

УДК 631.811 (470.67)

СОДЕРЖАНИЕ КАЛИЯ И КАЛЬЦИЯ В РАСТЕНИЯХ СРЕДНЕГОРНОГО ДАГЕСТАНА

© *В.В. Семенова^{1*}, Ш.К. Салихов¹, М.А. Яхияев^{1,2}, Т.А. Асварова¹*

¹ Прикаспийский институт биологических ресурсов – обособленное подразделение ФГБУН Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, ул. М. Гаджиева, 45, Махачкала, 367000 (Россия), e-mail: semenovav86@mail.ru

² Научно-исследовательский институт экологической медицины Дагестанского государственного медицинского университета им. С.А. Абусуева, пл. Ленина, 1, Махачкала, 367000 (Россия)

Представлены результаты исследования по содержанию калия и кальция в растениях Среднегорного Дагестана. Содержание макроэлементов определяли на атомно-абсорбционном спектрометре «Savant AA Σ». Содержание К в растениях варьировало от 0.16 до 3.2%, Са – от 0.02 до 3.5%. Содержание подвижных форм элементов на северном склоне немного больше, чем на южном (в 1.2 раза). Коэффициент биогеохимической подвижности К находится в пределах от 5 до 100.3, Вх Са – от 1.2 до 204.1. На южном склоне наиболее активно поглощают К, Са из растений разнотравно-злаковых фитоценозов *Plantago media*, *Plantago lanceolata*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium medium*, *Inula britannica*, *Achillea millefolium*, *Psephellus daghestanicus*, *Galium verum*, *Astragalus onobrychioides*, *Medicago glutinosa*. На северном склоне наиболее активно накапливают К, Са *Astrantia biebersteinii*, *Inula germanica*, *Trifolium campestre*, *Vicia truncatula*, *Vicia cracca*, *Betonica macrantha*, *Origanum vulgare*, *Betonica orientalis*. Наименьшее накопление К и Са наблюдается у растений семейства *Poaceae*. Различия содержания К и Са в растениях зависят от содержания подвижных форм элементов в почве, биологических особенностей растений, экологических факторов.

Ключевые слова: калий, кальций, почва, виды растений, коэффициент биогеохимической подвижности.

Введение

Главными факторами, определяющими рост, развитие и урожайность растений, являются свет, тепло, вода и минеральное питание. Растениям необходим одновременно комплекс элементов питания – как макро-, так и микроэлементы [1]. Из макроэлементов необходимыми для растений являются азот, фосфор, калий, кальций, магний и сера. Недостаток калия в почве приводит к значительному снижению урожайности растений. Кальций входит в группу элементов-биофилов, т.е. таких элементов, которые обязательно входят в состав живого вещества и без которых существование организмов невозможно. Поэтому кальций активно участвует в биологическом круговороте [2]. И для сельского хозяйства, и для здоровья человека наиболее благоприятны ландшафты Са – класса. Поэтому человечество стремится ослабить вынос из ландшафтов Са,

Семенова Виктория Валентиновна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории почвенных и растительных ресурсов, e-mail: semenovav86@mail.ru

Салихов Шамиль Курамагомедович – научный сотрудник лаборатории почвенных и растительных ресурсов, e-mail: salichov72@mail.ru

Яхияев Магомедпазил Атагишиевич – младший научный сотрудник лаборатории почвенных и растительных ресурсов, e-mail: pazil59@mail.ru

Асварова Татьяна Азимовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенных и растительных ресурсов, e-mail: tatacvr@mail.ru

известкуя кислые почвы [3].

В литературе встречается много данных о накоплении К и Са сельскохозяйственными растениями [4–7], но публикаций по содержанию этих элементов в пастбищных дикорастущих растениях мало [8, 9]. В Дагестане проведено немало исследований относительно анализа видового состава естественных фитоценозов [10, 11]. Исследования, проведенные на территории Гунибской экспериментальной базы Горного ботанического сада Дагестанского федерального исследовательского

* Автор, с которым следует вести переписку.

центра РАН, касались изучения продуктивности растительных сообществ [12], биологических особенностей различных представителей травяных фитоценозов, содержания эфирных масел и антиоксидантов в растениях [13–15]. Работ, посвященных определению содержания К, Са в растениях и почвах Дагестана, проведено недостаточно. Исследования по определению К и Са в растениях и почвах были проведены в условиях Терско-Кумской низменности [16], предгорной провинции Дагестана [17]. Однако исследования по определению макроэлементов в растениях, произрастающих на территории Гунибской экспериментальной базы, ранее не проводились.

Цель исследования – изучение накопления К и Са пастбищными дикорастущими растениями Среднегорного Дагестана.

Экспериментальная часть

Сбор растительных и почвенных образцов проводили на постоянных учетных площадках территории Гунибской экспериментальной базы (ГЭБ) Горного ботанического сада ДФИЦ РАН в июне-августе 2012–2018 гг. Экспериментальные участки закладывали на склонах южной экспозиции (25°, высота 1740 м над уровнем моря, 42.4017677° с.ш., 46.9186552° в.д.) и северной экспозиции (15°, высота 1707 м н.у.м., 42.40058950° с.ш., 46.91963550° в.д.) горы Маяк на Гунибской экспериментальной базе. Каждая пробная площадь разделена на 100 постоянных квадратов площадью по 1 м². На огороженных площадках был введен заповедный режим, что исключало сенокошение и выпас скота. Почвенные образцы отбирали на глубине 0–20 см. Растительные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния.

