

АГРОХИМИЯ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

УДК 631.423

ПЕРЕНОС И АККУМУЛЯЦИЯ БИОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПАСТБИЩНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ

© 2023 г. Н. Ю. Кулакова^а*, Г. Г. Суворов^б

^аИнститут лесоведения РАН, ул. Советская, 21, с. Успенское, Московская область, 143030 Россия

^бИнститут проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН,
Ленинский пр-т, 33, Москва, 119071 Россия

*e-mail: nkulakova@mail.ru

Поступила в редакцию 01.06.2022 г.

После доработки 29.06.2022 г.

Принята к публикации 28.07.2022 г.

Оценены масштаб и последствия переноса биофильных элементов из пастбищных экосистем на овцеводческие фермы в глинистой полупустыне Северного Прикаспия при принятом в регионе способе пастбищного животноводства на примере Степновского поселения Палласовского района Волгоградской области. Для расчетов использованы данные по химическому составу растений доминантов и фекалий овец, средние многолетние значения продуктивности фитоценозов, сведения о норме потребления подножного корма животными и т.д. Исследованы почвы пастбищ и заповедного участка, а также почвы на овцеводческой ферме. С 1 га пастбищ (15% территории) за 6 мес. пастбищного сезона переносится на фермы (0.1% территории) не менее 17 т С, 600 кг Са, 260 кг N, 100 кг Mg, 50 кг К, 40 кг Р и 1 кг S. Многолетние запасы помета на фермах, более 1 тыс. т в рассматриваемом примере, практически исключаются из круговорота в ландшафте. Занимающие незначительные площади почвы ферм обогащаются С, N, Р и К. Относительно почв заповедного участка запасы водорастворимого К увеличиваются в слое 0–30 см на 2 порядка, обменного К – до 12–16 раз, С – до 8 раз, N – до 3 раз, подвижного Р – до 2 раз. В пастбищных лугово-каштановых почвах обнаружено уменьшение содержания С в 1.3 раза, обменных форм К в 1.6 раза относительно почв заповедного участка, в солонцах на пастбищах уменьшения концентрации элементов не отмечено. Отсутствие статистически значимых различий в запасах биофильных элементов между пастбищными почвами и почвами заповедного участка частично объясняется увеличением плотности почвы на 0.08 г/см³ в слое 0–50 см пастбищных почв. При существующем методе ведения хозяйства необходим контроль за балансом биофильных элементов в пастбищных почвах.

Ключевые слова: полупустыня, почвы пастбищ, запасы С, N, Р, К, продуктивность фитоценозов, Harpic Kastanozem, Gypsic Salic Solonetz

DOI: 10.31857/S0032180X22600755, **EDN:** JKMNER

ВВЕДЕНИЕ

Стабильность и продуктивность пастбищных экосистем тесно связаны с процессами переноса и круговорота биофильных элементов. Исследования показали, что баланс биофильных элементов в пастбищных почвах напрямую или косвенно определяется множеством факторов: количеством и составом выпасаемых животных [1, 5, 35, 38, 39, 43], продуктивностью пастбищ и видовой принадлежностью пастбищных растений [33] физическими и химическими свойствами почв, особенностями почвенной микробиоты [32, 41], содержанием влаги [36, 42] и т.д. На территории Северного Прикаспия в последние десятилетия на фоне потепления и аридизации климата [14, 18, 19, 20], произошли изменения в режиме хозяйствования. Из-за засух в вегетационный период и

уменьшающейся рентабельности зернового хозяйства, наблюдается сокращение пахотных земель и увеличение доли пастбищ [11, 18, 21]. Процессы выноса биофильных элементов домашними животными с пастбищ и аккумуляции их на фермах играют все возрастающую средообразующую роль в регионе и требуют изучения.

Целью работы является количественная оценка выноса с пастбищ и аккумуляции на фермах домашними животными С, N, Р, К в глинистой полупустыне Северного Прикаспия, исследование влияния этих процессов на формирование запасов биофильных элементов в почвах пастбищ и ферм.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Работа проведена в Северном Прикаспии, на Джаныбекском стационаре Института лесоведения

ния РАН (ИЛАН РАН) (49°25' N, 46°46' E), на землях Степновского сельского поселения (Волгоградская область, Палласовский район). Климат, рельеф, растительность и почвы региона детально исследованы в ряде работ [7, 12, 16, 20, 23, 24, 26]. Для района характерен засушливый климат, хорошо развитый мезо- и микрорельеф при общей равнинности территории. К мезо- и микроповышениям приурочены лугово-каштановые почвы (Haplic Kastanozem по классификации WRB 2014) с разнотравно-злаковыми степными ассоциациями растений (с доминированием типчака (*Festuca valesiaca* Gaudin) и ковыля (*Stipa lessingiana*, Trin. & Rupr)), к микроповышениям – солонцы (Gypsic Salic Solonetz по классификации WRB 2014) с полынно-прутняковыми пустынного типа растительными сообществами (доминируют *Artemisia pauciflora* Web. и *Kochia prostrata* Schrad.), к микросклонам – светло-каштановые почвы (Haplic Calcisols по классификации WRB 2014) с полупустынными фитоценозами с высокой долей в составе растительности прутняка, полыни и ромашника (*Chamaemelum achilleifolium* (M. Bieb.) E.H.L. Krause). Район исследований репрезентативен для ландшафтов суббореальных глинистых полупустынь Северного Прикаспия [18].

Основную часть домашних животных в районе – 84% (4400 голов) в 2020 г. составляли овцы (устное сообщение главы поселения Степновское О.В. Шувалова).

Было выбрано 3 ключевых участка: заповедный участок на Джаныбекском стационаре ИЛАН РАН, участок интенсивного выпаса в 2 км от первого, участок на одной из наиболее крупных ферм Степновского поселения (900 голов овец) в 4 км от первого участка и в 2 км – от второго. На каждом из трех ключевых участков исследовали лугово-каштановые почвы западин и солонцы. Каждый участок характеризовался как минимум восемью почвенными скважинами или прикопками. Кроме того, были отобраны образцы из разрезов в летнем и зимнем загонах для овец.

Летние загоны имели небольшую площадь (450 м²), в них животные ночуют, когда пастбища функционируют; зимний в несколько раз больше, в нем овцы находятся все время суток, если сформировался снежный покров, препятствующий пастыбе. Зимний загон существовал на одном месте на ферме 24 года, не использующийся уже год летний загон – 10 лет, новый летний загон, эксплуатировался 6 мес. Значительная часть органических запасов из старого летнего загона изымалась из круговорота в ландшафте, так как в дальнейшем ее использовали в качестве топлива.

Почвенные образцы из скважин и прикопок отбирали до глубины 50 см через 10 см. В старом летнем загоне, не действующем с осени, образцы фекалий отбирали из разреза с поверхности до

глубины 40 см по слоям, выделяемым по цвету (0–6, 6–16, 16–26, 26–31, 31–40 см), далее через 20 см до гумусового горизонта (120 см), далее через 10 см (до 200 см). Образцы фекалий в зимнем загоне отбирали через 20 см до гумусового горизонта (70 см), ниже – через 10 см (до 100 см). Образцы фекалий в новом загоне отбирали на площадках 20 × 20 см на глубину всего слоя фекалий (около 11 см) в пятикратной повторности.

