

УДК 574.45: 543.272.37 (470.67)

Накопление азота фитоценозами дагестанской части Восточного Кавказа

*Салихов Ш. К., Гасанов Г. Н., Яхияев М. А., Гаджиев К. М., Баширов Р. Р.,
Рамазанова Н. И., Гимбатова К. Б., Кичева Ж. О., Ахмедова З. Н.*

*Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального
исследовательского центра РАН
Махачкала, Россия
salichov72@mail.ru*

Изучены запасы азота в почвах и компонентах фитоценоза (зеленая масса, ветошь, войлок, корни), а также продуктивность фитоценозов шести постоянных пробных площадей: предгорье (1000 м н. у. м.) – на Цудахарской экспериментальной базе; среднегорье (1700 м н. у. м.) и высокогорье (2100 м н. у. м.) – на экспериментальной базе «Верхний Гуниб» Горного ботанического сада ДФИЦ РАН, в течение 10 лет (2012–2021 гг.), в условиях заповедного режима. Выявлено, что запасы азота в почвах Горного Дагестана значительно различались – меньше всего запасов было в почвах Предгорья (горная лугово-степная сильно эродированная почва) на крутом склоне 35°. Максимум запасов азота накапливала горная лугово-лесная почва Высокогорья, расположенная у подножия леса с уклоном около 10°. Накопление фитомассы по гипсометрическим отметкам дагестанской части Восточного Кавказа составило на северной и южной экспозициях склонов: в надземной массе – 46,6 и 45,7; 54,17 и 59,79; 67,26 и 62,90 ц/га-год; в корневой массе – 112,17 и 88,24; 130,46 и 125,73; 144,44 и 133,55 ц/га-год в Предгорье, Среднегорье и Высокогорье. Выявлена высокая продуктивность фитоценозов, расположенных в близости с древесно-кустарниковой растительностью – фитоценозы склонов северной экспозиции подпровинций Горного Дагестана. Увеличения запасов азота в фитоценозе было связано с увеличением высоты местности над уровнем моря, что составило в надземной массе: от Предгорья к Среднегорью – 15,59 и 43,17 %; от Среднегорья к Высокогорью – 32,43 и 4,12 %; в подземной: 21,02 и 48,91 %; 11,14 и 4,69 %, соответственно на склонах северной и южной экспозиций. Больше азота накапливали фитоценозы Высокогорья (2100 м н. у. м.), меньше – фитоценозы Предгорья (1000 м н. у. м.). На всех гипсометрических отметках, больше азота накапливали фитоценозы, произрастающие на склонах северной экспозиции – запасов азота было выше на северном склоне (в среднем в надземной массе – на 10,41; в подземной – 24,24 %), что было связано с смывом азота в почвах южных склонов, из-за их большей крутизны. В результате десятилетних исследований, проведенных в 2012–2021 годах, выявлена положительная высокой силы коррелятивная связь показателей свойств почв с продуктивностью фитоценозов и запасами азота в фитомассе.

Ключевые слова: почва, азот, фитоценоз, заповедный режим, горные территории, Дагестан, Восточный Кавказ.

ВВЕДЕНИЕ

Продуктивность растений обусловлена почвенными условиями территории, в первую очередь плодородием почв, существенное воздействие на которое оказывает содержание в почве азота, не накапливаемого в материнских породах (Bhatt et al., 2019; Luo et al., 2019).

Азот – биогенный элемент, определяющий продуктивность наземных экосистем, где он связан с органикой почв, а минеральные, доступные для растений, формы накапливаются в низких концентрациях (Макаров и др., 2019; Mello, 2021; Mason et al., 2022).

Азот играет важную роль в синтезе АТФ, аминокислот, нуклеиновых кислот, хлорофилла, фитогормонов растений (Adams et al., 2018; Anas et al., 2020), повышает продуктивность и содействует устойчивости биогеоценозов к стрессам (Sun et al., 2020).

В современном мире, в связи с глобальной ролью азота, большой интерес проявляется к вопросу накопления азота в фитоценозах (Stevens, 2019; Шафран, 2020).

Содержание азота в фитоценозах территории горных регионов обусловлено экспозицией склонов, на которых растения получают различное количество фотосинтетически активной радиации, тепла, влаги (Соколова, 2016).

Общее содержание азота в гумусовых горизонтах почв варьирует от 0,03 % в песчаных почвах до 2,5–3,0 % в торфе, в черноземах содержание общего азота равно 0,4–0,6 % (Беляев, 2012).