Определение содержания калия и кальция в растениях проводили методом сухого озоления при температуре 500 °С. Зола растворяли в 25% HCl. Отфильтровывали полученный раствор через фильтр в мерную колбу, раствор в колбе разбавляли до метки дистиллированной водой и перемешивали [18]. В полученном растворе проводили определение общего содержания К и Са на атомно-абсорбционном спектрометре «Savant AA Σ». Подвижные формы калия и кальция в почвах определяли по методу Мачигина в модификации ЦИНАО [19]. Определение калия и кальция проводилось на атомно-абсорбционном спектрометре «Savant AA Σ» [20]. Определение содержания гумуса в почвах проводили по методу И.В. Тюрина. Анализы проводились в 2 повторностях.

Латинские названия видов даны по С.К. Черепанову [21]. Климатические характеристики (температура, сумма осадков) рассчитаны на основе данных метеостанции с. Гуниб. Статистическая обработка данных проведена с использованием программы «Microsoft Excel 2007».

Результаты и их обсуждение

На южном и северном склоне горы Маяк различается флористический состав. В состав фитоценозов на учетных площадках Гунибской экспериментальной базы Горного ботанического сада (ГЭБ ГорБС) ДФИЦ РАН входят 30 видов, относящихся к 13 семействам и 25 родам, из которых 16 видов приурочены к склонам южной экспозиции, 15 – северной экспозиции.

Наибольшее количество видов отмечено в семействах *Fabaceae* (7 видов), *Asteraceae* (5 видов), *Poaceae* (4 вида), *Labiatae* (3 вида), *Plantaginaceae* – 3 вида. Далее идут: *Boraginaceae*, *Apiaceae*, *Cyperaceae*, *Rubiaceae*, *Primulaceae*, *Gentianaceae*, *Cistaceae*, *Caryophyllaceae* – по 1 виду. На долю первых 5 семейств (38.5% от общего количества семейств) приходится 22 вида – 73.3%.

На южном склоне с. Гуниб общее содержание К и Са в надземной массе растений значительно варьирует: для семейства *Asteraceae* К – 0.48–1.67%, Са – 0.47–2.65%, *Fabaceae* К – 0.73–1.5%, Са – 0.9–2.92%, *Plantaginaceae* К – 1.81–1.92%, Са – 0.78–3.5% (табл. 1). По литературным данным [3] виды семейства бобовые (*Fabaceae*) являются кальциефилами.

На северном склоне с. Гуниб общее содержание К и Са в надземной массе растений значительно варьирует: для видов семейства *Fabaceae* К – 0.38–1.22%, Са – 0.64–3.09%, *Labiatae* К – 0.21–3.2 %, Са – 1.26–3.02%.

Наши данные по содержанию элементов в растениях семейства *Labiatae* согласуются с литературными данными по содержанию К (2.1%) и Са (1.37%) в черноголовке крупноцветковой, произрастающей на Северном Кавказе [9]. Для нормального роста и развития кормовых растений в листьях должно содержаться около 2% калия [22], пределы нормального содержания калия для сельскохозяйственных растений составляет 0.1–9.0%, кальция – 0.009–5.7% [2].

Таблица 1. Содержание общего калия и кальция в видах растений и В_x (среднее за 2012–2018 гг.), n=7, P=0.95

