

**О БАЛАНСЕ АЗОТА В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ
АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ**

© 2023 г. Т.А. Асварова, Г.Н. Гасанов, К.М. Гаджиев, Р.Р. Баширов,
К.Б. Гимбатова, А.С. Абдулаева

Прикаспийский институт биологических ресурсов

Дагестанского Федерального исследовательского центра РАН

Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45. E-mail: tatacvar@mail.ru

Поступила в редакцию 01.02.2023. После доработки 03.03.2023. Принята к публикации 03.04.2023.

Приведены результаты исследований по накоплению и транслокации фитомассы по блокам растительного вещества, концентрации и запасам азота. Дана оценка скомпенсированности баланса азота светло-каштановой, лугово-каштановой почвы и солончака типичного в травяных экосистемах Северо-Западного Прикаспия в условиях аридизации и опустынивания.

Ключевые слова: азот, запасы азота, баланс азота, накопление фитомассы, блоки растительного вещества, зеленая масса, ветошь, войлок, аридизация, опустынивание.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-36-45

EDN: YBSEMS

В Прикаспийском регионе России определено 32 млн. га засушливых земель: часть Волгоградской, Саратовской, Астраханской, Ростовской областей, Республики Калмыкия и равнинного Дагестана находятся в пределах зон сухих степей, полупустыни и пустыни, подверженных процессам аридизации (Зональные типы ..., 2003). Процессы опустынивания усиливаются в последние годы, и в 2019-2020 гг. более 24% территории Северо-Западного Прикаспия были заняты песчаными массивами, а около 50% почв отнесены к солончакам (Доклад об особенностях климата ..., 2020). В связи с обострением экологической ситуации на данной территории основное внимание исследователей (Абатуров, Кулакова, 2010; Абатуров, Нухимовская, 2013; Бананова, Лазарева, 2014; Гасанов и др., 2018; Залетаев, 1989; Залибеков, 2005; Залибеков и др., 2016, 2021; Кулакова, Абатуров, 2010; Кулик, 2005) направлено на разработку основ оценки деградации аридных земель и на обоснование основных методов борьбы с опустыниванием.

Актуальность изучения проблемы естественно-антропогенного воздействия в экосистемах обусловлена угрозой необратимых трансформаций вследствие непрекращающегося существенного потепления климата. За 65-летний период средняя температура воздуха повысилась на 2 градуса (Сапанов, Сиземская, 2015).

Основные факторы, способствующие формированию классификационных признаков аридных почв юга России, – это засушливый климат, засоление, дефляция и щелочная среда, увеличение различного рода нагрузок и антропогенных воздействий (Залибеков и др., 2021; Кулик, 2005).

В Терско-Кумской низменности площадь, занимаемая техногенными системами, составляет 20-22% общей территории, а всего процессами опустынивания охвачено более 2.5 млн. га сельскохозяйственных и лесных угодий республики Дагестан (Джамбулатов, 2020).

Мы провели исследования о влиянии антропогенных и климатических факторов на продуктивность, формирование блоков растительного вещества, количественную оценку транслокации и пути компенсации азота и других биофидных элементов из почвы в растительных экосистемах Северо-Западного Прикаспия.

Целью исследований является определение концентрации, запасов и баланса азота по блокам растительного вещества (зеленая масса, ветошь, войлок, корни) в травяных экосистемах Северо-Западного Прикаспия в условиях аридизации и опустынивания.

Материалы и методы

Исследования проводились в травяных экосистемах Северо-Западного Прикаспия на территории Терско-Кумской низменности на Кочубейской биосферной станции (Прикаспийский Институт Биологических Ресурсов ДФИЦ РАН) на светло-каштановой, лугово-каштановой карбонатной солончаковой почвах и солончаке типичном в условиях заповедного режима (снятие выпаса). Географические координаты расположения светло-каштановой почвы – 44.40880 с.ш. и 46.24771 в.д., лугово-каштановой – 44.40720 с.ш. и 46.24727 в.д., солончака типичного – 44.680741 с.ш. и 46.410828 в.д.

Экспериментальные участки по изученным трем типам почв, каждый площадью по 100 м², были обнесены железной сеткой, и каждый из трех участков разбит на 100 постоянных квадратов площадью 1 м² (1 x 1 м) с помощью деревянных кольшек и полиэтиленового шпагата. Площадка вне заповедных экспериментальных участков принималась в качестве фона (контроль). Такая разбивка сохранялась на весь период исследований (2011-2018 гг.). Образцы на определение азота в почвах брали три раза: весной при возобновлении вегетации растений (вторая половина апреля), летом (конец июля – начало августа) и осенью (октябрь-ноябрь).

Определение общего азота в слое проведено фотометрическим методом «индофеноловой зелени», легкогидролизуемого азота по методу И.В. Тюрина и М.М. Кононовой, содержания азота в растениях – с помощью мокрого озоления растений (Практикум по агрохимии, 1987). Определение легкорастворимых солей – методом водной вытяжки, содержание гумуса проводили по общепринятым методикам (Аринушкина, 1970).

Климатические условия учитывали по данным метеостанции пос. Кочубей Тарумовского района по таким показателям, как сумма месячных и годовых осадков, среднемесячные и среднегодовые температуры и влажность воздуха. Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова: $ГТК = 10R / \sum t$, где R – месячное количество осадков, $\sum t$ – сумма температур за месяц.