Горные территории подвержены трансформации гидротермических условий, изменению структуры растительности в связи с различием накопления азота его компонентами (Эльканова и др., 2016; Dawes et al., 2017; Bhandari, Zhang, 2019). Данные процессы приводят к минерализации органики почв и накоплению азота, увеличению его запасов (Dawes et al., 2017). В почвах, на склонах разных экспозиций, формируется разный гидротермический режим. Для склонов северных и западных экспозиций присуща более высокая влажность почв, относительно склонов южных и восточных (Kong et al., 2019), соответственно изменяются: содержание гумуса, азота, подвижность элементов питания (Глазунов и др., 2020).

Запасы азота в структуре фитомассы фитоценозов связаны с содержанием в почвах, внесения удобрений, потерь вследствие вымывания, эрозии, выноса с урожаем, денитрификации (Завалин, Соколов, 2018; Кудеяров, 2019; Yue et al., 2019).

В Дагестане проведено немало исследований, посвященных функционированию фитоценозов ее горной территории (Litvinskaya et al., 2015; Муртазалиев, 2016; Гасанов и др., 2016; Вагабова и др., 2018; Маллалиев, Залибеков, 2018; Асадулаев и др., 2020). Не смотря на широкий охват проблем в данных исследованиях, не решен вопрос накопления и запасов азота в фитоценозах Горного Дагестана.

Актуальность нашего исследования связана со значимостью вопроса определения содержания и запасов азота в фитоценозах.

Цель исследования – определить продуктивность фитомассы, содержание и запасы азота в фитоценозах склонов северной и южной экспозиций горы Маяк и хребта Чакулабек дагестанской части Восточного Кавказа.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования по продуктивности фитоценозов, выявлению концентрации и запасов азота проводились на шести постоянных пробных площадях (ППП): в предгорье (1000 м н. у. м.) – на Цудахарской экспериментальной базе, в среднегорье (1700 м н. у. м.) и высокогорье (2100 м н. у. м.) – на экспериментальной базе «Верхний Гуниб» Горного ботанического сада ДФИЦ РАН, в условиях заповедного режима, в течение 2012–2021 годов. GPS-координаты участков: *a* – 42.327640 N 47.166180 E; *b* – 42.328297 N 47.164353 E; *c* – 42.40058950 N 46.91963550 E; *d* – 42.40176770 N 46.91865520 E; *e* – 42.402672 N 46.905175 E; *f* – 42.402786 N 46.903856 E (рис. 1).

ППП, площадью по 100 м², были разбиты на 100 площадок по 1 м² (1 м×1 м), полиэтиленовым шпагатом. Образцы почв и фитомассы брались по семь раз: в первой декаде каждого месяца с апреля по октябрь включительно, в трехкратной повторности.

Наземную массу с ППП отбирали методом укусов, с выделением фракций: зеленая масса, ветошь (мертвые части растений, не лишенные связи с растениями), войлок. Подземную массу определяли в эти же сроки, на тех же ППП, после укуса надземной массы, до глубины 40 см методом монолитов. Размер монолита 10×10×10 см. Содержание азота в фитомассе определено методом мокрого озоления (Ягодин и др., 1987). Запасы азота в фитоценозах определяли по методике А. А. Титляновой (Титлянова и др., 2018).

На каждом типе почв проведен отбор образцов по профилю (0–20, 20–40 см). Анализы почв проведены в лаборатории почвенных и растительных ресурсов ПИБР ДФИЦ РАН. Общий азот в почве определен фотометрическим методом «индофеноловой зелени» по методу ЦИНАО, легкогидролизуемый методом Тюрина и Кононовой, гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91) (Ягодин и др., 1987). Запасы азота вычислены по формуле: $Q=(m \times h \times d) \times 1000$, где: *Q* – запасы азота (кг/га) для почвенного слоя; *m* – содержание азота; *h* – мощность почвенного слоя (см); *d* – плотность почвенного слоя, г/см³.



Рис. 1. Взятие проб в отдельных пунктах исследований
a – северный склон Предгорной подпровинции; *b* – южный склон Предгорной подпровинции;
c – северный склон Среднегорной подпровинции; *d* – южный склон Среднегорной подпровинции;
e – северный склон Высокогорной подпровинции; *f* – южный склон Высокогорной подпровинции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Во многих работах российских (Васбиева, 2019; Ревин и др., 2020), и зарубежных (Tahseen et al., 2022) исследователей, приводятся данные о необходимости определения содержания легкогидролизуемого азота почвы для оценки плодородия почв.

Наши исследования выявили, что более плодородными являются почвы, находящиеся на склонах северной экспозиции Горного Дагестана, поскольку в них обнаружено больше легкогидролизуемой формы азота (табл. 1).

Таблица 1

Содержание и запасы азота в почвах Цудахарской и Гунибской экспериментальных баз
ГорБС ДФИЦ РАН (2012–2021 гг.)