Виды растений	Экспозиция склонов			
	южная		северная	
	К, %	Са, %	К, %	Са, %
1	2	3	4	5
Зонтичные (<i>Ariaceae</i>)				
Астранция Биберштейна (<i>Astrantia biebersteinii</i> Trautv.)	–	–	<u>1.60±0.10</u> 49.7	<u>2.18±0.09</u> 109.0
Сложноцветные (<i>Asteraceae</i>)				
Астра ложноитальянская (<i>Aster amelloides</i> Bess.)	<u>1.40±0.40</u> 45.0	<u>0.47±0.01</u> 27.6	–	–
Девясил британский (<i>Inula britannica</i> L.)	<u>1.60±0.20</u> 55.0	<u>1.56±0.06</u> 91.7	–	–
Девясил германский (<i>Inula germanica</i> L.)	–	–	<u>1.30±0.04</u> 40.6	<u>0.83±0.03</u> 41.5
Тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea millefolium</i> L.)	<u>0.48±0.05</u> 16.0	<u>1.38±0.03</u> 81.2	–	–
Псефеллус дагестанский (<i>Psephellus daghestanicus</i> Sosn.)	<u>1.67±0.07</u> 55.7	<u>2.65±0.08</u> 155.9	–	–
M±m	1.30±0.30	1.50±0.50	1.30±0.04	0.83±0.03
Злаковые (<i>Poaceae</i>)				
Вейник тростниковидный (<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth)	<u>0.36±0.03</u> 12.0	<u>0.03±0.04</u> 1.8	–	–
Тимофеевка степная (<i>Phleum phleoides</i> (L.) Karst.)	<u>0.31±0.02</u> 10.3	<u>0.02±0.01</u> 1.2	–	–
Овсяница Воронова (<i>Festuca woronowii</i> Hack.)	–	–	<u>0.16±0.04</u> 5.0	<u>0.38±0.02</u> 19.0
Овсец армянский (<i>Helictotrichon armeniacum</i> (Schischk) Grossh)	–	–	<u>0.59±0.04</u> 18.4	<u>1.23±0.07</u> 61.5
M±m	0.33±0.02	0.02±0.01	0.40±0.2	0.80±0.40
Осоковые (<i>Cyperaceae</i>)				
Осока низкая (<i>Carex humilis</i> Leyss.)	<u>0.36±0.04</u> 12.0	<u>0.29±0.02</u> 17.1	–	–
Бобовые (<i>Fabaceae</i>)				
Клевер средний (<i>Trifolium medium</i> L.)	<u>1.38±0.07</u> 46.0	<u>2.92±0.04</u> 178.1	–	–
Клевер полевой (<i>Trifolium campestre</i> Schreb.)	–	–	<u>0.72±0.03</u> 22.5	<u>3.09±0.05</u> 154.5
Ляденец рогатый (<i>Lotus corniculatus</i> L.)	<u>1.50±0.20</u> 49.3	<u>0.90±0.30</u> 53.5	–	–
Астрагал эспарцетовидный (<i>Astragalus onobrychioides</i> M. Bieb.)	<u>0.73±0.03</u> 24.3	<u>1.95±0.02</u> 114.7	<u>0.80±0.03</u> 25.0	<u>0.64±0.02</u> 32.0
Горошек обрубленный (<i>Vicia truncatula</i> Fisch. Ex M. Bieb.)	–	–	<u>0.38±0.05</u> 11.8	<u>1.93±0.06</u> 96.5
Горошек мышиный (<i>Vicia cracca</i> L.)	–	–	<u>1.22±0.09</u> 38.1	<u>2.40±0.10</u> 121.0
Люцерна железистая (<i>Medicago glutinosa</i> M. Bieb.)	<u>0.94±0.07</u> 31.3	<u>1.69±0.04</u> 99.4	–	–
M±m	1.13±0.2	1.90±0.40	0.80±0.20	2.0±0.50
Губоцветные (<i>Labiatae</i>)				
Буквица крупноцветковая (<i>Betonica macrantha</i> C. Koch)	–	–	<u>3.20±0.10</u> 100.3	<u>2.57±0.08</u> 128.5
Душица обыкновенная (<i>Origanum vulgare</i> L.)	–	–	<u>0.57±0.03</u> 17.8	<u>1.26±0.04</u> 63.0
Буквица восточная (<i>Betonica orientalis</i> L.)	–	–	<u>0.21±0.04</u> 6.5	<u>3.02±0.06</u> 151.0
M±m	–	–	1.30±1.0	2.30±0.50
Мареновые (<i>Rubiaceae</i>)				
Подмаренник настоящий (<i>Galium verum</i> L.)	<u>0.37±0.04</u> 12.3	<u>1.48±0.03</u> 87.1	–	–

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Подорожниковые (<i>Plantaginaceae</i>)				
Подорожник средний (<i>Plantago media</i> L.)	<u>1.81±0.07</u> 60.3	<u>3.50±0.10</u> 204.1	–	–
Подорожник ланцетолистный (<i>Plantago lanceolata</i> L.)	<u>1.92±0.07</u> 64.0	<u>0.78±0.04</u> 45.9	–	–
Вероника многораздельная (<i>Veronica multifida</i> L.)	–	–	<u>2.01±0.06</u> 62.8	<u>0.61±0.03</u> 30.5
M±m	1.86±0.06	2.10±1.30	2.01±0.06	0.61±0.03
Бурачниковые (<i>Boraginaceae</i>)				
Медуница мягчайшая <i>Pulmonaria mollissima</i> Kern.	–	–	<u>1.30±0.08</u> 40.6	<u>0.51±0.05</u> 25.5
Первоцветные (<i>Primulaceae</i>)				
Первоцвет крупночашечный (<i>Primula macrocalyx</i> Bunge)	–	–	<u>1.49±0.09</u> 46.6	<u>0.33±0.04</u> 16.5
Горечавковые (<i>Gentianaceae</i>)				
Горечавка крестообразная (<i>Gentiana cruciata</i> L.)	<u>1.0±0.30</u> 34.7	<u>0.60±0.20</u> 35.8	–	–
Ладанниковые (<i>Cistaceae</i>)				
Солнцецвет монетолистный (<i>Helianthemum nummularium</i> (L.) Mill)	–	–	<u>0.74±0.04</u> 23.1	<u>0.36±0.03</u> 18.0
Гвоздичные (<i>Caryophyllaceae</i>)				
Гвоздика кавказская (<i>Dianthus caucaseus</i> Sm.)	<u>0.79±0.04</u> 26.3	<u>0.76±0.03</u> 44.7	–	–

Примечание. В числителе – M±m, где M – среднее содержание элементов в растениях, m – ошибка среднего. В знаменателе – коэффициенты биогеохимической подвижности (B_x). Прочерк означает отсутствие данных.