Накопление органической массы фитоценозов и азота по блокам растительного вещества (зеленая масса, ветошь, степной войлок, живые и мертвые корни), а также расчет баланса азота и его компенсированности в экосистемах проводили по А.А. Титляновой (1988). Названия видов растений даны по Р.А. Муртазалиеву (2009). Статистическая обработка результатов проводилась в Microsoft Excel 2010.

Результаты и обсуждение

Анализ структуры фитомассы показывает увеличение средней величины зеленой массы эфемерово-кубанковой ассоциации (*Efemeretum-Cannabietum sativae*) – 23.4 ц/га по сравнению с эфемерово-камфоросмовой (*Efemeretum-Camforosmetum*) ассоциацией – 16.4 ц/га и эфемерово-полынно-многолетне-солянковой ассоциацией – 13.8 ц/га, что указывает на лимитирующую роль полупустынного климатического режима в их развитии (Залибеков, Биарсланов, 2016; Залибеков и др., 2021; Ярулина, 1983).

Результаты наших исследований современного состояния азотного и углеродного почвенного фонда Терско-Кумской низменности в заповедном режиме показали, что содержание общего азота колеблется в пределах 0.15-0.20%, азота легкогидролизуемого – от 2.4 до 5.3 мг/100 г в изучаемых типах почв, что в среднем в 2.5 раза выше, чем в целинных почвах (контроль). Запасы азота в гумусовом горизонте лугово-каштановой почвы (5.2 т/га), под полынно-злаковой (*Artemioso-Graminosum*) и светло-каштановой почвой (5.0 т/га), под эфемероидно-полынно-злаковыми (*Ephemeroso-artemioso-graminosum*) ассоциациями гораздо выше по сравнению с солончаком (4.3 т/га) под разнотравно-кострово-петросимониевой ассоциацией (*Varioherboso-bromoso-petrosimoniosum*). Запасы азота и углерода в почве осенью по сравнению с весной ниже в 1.5 раза и в 1.6-1.8 раза с контролем, что связано с увеличением продуктивности фитоценоза в заповедном режиме (Асварова и др., 2021).

Совокупность негативных процессов аридизации и перевыпас скота вызывают обеднение биоразнообразия, снижение продуктивности сообществ и биофильных элементов в природных пастбищных экосистемах Северо-Западного Прикаспия. При соблюдении норм выпаса или условиях заповедного режима зональная растительность восстанавливается приблизительно через 30 лет (Ли Яомин, 2009).

В формировании фитоценозов (заповедный режим) участвуют однолетние и многолетние виды растений пастбищного типа, которые в дальнейшем определяют основу для восстановления биоресурсного потенциала полупустынных ландшафтов Северо-Западного Прикаспия.

Видовой состав растений светло-каштановой почвы в заповедных условиях насчитывает 12 видов: Poaceae (6), Chenopodiaceae (1), Asteraceae (2), Brassicaceae (1) и Caryophyllaceae (2). Изменчивость видового состава свидетельствуют о неустойчивости фитоценозов. Растительное сообщество представлено эфемерово-полынно-солянково-злаковыми (*Ephemerose-artemioso-salsoloso-graminosum*), разнотравно-солянковыми ассоциациями (*Varioherboso-Salsolosum*), проективное покрытие которых составляет 85%. Доминанты сообщества – виды злаковых (Poaceae): ячмень заячий (*Hordeum leporinum* Link.), костер растопыренный (*Bromus squarrosus* L.), костер кровельный (*Anisantha tectorum* L.), полевица малая (*Eragrostis minor* Host.), мятлик луковичный (*Poa bulbosa* L.), мортука пшеничный (*Eremopyrum triticeum* (Gaerth.) Nevski.); из крестоцветных (Brassicaceae) это бурячок пустынный (*Alyssum desertorum* Stapf.); из сложноцветных (Asteraceae) – полынь таврическая (*Artemisia taurica* Willd.), полынь Лерха (*Artemisia lercheana* Web. ex Stechm.); из маревых (Chenopodiaceae) – солянка иберийская (курай) (*Salsola iberica* Sennenet Rai.); из гвоздичных (Caryophyllaceae) – смолевка коническая (*Silene conica* L.) и грыжник седой (*Herniaria incane* L.; Гасанов и др., 2017).

В первой половине лета вегетируют эфемеры (мортука пшеничный, костер кровельный) и эфемероиды (мятлик луковичный). Доминируют сообщества из полевицы малой, бурячка пустынного, мятлика луковичного, мортука пшеничного, костра растопыренного, костра кровельного и многолетние виды растений: полыни таврической и Лерха, грыжника седого и др. В осенний период формируется урожай за счет видов разнотравья и солянок: виды полыни таврической и Лерха, солянки иберийской и др. Ветошь урожая за 3-4 летних месяца не успевает полностью транслоцироваться в степной войлок, поэтому ее доля в общей фитомассе остается достаточно высокой.

Для солончака типичного характерна постепенная транслокация ветоши в войлок в течение всего летнего периода, что и является причиной относительно меньшего накопления ветоши на солончаке типичном, чем на других типах почв.