На поверхности почвы в течение четырех лет (с 2011 по 2014 гг.) в шести специальных сетчатых пакетах компостировали по 50 г образцов фекалий овец. Каждый год в конце вегетационного периода пакеты аккуратно переносили в лабораторию, с помощью лупы убирали минеральные частицы почвы, занесенные в сетку, образец взвешивали. Из каждого пакета изымали часть образца для анализа. В изъятой части определяли массу и влажность, концентрацию С, N, P, K, Ca, Mg, S. Оставшуюся часть образца взвешивали, пересчитывали вес с учетом влажности, измеренной в изъятой части, и затем пакеты возвращали на прежнее место.

Концентрацию С и N в образцах фекалий и в почвенных образцах определяли на автоматическом анализаторе элементного состава Vario MICRO (Elementar, Германия), P, K, Na, Mg и S – рентгенфлуоресцентным методом (РФА) на Спектроскане МАКС-GV (“НПО “СПЕКТРОН”, Россия). Эти определения проводили в сухих образцах, растертых до состояния пудры. Подвижный фосфор определяли по методу Мачигина (ГОСТ 26205-91) с фотометрическим окончанием на фотоколориметре КФК-3 (“Эталонприбор”, Россия); необменный К – по методу Пчелкина, обменный калий – по методу Масловой, водорастворимый К – в водной вытяжке при соотношении почва : H₂O 1 : 5 [10] с окончанием определения концентрации К на пламенном фотометре ФПА-2-01 (“Эталонприбор”, Россия). Определения проводили в сухих образцах, пропущенных через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Для расчета массы поступающих фекалий пользовались формулой, связывающей количество съеденной фитомассы с массой фекалий [8]:

$$C = F \times 2 \times 100 / (100 - 55), \quad (1)$$

где С – количество съеденной фитомассы (кг/га сухой массы); F – количество фекалий, поступающих на пастбище, кг/га в день); 55 – процент перевариваемости, 2 – коэффициент, отражающий время проведения животными на пастбище (1/2 сут).

Приблизительную площадь, необходимую для прокорма овец за 6 мес. пастбищного сезона, вычисляли по формуле:

$$S = nN \times 180 / ((\text{Прс} \times Sc + \text{Прп} \times n + \text{Прп-п} \times Sn-n) / 100k), \quad (2)$$

где n – количество овец (4400 голов); N – суточная норма потребления фитомассы одной овцой, составляющая для местных условий около 2.26 кг [4]; 180 – количество дней пастбищного сезона; Прс, Прп, Прп-п – средние многолетние значения продуктивности степных, пустынных и полупустынных растительных сообществ: 3000, 1000 и 1440 кг/га соответственно, [15, 20]; Sc , Sn , $Sn-n$ – доля (%) площади, занимаемой растительными сообществами в ландшафте (50, 25 и 25% соответственно [16]); k – коэффициент, отражающий долю поедаемой на пастбищах фитомассы, составляющий в среднем за многолетний период 22% [6, 8]. Вынос элементов с фекалиями с 1 га пастбищ (следует отметить, что вынос в жидкой (моча) и газообразной (углекислый газ, метан) формах в формулу не включен) рассчитывали по формуле:

$$M = (Nx_1 - Fx_2) / 100 \times 180 \times 4400 / S, \quad (3)$$

где N – суточная норма потребления фитомассы одной овцой, F – масса поступающих за день фекалий, рассчитанная по формуле (1), x_1 – средняя концентрация элемента в растениях-доминантах, выраженная в процентах, x_2 – в поступающих фекалиях овец; S – площадь пастбищ, вычисленная по формуле (2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Количественная оценка отчуждения фитомассы и биофильных элементов в пастбищных экосистемах региона. *Площадь пастбищ и интенсивность выпаса.* Отсутствие естественных пресных водоемов в глинистой полупустыне Северного Прикаспия приводит к тому, что пастбища расположены недалеко от ферм, куда стадо пригоняют на водопой [19, 21]. В засушливые годы, когда уменьшается объем наземной фитомассы, увеличивается не столько площадь пастбищ, сколько нагрузка на них. На космических снимках хорошо видны участки с разреженным растительным покровом – пастбища с интенсивным выпасом. Площадь таких участков, вычисленная по снимку 2020 г., в Степновском поселении составила приблизительно 10% территории или 2600 га (рис. 1).

Воспользовавшись формулой (2), определили, какая площадь необходима для прокорма животных при условии, что погодные условия и продуктивность фитоценозов соответствуют средним многолетним данным, а подножный корм составляет 100% рациона в течение шести месяцев – с апреля по сентябрь. Полученное значение (около 3900 га, 15% территории района) приняли

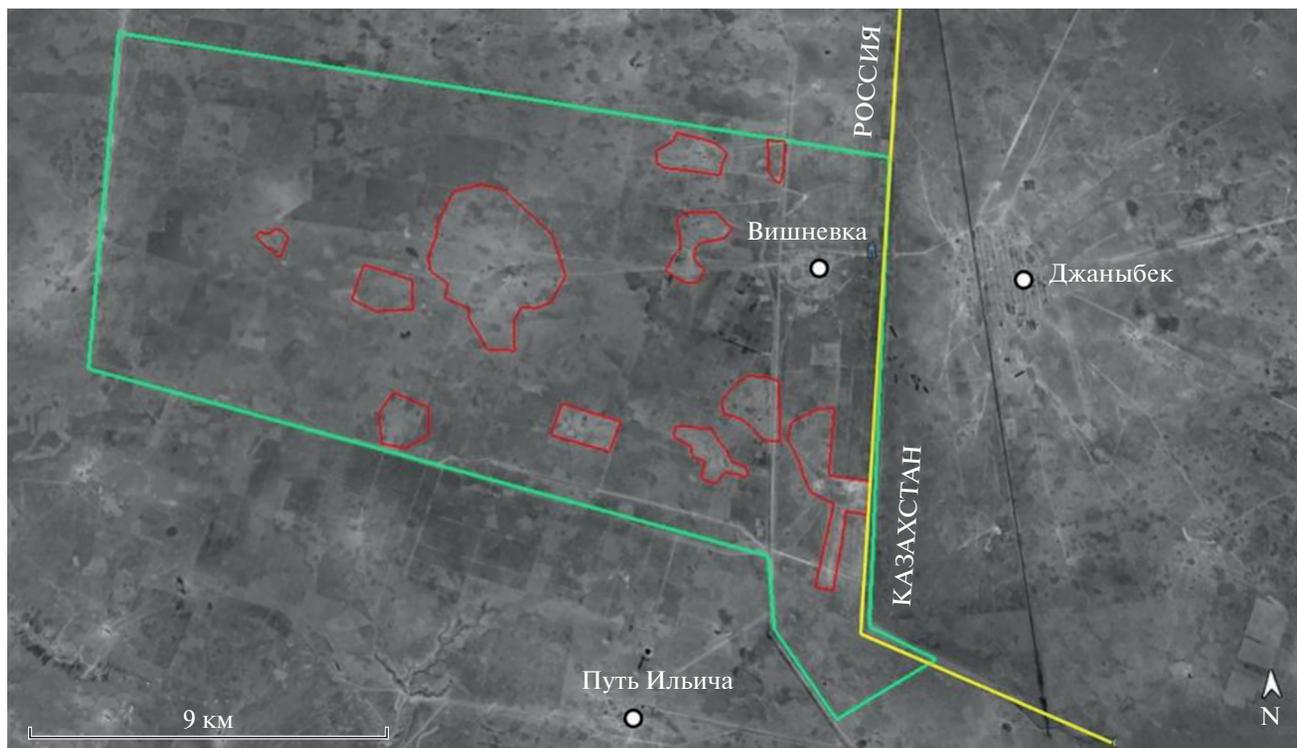


Рис. 1. Космический снимок поселения Степновское от 07.2020 г. (ресурс Google Earth). Площади с интенсивным выпасом обведены красным цветом; границы поселения – зеленым, граница РФ – желтым.