Убывающий ряд семейств по накоплению растениями К на южном склоне (табл. 1) имеет следующий вид: *Plantaginaceae* > *Asteraceae* > *Fabaceae* > *Gentianaceae* > *Caryophyllaceae* > *Rubiaceae* > *Cyperaceae* > *Poaceae*, по накоплению Са: *Plantaginaceae* > *Fabaceae* > *Asteraceae* > *Rubiaceae* > *Caryophyllaceae* > *Gentianaceae* > *Cyperaceae* > *Poaceae*.

По накоплению растениями К на северном склоне семейства располагаются в следующий убывающий ряд: *Plantaginaceae* > *Apiaceae* > *Primulaceae* > *Labiatae* > *Boraginaceae* > *Asteraceae* > *Fabaceae* > *Cistaceae* > *Poaceae*, по накоплению Са: *Labiatae* > *Apiaceae* > *Fabaceae* > *Asteraceae* > *Poaceae* > *Plantaginaceae* > *Boraginaceae* > *Cistaceae* > *Primulaceae*.

В результате построенных рядов семейств выявлено, что максимальные концентрации К выявлены в представителях семейства *Plantaginaceae*, *Asteraceae*, *Apiaceae*. Наибольшее содержание Са выявлено в видах семейства *Plantaginaceae*, *Fabaceae*, *Labiatae*, *Apiaceae*. Исследованные виды растений, входящие в разнотравно-злаковые фитоценозы, обеспечены калием и кальцием в концентрациях необходимых для нормального роста и развития кормовых растений. Минимальное содержание К наблюдается в растениях семейства *Poaceae*, а Са в растениях семейства *Poaceae*, *Primulaceae*.

Содержание элементов в почвах, отобранных на участках ГЭБ, различается на северном и южном склонах (табл. 2).

Содержание подвижных форм элементов на северном склоне немного больше, чем на южном (в 1.2 раза). Это может быть связано с тем, что влажность почвы на северном склоне больше. Среднемесячная температура воздуха на северном склоне на 4.5–5.2 °С (в среднем на 4.8 °С) ниже по сравнению с ровной поверхностью, на южном склоне – на 4.5–5.8 °С (в среднем на 5.2 °С) выше [23]. Различия в содержании элементов в почвах в зависимости от экспозиции склонов подтверждают и литературные данные [22]. По данным Сычева и др. [24], почвы Дагестана относятся к среднеобеспеченным обменным калием.

Обнаружена высокая положительная корреляционная связь между концентрацией калия и кальция в растениях и содержанием гумуса в почве ($r=0.97$), а также между содержанием элементов в растениях и почвах склонов южной и северной экспозиции ($r=0.98$). Таким образом, содержание калия и кальция в растениях зависит от влияния почвенных факторов.

Для определения доступности элементов растениям и степени использования ими подвижных форм элементов вычислили коэффициент биогеохимической подвижности (табл. 2). Коэффициент биогеохимической подвижности (B_x) рассчитывался как отношение концентрации элемента в растениях к содержанию его подвижной формы в почве [3].

Таблица 2. Содержание калия и кальция в почвах и растениях, отобранных на участках ГЭБ

Склон	Тип почвы	Гумус, %	Содержание элементов в почве, мг/100 г		Содержание элементов в надземной массе растений, %	
			К	Са	К	Са
Южный	Горная лугово-степная карбонатная маломощная тяжелосуглинистая	4.84±0.21	30.26±2.10	17.02±1.70	1.04±0.14	1.31±0.26
Северный	Горная бурая лесная олуговелая карбонатная маломощная тяжелосуглинистая	5.56±0.13	32.43±2.40	20.23±1.90	1.09±0.20	1.42±0.26

По степени накопления элементов растениями, мерилom которой является коэффициент биологического поглощения, калий и кальций входят в группу элементов среднего накопления [3]. Нами была рассчитана актуальная биогеохимическая подвижность (B_x), которая показывает, что B_x К находится в пределах от 5 до 100.3 (различие в 20 раз), B_x Са – от 1.2 до 204.1 (различие в 170 раз). На южном склоне наиболее активно поглощают К, Са из растений разнотравно-злаковых фитоценозов *Plantago media*, *Plantago lanceolata*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium medium*, *Inula britannica*, *Achillea millefolium*, *Psephellus daghestanicus*, *Galium verum*, *Astragalus onobrychioides*, *Medicago glutinosa* (табл. 2). На северном склоне наиболее активно накапливают К, Са *Astrantia biebersteinii*, *Inula germanica*, *Trifolium campestre*, *Vicia truncatula*, *Vicia cracca*, *Betonica macrantha*, *Origanum vulgare*, *Betonica orientalis*. На бурых лесных почвах растения обладают повышенной способностью к накоплению кальция [25]. Наименьшее накопление К и Са наблюдается у растений семейства *Poaceae*.