Фитоценоз солончака типичного и лугово-каштановой почвы представлен полынными таврической и Лерха (37.7-40% по количеству, 83.7-85% по массе), другими видами солянок, ветошь которых медленнее переходит в степной войлок, чем мятlikово-бобово-разнотравная растительность светло-каштановой почвы, и сохраняется почти полностью до конца вегетационного периода.

Травяные экосистемы считаются наиболее продуктивными по сравнению с лесными и достигают 15-20 т/га-год (Базилевич, Титлянова, 2008; Титлянова, 1988). В условиях Терско-Кумской полупустыни продуктивность значительно меньше и только на светло-каштановой почве приближаются к нижнему из этих пределов, а на лугово-каштановой почве и солончаке типичном она меньше в 2.2-2.6 раза. Аналогичные результаты получены и другими авторами в районе исследований (Загидова и др., 2015; Гасанов и др., 2017; Ярулина, 1983), в аридной зоне Астраханской области (Тютюма, Булахтина, 2016), в засушливых районах Ирана (Saffariha et al., 2014), Китая (Zuo et al., 2011) и других регионах мира.

По нашим данным, общая фитомасса Терско-Кумской низменности на светло-каштановой, лугово-каштановой почвах и солончаке типичном в среднем за 2011-2018 гг. составила 91.5, 41.2 и 34.0 т/га-год соответственно, в т.ч. 13.3, 6.13 и 5.39 т/га-год надземной и 78.2, 35.1 и 28.6 т/га-год подземной массы. Соотношение подземной массы к надземной (П: Н) на светло-каштановой, лугово-каштановой почвах и солончаке типичного составило 5.9, 5.7 и 5.3 соответственно; зеленой массы – 4.45, 2.05 и 1.86 т/га-год; ветоши, находящейся в прямой зависимости от общей надземной фитомассы, – 4.76, 2.13 и 1.87 т/га-год или 35.8, 34.7 и 34.7% от общей фитомассы; войлока – 4.12, 1.85 и 1.65 т/га-год.

В исследованиях выявлено, что доля корней в суммарной фитомассе по типам почв равна 82.2-85.5% и приближена к верхнему пределу этих показателей. Такое высокое соотношение надземной массы к подземной (1: 5.6-1: 6.1) характерно для всех засушливых регионов мира (Сиземская, 2013). На лугово-каштановой почве и солончаке типичном их масса оказалась в 2.2 и 2.9 раз меньше, чем на светло-каштановой.

Коррелятивные зависимости между накоплением надземной (y) и подземной (x) массы по типам почв в полупустынных заповедных условиях в течение 2011-2018 гг. следующие:

$$\text{светло-каштановая} - y = 6.75x - 11.89, r = 0.96, R^2 = 0.92 \quad (1),$$

$$\text{лугово-каштановая} - y = 6.33x - 3.73, r = 0.84, R^2 = 0.71 \quad (2),$$

$$\text{солончак типичный} - y = 4.29x + 5.45, r = 0.91, R^2 = 0.82 \quad (3),$$

где r – коэффициент корреляции, R^2 – коэффициент детерминации.

Взаимосвязь органов приводит к большой зависимости развития надземной массы растений от подземной массы, и наоборот. Результаты исследований парной линейной регрессии в полупустынных заповедных условиях в течение 2011-2018 гг. по типам почв показали 92.19% для светло-каштановой почвы, 71.47% для лугово-каштановой почвы и 82.11% для солончака типичного от общей вариабельности накопления надземной массы, что объясняется изменением подземной массы. Параметры были оценены методом наименьших квадратов. Статистическая значимость уравнения была проверена с помощью коэффициента детерминации.

Необходимо отметить, что среднее значение гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова (ГТК) за 2011-2018 гг. исследований составляет 0.13, что по классификации Г.Т. Селянинова соответствует полупустынной и пустынной зонам. В соответствии с данной шкалой, период 2011-2018 гг. характеризуется очень сильной засухой (ГТК = 0.06 – 0.19; табл. 1). Показатели ГТК, равные 0.19, 0.21 и 0.2 в 2011, 2012, 2016 гг. соответствуют слабой влагообеспеченности, поэтому их можно характеризовать как оптимальное состояние для формирования продуктивности фитоценоза. В последующие 2017-2018 гг. незначительное выпадение осадков (сумма осадков составила 106-140 мм) во взаимосвязи с высокой температурой воздуха (19.8-20.6°C) в период вегетации произошло резкое падение ГТК и продуктивности фитоценоза, что соответствует природной зоне пустыни.

Таблица 1. Гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетационный период апрель-октябрь 2011-2018 гг.

Год	М _{ср.} t°C	М _{ср.} осадки, мм	∑ осадки, мм	∑ t°C	ГТК
2011	19.6	33.8	238	136.0	0.2
2012	20.2	42.0	287	147.4	0.21
2013	19.4	24.0	168	136.2	0.12
2014	19.9	21.3	155	139.3	0.11
2015	20.0	18.0	125	140.5	0.09
2016	19.8	38.8	272	138.2	0.20
2017	19.8	17.2	119	138.5	0.07
2018	20.6	15.1	106	144.3	0.07

Концентрация валового азота в блоках растительного вещества в светло-каштановой почве весной составляет в зеленой массе – 2.2, в ветоши – 1.3, в войлоке – 1.17%, в лугово-каштановой почве – 1.76, 1.61, 1.4% соответственно, в солончаке типичном – 1.72, 1.43 и 1.41%, а осенью азот снижается в 1.3 раза.