Таблица 1. Содержание (% от сухого веса) и запасы (кг/га) элементов в фитомассе и в фекалиях на пастбищах

Объект	S	Mg	C	N	P	K	Ca
Содержание							
Ковыль	0.19 ± 0.02	0.42 ± 0.07	43.8 ± 1.1	0.76 ± 0.04	0.14 ± 0.02	0.45 ± 0.09	1.73 ± 0.58
Типчак	0.26 ± 0.02	0.25 ± 0.03	43.4 ± 1.0	0.72 ± 0.05	0.13 ± 0.03	0.37 ± 0.03	1.59 ± 0.21
Прутняк	0.21 ± 0.02	0.29 ± 0.05	43.3 ± 1.0	1.08 ± 0.08	0.11 ± 0.02	0.33 ± 0.03	1.68 ± 0.18
Польнь	0.29 ± 0.02	0.25 ± 0.03	44.8 ± 0.9	1.40 ± 0.08	0.09 ± 0.02	0.30 ± 0.04	1.66 ± 0.24
Среднее	0.24	0.30	43.8	0.99	0.12	0.36	1.66
Помет	0.35 ± 0.04	0.39 ± 0.03	27.8 ± 0.8	1.84 ± 0.06	0.15 ± 0.01	1.09 ± 0.21	1.50 ± 0.15
Запасы							
Съеденная фитомасса	1.10	138	20102	454	55	165	766
Фекалии на пастбище	0.36	40	2871	190	15	113	155
Вынос с пастбища, кг/га							
	1	98	17231	264	40	52	611
% запаса в фекалиях от запаса в съеденной фитомассе							
	33	29	14	42	28	68	20

Примечание. После знака ± показан доверительный интервал при уровне значимости $\alpha < 0.05$, $n = 6$.

за среднюю площадь пастбищ. 2020 г. отличался засушливостью: средняя величина годового количества осадков за период 1950–2020 гг. составила около 290 мм, а в 2020 г. – только 182 мм [18]. Поэтому в этот год особенно увеличилась нагрузка на пастбища, прилегающие к чабанским точкам. Таким образом, 10% территории района подвергались очень интенсивному выпасу, а рассматриваемые процессы переноса элементов могут охватывать как минимум 15% территории района.

Основные различия в химическом составе фекалий и растительного опада касаются концентрации K и N – содержание K в фекалиях в 3 раза больше, чем в растениях доминантах степных и пустынных сообществ, азота – в 2.5 раза больше, чем в злаках и в 1.5 раза – чем в полукустарничках (табл. 1). Содержание углерода, напротив, в фекалиях меньше, чем в растительных остатках в 1.6 раза, а концентрация P, Ca и Mg примерно одинакова.

Учитывая средний химический состав растений-доминантов фитоценозов и состав экскрементов, было подсчитано (формула (3)), что разница между выносом элементов со съеденной продукцией и поступлением элементов с фекалиями на 1 га пастбища составила около 17 т С, 600 кг Са, 260 кг N, 100 кг Mg, 50 кг K, 40 кг P и 1 кг S.

В расчете не учитывалась масса элементов, выделяемых животными в жидкой и газообразной формах. В частности, значительная часть N и K, поступивших в организм животного, выводится с мочой, а С – в виде CO₂ и CH₄ [3]. Образцы свежего помета овец, отобранные в загоне, содержа-

ли, очевидно, и небольшое количество мочи. Поэтому количественная оценка выноса N и K из почв пастбищ с фекалиями, основанная на полученных данных, может быть несколько завышена.

Вместе с тем нужно признать, что множество статей выноса и поступления элементов в пастбищных экосистемах очень сильно изменяется по годам. В частности, в зависимости от погодных условий меняется не только объем наземной фитомассы, состав доминирующих растений, но и составляющие корма: в годы с низкой продуктивностью или с бесснежными зимами, когда возможен зимний выпас, животные съедают не только живые части растений, но и ветошь, которая образуется в результате вытаптывания и измельчения копытами растений. Ее масса может превышать массу съеденной на корню растительности [6]. Поэтому приведенные цифры изъятия массы элементов на пастбищах являются минимальными из возможных. Полученные значения выноса из пастбищных экосистем N, P и K сравнимы с величинами доз удобрений, используемых под зерновые культуры на каштановых и лугово-каштановых почвах (20–50 кг/га для N; и 30–60 для K и P) [9, 22].

Запасы органического вещества и биофильных элементов, аккумулирующиеся на ферме. Для того, чтобы исследовать процесс поступления фекалий и биофильных элементов на фермы, рассмотрели одну из ферм с поголовьем овец 900 шт. Половина фекалий, которые не поступают на пастбище (согласно формуле (1), это около 82 т за сезон), распределяются по территории фермы (около 1.5 га) в соответствии с временем, проведенным там животными. В среднем около 8 ч овцы проводят в за-

Таблица 2. Масса органических остатков и биофильных элементов, поступающих ежегодно с опадом в нативные фитоценозы (г/м²) и аккумулирующихся в загоне для овец за 6 мес. пастбищного выпаса

Участок	Органические остатки	N	C	S	Mg	P	K	Ca
Степной фитоценоз	300*/135	2.22/322	130.8/137	0.68/172	1.01/254	0.41/392	1.23/854	7.68/145
Пустынный фитоценоз	100*	1.24	44.05	0.24	0.27	0.1015	0.317	1.67
Загон, г/м ²	40594 ± 386	715 ± 33	18001 ± 406	117.2 ± 25	256.5 ± 15	161.2 ± 5	1050.2 ± 170	1116.6 ± 67
Загон (всего), кг	18267	322	8101	53	115	73	473	502

* Использованы данные [20].

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения соотношения: поступление органической массы или элементов с фекалиями в загон/поступление с опадом в заповедные степные растительные сообщества. После знака ± показан доверительный интервал при уровне значимости $\alpha < 0.05$, $n = 5$.

гоне, поставляя туда приблизительно 55 т экскрементов за сезон или 300 кг в день; по 2 ч тратится на дорогу к ферме и на отдых (13.7 т за сезон или 76 кг в день).

Измеренный запас фекалий, накопившихся в новом летнем загоне площадью 450 м² за 6 мес. при содержании 900 овец составил около 18 т (табл. 2), (100 кг экскрементов в день (18000/6/30 = 100) или 4059 г/м²), что составляет только 30% от расчетной массы поступлений. Такое несоответствие в основном объясняется потерей массы помета при его минерализации. За год компостирования образцов овечьего помета на поверхности почвы, образцы теряли около 45% первоначальной массы. Компостируемые образцы защищались от солнечного света сетчатыми пакетами. Большим потерям органических соединений в загоне способствовало отсутствие затенения в течение всего дня. Известно, что выход CO₂ через фотодегградацию при разложении органических остатков может составлять от 1 до 4 г C/(м² сут) в засушливых зонах [30]. Постоянное поступление в загон минеральных соединений азота с мочой также объясняет более высокую скорость разложения помета в загоне, чем в сетках на поверхности почвы, так как способствует деструкции органических соединений помета [28].