На интенсивность поглощения макроэлементов из почвы влияют изменения температуры и влажности. По таблице 3 видно, что показатели К и Са в растениях, отобранных на разных типах почв, больше в 2013 г. по сравнению с 2012 г. Это можно объяснить тем, что калий и кальций становятся более доступны для растений при большом количестве выпавших осадков в 2013 г. (t °С воздуха – 8.46–18.5 °С, Σ осадков – 547 мм) по сравнению с 2012 г., который был наиболее засушливым (t °С воздуха – 10.4–20.4 °С, Σ осадков – 420 мм). Это подтверждают и литературные данные [26, 27].

На основе расчетов регрессионного анализа получены уравнения множественной регрессии между содержанием К и Са в фитомассе растений и климатическими факторами в период вегетации фитоценозов. На основе полученных максимальных коэффициентов β_2 ($\beta_2 > \beta_1$) можно сделать вывод, что наибольшее влияние на содержание К и Са в фитомассе растений оказывает фактор суммы атмосферных осадков за вегетационный период (X_2) на изученных типах почв. Статистическая значимость уравнения регрессии проверена с помощью коэффициента детерминации. Установлено, что в 58–99% от общей вариабельности, содержание К и Са объясняется изменением факторов X_1 и X_2 .

В результате наших исследований были выявлены видовые различия растений в накоплении калия и кальция на изученных типах почв, являющихся карбонатными. В условиях Среднегорного Дагестана изучена миграция калия и кальция в системе почва-растение.

Таблица 3. Уравнения множественной регрессии между содержанием калия и кальция в фитомассе растений и экологическими факторами в период вегетации фитоценозов

Тип почв, склон	Год	Содержание элементов в фитомассе растений, %		t , °С	Σ осадков, мм	Уравнение регрессии (Y); $\beta_1, \beta_2; R^2$	
		К	Са			К	Са
Горная бурая лесная олуговелая карбонатная, северный склон	2012	1.33±0.01	1.12±0.17	10.4	420	$Y = -5.25 + 0.07X_1 + 0.01X_2$; $\beta_1 = 0.25, \beta_2 = 1.24$; $R^2 = 0.98$	$Y = -3.47 - 2.5X_1 + 0.07X_2$; $\beta_1 = 0.98, \beta_2 = 1.67$; $R^2 = 0.59$
	2013	2.85±0.03	1.95±0.14	8.46	547	$Y = -3.67 + 0.43X_1 + 0.01X_2$; $\beta_1 = 0.38, \beta_2 = 0.62$; $R^2 = 0.99$	$Y = -9.59 + 1.14X_1 + 0.003X_2$; $\beta_1 = 0.72, \beta_2 = 0.28$; $R^2 = 0.97$
Горная лугово-степная карбонатная, южный склон	2012	0.68±0.05	0.43±0.12	20.4	420	$Y = -0.03 - 0.17X_1 + 0.01X_2$; $\beta_1 = 0.17, \beta_2 = 0.84$; $R^2 = 0.98$	$Y = -5.33 + 0.16X_1 + 0.00608X_2$; $\beta_1 = 0.23, \beta_2 = 0.76$; $R^2 = 0.94$
	2013	0.78±0.10	1.22±0.10	18.5	547	$Y = -6.77 - 0.06X_1 + 0.02X_2$; $\beta_1 = 0.12, \beta_2 = 0.99$; $R^2 = 0.99$	$Y = -3.83 + 0.002X_1 + 0.01X_2$; $\beta_1 = 0.14, \beta_2 = 0.9$; $R^2 = 0.99$

Примечание: Y – содержание К и Са (%) в фитомассе растений, X_1 – температура воздуха за вегетационный период (t °С), X_2 – сумма осадков за вегетационный период (Σ осадков, мм); β_1 – коэффициент регрессии (X_1), β_2 – коэффициент регрессии (X_2); R^2 – коэффициент детерминации.

Выводы

1. Содержание К в растениях варьировало от 0.16 до 3.2%, а Са – от 0.02 до 3.5%. Максимальные концентрации К выявлены в представителях семейства *Plantaginaceae*, *Asteraceae*, *Apiaceae*, а Са – в видах семейства *Plantaginaceae*, *Fabaceae*, *Labiatae*, *Apiaceae*. Минимальное содержание К наблюдается в растениях семейства *Poaceae*, а Са в растениях семейства *Poaceae*, *Primulaceae*.

2. Содержание подвижных форм элементов на северном склоне больше, чем на южном (в 1.2 раза). Это может быть связано с тем, что влажность почвы на северном склоне больше.

3. Расчеты V_x показывают, что V_x К находится в пределах от 5 до 100.3 (различие в 20 раз), V_x Са – от 1.2 до 204.1 (различие в 170 раз). На южном склоне наиболее активно поглощают К, Са из растений разнотравно-злаковых фитоценозов *Plantago media*, *Plantago lanceolata*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium medium*, *Inula britannica*, *Achillea millefolium*, *Psephellus daghestanicus*, *Galium verum*, *Astragalus onobrychioides*, *Medicago glutinosa*. На северном склоне наиболее активно накапливают К, Са *Astrantia biebersteinii*, *Inula germanica*, *Trifolium campestre*, *Vicia truncatula*, *Vicia cracca*, *Betonica macrantha*, *Origanum vulgare*, *Betonica orientalis*.