Результаты исследований множественной регрессионной зависимости содержания азота в зеленой массе фитоценоза, сформированного на светло-каштановой почве весной и осенью, от содержания азота в гумусовом горизонте почвы и от климатических факторов (ГТК Селянинова) за 2011-2018 гг. были оценены методом наименьших квадратов. Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации:

$$\text{весна} - Y = 0.02 + 3.13X_1 + 4.49X_2, r = 0.97, R^2 = 0.94 \quad (1),$$

$$\text{осень} - Y = -1.096 + 14.75X_1 + 0.32X_2, r = 0.72, R^2 = 0.52 \quad (2),$$

где r – коэффициент корреляции, R^2 – коэффициент детерминации, Y – N в зеленой массе фитоценоза, %, X_1 – N в гумусовом горизонте почвы, %, X_2 – ГТК.

Возможна интерпретация параметров модели: уравнение регрессии содержания азота в фитомассе в зависимости от содержания азота в почве и от ГТК в весенний период показывает, что увеличение содержания азота в почве (X_1) на 1% приводит к увеличению содержания азота

в фитомассе (Y) в среднем на 3%, а увеличение ГТК (X_2) на 1% приводит к увеличению Y в среднем на 4.5% (коэффициент регрессии $\beta_2 = 0.848$). Количество осадков и температура оказывают большее влияние на накопление азота в фитомассе. Установлено, что 94.47% от общей вариальности Y объясняется изменением факторов X_2 . Здесь происходит перераспределение азота из трудногидролизуемой фракции в более мобильную легкогидролизуемую фракцию. Осенью выявлена зависимость азота в фитомассе от содержания азота в почве, увеличение X_1 на 1% приводит к увеличению Y в среднем на 14.7% ($\beta_1 = 0.742$). Установлено, что 51.71% общей вариальности Y объясняется изменением X_1 .

Результаты данных уравнения множественной регрессии объясняется сменой условий засушливости, где ГТК колеблется в пределах 0.21 до 0.34 весной, что по классификации уровней тепло- и влагообеспеченности по ГТК соответствует средней засухе, а осенью ГТК колеблется от 0.07 до 0.12, что соответствует очень сильной засухе. Наибольшее влияние в весенний период на результат содержания азота в фитомассе оказывает фактор ГТК, количество осадков и температура. Полученные данные подтверждают исследования, которые объясняют интенсивность поступления азота в растения наличием благоприятных гидротермических условий (Titlyanova, 2012; Kader, Lindberg, 2010).

На контрольном участке происходит значительное уменьшение запасов азота в почве в 1.6-1.8 раз и составляет 2.6 т/га, а запасов азота в зеленой массе – 3.0 кг/га на светло-каштановой почве, находящейся под действием интенсивного выпаса скота.

Основной причиной снижения сборов фитомассы на лугово-каштановой почве и солончаке типичном является повышение степени и изменение химизма засоления почвы в сторону увеличения соотношения ионов $Cl^- : SO_4^{2-}$ (Гасанов и др., 2018).

Согласно данным наших исследований, азот в одинаковых количествах накапливается в надземных органах растений и выше в 1.5-2.5 раза, чем в подземных. Концентрация азота в корнях в 1.3 раза меньше, чем в зеленых органах растений.

Физиологические особенности роста растений заключаются в том, что растения не могут усваивать большое количество азота и запастись азотом, как ряд биофильных элементов (углерод, фосфор, калий, кальций) в живой клетке в виде различных соединений. В степной зоне злаковые травы накапливают незначительное количество азота в биологической форме: в надземной массе – 22, в корнях – 18 кг/га (Василенко, 2017).

Наибольшая концентрация и запасы азота отмечены за вегетационный период (апрель-октябрь) в фитомассе на светло-каштановой почве (2.35% и 10.4 кг/га). Для сравнения: на лугово-каштановой почве эти показатели составили 1.94% и 4.0 кг/га, на солончаке типичном – 1.76% и 3.27 кг/га. Это связано с более высокой продуктивностью фитоценоза светло-каштановой почвы по сравнению с другими типами почв: 4.45 т/га-год против 2.0 и 1.86 для зеленой массы и 78.2, 35.1 и 28.6 т/га-год для корневой массы (табл. 2, рис.).

Таблица 2. Концентрация азота (%) и запасы азота (кг/га) в блоках растительного вещества по типам почв за 2011-2018 гг. (заповедный режим).

Блок растительного вещества	Тип почвы					
	Светло-каштановая		Лугово-каштановая		Солончак типичный	
	концентрация	запасы	концентрация	запасы	концентрация	Запасы
Зеленая масса	2.35 ± 0.12	10.4	1.94 ± 0.08	4.0	1.76 ± 0.1	3.27
Ветошь	2.11 ± 0.11	10.0	1.53 ± 0.07	3.26	1.32 ± 0.08	2.47
Войлок	2.17 ± 0.12	8.94	1.75 ± 0.09	3.24	1.7 ± 0.1	2.8
Подземная масса	1.82 ± 0.15	142	1.5 ± 0.1	52.6	1.42 ± 0.11	40.6

В исследованных типах почв азот больше всего накапливается в зеленой массе фитоценоза. В ветоши концентрация азота снижается в 1.2-1.4 раза, в войлоке незначительно изменяется по сравнению с его показателями в зеленой массе. Эти значения по накоплению и концентрации азота в корневой массе ниже, чем в зеленой массе в 1.3 раза.