Площадь фермы, где овцы отдыхают после водопоя, занимает около 1 га. Это участок, практически лишенный наземной части растительности. Если сравнивать массу фекалий, поступающих на эту территорию согласно расчетам (1370 г/м²), и массу растительного опада в нативных степных и пустынных растительных сообществах, соответствующей средней многолетней продуктивности [20] (300 и 100 г/м²), становится понятно, насколько это существенная цифра: она как минимум в 4.6 раза больше, чем опад в заповедных условиях в западинах и в 13 раз больше, чем на солонцах.

В загоне расчетная масса поступающих на 1 м² экскрементов в 18 раз больше, чем на участке отдыха. С фекалиями переносится больше всего углерода, кальция, калия и азота, так как содержание этих элементов в них наибольшее. Сравнение данных, полученных при измерении запасов элементов в летнем загоне, показало, что за 6 мес. на 1 м² здесь накапливается как минимум в 144 раза больше C, чем поступает с опадом в естественных степных сообществах, K – в 850 раз, N – в 322 раза, P – в 390 раз.

Формирование запасов биофильных элементов в горизонтах аккумуляции фекалий в длительно используемых загонах. Мощность органогенного горизонта в зимнем загоне достигла 70, в летнем – 120 см. Всего в зимнем загоне накопившиеся за 24 года органические отложения составили 817 т (284 кг/м²). В меньшем по площади летнем загоне, верхнюю часть отложений в котором срезали для топлива, за 10-летний период накопилось около 250 т органической массы (560 кг/м²).

Несмотря на то, что загоны расположены рядом и не использовались приблизительно одинаковое время – с весны зимний загон и с осени летний, отложения фекалий в них характеризовались разной концентрацией C, P, K и N: в летнем загоне значения концентраций C, P и K были больше, чем в зимнем, а концентрации N, наоборот, меньше (рис. 2). Наиболее сильно эти различия выражены для K и C. Концентрация K в летнем загоне была в среднем больше в 2 раза или на 2.5%, а C – в 1.4 раза или на 11.4%. Очевидно, различия связаны с рядом факторов, но основную причину видим в разных условиях разложения фекалий при поступлении – температуре и влажности, а также в разной водопроницаемости зимних и летних отложений. В летнем загоне на поверхности за зиму формируется корка мощностью 5 см с трудом разбиваемая лопатой. Она ухудшает аэрацию и препятствует впитыванию влаги. В зимнем загоне этого не происходит. Со-

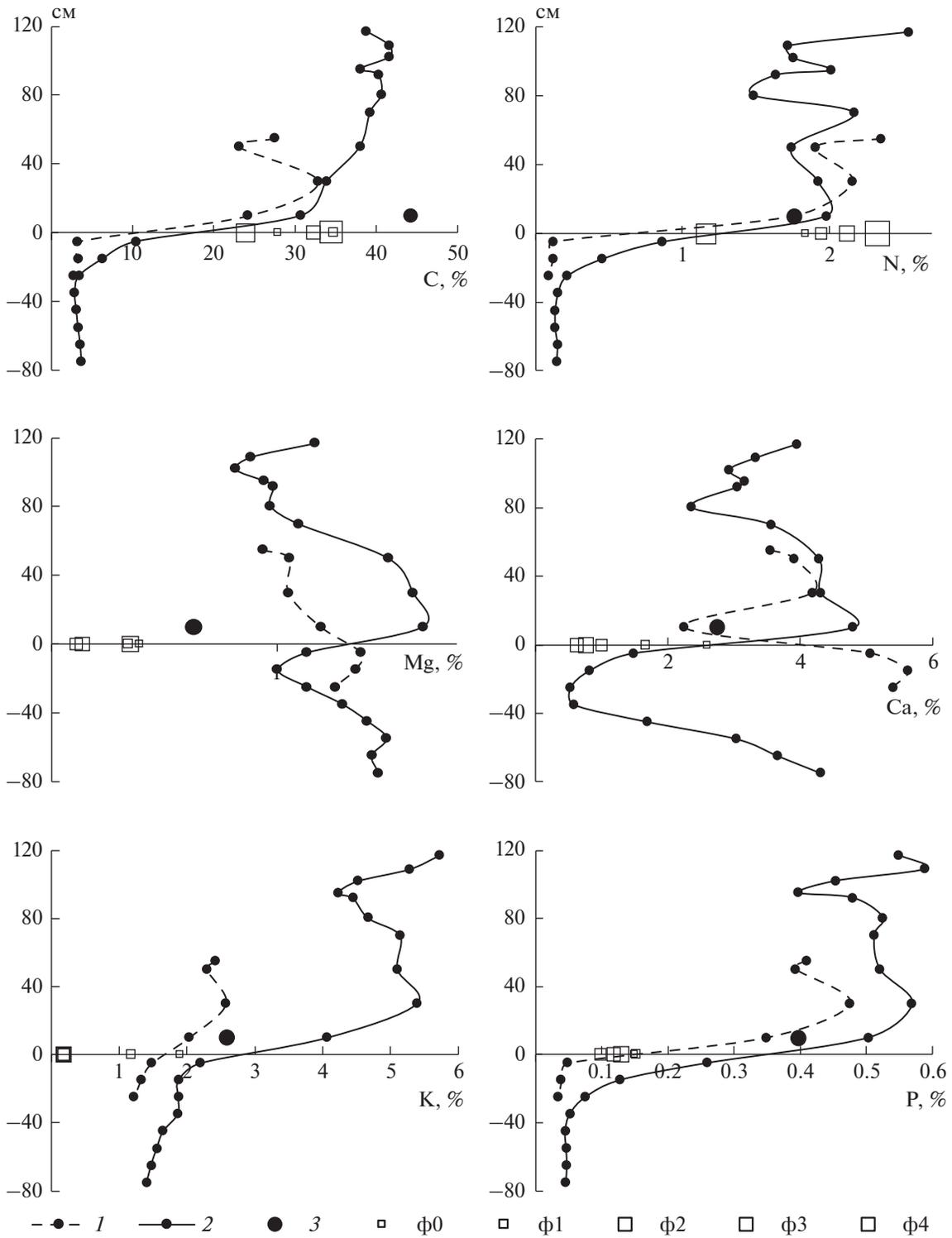


Рис. 2. Концентрация элементов в толще фекалий и почвы в загонах и в образцах фекалий, депонируемых на поверхности почвы. Условные обозначения: нулевое значение вертикальной оси обозначает поверхность почвы; высота фекалий над поверхностью почвы обозначена положительными значениями вертикальной оси; 1 – концентрация элемента в толще фекалий и в почве зимнего загона (24 года использования), 2 – летнего загона (10 лет), 3 – нового летнего загона (6 мес.); ф – концентрация элемента в образцах помета, компостируемых на поверхности почвы (ф0 в свежем помете, ф1 – после первого года компостирования ... ф4 – после четвертого года).