Тип почвы	Глубина, см	Гумус, %	Влажность, %	Плотность, г/см ³	N _{общ.} , %	N _{гидр.} , мг/100 г	Запасы, кг/га	
							N _{общ.}	N _{гидр.}
Предгорная подпровинция								
Горная лугово-лесная эродированная	0–20	4,45	19,1	1,07	0,231	10,96	4943,4	234,54
	20–40	2,81	17,7	1,15	0,141	4,88	3243,0	112,24
	0–40	3,63	18,4	1,11	0,186	7,92	8186,4	346,78
Горная лугово-степная сильно эродированная	0–20	2,92	13,2	1,08	0,150	5,47	3240,0	118,15
	20–40	1,99	16,9	1,18	0,102	2,79	2407,2	65,84
	0–40	2,46	15,1	1,13	0,126	4,13	5647,2	184,00
Среднегорная подпровинция								
Горная бурая лесная	0–20	4,72	26,8	1,04	0,241	13,44	5012,8	279,55
	20–40	2,73	25,9	1,14	0,142	5,28	3237,6	120,38
	0–40	3,73	26,4	1,09	0,192	9,36	8250,4	399,94
Горная лугово-степная	0–20	4,34	26,3	1,07	0,225	11,68	4815,0	249,95
	20–40	2,69	25,8	1,12	0,138	3,87	3091,2	86,69
	0–40	3,52	26,1	1,10	0,182	7,78	7906,2	336,64
Высокогорная подпровинция								
Горная лугово-лесная	0–20	5,14	27,8	1,03	0,264	15,82	5438,4	325,89
	20–40	3,36	27,3	1,15	0,174	7,14	4002,0	164,22
	0–40	4,25	27,6	1,09	0,219	11,48	9440,4	490,11
Горно-луговая дерновая	0–20	4,64	25,9	1,07	0,221	11,55	4729,4	247,17
	20–40	2,33	25,1	1,13	0,139	3,72	3141,4	84,07
	0–40	3,49	25,5	1,10	0,180	7,64	7870,8	331,24

Общего азота, как и легкогидролизуемого, также было больше на склонах северной экспозиции.

Запасы азота в почвах Горного Дагестана значительно различались, меньше всего запасов было в почвах Предгорной подпровинции, вследствие эрозии почв, особенно это проявилось на горной лугово-степной сильно эродированной почве, приуроченной к крутому склону 35°. Максимум запасов азота накапливала, расположенная у подножия леса, горная лугово-лесная почва Высокогорной подпровинции, с уклоном около 10° (табл. 1).

Накопление фитомассы по гипсометрическим отметкам дагестанской части Восточного Кавказа составило на северной и южной экспозициях склонов: в надземной массе – 46,6 и 45,7; 54,17 и 59,79; 67,26 и 62,90 ц/га·год; в подземной массе – 112,17 и 88,24; 130,46 и 125,73; 144,44 и 133,55 ц/га·год в Предгорной, Среднегорной и Высокогорной подпровинциях, соответственно (рис. 2).

Деревья аккумулируют соединения азота из атмосферы в 2–3 раза интенсивнее, чем травянистая (Кудреватых и др., 2018), вследствие чего происходит рост продуктивности растений (Sinha et al., 2020) и активности почвенных микроорганизмов (Zhang et al., 2019).

В нашем исследовании также выявлена большая продуктивность фитоценозов, расположенных вблизи к участкам с древесно-кустарниковой растительностью – фитоценозы склонов северной экспозиции подпровинций Горного Дагестана.

Содержание азота в структуре фитомассы подпровинций Горного Дагестана зависела от склоновой экспозиции и гипсометрических отметок (рис. 3).

