая	1.47	0.06	1.41	23.5
	Залежь	Злаково-разнотравно-польнная	1.06	0.07	0.99	14.7
	Пашня	Яровая пшеница	0.27	0.08	0.19	2.5
Каштановая, Бурятия, Гусиноозерская котловина	Целина	Польнно-типчаковая	2.11	0.07	2.04	29.1
	Пашня	Яровая пшеница	0.34	0.08	0.25	3.0
Каштановая, Дагестан (Титлянова и др., 2018)	Целина, пастбище	Разнотравно-польнно-злаковая	1.12	0.25	0.87	3.5
Каштановая, Казахстан (Титлянова и др., 2018)	Целина	Типчаково-ковыльная	1.6	0.18	1.42	8.0
Каштановая, Северный Прикаспий (Фартушина, 1986)	Целина	Разнотравно-польнно-злаковая	1.5	0.44	1.06	2.4

Если сравнивать продуктивность фитомассы с другими районами, то размеры ее относительно невелики по сравнению с ЕЧР. Н.А. Ногина (1964) изучила, что в супесчаных почвах корней значительно меньше, чем в суглинистых, а в слое 0-20 см их доля составляет 85%. Это объясняется температурной регуляцией почв и сильным иссушением поверхностных горизонтов в весеннее время, что вынуждает растения конкурировать за влагу от скудных весенних дождей. Стремление к обладанию большей водосборной площадью приводит к горизонтальному простираню корней.

Поступление фитомассы в виде корней в сухих степях значительно выше, чем в лесостепи. Корни сухостепных растений плотно переплетают верхнюю толщу почв, образуя мощную дернину. Корневая масса образует биологический экран, задерживающий многие питательные вещества и аккумулирующий их в верхних слоях почвы.

В. Элементный состав растительности показал, что содержание углерода в надземной массе варьирует от 26.2% до 40.9% на пашне, от 26.2% до 40.3% на целине и составляет 37.8% на залежи. В подземной массе показатель имеет значения от 30.3% до 39.4% на пашне, от 30.5% до 41.7% на целине и составляет 42.3% на залежи.

Известно, что растительные остатки активно разлагаются, если в них содержится 1.5-1.7% азота. Азот содержится в фитомассе растений на исследованных почвах в значительном количестве. Установлено, что корневая масса растений данных ценозов аккумулирует несколько больше азота, чем надземная (табл. 4). Содержание азота в надземной массе растений, произрастающих на каштановой целине, составляет 1.5-2.1%, на залежи – 1.9%, на пашне – 0.29-1.5%. В корнях азот содержится в количестве 1.5-2.4%, 2.2% и 1.0-1.3% соответственно. Неблагоприятный гидротермический режим, несмотря на достаточное содержание азота в растительных остатках, снижает интенсивность гумификации.

Таблица 4. Элементный состав криоаридной растительности.

Почва	Растительность, угодье	ANP/BNP	С	N	С : N
			% на воздушно-сухое вещество		
Каштановая, Бурятия, Тугнуйская котловина	Полынно-разнотравно-злаковая, целина	ANP	40.3	2.1	19.2
		BNP	41.7	2.4	17.4
	Злаково-разнотравно-полынная, залежь	ANP	37.8	1.9	19.8
		BNP	42.4	2.2	19.3
	Яровая пшеница, пашня	ANP	36.6	1.5	24.4
		BNP	30.3	1.3	23.1
Каштановая, Бурятия, Гусинозерская котловина	Полынно-типчаковая, целина	ANP	26.2	1.5	19
		BNP	30.5	1.5	20
	Яровая пшеница, пашня	ANP	40.9	0.29	141
		BNP	39.4	0.99	41

Коэффициент вариации по углероду и азоту в целинной растительности составил 15.63-22.95%, в залежной – 3.45-17.78%, в пахотной – 5.69-13.52%.

Соотношение С : N в надземной и подземной массе относительно равное, что характерно для растений стресс-толерантов.

Рассчитано, что вместе с растительным опадом в целинную каштановую почву поступает 0.06 кг С/м² углерода, в агрогенную – 0.01 кг С/м², в постагрогенную – 0.04 кг С/м². Отсюда видно, что залежные земли интенсивно накапливают углерод, в целинных почвах наблюдается состояние динамического равновесия, в агрогенных большая часть углерода выносится с урожаем.