отношение поступающих элементов в зимнем и летнем загонах тоже несколько отличается. В зимний загон поступает больше азота, чем в летний, так как мочеиспускание интенсивнее в дневное время [29], а летом в дневное время овцы находятся на пастбище. Кроме того, в отложения зимнего загона попадают остатки корма в виде соломы, что улучшает аэрацию и водопроницаемость, способствует созданию благоприятных условий для микробиоты. Процесс разложения помета в долго используемых загонах сопровождался увеличением в толще фекалий концентрации P, Ca и Mg относительно содержания этих элементов в небольших по массе образцах помета, компостируемых на поверхности почвы и в фекалиях, накопившихся в новом загоне за 6 мес. Это связано с большими газообразными потерями углерода и азота в загонах, а также с невысокой ролью процессов вымывания P, Ca и Mg в формировании запасов этих элементов в мощной толще фекалий. Незначительное исключение представляет K. Его концентрация в фекалиях зимнего загона приблизительно такая же, как в образцах в первый и второй годы компостирования (рис. 2). Существенная часть K, поступающего с фекалиями, высоко мобильна, что подтверждается экспериментами [13], и легко вымывается как из образцов помета, компостируемых на поверхности почвы, так и из толщи фекалий в загоне.

Содержание углерода и азота в толще экскрементов летних и зимнего загонных изменялось примерно в том же диапазоне, что и при разложении помета на поверхности почвы.

Формирование запасов биофильных элементов в профилях нативных и пастбищных почв и почв, погребенных под горизонтами аккумуляции фекалий. Нам не удалось обнаружить заметного влияния выпаса на запасы C и N в отдельных слоях заповедных и пастбищных почв (рис. 3). В целом в 50-сантиметровой толще пастбищных лугово-каштановых почв заметна тенденция уменьшения запасов C (с 86.0 до 80.7 т/га), а в солонцах — увеличения C и N (с 42.5 до 44.5, а — с 5.9 до 6.9 т/га соответственно). В значительной степени это связано с увеличением плотности пастбищных почв. Влияние выпаса на уплотнение почв отмечается во многих исследованиях [2, 4, 31]. В нашем случае в среднем значения объемного веса в слое 0–50-см пастбищных почв относительно заповедных аналогов и в лугово-каштановых почвах, и в солонцах увеличились на 0.08 г/см³. Концентрация C в слое 0–5 см в лугово-каштановых почвах заповедного участка была достоверно больше, чем на пастбище (при $n = 6$, $\alpha < 0.05$) 3.25 ± 0.37 и $2.47 \pm 0.33\%$. В солонцах такая закономерность отсутствовала, что, возможно, связано с доминированием прутняка на солонцовых почвах. Это растение с типом фотосинтеза C4. Показано, что пастбищные почвы с

растениями такого типа не теряют углерод при выпасе [33, 40, 37].

Не найдено различий в концентрации N между пастбищными почвами и нативными. Почвы солонцового комплекса отличаются значительной пестротой, связанной с разной глубиной и площадью водосбора западин, деятельностью малого суслика на микроповышениях и т.д. Дополнительную неоднородность в распределение биофильных элементов и в первую очередь N вносит неравномерное поступление фекалий и мочи [27, 33].

Важную роль в отсутствии значимых различий между запасами C и N пастбищных и целинных почв играет тот факт, что значительную массу поступающих в почвы растительных остатков в степных и пустынных сообществах составляет корневой отпад. Согласно [15], масса коней в степных ассоциациях исследуемого района за многолетний период равнялась 1750, а в пустынных — 800 г/м². Если учесть, что корневой отпад в степных сообществах не менее 45%, а в пустынных — 30% от массы корней [17], можно рассчитать, что с отпадом в почву под степными ассоциациями поступает почти в 2.6, а в пустынных — в 2.4 раза больше органических остатков, чем с наземным опадом.

В почвах фермы и в загонах, и в местах дневного отдыха овец наблюдалось заметное увеличение запасов C и N относительно заповедных и пастбищных аналогов. Максимальные значения запасов C и N отмечены в почвах летнего загона. В зимнем загоне, где фекалии попадают на замерзшую почву, влияние толщи навоза менее заметно (табл. 3). Различия между запасами этих элементов в почвах летнего и зимнего загонных связано, вероятно, и с особенностями погребенных под фекалиями почв — в зимнем загоне был вскрыт солонец, в летнем — лугово-каштановая почва. Менее выраженное влияние фекалий на запасы C и N в солонцах, чем в лугово-каштановых почвах, прослеживается и на открытом участке для отдыха (рис. 3). Очевидно, этому способствует меньшая водопроницаемость солонцов [16].

Запасы C и N в почве летнего загона в толще 0–50 см (565 и 38.7 т/га соответственно) были в 6.5 и 3 раза больше, чем в нативной лугово-каштановой почве; в такой же толще зимнего загона запасы C (184 т/га) были в 4.2 раза больше, чем в заповедных солонцах, а запасы N (6.7 т/га) были такими же, как на заповедном участке. В почве на участке отдыха овец на ферме запасы C и N (278 и 25.9 т/га) в лугово-каштановой почве в 3 и 1.4 раза превышали значения в заповедных аналогах, а в солонцах (209 и 8.9 т/га) в 4.7 и в 1.5 раз. В почвах фермы, в слое 0–50 см, накопление C шло существенно быстрее, чем накопление N относительно этого слоя в заповедных почвах. То есть потери N