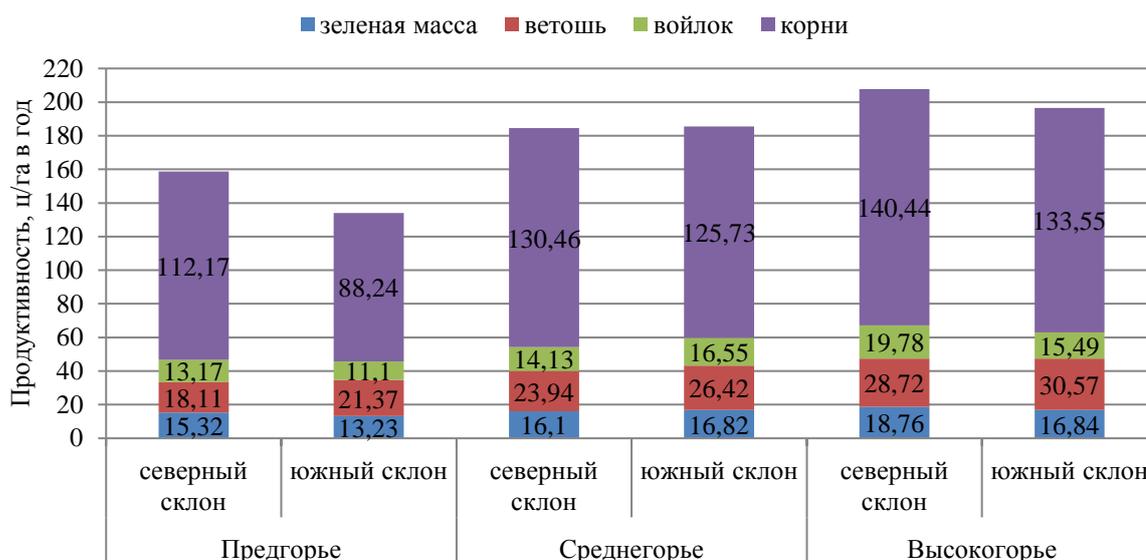


Рис. 2. Продуктивность травяных экосистем дагестанской части Восточного Кавказа (2012–2021 гг.)

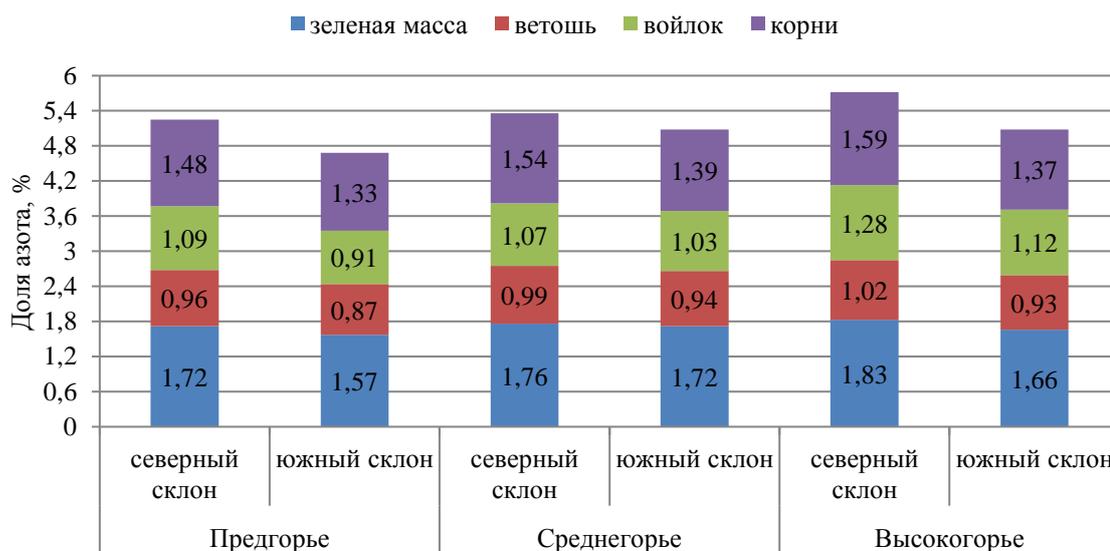


Рис. 3. Содержание азота в структуре фитомассы экосистем дагестанской части Восточного Кавказа (2012–2021 гг.)

Больше всего азота накапливали фитоценозы Высокогорья (2100 м н. у. м.), меньше всего – фитоценозы Предгорья (1000 м н. у. м.). На всех гипсометрических отметках, больше азота накапливали фитоценозы, произрастающие на склонах северной экспозиции.

Общей закономерностью было увеличение запасов азота в фитоценозе по мере увеличения высоты местности над уровнем моря, в надземной массе: от Предгорья к Среднегорью – 15,59 и 43,17 %; от Среднегорья к Высокогорью – 32,43 и 4,12 %; в подземной: 21,02 и 48,91 %; 11,14 и 4,69 %, соответственно, на склонах северной и южной экспозиций.

Экспозиция склона, также вносила свой вклад – запасов азота было выше на северном склоне (в среднем в надземной массе – на 10,41; в подземной – 24,24 %), что было вероятно обусловлено смывом азота в почвах южных склонов, из-за их большей крутизны (рис. 4).