4. Выявлена связь между концентрацией калия и кальция в растениях и содержанием гумуса в почве ($r=0.97$), а также между содержанием элементов в растениях и почвах ($r=0.98$).

5. На основе расчетов регрессионного анализа получены уравнения множественной регрессии между содержанием К и Са в фитомассе растений и климатическими факторами в период вегетации фитоценозов. На основе полученных максимальных коэффициентов β_2 ($\beta_2 > \beta_1$) выявлено, что наибольшее влияние на содержание К и Са в фитомассе растений оказывает фактор суммы атмосферных осадков за вегетационный период (X_2) на изученных типах почв. Статистическая значимость уравнения регрессии проверена с помощью коэффициента детерминации. Установлено, что в 58–99% от общей вариабельности содержание К и Са объясняется изменением факторов X_1 и X_2 .

Список литературы

1. Ринькис Г.Я., Ноллендорф В.Ф. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами. Рига, 1982. 304 с.
2. Безуглова О.С., Орлов Д.С. Биогеохимия. Ростов-на-Дону, 2000. 320 с.
3. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М., 1999. 610 с.
4. Петербургский А.В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. М., 1979. 168 с.
5. Гречишкина Ю.И. Качество кормов в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края // Агрехим. вестн. 2005. №4. С. 22–23.
6. Лисовой Н.В., Капустина Г.А. Динамика содержания азота, фосфора и калия в листьях подсолнечника (*Helianthus annuus*) по фазам развития растений в условиях южной степи Украины // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. №2. С. 34–37.
7. Помякшева Л.В., Коновалов С.Н. Динамика содержания калия в растениях земляники садовой при возделывании с капельным поливом на дерново-подзолистой почве в Московской области // Материалы XVII Международной научной конференции «Агрэкологические аспекты устойчивого развития АПК». Брянск, 2020. С. 69–75.
8. Рудакова Ю.Г., Попова О.И. Элементный состав травы дубровника белого (*Teucrium polium* L.) // Современные проблемы науки и образования. 2014. №6. С. 1803.
9. Шамилов А.А. Аминокислотный и минеральный состав травы черноголовки крупноцветковой (*Prunella grandiflora* L.), произрастающей на Северном Кавказе // Современные проблемы науки и образования. 2015. №6. С. 574.
10. Муртазалиев Р.А., Алиев Х.У. О некоторых новых и редких видах флоры Дагестана // Ботанический журнал. 2008. Т. 93. №11. С. 1801–1804.
11. Муртазалиев Р.А. Систематический анализ флоры Дагестана // Тезисы докладов Международной научной конференции «Изучение флоры Кавказа». Пятигорск, 2010. С. 79–81.
12. 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.
13. Габимова А.Р., Газиев М.А., Асадулаев З.М. Фенология развития интродуцированных видов жимолости на Гунибской базе Горного ботанического сада // Материалы VII Международной научной конференции «Биологическое разнообразие Кавказа». Теберда, 2005. С. 39–41.
14. Раджабов Г.К., Алиев А.М., Вагабова Ф.А., Мусаев А.М. Компонентный состав эфирного масла *Satureja subdentata* Boiss. в природных и интродукционных популяциях из флоры Дагестана // Химия растительного сырья. 2017. №1. С. 65–70. DOI: 10.14258/jcpr.2017011390.

15. Курамагомедов М.К., Исламова Ф.И., Вагабова Ф.А., Раджабов Г.К., Мусаев А.М. Изучение содержания эфирного масла и суммарных антиоксидантов в надземной части природных популяций шалфея седоватого // Проблемы развития АПК региона. 2019. №4(40). С. 240–245. DOI: 10.15217/issn2079-0996.2019.4.240.
16. Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Абдулаева А.С., Ахмедова З.Н., Салихов Ш.К., Семенова В.В., Шайхалова Ж.О. Аккумуляция калия и кальция растительными ассоциациями пастбищных фитocenozов Терско-Кумской низменности // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2019. №1. С. 46–55. DOI: 10.23683/0321-3005-2019-1-46-55.
17. Рамазанова Н.И., Гасанов Г.Н., Салихов Ш.К., Яхияев М.А., Гимбатова К.Б., Шайхалова Ж.О., Семенова В.В. Концентрации, запасы и баланс химических элементов в травяных экосистемах предгорной подпровинции Дагестана // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19. №2–3. С. 523–527.
18. Ягодин Б.А., Дерюгин И.П., Жуков Ю.П. Практикум по агрохимии. М., 1987. 512 с.
19. ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. М., 1993. 10 с.
20. Практикум по агрохимии. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. В.Г. Минеева. М., 2001. 689 с.
21. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб., 1995. 992 с.
22. Магомедалиев З.Г. Калий в почвах Дагестана. Махачкала, 2009. 140 с.
23. Калашников К.Г., Хлопук М.С., Акимов А.Ю. Адаптивная система земледелия и производство кормов // Кормопроизводство. 2006. №11. С. 2–4.
24. Сычев В.Г., Кузнецов А.В., Павлихина А.В., Лобас Н.В. Содержание гумуса, подвижного фосфора, обменного калия и степень кислотности пахотных почв Российской Федерации // Плодородие. 2008. №3 (42). С. 1–3.
25. Лепехина А.А. Биология видов растений и характеристика растительных сообществ Дагестана в плане рационального использования растительных ресурсов. Махачкала, 1977. 212 с.
26. Benlloch-Gonzalez M., Quintero J.M., Suárez M.P., Sánchez-Lucas R., Fernández-Escobar R., Benlloch M. Effect of moderate high temperatures on the vegetative growth and potassium allocation in olive plants // J. Plant Physiol. 2016. Vol. 207. Pp. 22–29. DOI: 10.1016/j.jplph.2016.10.001.
27. Ge T.D., Sun N.B., Bai L.P., Tong C.L., Sui F.G. Effects of drought stress on phosphorus and potassium uptake dynamics in summer maize (*Zea mays*) through the growth cycle // Acta Physiol. Plant. 2012. Vol. 34. Pp. 2179–2186. DOI: 10.1007/s11738-012-1018-7.