Г. Биохимический состав сухостепной растительности. В Забайкалье, в суровых условиях криоаридного климата, при ярко выраженной сухости воздуха и почв, пониженном температурном режиме окружающей среды и постоянном воздействии большого запаса почвенного холода растительность как фактор почвообразования сложилась уникальным образом из-за своей особенности приспособления к нему на протяжении многовековой эволюции как по морфологии, так и по химическому составу. В растительном покрове большинство растений относится к группе ксерофитов, которые сформировались и функционируют в условиях длительной сезонной мерзлоты.

Такие экстремальные условия определяют специфику всех биологических процессов. Обитая при высоких амплитудах суточных и сезонных температур, растения формируют своеобразные адаптивные характеристики биохимического состава.

Биомолекулы можно разделить на четыре основные категории, к которым относятся липиды, углеводы, белки и нуклеиновые кислоты. Эти жизненно важные молекулы необходимы для жизни всех живых организмов, а липиды растений, в частности, играют ключевую роль в процессах роста, размножения и фотосинтеза (Wallis et al., 2002). Более того, они оказывают непосредственное влияние на ценность некоторых растений как пищевого сырья.

Органические соединения, не имеющие единой химической характеристики, т.е. липиды, обладают чувствительной реакцией на изменения внешних условий. Они служат источником энергии для микроорганизмов, присутствующих в почве, и могут быть использованы для определения уровня биохимической активности почв. Липиды оказывают влияние на водный и питательный режимы почвы. Они часто используются для оценки состава растительности и для изучения оборота и происхождения органического вещества (Feng et al., 2010). Количество липидов может различаться в зависимости от типа почвы.

Так, содержание липидов в надземной целинной растительности составило 4.5%, в залежной – 4.8%, в агроценозе яровой пшеницы – 1.8% (табл. 2). В корнях общее накопление липидов оказалось больше на целине и залежи – 4.9% и 5.1% соответственно, а на пашне составило всего 1.6%.

Лигнин относится к числу наиболее распространенных ароматических биополимеров, присутствующих в растительности. Ежегодно на нашей планете в процессе биосинтеза образуется около 30-40 миллиардов тонн лигнина. Ароматические производные этого вещества обнаружены во всех наземных растениях. Изменения в структуре лигнина могут происходить под воздействием внешних факторов или в результате онтогенетических и филогенетических процессов, направленных на повышение его эффективности и способности защищать растения от низких температур, а также от других стрессов. Его уникальность заключается во множестве структурных единиц, а также в ряде связей, которые их соединяют (Karmanov et al., 2010).

В таблице 2 показано, что содержание лигнина в верхней части целинной растительности составляет от 33.9 до 35.9, на залежных землях – 37.5, а в агроценозе с яровой пшеницей его значения ниже – 25.2-28.7. Корни, благодаря своей способности к накапливанию, содержат больше лигнина, чем надземная масса.

Уровень протеинов в растениях, произрастающих на почвах сухой степи, довольно высок на целине и залежи, но при использовании в сельском хозяйстве снижается.

Выводы

В Забайкалье, где климат засушливый и холодный, растениям приходится справляться со стрессом. Это приводит к развитию защитных механизмов и метаболическим изменениям, таким как увеличение содержания липидов и фенолов лигнина. Определено, что продуктивность в сухостепной растительности низкая и зависит от того, сколько влаги доступно в течение вегетационного периода. Выявлено, что исследуемые почвы содержат достаточно высокое содержание лигнина и липидов по сравнению с почвами ЕЧР. Целинные и залежные каштановые почвы накапливают большую концентрацию общих липидов и лигнина по сравнению с пахотными почвами. Это означает, что целинные и залежные земли связывают углерод и выводят его из круговорота за разный период времени, образуя резервуар органического углерода.

Следует отметить, что видовой состав сухостепной растительности Забайкалья намного беднее растительности Дагестана, Казахстана и Северного Прикаспия, что связано с климатическими особенностями, а также с физико-химическими характеристиками каштановых почв.

Элементный состав растительности показал, что содержание углерода больше в подземной массе на целине и залежи, тогда как на пашне углерода больше в надземной массе. Картина накопления азота аналогична распределению углерода в растении.