Математический анализ вариабельности азота в блоках растительного вещества показывает, что в зеленой массе, ветоши и войлоке на светло-каштановой почве его содержание имеет более высокие значения (в пределах 2.11-2.35%) по сравнению с показателями вариабельности, полученными в фитомассе на лугово-каштановой почве (1.53-1.94%) и солончаке типичном (1.32-1.76%). Но коэффициент вариации на этих почвах был более высоким (7.73-10.4% и 6.83-11.3%), чем на светло-каштановой. Возможно, это объясняется тем, что на последней накапливается больше надземной и подземной фитомассы, чем на других типах почв. При этом его значение в корнях фитомассы было выше, чем в надземной массе, и колебалось от 15.3 до 18.7%.

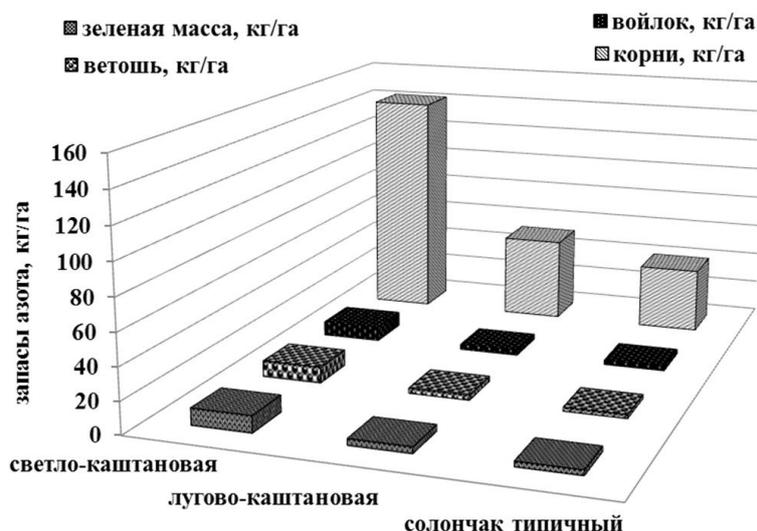


Рис. Запасы азота (кг/га) в блоках растительного вещества (зеленая масса, ветошь, войлок, корни) в зависимости от типа почв за 2011-2018 гг.

Мы выявили различия концентрации азота в доминирующих видах растений на светло-каштановой почве, где наиболее высокими показателями характеризовались полынь Лерха (1.37%), полынь таврическая (1.3%) и солянка иберийская (1.28%). Возможно, высокая концентрация азота в фитомассе связана с преобладанием видов полыни таврической и Лерха, солянки грузинской, в которых значения азота в 5-8 раз выше, чем в фитомассе, где преобладают виды семейства злаковых, крестоцветных и гвоздичных (табл. 3).

Таблица 3. Концентрация и коэффициент биологического поглощения (КБП) азота (надземная часть/почва) в доминирующих видах фитоценозов на светло-каштановой почве 2018 г.

Вид растений	Семейство	N, %	КБП
Полынь Лерха <i>Artemisia lercheana</i> Web. ex Stechm.	Сложноцветные <i>Asteraceae</i>	1.37	6.9
Полынь таврическая <i>Artemisia taurica</i> Willd.	Сложноцветные <i>Asteraceae</i>	1.30	6.5
Курай-солянка иберийская <i>Salsola iberica</i> Sennenet Раи.	Маревые <i>Chenopodiaceae</i>	1.28	6.4
Ячмень заячий <i>Hordeum leporinum</i> Link.	Злаковые <i>Poaceae</i>	0.68	3.4
Мятлик луковичный <i>Poa bulbosa</i> L.	Злаковые <i>Poaceae</i>	0.20	1.0
Костер растопыренный <i>Bromus squarrosus</i> L.	Злаковые <i>Poaceae</i>	0.38	1.9
Бурачок пустынный <i>Alyssum desertorum</i> Stapf	Крестоцветные <i>Brassicaceae</i>	0.32	1.6
Смолевка коническая <i>Silene conica</i> L.	Гвоздичные <i>Caryophyllaceae</i>	0.27	1.4

Динамика запасов азота в фитомассе, по данным исследований за 2011-2018 гг., имеет различия в зависимости от климатических условий и сезона года (весна и осень): они выше в зеленой массе весной (апрель-май) по сравнению с периодом образования семян в августе-сентябре, а осенью (октябрь-ноябрь) отмечается минимальное потребление азота фитоценозом. Такое перераспределение объясняется усиливающейся потребностью растений в азоте весной, обусловленной синтезом белка при формировании урожая фитомассы. Снижение азота осенью обусловлено увеличением засоленности почвы, способствующим повышению осмотического давления почвенного раствора и торможению поступления питательных элементов в растения.

Транслокация зеленой массы в ветошь, а затем в войлок на исследуемых типах почв протекает достаточно интенсивно, несмотря на засушливость климата данной территории. Концентрация азота выше всего в зеленой массе, в ветоши она снижается в 1.3-1.4 раза, в войлоке изменяется незначительно по сравнению с его содержанием в зеленой массе. Эти данные согласуются с исследованиями других авторов, где его концентрация в опаде пустынных формаций составляет 1.7%, степных – 1.2, лесных – 0.6% (Титлянова, 2009).