Поступила в редакцию 12 июня 2021 г.

После переработки 1 декабря 2021 г.

Принята к публикации 8 декабря 2021 г.

Для цитирования: Семенова В.В., Салихов Ш.К., Яхияев М.А., Асварова Т.А. Содержание калия и кальция в растениях среднегорного Дагестана // Химия растительного сырья. 2022. №1. С. 243–250. DOI: 10.14258/jcrpm.2022019731.

Semenova V.V.^{1*}, *Salikhov Sh.K.*¹, *Yakhiyayev M.A.*^{1,2}, *Asvarova T.A.*¹ CONTENT OF POTASSIUM AND CALCIUM IN PLANTS OF THE MIDDLE MOUNTAIN DAGESTAN

¹ *Precaspian Institute of Biological Resources of the Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, ul. M. Gadzhieva, 45, Makhachkala, 367000 (Russia), e-mail: semenovav86@mail.ru*

² *Research Institute of Ecological Medicine, Dagestan State Medical University named after S.A. Abusuev, pl. Lenina, 1, Makhachkala, 367000 (Russia)*

The results of a study on the content of potassium and calcium in plants of the Middle Mountain province of Dagestan are presented. The content of macroelements was determined on «Savant AA Σ» atomic absorption spectrometer. The K content in plants varied from 0.16 to 3.21%, Ca - from 0.02 to 3.47%. The content of mobile forms of elements on the northern slope is slightly higher than on the southern (1.2 times). The coefficient of biogeochemical mobility K ranges from 5 to 100.3, Bx Ca – from 1.2 to 204.1. On the southern slope, K and Ca are most actively absorbed from the herb-cereal phytocenoses *Plantago media*, *Plantago lanceolata*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium medium*, *Inula britannica*, *Achillea millefolium*, *Psephellus daghestanicus*, *Galium verum*, *Astragalus onobrychioides*, *Medicago glutinosa*. On the northern slope, K, Ca *Astrantia biebersteinii*, *Inula germanica*, *Trifolium campestre*, *Vicia truncatula*, *Vicia cracca*, *Betonica macrantha*, *Origanum vulgare*, and *Betonica orientalis* accumulate most actively. The least accumulation of K and Ca is observed in plants of the *Poaceae* family. The difference in the content of K and Ca in plants depends on the content of mobile forms of elements in the soil, biological characteristics of plants, and environmental factors.

Keywords: potassium, calcium, soil, plant species, coefficient of biogeochemical mobility.

* Corresponding author.