Финансирование. Работа выполнена по теме госзадания № 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».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроклиматические ресурсы ДАССР. 1975. Л.: Гирометеоиздат. 112 с.
- Агроклиматические ресурсы Северо-Казахстанской области: научно-прикладной справочник. 2017. Астана. 125 с.
- Агроклиматический справочник по Калмыцкой АССР. 1961. Л.: Гидрометеоиздат. 152 с.
- Базилевич Н.И., Титлянова А.А. 2008. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск. 376 с.
- Бойков Т.Г., Харитонов Ю.Д., Рупышев Ю.А. 2002. Степи Забайкалья. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. 230 с.
- Волковинцев В.И. 1978. Степные криоаридные почвы. Новосибирск: Наука. 208 с.
- Гамзиков Г.П. 2009. Агрохимические свойства сибирских почв и приемы их регулирования // Агрохимические свойства сибирских почв и приемы их регулирования: IV Сибирские агрохимические Прянишниковские чтения, г. Иркутск, 16-21 июля 2007 г. Новосибирск. С. 11-23.
- Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Ахмедова З.Н., Абдулаева А.С., Баширов Р.Р., Султанахмедов М.С. 2014. Теоретически возможная и практически реализуемая по условиям влагообеспеченности и засоленности продуктивность светло-каштановой почвы Северо-западного Прикаспия (на примере Кочубейской биосферной станции ПИБР ДНЦ РАН) // Юг России: экология, развитие. № 2. С. 130-138
- Горошко О.А. 2010. Традиционное скотоводство и экологические проблемы трансграничной Даурии в условиях многолетних засух // Социально-эколого-экономические проблемы развития приграничных регионов России-Китая-Монголии: материалы научно-практической конференции. Чита: Экспресс-издательство. С. 22-26.
- Давыдова Н.Д. 2014. Динамика показателей степных геосистем Юго-Восточного Забайкалья в условиях глобальных изменений климата // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 4. С. 120-125.
- Давыдова Н.Д. 2020. Состояние озер Онон-Аргунского междуречья в условиях меняющегося климата // География и природные ресурсы. № 5. С. 147-153.
- Давыдова Н.Д. 2022. Изменения в компонентах степных геосистем юго-восточного Забайкалья в условиях потепления климата // Аридные экосистемы. Т. 28 № 1 (90). С. 3-10. [Davydova N.D. 2022. Change in the Components of Steppe Geosystems in the Southwestern Transbaikal Region with Climate Warming // Arid Ecosystems. Vol. 12. No. 1. P. 1-7.]
- Ермаков А.И. 1972. Методы биохимического исследования растений. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Колос. 456 с.
- Замана Л.В. 2010. Соленые озера Забайкалья как индикаторы климатических изменений в северо-восточном секторе Центральной Азии // Социально-эколого-экономические проблемы развития приграничных регионов России-Китая-Монголии: материалы научно-практической конференции. Чита: Экспресс-издательство. С. 22-26.
- Иванов Л.А., Иванова Л.А., Рончина Д.А. 2010. Зональные изменения структурно-функциональных параметров листьев растений Монголии // Ecological Consequences of Biosphere Processes in the Ecotone Zone of Southern Siberia and Central Asia: Proceeding of the International Conference. Oral Reports. Ulaanbaatar: Bembi san Publishing House. Vol. 1. P. 127-129.
- Ишигинов И.А. 1972. Агрохимическая характеристика почв Бурятии. Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство. 210 с.
- Козут Б.М. 2012. Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России // Почвоведение. № 9. С. 944-952.
- Кононова М.М. 1963. Органическое вещество почвы. М: Изд-во АН СССР. 314 с.
- Куликов А.И., Убугунов Л.Л., Мангатаев А.Ц. 2014. О глобальном изменении климата и его экосистемных следствиях // Аридные экосистемы. Т. 20. № 3 (60). С. 45-13 [Kulikov A.I., Ubugunov L.L., Mangataev A.T. 2014. Global climate change and its impact on ecosystems // Arid Ecosystems. Vol. 4. No. 3. P. 135-141.]
- Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Корсунов В.М. 2006. Биопродуктивность почв сенокосов и пастбищ сухостепной зоны Забайкалья. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. 515 с.
- Наумов В.Д. 2023. География почв. Почвы России: учебник. М.: Проспект. 344 с.
- Ногина Н.А. 1964. Почвы Забайкалья. М.: Наука. 312 с.
- Осипов К.И. 2005. Флора Витимского плоскогорья (Северное Забайкалье). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. 217 с.
- Пугачева А.М. 2020. Климатические флуктуации сухих степей и их роль в вопросе демутиации // Аридные экосистемы. Т. 26. № 3 (84). С. 23-29. [Pugacheva A.M. 2020. Climatic Fluctuations in Dry Steppes and Their Role in the Demutation Process // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 3. P. 181-187.]
- Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Снытко В.А. 1988. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. Новосибирск: Наука. 134 с.