Уравнение линейной регрессии зависимости запасов азота (Z) от концентрации азота в блоках растительного вещества (y) и от типа почв (x) в виде проекции 3М поверхности имеет вид:

$$Z = 0.21 - 0.17x + 1.22y \quad (1).$$

Исходя из этого уравнения, изменение запаса азота (Z) зависит в большей степени от содержания азота в блоках растительного вещества (1.22y), чем от типа почв (0.17x).

Подводя итоги многолетних и масштабных исследований, Н.И. Базилевич и А.А. Титлянова (2008) установили, что система обменных процессов универсальна для всех автотрофных наземных экосистем: проявление биотического круговорота азота и зольных элементов (химизм растительности, запасы элементов питания, интенсивность обменных процессов) характеризуется степенью сходства, которое меняется на разных уровнях организации биосферы от тождественности до специфичности.

Запасы азота по блокам растительного вещества, по данным наших исследований, образуют следующий убывающий ряд: корни \geq зеленая масса \geq ветошь \geq войлок. Процесс накопления азота в подземных органах более интенсивен ввиду высокой продуктивности всей подземной фитомассы по сравнению с надземной. В зеленой массе и мортмассе (ветошь и войлок) запасы азота примерно одинаковы.

В мертвой растительной массе в заповедных степных участках удерживается около 50-160 кг/га азота и 400-950 кг/га минеральных веществ. Следует отметить, что пастбищные млекопитающие освобождают из надземной фитомассы около 15 кг/га доступных форм азота, что обеспечивает увеличение скорости биологического круговорота азота, способствует увеличению азота в доступных растениям формах в почве и в целом поддерживает положительный баланс биологического круговорота азота в пастбищной экосистеме (Абатуров, Кулакова, 2010).

С учетом приведенных выше данных, мы составили баланс азота в фитоценозах на трех исследуемых типах почв (табл. 4).

При расчетах количества азота и химических элементов, выщелоченных из надземных органов фитоценозов, и прижизненных выделений из подземных органов мы использовали данные А.А. Титляновой (2007). Разница между водами, прошедшими через травостой, и атмосферными осадками учитывается при определении выщелачивания элементов в травяных экосистемах. С учетом незначительного количества атмосферных осадков (годовое количество осадков в среднем составляет до 292 мм) в природных условиях полупустынного региона наших исследований, различие в вымывании азота из надземных органов в почву связано с перераспределением осадков на неоднородных по структуре растительных сообществах, образующих мозаичность фитоценоза на поступление влаги в зависимости от типа почв. Поэтому суммарное поступление азота в светло-каштановую почву было больше, чем в лугово-каштановую, в 2.7 раза, в солончак типичный – в 3.5 раза.

Данные исследований по вопросу выщелачивания из надземной фитомассы и корневые выделения показывают, что больший процент азота в рассматриваемых условиях приходится на полупустыни, чем на луговые степи Курской области. Свое влияние могло оказать его поступление с осадками (Jonasson, 2006; Titlyanova et al., 2006).

Таблица 4. Баланс азота в фитоценозе по типам почв Северо-Западного Прикаспия в 2011-2018 гг., кг/га в год (заповедный режим).

Показатель	Тип почвы		
	светло-каштановая	лугово-каштановая	солончак типичный
Всего потреблено фитоценозом	171.6	63.1	49.1
Закреплено в ветоши	10.0	3.3	2.5
Возвращено в почву:			
выщелочено из надземных органов	0.3	0.3	0.3
выделено прижизненно из подземных органов	0	0	0
при разложении войлока	81.1	28.9	23.9
при разложении подземных органов	90.5	34.2	25.2
Всего	171.9	63.4	49.4
Баланс	+10.3	+3.6	+2.8

Установлено, что на трех типах почв в заповедном режиме количество возвращенного в почву и закрепленного в ветоши азота в среднем за 2011-2018 гг. превышает количество потребленного на создание фитомассы на светло-каштановой почве на 10.3 кг/га в год, на лугово-каштановой – на 3.6 кг/га в год, на солончаке типичном автоморфном – на 2.8 кг/га в год. Следовательно, в условиях заповедного режима содержания пастбищ на всех типах почв Северо-Западного Прикаспия складывается скомпенсированный баланс азота. Интенсивность обменных процессов азота в фитоценозах зависит от величины первичной продуктивности, состава доминирующих видов фитоценоза и гидротермических условий среды.

Выводы

1. В заповедных условиях наибольшая концентрация и запасы азота отмечены в фитомассе, формирующейся на светло-каштановой почве (2.35% и 10.4 кг/га) по сравнению с лугово-каштановой почвой (1.94% и 4.0 кг/га) и солончаком типичным (1.76% и 3.27 кг/га). Это связано, в первую очередь, с более высокой продуктивностью фитоценоза на светло-каштановой почве, по сравнению с другими типами почв: 4.5 т/га•год против 2.0 и 1.86 зеленой массы и 78.2; 35.1 и 28.6 т/га•год корневой массы.