References

1. Rin'kis G.Ya., Nollendorf V.F. *Sbalansirovannoye pitaniye rasteniy makro- i mikroelementami*. [Balanced nutrition of plants with macro- and microelements]. Riga, 1982, 304 p. (in Russ.).
2. Bezuglova O.S., Orlov D.S. *Biogeokhimiya*. [Biogeochemistry]. Rostov-on-Don, 2000, 320 p. (in Russ.).
3. Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta*. [Geochemistry of the landscape]. Moscow, 1999, 610 p. (in Russ.).
4. Peterburgskiy A.V. *Krugovorot i balans pitatel'nykh veshchestv v zemledelii*. [Cycle and balance of nutrients in agriculture]. Moscow, 1979, 168 p. (in Russ.).
5. Grechishkina Yu.I. *Agrokhim. vestn.*, 2005, no. 4, pp. 22–23. (in Russ.).
6. Lisovoy N.V., Kapustina G.A. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2014, no. 2, pp. 34–37. (in Russ.).
7. Pomyakshva L.V., Konovalov S.N. *Materialy XVII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Agroekologicheskiye aspekty ustoychivogo razvitiya APK»*. [Proceedings of the XVII International scientific conference "Agroecological aspects of sustainable development of the agro-industrial complex"]. Bryansk, 2020, pp. 69–75. (in Russ.).
8. Rudakova Yu.G., Popova O.I. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, no. 6, p. 1803. (in Russ.).
9. Shamilov A.A. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 6, p. 574. (in Russ.).
10. Murtazaliyev R.A., Aliyev Kh.U. *Botanicheskiy zhurnal*, 2008, vol. 93, no. 11, pp. 1801–1804. (in Russ.).
11. Murtazaliyev R.A. *Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Izucheniye flory Kavkaza»*. [Abstracts of the International Scientific Conference "Study of the flora of the Caucasus"]. Pyatigorsk, 2010, pp. 79–81. (in Russ.).
12. Gasanov G.N., Salikhov Sh.K., Gadzhiev K.M., Mallaliyev M.M., Shaykhalova Zh.O., Gimbatova K.B. *Rasti-tel'nyye resursy*, 2016, vol. 52, no. 2, pp. 214–224. (in Russ.).
13. Gabibova A.R., Gaziyev M.A., Asadulayev Z.M. *Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Biologicheskoye raznoobraziye Kavkaza»*. [Proceedings of the VII International Scientific Conference "Biological Diversity of the Caucasus"]. Teberda, 2005, pp. 39–41. (in Russ.).
14. Radzhabov G.K., Aliyev A.M., Vagabova F.A., Musayev A.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2017, no. 1, pp. 65–70. DOI: 10.14258/jcprm.2017011390. (in Russ.).
15. Kuramagomedov M.K., Islamova F.I., Vagabova F.A., Radzhabov G.K., Musayev A.M. *Problemy razvitiya APK regiona*, 2019, no. 4(40), pp. 240–245. DOI: 10.15217/issn2079-0996.2019.4.240. (in Russ.).
16. Gasanov G.N., Asvarova T.A., Gadzhiev K.M., Bashirov R.R., Abdulayeva A.S., Akhmedova Z.N., Salikhov Sh.K., Semenova V.V., Shaykhalova Zh.O. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Yestestvennyye nauki*, 2019, no. 1, pp. 46–55. DOI: 10.23683/0321-3005-2019-1-46-55. (in Russ.).
17. Ramazanova N.I., Gasanov G.N., Salikhov Sh.K., Yakhliyayev M.A., Gimbatova K.B., Shaykhalova Zh.O., Semenova V.V. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2017, vol. 19, no. 2–3, pp. 523–527. (in Russ.).
18. Yagodin B.A., Deryugin I.P., Zhukov Yu.P. *Praktikum po agrokhimii*. [Workshop on agrochemistry]. Moscow, 1987, 512 p.
19. *GOST 26205-91. Pochvy. Opredeleniye podvizhnykh soyedineniy fosfora i kaliya po metodu Machigina v modi-fikatsii TsINAO*. [GOST 26205-91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by the Machigin method in the modification of TsINAO]. Moscow, 1993, 10 p. (in Russ.).
20. *Praktikum po agrokhimii. 2-ye izd., pererab. i dop.* [Workshop on agricultural chemistry. 2nd ed., revised. and additional], ed. V.G. Mineyev. Moscow, 2001, 689 p. (in Russ.).
21. Cherepanov S.K. *Sosudistyye rasteniya Rossii i sopedel'nykh gosudarstv*. [Vascular plants of Russia and neighboring states]. St.-Petersburg, 1995, 992 p. (in Russ.).
22. Magomedaliyev Z.G. *Kaliy v pochvakh Dagestana*. [Potassium in the soils of Dagestan]. Makhachkala, 2009, 140 p. (in Russ.).
23. Kalashnikov K.G., Khlopyuk M.S., Akimov A.Yu. *Kormoproizvodstvo*, 2006, no. 11, pp. 2–4. (in Russ.).
24. Sychev V.G., Kuznetsov A.V., Pavlikhina A.V., Lobas N.V. *Plodorodiyev*, 2008, no. 3 (42), pp. 1–3. (in Russ.).
25. Lepkhina A.A. *Biologiya vidov rasteniy i kharakteristika rastitel'nykh soobshchestv Dagestana v plane ratsional'nogo ispol'zovaniya rastitel'nykh resursov*. [Biology of plant species and characteristics of plant communities in Dagestan in terms of rational use of plant resources]. Makhachkala, 1977, 212 p. (in Russ.).
26. Benlloch-Gonzalez M., Quintero J.M., Suárez M.P., Sánchez-Lucas R., Fernández-Escobar R., Benlloch M. *J. Plant Physiol.*, 2016, vol. 207, pp. 22–29. DOI: 10.1016/j.jplph.2016.10.001.
27. Ge T.D., Sun N.B., Bai L.P., Tong C.L., Sui F.G. *Acta Physiol. Plant.*, 2012, vol. 34, pp. 2179–2186. DOI: 10.1007/s11738-012-1018-7.

Received June 12, 2021

Revised December 1, 2021

Accepted December 8, 2021

For citing: Semenova V.V., Salikhov Sh.K., Yakhliyayev M.A., Asvarova T.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 1, pp. 243–250. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2022019731.