- Титлянова А.А., Косых А.П., Мироньчева-Токарева Н.П., Романова Н.П. 1966. Подземные органы растений в травяных экосистемах. Новосибирск: Наука. 128 с.
- Титлянова А.А., Нурмедов С.С. 1982. Продукционно-деструкционные процессы и баланс растительного вещества в пустынной экосистеме Западной Туркмении // Экология. № 3. С. 31-37.
- Титлянова А.А., Шибарева С.В. 2017. Новые оценки запасов фитомассы и чистая первичная продукция степных экосистем Сибири и Казахстана // Известия Российской академии наук. Серия географическая. № 4. С. 43-55.
- Титлянова А.А., Шибарева С.В. 2019. Поступление органического вещества в почву из травяных фитоценозов в зависимости от их положения на градиенте (катенном, широтно-зональном и континентальности) // Математическое моделирование в экологии. Материалы Шестой Национальной научной конференции с международным участием. С. 209-210.
- Фартушина М.М. 1986. Динамика продуктивности ассоциаций пустынно-степного комплекса Северного Прикаспия // Продуктивность сенокосов и пастбищ. Новосибирск: Наука. С. 74-77.
- Цыбжитов Ц.Х., Цыбикдоржиев Ц.Ц., Цыбжитов А.Ц. 1999. Почвы бассейна озера Байкал. Т. 1: Генезис, география и классификация каштановых почв. Новосибирск: Наука. 128 с.
- Чевевердин Ю.Н., Зборищук Ю.Н. 2009. Тенденции изменения климатических условий в Каменной степи // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. С. 24-26.
- Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья. 992 с.
- Чимитдоржиева Г.Д. 2016. Органическое вещество холодных почв. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. 387 с.
- Чимитдоржиева Г.Д., Егорова Р.А., Мильхеев Е.Ю., Цыбенков Ю.Б. 2010. Потоки углерода в степных экосистемах (на примере южного Забайкалья) // Растительный мир Азиатской России. № 2. С. 33-39.
- Шумова Н.А. 2020. Анализ климатических условий в республике Калмыкия за 1966-2017 гг. // Аридные экосистемы. Т. 26. № 3 (84). С. 14-22. [Shumova N.A. 2020. Analysis of Climatic Conditions in the Republic of Kalmykia for 1966-2017 // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 3. P. 188-193.]
- Malykh O., Abakumova V., Obyazov V., Vakhnina I. 2015. The Changes of the Birch Forests in Connection with the Precipitation Changes in Onon River Basin // Ecosystems of Central Asia under Current Conditions of SocioEconomic Development. Proceedings of the International Conference. Mongolia, Ulaanbaatar. Vol. 2. P. 238-241.
- Sirin A., Minayeva T., Gunin P., Dugarjav Ch., Bazha S., Bayasgalan D., Dorofenyuk N., Sulerzhitsky L., Uspenskaya O. 2010. Between Humid and Arid Environment: Peatland Ecosystems Indicate Desertification Trends in Mongolia // Ecological Consequences of Biosphere Processes in the Ecotone Zone of Southern Siberia and Central Asia: Proceeding of the International Conference. Oral Repots. Mongolia, Ulaanbaatar: Bembi san Publishing House. Vol. 1. P. 86-88.
- Slyenko Yu.V., Dulmaa F., Dgebuadze Yu.Yu., Erdenebat M., Mendsaikhan B., Karabanov D.P. 2010. Fishes of Mongolia: Fauna, Zoogeography, Current State of Populations, Conservation // Ecological Consequences of Biosphere Processes in the Ecotone Zone of Southern Siberia and Central Asia. Proceedings of the International Conference. Oral Repots. Mongolia, Ulaanbaatar: Bembi san Publishing House. Vol. 1. P. 92-94.
- Wallis J., Watts J.L., Brows J. 2002. Polyunsaturated fatty acid synthesis: What will they think of next? // Trend in Biochemical Science. Vol. 27. P. 467-473.
- Feng X., Xu Y., Jaffé R., Schlesinger W.H., Simpson M. 2010. Turnover rates of hydrolysable aliphatic lipids in Duke Forest soils determined by compound specific ¹³C isotopic analysis // Organic Geochemistry. Vol. 41. P. 573-579.
- Karmanov A.P., Kocheva L.S., Belyaev V.Yu. 2010. Study of the macromolecular structure of lignins in rye *Secale* sp. and barley *Hordeum* sp. // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. Vol. 36. No. 7. P. 825-828.