2. В результате множественного регрессионного анализа установлено, что весной 94.5% от общей вариабельности концентрации азота в фитомассе происходит за счет изменения факторов ГТК, условий увлажненности. Перераспределение азота из трудногидролизуемой фракции в более мобильную легкогидролизуемую фракцию весной объясняется наличием благоприятных гидротермических условий. Осенью 52% от общей вариабельности зависит от содержания азота в почве.

3. На контрольном участке происходит значительное уменьшение запасов азота в почве 1.6-1.8 раза и составляет 2.6 т/га, запасов азота в зеленой массе – 3.0 кг/га на светло-каштановой почве, находящейся под действием интенсивного выпаса скота.

4. Запасы азота по блокам растительного вещества образуют следующий убывающий ряд: корни \geq зеленая масса \geq ветошь \geq войлок.

5. В приходной части баланса в светло-каштановой почве накапливается (кг/га) 171.6 азота, в лугово-каштановой – 63.1, в солончаке типичном автоморфном – 49.1, в расходной части – 171.9, 63.4 и 49.4 кг/га соответственно. Количество возвращенного в почву и закрепленного в ветоши азота превышает количество потребленного на создание фитомассы: на светло-каштановой почве – на 10.3 кг/га в год, на лугово-каштановой – на 3.6 кг/га в год, на солончаке типичном автоморфном – на 2.8 кг/га в год. В условиях заповедного режима пастбищ на всех типах почв складывается скомпенсированный баланс азота.

В современных условиях при разработке приемов восстановления деградированных фитоценозов в аридной зоне Северо-Западного Прикаспия необходимо проведение продолжительных периодов

контролируемого порядка выпаса скота в условиях заповедного режима и перегона скота с зимних на летние пастбища в горные районы республики.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания Прикаспийского института биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН «Мониторинг и прогноз динамики почвенного покрова и биопродуктивности ландшафтов Северо-Западного Прикаспия и дагестанской части Восточного Кавказа», раздел 2 № АААА-А20-120062990014-2 «Биопродуктивность ландшафтов и балансы азота и углерода в экосистемах, подвергшихся естественно-антропогенной трансформации Северо-Западного Прикаспия» (тема 2 № 122032200273-6), а также при финансовой поддержке МСХ РФ по ЕГИСУ НИОКТР 1022040900563-6-4.1.4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абатуров Б.Д., Кулакова Н.Ю.* 2010. Роль выпаса животных и степных палов в круговороте азота и зольных элементов в степных пастбищных экосистемах // Аридные экосистемы. Т. 16. № 2. С. 54-64.
- Абатуров Б.Д., Нухимовская Ю.Д.* 2013. Опыт количественной оценки продукции надземной фитомассы и ее составляющих на степном пастбище // Аридные экосистемы. Т. 19. № 4 (57). С. 14-22. [*Abaturov B.D., Nukhimovskaya Yu.D.* 2013. Quantitative Assessment of Aboveground Plant Production and Its Components in Steppe Pasture // Arid Ecosystems. Vol. 3. No. 4. P. 198-204.]
- Аринушкина Е.В.* 1970. Химический анализ почв. М.: МГУ. С. 386-426.
- Асварова Т.А., Гасанов Г.Н., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Гимбатова К.Б., Абдулаева А.С., Ахмедова З.Н., Салихов Ш.К., Кичева Ж.О.* 2021. Запасы азота и углерода в почвах Терско-Кумской низменности // Вестник Воронежского государственного университета. № 3. С. 33-40.
- Базилевич Н.И., Титлянова А.А.* 2008. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН. 376 с.
- Бананова В.А., Лазарева В.Г.* 2014. Тенденции изменения ботанического разнообразия под влиянием опустынивания в республике Калмыкия // Аридные экосистемы. Т. 20. № 2 (59). С. 87-96. [*Bananova V.A., Lazareva V.G.* 2014. Trends of Changes in the Botanical Diversity under the Influence of Desertification in the Republic of Kalmykia // Arid Ecosystems. Vol. 4. No. 2. P. 119-126.]
- Василенко Р.Н.* 2017. Значение многолетних трав в системе земледелия // AgroOne. № 23. С. 23-25.
- Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Абдулаева А.С., Ахмедова З.Н., Салихов Ш.К.* 2017. Видовой состав и продуктивность пастбищных фитоценозов Терско-Кумской низменности (на примере Кочубейской биосферной станции ПИБР ДНЦ РАН) // Растительные ресурсы. № 53 (4). С. 459-475.
- Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Ахмедова З.Н., Абдулаева А.С., Салихов Ш.К.* 2018. Динамика химических элементов в блоках растительного вещества травяных экосистем Терско-Кумской низменности Прикаспия // Проблемы развития АПК региона. № 4 (36). С. 39-45.
- Джамбулатов З.М.* 2020. Современное состояние и инновационные пути развития мелиорации и орошаемого земледелия // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, 24-25 сентября 2020 г. 457 с.
- Доклад об особенностях климата на территории РФ за 2019 год. 2020. М.: Росгидромет. 97 с.
- Загидова Р.М., Бийболатова З.Д., Асгерова Д.Б., Абдурашидова П.А.* 2015. Экология смен в растительных группировках Терско-Кумской и Терско-Сулакской низменностей // Вестник Дагестанского государственного университета. № 30 (1). С. 60-65.
- Залетаев В.С.* 1989. Экологически дестабилизированная среда. Экосистемы аридных зон в изменяющемся гидрологическом режиме. М. 43 с.
- Залибеков З.Г.* 2005. Аридное почвообразование и проблемы его изучения в регионах европейского юга России // Аридные экосистемы. Т. 11. № 26-27. С. 94-99.
- Залибеков З.Г., Биарсланов А.Б.* 2016. О разнообразии почвенных ресурсов и их роли в создании продовольственной безопасности // Аридные экосистемы. Т. 22. № 2 (67). С. 5-15. [*Zalibekov Z.G., Biarslanov A.B.* 2016. Soil Resource Diversity and Its Role in Food Security Preservation // Arid Ecosystems. Vol. 6. No. 2. P. 81-88.]
- Залибеков З.Г., Мамаев С.А., Биарсланов А.Б., Асгерова Д.Б., Магомедов Р.А.* 2021. Потенциал биопродукционных ресурсов почвенного покрова: использование и источники возобновления // Аридные экосистемы. Т. 27. № 1 (86). С. 15-23. [*Zalibekov Z.G., Mamaev, S.A., Biarslanov A.B., Asgerova D.B., Magomedov R.A.* 2021. Potential for Bioproduction Resources in the Soil Cover: Their Use and Sources of Renewal // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 1. P. 11-17.]