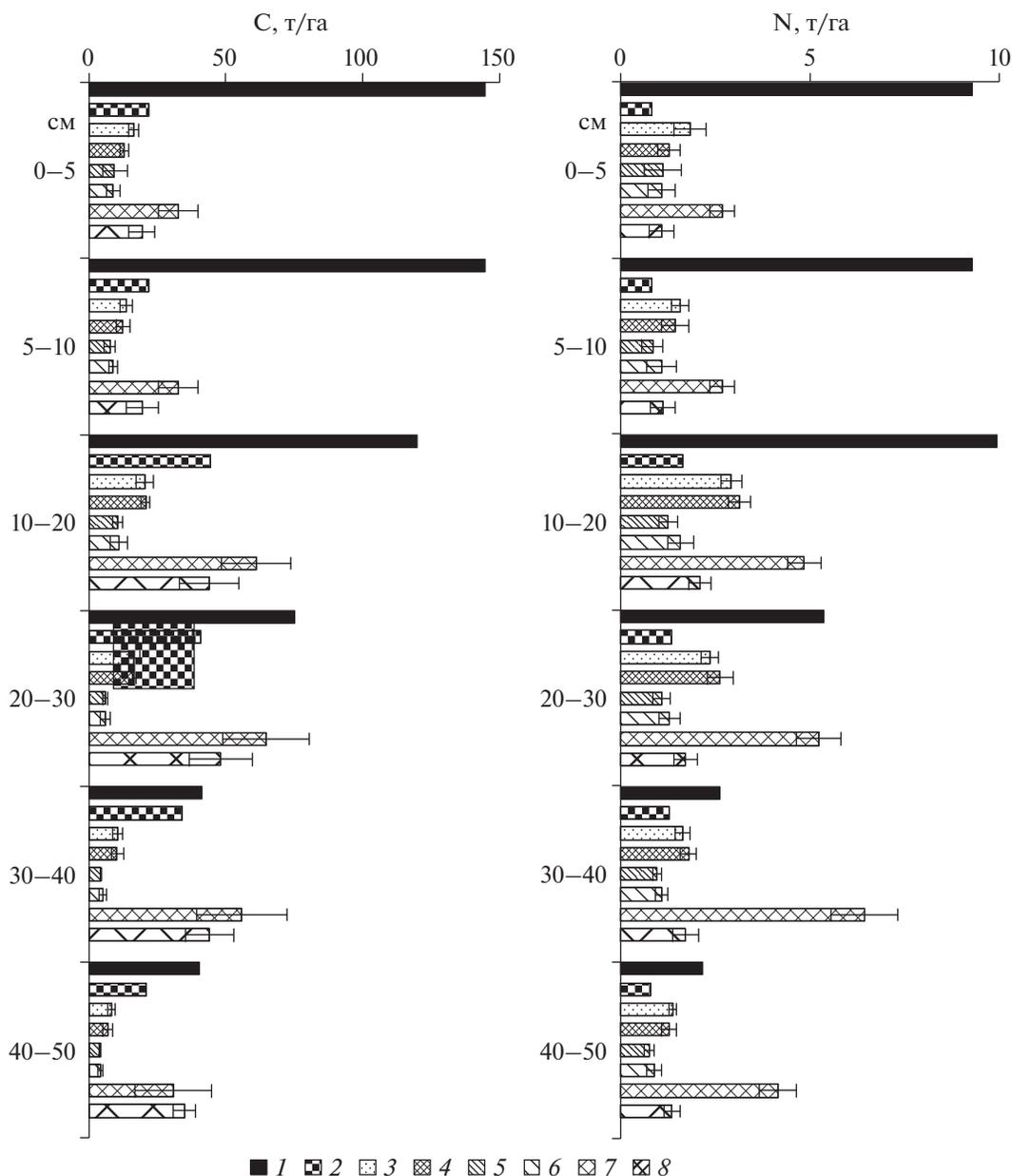


Рис. 3. Запасы (т/га) С и N в исследуемых почвах. Показан доверительный интервал при уровне значимости $\alpha < 0.05$; $n = 6$ (для образцов с глубин до 30 см), $n = 4$ (для образцов с глубин 30–50 см). Условные обозначения: 1 – лугово-каштановая почва летнего загона; 2 – солонец зимнего загона; 3 – лугово-каштановые почвы заповедного участка; 4 – лугово-каштановые почвы пастбища; 5 – солонцы заповедного участка; 6 – солонцы пастбища; 7 – лугово-каштановые почвы зоны дневного отдыха овец на ферме; 8 – солонцы зоны дневного отдыха овец на ферме.

из толщи почвы, перемешанной с фекалиями или находящейся под воздействием слоя фекалий, были существенно больше, чем из заповедных почв. Этот факт согласуется с данными о более высокой скорости потери азота фекалиями овец, чем растительными остатками [12].

Необменный К содержится, главным образом, в кристаллических решетках иллитов [25]. На запасы этого пула К в почвах выпас не оказал заметного влияния, как и дополнительный приток фе-

калий на ферме в местах дневного отдыха овец. Запасы К в слое 0–30 см в пастбищных почвах, в почвах заповедного участка и зоны отдыха изменялись от 44 до 52 т/га. Высокие значения запасов необменного К в почве летнего загона (71 т/га) могут быть связаны с необыкновенно высоким содержанием здесь обменных форм, которые не полностью экстрагировались в вытяжку уксуснокислого аммония и поэтому были учтены при вычислении необменных форм.

Таблица 3. Запасы необменных, обменных и водорастворимых форм К и подвижных форм Р в исследуемых почвах

Участок		Глубина, см	К, т/га				Водорастворимый К, кг/га		Подвижный Р, т/га	
			необменный		обменный		1	2	1	2
			1	2	1	2				
Ферма	Место отдыха	0–10	15.3 ± 0.4	16.6 ± 0.6	6.7 ± 0.6	2.9 ± 0.4	115 ± 11	35 ± 8	89.8 ± 8.5	66.8 ± 10.6
		10–20	15.3 ± 1.1	16.5 ± 0.7	6.1 ± 0.5	2.2 ± 0.4	108 ± 12	23 ± 6	53.2 ± 10.3	58.8 ± 7.3
		20–30	14.9 ± 0.5	12.9 ± 1.2	6.4 ± 0.8	2.2 ± 0.5	56 ± 12	41 ± 5	41.5 ± 10.3	23.9 ± 7.7
	Сумма	45.5	46.1	19.2	7.3	278.4	98.7	184.5	149.5	
Загоны	0–10	0–10	24.1	11.4	68.7	32.4	12352	9228	60.5	153.9
		10–20	16.1	15.8	54.12	22.3	4242	6898	50.2	70.5
		20–30	31.2	15.0	50.5	20.0	2370	6234	39.3	36.5
	Сумма	71.4	42.2	173.4	74.7	18964	22361	150.0	260.9	
Заповедный участок	0–10	0–10	13.7 ± 0.3	15.5 ± 0.8	3.8 ± 0.5	2.7 ± 0.4	72 ± 12	27 ± 7	51.1 ± 9.2	51.5 ± 13.5
		10–20	16.4 ± 0.7	17.1 ± 0.7	3.0 ± 0.4	1.9 ± 0.4	49 ± 6	25 ± 6	41.5 ± 8.3	34.9 ± 8.6
		20–30	13.6 ± 0.7	14.3 ± 0.7	3.8 ± 0.6	1.6 ± 0.2	46 ± 6	24 ± 7	26.5 ± 11.7	26.6 ± 15.1
	Сумма	43.8	46.8	10.7	6.2	167.9	74.8	119.5	113.0	
Пастбище	0–10	0–10	13.8 ± 1.0	16.0 ± 0.9	3.3 ± 0.5	3.6 ± 0.4	42 ± 6	20 ± 6	42.0 ± 7.2	38.1 ± 10.6
		10–20	15.7 ± 0.8	18.2 ± 0.8	2.9 ± 0.6	3.3 ± 0.7	46 ± 8	32 ± 6	38.3 ± 14.7	32.4 ± 10.0
		20–30	14.1 ± 0.7	17.8 ± 0.5	2.6 ± 0.5	2.5 ± 0.5	47 ± 10	17 ± 7	35.3 ± 14.0	13.8 ± 3.8
	Сумма	43.6	52.0	8.8	9.4	135.2	69.2	115.6	84.3	

Примечание. 1 – лугово-каштановые почвы; 2 – солонцы. Показан доверительный интервал при уровне значимости $\alpha < 0.05$, $n = 6$.

Катионы K^+ , находящиеся на обменных позициях органических веществ и тонкодисперсных слоистых силикатов, составляют пул обменного К. По содержанию обменного К лугово-каштановые почвы относят к высокообеспеченным (20–30 мг/100 г почвы), а солонцы – к почвам с повышенным содержанием К (15–20 мг/100 г почвы) [10]. Выпас не оказал существенного влияния на запас обменного К (табл. 3). Вместе с тем содержание этой формы К в 10–20 и 20–30 см толще лугово-каштановой почвы пастбища (25.7 ± 5.0 и 21.1 ± 4.0 мг/100 г почвы) было в 1.5 и 1.6 раза меньше, чем на этих глубинах на заповедном участке (38.4 ± 4.2 и 34.1 ± 5.7 мг/100 г почвы). Между пастбищными и заповедными солонцами достоверных различий в концентрации обменных форм К не обнаружено. Заметное увеличение запасов обменного К отмечено в лугово-каштановой почве на участке отдыха на ферме (в 1.7 раза выше, чем в почве заповедного участка в 30-см слое почвы). Самые высокие значения наблюдались в солонце и лугово-каштановой почвах загонов – в 12 и 16 раз более высокие, чем в 30 см слое нативных солонцов и лугово-каштановых почв соответственно.