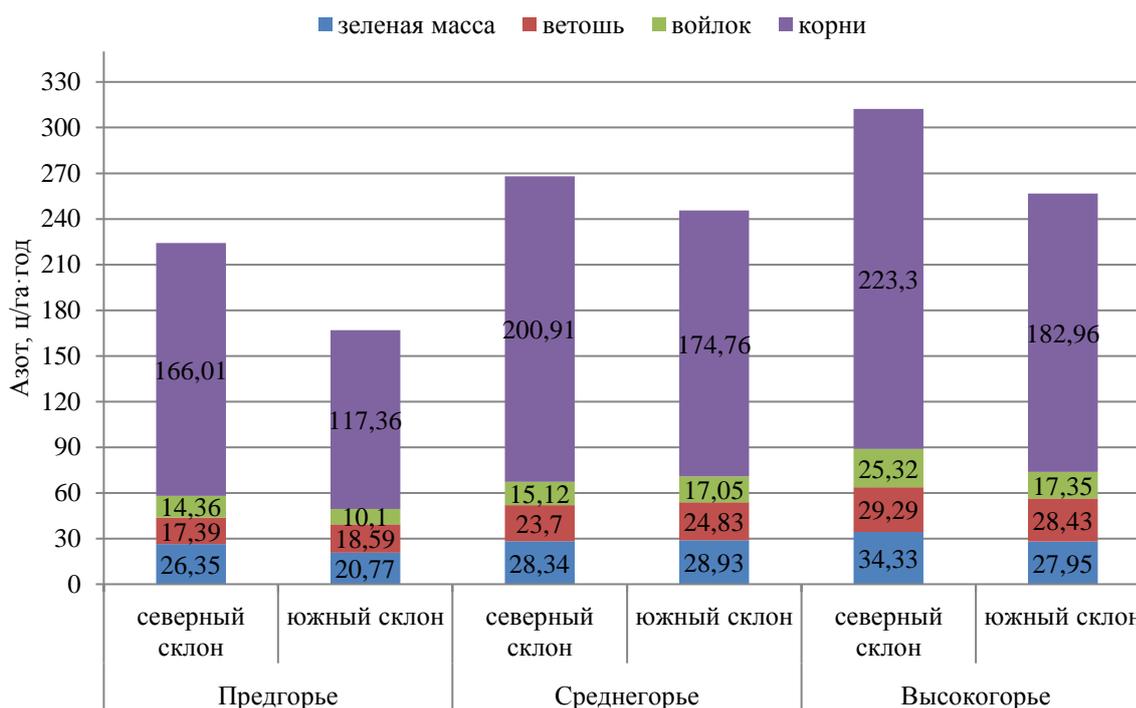


Рис. 4. Запасы азота в структуре фитомассы в экосистемах Горного Дагестан (2012–2021 гг.)

Показатели почв и компонентов фитомассы (зеленая масса, ветошь, войлок, корни) исследованных фитоценозов были подвергнуты статистической обработке (табл. 2).

В результате десятилетних исследований, проведенных в 2012–2021 годах, выявлена положительная высокой силы коррелятивная связь показателей свойств почв с продуктивностью и запасами азота в фитомассе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые исследованы и выявлены закономерности формирования, транслокации и запасов азота по фракциям растительного вещества (зеленая масса, ветошь, войлок, корни) на различных гипсометрических отметках и экспозициях склонов дагестанской части Восточного Кавказа.

Общей закономерностью для почв Горного Дагестана было большее содержание легкогидролизуемого и общего азота в слое 0–20 см, с уменьшением его вниз по почвенному профилю.

В почвах общего азота, как и легкогидролизуемого, было больше на площадках склонов северной экспозиции.

Запасы азота в почвах Горного Дагестана значительно различались – меньше всего запасов было в почвах Предгорной подпровинции, вследствие эрозии почв, особенно это проявилось на горной лугово-степной сильно эродированной почве, приуроченной к крутому склону 35°. Максимум запасов азота накапливала, расположенная у подножия леса, горная лугово-лесная почва Высокогорной подпровинции, расположенная почти на ровной поверхности.

Исследования, проведенные в 2012–2021 годы на территории дагестанской части Восточного Кавказа выявили, что продуктивность фитоценозов отличалась в зависимости от приуроченности к склоновой экспозиции.

Отмечена большая продуктивность фитоценозов, сформированных на склонах северной экспозиции подпровинций Горного Дагестана, что обусловлено близким расположением участков к лесным массивам.

Таблица 2

Регрессионная и коррелятивная связь показателей почв с продуктивностью фитомассы ($p=0,05$)

Показатели почв, слой 0–40 см	Продуктивность фитомассы	Запас азота в фитомассе
	Зеленая масса (корни)	
Гумус	$y=2,8477x+6,1733$ $r=0,905$	$y=7,1015x+2,8284$ $r=0,950$
	$y=28,7522x+20,6757$ $r=0,892$	$y=58,7584x-28,888$ $r=0,959$
Влажность	$y=0,322x+8,7123$ $r=0,899$	$y=0,7426x+10,5627$ $r=0,872$
	$y=3,5185x+40,1206$ $r=0,958$	$y=6,2398x+32,89$ $r=0,894$
Запас $N_{\text{общ.}}$	$y=0,00135x+5,5356$ $r=0,907$	$y=0,00335x+1,3311$ $r=0,948$
	$y=0,01354x+14,9709$ $r=0,888$	$y=0,02754x-39,6024$ $r=0,950$
Запас $N_{\text{гидр.}}$	$y=0,01651x+10,4295$ $r=0,899$	$y=0,04174x+13,2478$ $r=0,956$
	$y=0,1655x+64,0633$ $r=0,879$	$y=0,3494x+55,9098$ $r=0,976$

Больше всего азота накапливали фитоценозы Высокогорья (2100 м н. у. м.), меньше всего – фитоценозы Предгорья (1000 м н. у. м.). На всех гипсометрических отметках, больше азота накапливали фитоценозы, приуроченные к склонам северной экспозиции.