- Зональные типы биомов России: Антропогенные нарушения и естественные процессы восстановления экологического потенциала ландшафтов. 2003 / Ред. К.М. Петров. СПб. 246 с.
- Кулакова Н.Ю., Абатуров Б.Д. 2010. Элементы круговорота азота в ландшафтах Северного Прикаспия // Поволжский экологический журнал. № 2. С. 151-159.
- Кулик К.Н. 2005. Разработка субрегиональной национальной программы действий по борьбе с опустыниванием для юго-востока Европейской части РФ // Биологическое и почвенное разнообразие аридных экосистем юга России. Махачкала. С. 12-20.
- Ли Яомин. 2009. Опустынивание и восстановление биоресурсного потенциала субаридных и аридных ландшафтов (на примере Северо-Западного Прикаспия и пустынь Центральной Азии). Авт. дисс. ... канд. географ. наук. СПб. 17 с.
- Муртазалиев Р.А. 2009. Конспект флоры Дагестана. Т. I-IV / Ред. Р.В. Камелин. Махачкала: Эпоха. Т. 1., 320 с.; Т. 2., 248 с.; Т. 3., 304 с.; Т. 4., 232 с.
- Практикум по агрохимии. 1987 / Сост. Б.А. Ягодин, И.П. Дерюгин, Ю.П. Жуков и др. М.: Агропромиздат. 275 с.
- Сапанов М.К., Сиземская М.Л. 2015. Изменение климата и динамика целинной растительности в Северном Прикаспии // Поволжский экологический журнал. № 3. С. 307-321.
- Сиземская М.Л. 2013. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК. 276 с.
- Титлянова А.А. 1988. Продуктивность травяных экосистем // Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / Ред. В.Б. Ильин. Новосибирск. 134 с.
- Титлянова А.А. 2007. Бюджет элементов питания в экосистемах // Почвоведение. № 12. С. 1422-1430.
- Титлянова А.А. 2009. Сукцессии и биотический круговорот // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 11. № (1-7). С. 1596-1604.
- Тютюма Н.В., Булахтина Г.К. 2016. Проблема опустынивания аридной зоны Астраханской области в условиях изменения климата и повышенного антропогенного воздействия // Материалы Международной конференции ООН по борьбе с опустыниванием, 24-26 ноября 2016 г. Махачкала. С. 68-72.
- Ярулина Н.А. 1983. Первичная биологическая продуктивность почв дельта Терека. М.: Наука. 87с.
- Jonasson S. 2006. Interactions between Plants, Litter and Microbes in Cycling of nitrogen and Phosphorus in the Arctic // Soil Biology & Biochemistry. Vol. 38. P. 526-532.
- Kader M., Lindberg S. 2010. Cytosolic Calcium and pH Signaling in Plants under Salinity Stress // Plant Signaling & Behavior. No. 5 (3). P. 233-238.
- Saffariha M., Azarnivand H., Tavili A. 2014. Effects of Grazed Enclosure on Some of Nutrient Elements of Aerial and Underground Organs of *Artemisia sieberi*, *Stipa hohenacheriana* and *Salsola rigida* // International Journal of Agronomy and Agricultural Research. No. 4 (2). P. 62-70.
- Titlyanova A.A. 2012. Above-ground and Below-ground Productivity of Central Asian Steppes // Steppe Ecosystems: Dynamics, Land and Conservation / ed. M.G. Denise. 354 p.
- Titlyanova A.A., Bienkovski P., Shibareva S.V. 2006. Chemical Properties of Litter of Forest and Grassland Ecosystems: Transect Studies in Siberia (Russia) // Polish Journal of Ecology. Vol. 54. No. 1. P. 53-59.
- Zuo X.A., Knops J.M.H., Zhao X.Y., Zhao H.L., Li Y.Q., Guo Y.R. 2011. A Positive Correlation between Plant Diversity and Productivity is Indirectly Caused by Environmental Factors Driving Spatial Pattern of Vegetation Composition in Semiarid Sandy Grassland // Biogeosciences Discussions. No. 8. P. 1795-1801.