Общая закономерность накопления азота – повышение запасов азота в фитоценозах по мере увеличения высоты местности над уровнем моря. Экспозиция склона, также вносила свой вклад – запасов азота накапливалось больше на северном склоне.

Выявлена положительная высокой силы коррелятивная связь показателей свойств почв с продуктивностью фитоценозов и запасами азота в фитомассе.

Полученные результаты могут быть использованы для реализации проектов рационального управления продукционными и деструкционными процессами в природных и агроландшафтах. Они могут служить основой для дистанционного зондирования продуктивности ландшафтов, а также могут пользоваться научными учреждениями, ВУЗами при решении актуальных научных проблем и при подготовке магистров, бакалавров и аспирантов по биологическим, экологическим и другим специальностям.

Благодарности. Авторы выражают благодарность за предоставление УНУ «Система экспериментальных баз, расположенных вдоль высотного градиента» ГорБС ДФИЦ РАН.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания согласно тематическому плану ОП Прикаспийского института биологических ресурсов ДФИЦ РАН по теме «Динамика почвенного покрова и биопродуктивности экосистем Северо-Западного Прикаспия и Восточного Кавказа» (НИОКТР № АААА-А20-120062990014-2).

Список литературы

- Асадулаев З. М., Садыкова Г. А., Маллалиев М. М., Рамазанова З. Р., Мищенко Н. В., Десинов С. Л., Асадулаев Ш. З. Группировки пионерной растительности и некоторые подходы к искусственному обрастанию откосов автодорог Предгорного Дагестана // Юг России: экология, развитие. – 2020. – Т. 15, № 2. – С. 61–77. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-2-61-77
- Беляев А. Б. Элементы минерального питания в почвах. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2012. – 29 с.
- Вагабова Ф. А., Алиев А. М., Раджабов Г. К., Мусаев А. М. Сравнительное изучение компонентного состава эфирного масла *Artemisia splendens* Wild. и *Artemisia tschernieviana* Bess. флоры Дагестана // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2018. – Т. 21, № 1. – С. 17–24. DOI: 10.29296/25877313-2018-01-04
- Васбиева М. Т. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на содержание органического углерода и азотный режим дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. – 2019. – № 11. – С. 1365–1372. DOI: 10.1134/s0032180x19110133
- Гасанов Г. Н., Салихов Ш. К., Гаджиев К. М., Маллалиев М. М., Шайхалова Ж. О., Гимбатова К. Б. Видовой состав и продуктивность луговых фитоценозов горы маяк (Гунибское плато, республика Дагестан) // Растительные ресурсы. – 2016. – Т. 52, № 2. – С. 214–224.
- Глазунов Г. П., Афонченко Н. В., Двойных В. В. Оценка влияния морфометрических показателей рельефа на плодородие черноземных почв // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 7. – С. 10–18. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10702
- Завалин А. А., Соколов О. А. Азот и качество зерна пшеницы // Плодородие. – 2018. – № 1 (100). – С. 14–17.
- Кудеяров В. Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России // Агрехимия. – 2019. – № 12. – С. 3–15. DOI: 10.1134/s000218811912007x
- Кудреватых И. Ю., Иващенко К. В., Ананьева Н. Д., Иванищева Е. А. Атмосферное осаждение азота и свойства почв в лесах Вологодской области // Почвоведение. – 2018. – № 2. – С. 155–164. DOI: 10.7868/S0032180X1802003X
- Макаров М. И., Бузин И. С., Тиунов А. В., Малышева Т. И., Кадулин М. С., Королева Н. Е. Изотопный состав азота в почвах и растениях горно-тундровых экосистем Хибин // Почвоведение. – 2019. – № 10. – С. 1185–1197. DOI: 10.1134/s0032180x19100071
- Маллалиев М. М., Залибеков М. Д. Новые виды сосудистых растений для флоры Дагестана и России // Ботанический журнал. – 2018. – № 1. – С. 122–124. DOI: 10.1134/s0006813618010076
- Муртазалиев Р. А. Анализ распределения видов флоры Дагестана // Ботанический журнал. – 2016. – Т. 101, № 9. – С. 1056–1074. DOI: 10.1134/s0006813616090052
- Ревин Н. Ю., Гурин А. Г., Резвякова С. В., Михалева Е. С. Азотный режим почвы при дерново-перегнойной системе содержания междурядий в яблоневом саду // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 2 (83). – С. 29–35. DOI: 10.17238/issn2587-666x.2020.2.29
- Соколова Г. Г. Влияние высоты местности, экспозиции и крутизны склона на особенности пространственного распределения растений // Acta Biologica Sibirica. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 34–45. DOI: 10.14258/abs.v2i3.1453
- Титлянова А. А., Базилевич Н. И., Снытко В. А. и др. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. – Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. – 110 с. DOI: 10.31251/978-5-600-02350-5
- Шафран С. А. Баланс азота в земледелии России и его регулирование в современных условиях // Агрехимия. – 2020. – № 6. – С. 14–21. DOI: 10.31857/s0002188120060113
- Эльканова М. Х., Ахметжанова А. А., Елумеева Т. Г., Олимпченко В. Г. Изменение структуры надземной фитомассы альпийской пустоши Северо-Западного Кавказа при долговременном внесении элементов минерального питания // Бюллетень московского общества испытателей природы. Отдел биологический. – 2016. – Т. 121, № 2. – С. 47–58.
- Ягодин Б. А., Дерюгин И. П., Жуков Ю. П. и др. Практикум по агрохимии. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.
- Adams M. A., Buchmann N., Sprent J., Buckley T. N., Turnbull T. L. Crops, nitrogen, water: are legumes friend, foe, or misunderstood ally? // Trends in Plant Science. – 2018. – Vol. 23, iss. 6. – P. 539–550. DOI: 10.1016/j.tplants.2018.02.009
- Anas M., Liao F., Verma K. K. et al. Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency // Biological Research. – 2020. – Vol. 53, N 47. DOI: 10.1186/s40659-020-00312-4
- Bhandari J., Zhang Y. Effect of altitude and soil properties on biomass and plant richness in the grasslands of Tibet, China, and Manang District, Nepal // Ecosphere. – 2019. – Vol. 10, N 11. – P. e02915. DOI: 10.1002/ecs2.2915
- Bhatt M. K., Labanya R., Joshi H. C. Influence of long-term chemical fertilizers and organic manures on soil fertility: A review // Universal Journal of Agricultural Research. – 2019. – Vol. 7, N 5. – P. 177–188. DOI: 10.13189/ujar.2019.070502
- Dawes M. A., Schleppei P., Hagedorn F. The fate of nitrogen inputs in a warmer alpine treeline ecosystem: a ¹⁵N labeling study // Ecology. – 2017. – Vol. 105. – P. 1723–1737. DOI: 10.1111/1365-2745.12780

Kong W., Yao Y., Zhao Z., Qin X., Zhu H., Wei X., Shao M., Wang Z., Bao K., Su M. Effects of vegetation and slope aspect on soil nitrogen mineralization during the growing season in sloping lands of the Loess Plateau // *Catena*. – 2019. – Vol. 172. – P. 753–763. DOI: 10.1016/j.catena.2018.09.037

Litvinskaya S., Murtazaliev R. Vegetation Diversity of the Russian Part of the Caucasus in the Era of Climate Change / In: *Climate Change Impacts on High-Altitude Ecosystems* [Eds Öztürk, M., Hakeem, K., Faridah-Hanum, I., Efe, R.]. – Cham: Springer, 2015. – P. 523–544. DOI: 10.1007/978-3-319-12859-7_20

Luo R., Fan J., Wang W., Luo J., Kuzyakov Y., He J.-Sh., Chu H., Ding W. Nitrogen and phosphorus enrichment accelerates soil organic carbon loss in alpine grassland on the Qinghai-Tibetan Plateau // *Science of the Total Environment*. – 2019. – Vol. 650. – P. 303–312. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.038

Mason R. E., Craine J. M., Lany N. K., Jonard M., Ollinger S. V., Groffman P. M., Fulweiler R. W., Angerer J., Read Q. D., Reich P. B., Templer P. H., Elmore A. J. Evidence, causes, and consequences of declining nitrogen availability in terrestrial ecosystems // *Science*. – 2022. – Vol. 376, N 6590. – P. eabh3767. DOI: 10.1126/science.abh3767

Mello Prado R. Nitrogen: Mineral nutrition of tropical plants. – Cham: Springer, 2021. – P. 69–98. DOI: 10.1007/978-3-030-71262-4_4

Sinha D., Tandon P. K. An Overview of Nitrogen, Phosphorus and Potassium: Key Players of Nutrition Process in Plants. In: Mishra, K., Tandon, P.K., Srivastava, S. (eds) *Sustainable Solutions for Elemental Deficiency and Excess in Crop Plants*. Singapore: Springer, 2020. – P. 85–117. DOI: 10.1007/978-981-15-8636-1_5

Stevens C. J. Nitrogen in the environment // *Science*. – 2019. – Vol. 363, N 6427. – P. 578–580. DOI: 10.1126/science.aav8215

Sun Y., Wang M., Mur LAJ, Shen Q., Guo S. Unravelling the Roles of Nitrogen Nutrition in Plant Disease Defences // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2020. – Vol. 21, N 2. – P. 572. DOI: 10.3390/ijms21020572

Tahseen Saba, Wanlin Liu, Jingyan Wang, Fariha Saleem, Xikun Kang, Wenkai Hui, Wei Gong, Hebiao Li Effects of organic supplementation to reduced rates of chemical fertilization on soil fertility of *Zanthoxylum armatum* // *Dendrobiology*. – 2022. – Vol. 87. – P. 123–136. DOI: 10.12657/denbio.087.009

Yue K., Peng Y., Fornara D. A., Meerbeek K. V., Vesterdal L., Yang W., Peng Ch., Tan B., Zhou W., Xu Z., Ni X., Zhang L., Wu F., Svenning J.-C. Responses of nitrogen concentrations and pools to multiple environmental change drivers: A meta-analysis across terrestrial eco-systems // *Global Ecology and Biogeography*. – 2019. – Vol. 28, N 5. – P. 690–724. DOI: 10.1111/geb.12884

Zhang S., Zheng Q., Noll L., Hu Y., Wanek W. Environmental effects on soil microbial nitrogen use efficiency are controlled by allocation of organic nitrogen to microbial growth and regulate gross N mineralization // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2019. – Vol. 135. – P. 304–315. DOI: 10.1016/j.soilbio.2019.05.019

Salikhov Sh. K., Gasanov G. N., Yakhyaev M. A., Gadzhiev K. M., Bashirov R. R., Ramazanova N. I., Gimbatova K. B., Kicheva Zh. O., Akhmedova Z. N. Nitrogen accumulation by phytocenoses of the Dagestan part Eastern Caucasus // *Ekosistemy*. 2022. Iss. 32. P. 24–32.

During 10 years (2012–2021), the researchers studied the reserves of nitrogen in soils and phytocenosis components (green mass, rags, felt, roots), as well as the productivity of phytocenoses of six permanent experimental plots in protected areas: at the Tsudakhar experimental base at the Foothills (1000 m. a.m.s.l.); at the experimental base "Upper Gunib" of the Mountain Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences in the Middle Mountains (1700 m. a.m.s.l.) and in the Highlands (2100 m. a.m.s.l.). It was revealed that nitrogen reserves in the soils of Mountainous Dagestan differed significantly – the least reserves were found in the soils of the Foothills (mountain meadow-steppe heavily eroded soil) on a steep slope of 35°. The maximum nitrogen reserves were accumulated by the mountain meadow-forest soil of the Highlands, located at the foot of the forest with a slope of about 10°. At the northern and southern exposures of the slopes, the accumulation of phytomass according to the hypsometric marks of the Dagestan part of the Eastern Caucasus was: 46.6 and 45.7; 54.17 and 59.79; 67.26 and 62.90 c/ha·a year in the aboveground mass; 112.17 and 88.24; 130.46 and 125.73; 144.44 and 133.55 c/ha·a year in the root mass in the Foothills, Middle Mountains and Highlands. The high productivity of phytocenoses of the slopes of the northern exposure of the sub-provinces of Mountainous Dagestan, located close to trees and shrubs, was revealed. The increase of nitrogen reserves in the phytocenoses was caused by the increase of the elevation. In the aboveground mass it was 15.59 and 43.17 % from the Foothills to the Midlands; 32.43 and 4.12 % from the Midlands to Highlands; in the underground mass it was 21.02 and 48.91 %; 11.14 and 4.69 %, respectively, on the slopes of the northern and southern expositions. The phytocenoses of the Highlands (2100 m.a.m.s.l.) accumulated more nitrogen, the phytocenoses of the Foothills (1000 m.a.m.s.l.) accumulated less. At all hypsometric marks, phytocenoses growing on the slopes of the northern exposure accumulated more nitrogen. The nitrogen reserves were higher on the northern slope (on average, by 10.41% in the aboveground mass; by 24.24% in the underground mass), resulting from washing out of nitrogen from the soils of the southern slopes, due to their greater steepness. Ten-year studies proved a positive high-strength correlation of soil properties indicators with the productivity of phytocenoses and nitrogen reserves in phytomass.

Key words: soil, nitrogen, phytocenoses, protected area, mountainous territories, Dagestan, Eastern Caucasus.

*Поступила в редакцию 17.11.22
Принята к печати 28.11.22*