Запасы водорастворимого К в пастбищных почвах и почвах под естественной растительностью были близкими, существенно различались только верхние (0–10 см) слои гумусовых горизонтов лугово-каштановых почв: в нативных поч-

вах запасы были в 1.7 раза больше, чем в пастбищных. Запасы водорастворимого К на ферме были существенно больше, чем в нативных аналогах: в лугово-каштановых почвах и солонцах на участке отдыха – в 1.6 и 1.3 раза соответственно, а в загонах – в 113 и в 299 раз.

Фосфор, переходящий в вытяжку 1% углекислого аммония, связан с ионами кальция, алюминия и железа и входит в состав органического вещества почвы. И на заповедных, и на пастбищных почвах обеспеченность растений фосфором характеризуется как повышенная [10].

Заметна тенденция понижения значений запасов подвижного Р в верхнем (0–10 см) слое лугово-каштановых почв и солонцов в пастбищных почвах относительно заповедных, но достоверные различия отсутствуют, также как между концентрацией этой формы Р в пастбищных и заповедных почвах на этой глубине (3.72 ± 0.64 и 4.73 ± 0.85 мг/100 г почвы в лугово-каштановых почвах и 2.86 ± 0.75 и 3.99 ± 1.05 в солонцах соответственно). Наибольшими запасами этой формы обладали почвы летнего загона – они превосходили запасы в 30-см слое заповедных почв в 2 раза. В зимнем загоне запас Р был в 1.7 раза меньше.

ВЫВОДЫ

1. Принятые в регионе способы пастбищного животноводства приводят к перемещению огром-

ных масс биофильных элементов с пастбищ, занимающих около 15% территории, на фермы, где площадь аккумуляции биофильных элементов не превышает 0.1% территории. Ежегодный перенос элементов с пастбищных площадей на территорию ферм составляет не менее 17 т С, 600 кг Са, 150 кг N, 100 кг Mg, 50 кг K, 40 кг P и 1 кг S с 1 га.

2. Интенсивный выпас, преобладающий в пастбищных экосистемах региона, не оказывает заметного влияния на запасы С, N, обменных, обменных и водорастворимых форм К, подвижных форм P в почве, хотя видна тенденция сокращения запасов С в верхнем 50-сантиметровом слое лугово-каштановых почв. Отсутствие значимых различий частично объясняется увеличением плотности пастбищных почв в среднем на 0.08 г/см³ в слое 0–50 см.

Под действием выпаса в лугово-каштановых почвах уменьшается концентрация С и обменных форм К.

3. Запасы фекальной массы, откладываемой овцами на фермах (сотни тонн) скапливаются в течение всего периода существования ферм, расходуются только на топливо, и практически изымаются из круговорота в ландшафте. Отмечается накопление P, Са, Mg в толще фекалий при их разложении относительно образцов фекалий, компостируемых на поверхности почвы. В толще фекалий процессы разложения идут по-разному в зависимости от сезона, в который происходит аккумуляция фекалий — зимой или летом. В летних отложениях концентрация P, Са, Mg больше, чем в зимних.

4. Почвы на фермах и под слоями фекалий в загонах, и в местах отдыха овец обогащаются С, N, K, P. Соотношение запасов С и N больше, чем в нативных почвах, что связано, в частности, с более быстрыми потерями N при разложении фекалий, чем при разложении растительных остатков. В местах отдыха овец запасы N увеличиваются в верхнем (0–50 см) слое почв в 1.4–1.5 раза, а С — в 3–4.5 раза относительно заповедных аналогов, в почвах загонов запасы этих элементов возрастают — до 3 раз N и 6.5 раз С. Происходит увеличение запасов P в верхней 0–30 см толще почв фермы (в загонах и в местах отдыха животных) — в 1.3–2.3 раза. В слое 0–30 см почв на территории дневного отдыха овец на ферме запасы обменного К стали больше в 1.8 раза, в почвах загонов — в 12–16 раз, чем в нативных почвах; запасы водорастворимого K в местах отдыха овец возросли в 1.3–1.7 раза, а в почвах загонов увеличились более, чем на 2 порядка.

5. Заметен общий тренд изменений плодородия лугово-каштановых пастбищных почв, связанный с многолетним выносом элементов, даже на фоне высокого содержания в почвах обменных форм К и подвижных соединений P, большой

пестроты свойств почв солонцового комплекса полупустыни Северного Прикаспия. При увеличении нагрузки на пастбища необходим контроль за изменениями запасов биофильных элементов в пастбищных почвах.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают глубокую признательность главе сельского поселения Степновское О.В. Шувалову за предоставление необходимой информации.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абатуров Б.Д.* Пастбищный тип функционирования степных и пустынных экосистем // Успехи современной биологии. 2006. Т. 126. № 5. С. 435–448.
2. *Абатуров Б.Д.* Плотность почвы как фактор формирования микрорельефа в полупустыне Северного Прикаспия // Почвоведение. 2007. № 7. С. 831–837.
3. *Абатуров Б.Д.* Роль млекопитающих в минерализации растительной органики // 2-й съезд Всесоюзного Териологического общества. Пленарные доклады. М., 1979. С. 3–13.
4. *Абатуров Б.Д.* Экологические последствия пастбищ копытных млекопитающих для экосистем полупустыни // Экологические процессы в аридных экосистемах. XIX чтения памяти академика В.Н. Сукачева. М.: РАСХН, 2001. С. 57–83.
5. *Абатуров Б.Д., Дмитриев И.А., Жаргалсайхан Л., Омаров К.З.* Утилизация фитомассы и отложение экскрементов копытными млекопитающими на степных пастбищах Восточной Монголии // Известия Российской академии наук. Сер. биол. 2008. № 3. С. 350–359.
6. *Абатуров Б.Д., Нухимовская Ю.Д.* Опыт количественной оценки продукции надземной фитомассы и ее составляющих на степном пастбище // Аридные экосистемы. 2013. Т. 19. № 4(57). С. 14–22.
7. *Абатуров Б.Д., Нухимовская Ю.Д.* Природная зональность продуктивности комплексной растительности на постхвальной равнине Северного Прикаспия // Успехи современной биологии. 2018. Т. 138. № 2. С. 208–217. <https://doi.org/10.7868/S0042132418020096>
8. *Абатуров Б.Д., Нухимовская Ю.Д., Кулакова Н.Ю.* Первичная продуктивность степных растительных сообществ в комплексной полупустыне Северного Прикаспия // Успехи современной биологии. 2016. Т. 136. № 5. С. 438–448.
9. *Багринцева В.Н.* Питание зерновых колосовых культур на каштановых почвах Ставрополя. М.: Международный институт питания растений, 2015. 111 с.

10. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
11. Габченко М.В. Дистанционный мониторинг землепользования природоохранных объектов (на примере Джаныбекского стационара) // Аридные экосистемы. 2004. Т. 10. № 21. С. 57–61.
12. Кулакова Н.Ю. Особенности круговорота биофильных элементов в подстилках экосистем полупустыни Северного Прикаспия // Почвоведение. 2020. № 11. С. 1341–1352. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20110076>
13. Кулакова Н.Ю., Абатуров Б.Д., Нухимовская Ю.Д. Элементы круговорота С и N в природных и антропогенных экосистемах полупустыни Северного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2017. Т. 23. № 1(70). С. 439–448.
14. Кулик К.Н., Петров В.И., Юферев В.Г., Ткаченко Н.А., Шинкаренко С.С. Геоинформационный анализ опустынивания Северо-западного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2020. № 2(83). <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10091>
15. Оловяникова И.Н., Сиземская М.Л., Сапанов М.К., Максимюк Г.П., Соколова Т.А., Базыкина Г.С. Повышение продуктивности полупустынных земель Северного Прикаспия. М.: МАИК “Наука/Интерпериодика”, 1989. 198 с.
16. Роде А.А., Польский М.Н. Почвы Джаныбекского стационара, их морфологическое строение, механический и химический состав и физические свойства // Тр. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. М.: АН СССР, 1961. Т. 56. С. 3–214.
17. Родин Л.Е., Базилович Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.–Л.: Наука, 1965. 253 с.
18. Сапанов М.К. Особенности и экологические последствия потепления климата в полупустыне Северного Прикаспия // Поволжский экологический журнал. 2021. № 1. С. 64–78. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-1-64-78>
19. Сапанов М.К. Экологические последствия потепления климата в Северном Прикаспии // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. № 1(74). С. 20–31. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2018-00003>
20. Сапанов М.К., Сиземская М.Л. Изменение климата и динамика целинной растительности в Северном Прикаспии // Поволжский экологический журнал. 2015. № 3. С. 307–320.
21. Сапанов М.К., Сиземская М.Л., Ахмеденов К.М. Этапы освоения и современное использование засушливых земель Северного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2015. Т. 21. № 3(64). С. 84–91.
22. Сапаров А.С., Сулейменов Б.У. Состояние и перспективы исследований в длительных опытах с удобрениями в Казахстане // Плодородие. 2014. № 5(80). С. 9–11.
23. Сиземская М.Л. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 276 с.
24. Сиземская М.Л., Елекешева М.М., Сапанов М.К. Формирование лесных биогеоценозов на нарушенных землях Северного Прикаспия // Поволжский экологический журнал. 2020. № 1. С. 86–98. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-1-86-98>
25. Соколова Т.А. Калийное состояние почв, методы его оценки и пути оптимизации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 48 с.
26. Хитров Н.Б. Связь почв солонцового комплекса Северного Прикаспия с микрорельефом // Почвоведение. 2005. № 3. С. 271–284.
27. Bakker E.S. et al. Impact of herbivores on nitrogen cycling: contrasting effects of small and large species // Oecologia. 2004. V. 138. № 1. P. 91–101. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1402-5>
28. Berg B., McClaugherty C. Decomposition, humus formation, carbon sequestration. Plant litter. Springer: Berlin Heidelberg, 2008. 264 p.
29. Betteridge K., Costall D., Balladur S., Upsdell M., Umemura K. Urine distribution and grazing behaviour of female sheep and cattle grazing a steep New Zealand hill pasture // Animal Production Science. 2010. V. 50(6). P. 624–629. <https://doi.org/10.1071/AN09201>
30. Brandt L.A., Bohnet C., King J.Y. Photochemically induced carbon dioxide production as a mechanism for carbon loss from plant litter in arid ecosystems // J. Geophys. Res.: Biogeosci. 2009. V. 114. № G2. P. 1–13. <https://doi.org/10.1029/2008JG000772>
31. Greenwood K.L., McKenzie B.M. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review // Australian J. Experimental Agriculture. 2001. V. 41. № 8. P. 1231–1250. <https://doi.org/10.1071/EA00102>
32. Khomutova T.E. et al. Influence of grazing on the structure and biological activity of dry steppe soils of the southern Russian Plain // Land Degradation & Development. 2021. V. 32. № 17. P. 4832–4844. <https://doi.org/10.1002/ldr.4032>
33. McSherry M.E., Ritchie M.E. Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review // Global change biology. 2013. V. 19. № 5. P. 1347–1357. <https://doi.org/10.1111/gcb.12144>
34. Morton J., Baird B. Spatial distribution of dung patches under sheep grazing // New Zealand J. Agricultural Research. 1990. V. 33. P. 285–294. <https://doi.org/10.1080/00288233.1990.10428421>
35. Pulido M.V., Schnabel S., Contador J.F.L., Lozano-Parra J. The impact of heavy grazing on soil quality and pasture production in rangelands of SW Spain // Land Degradation & Development. 2018. V. 29(2). P. 219–230. <https://doi.org/10.1002/ldr.2501>
36. Raiesi F., Asadi E. Soil microbial activity and litter turnover in native grazed and ungrazed rangelands in a semiarid ecosystem // Biology and Fertility of Soils. 2006. V. 43. № 1. P. 76–82. <https://doi.org/10.1007/s00374-005-0066-1>
37. Sanjari G. et al. Comparing the effects of continuous and time-controlled grazing systems on soil characteristics in Southeast Queensland // Soil Research. 2008. V. 46(4). P. 348–358. <https://doi.org/10.1071/SR07220>
38. Steffens M., Koelbl A., Totsche K.U., Kögel-Knabner I. Grazing effects on soil chemical and physical properties

- in a semiarid steppe of Inner Mongolia (PR China) // *Geoderma*. 2008. V. 143. № 1–2. P. 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.09.004>
39. Sun Yu., Schleus P.-M., Pausch J., Xu X., Kuzyakov Ya. Nitrogen pools and cycles in Tibetan Kobresia pastures depending on grazing // *Biology and Fertility of Soils*. 2018. V. 54. P. 569–581. <https://doi.org/10.1007/s00374-018-1280-y>
40. Wienhold B.J., Hendrickson J.R., Karn J.F. Pasture Management Influences on Soil Properties // *J. Soil and Water Conservation*. 2001. V. 56. № 1. P. 27–31.
41. Xun W., Yan R., Ren Y., Jin D., Xiong W., Zhang G., Cui Z., Xin X. Grazing-induced microbiome alterations drive soil organic carbon turnover and productivity in meadow steppe // *Microbiome*. 2018. V. 6. № 1. P. 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0544-y>
42. Yan H., Cao M., Liu J., Tao B. Potential and sustainability for carbon sequestration with improved soil management in agricultural soils of China // *Agriculture, ecosystems & environment*. 2007. V. 121. № 4. P. 325–335. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.11.008>
43. Zhang M., Li X., Wang H., Huang Q. Comprehensive analysis of grazing intensity impacts soil organic carbon: a case study in typical steppe of Inner Mongolia, China // *Applied Soil Ecology*. 2018. V. 129. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.03.008>

Transfer and Accumulation of Biophilic Elements in Pasture Ecosystems of the Northern Caspian

N. Yu. Kulakova^{1,*} and G. G. Suvorov²

¹*Institute of Forest Science Russian Academy of Science, Uspenskoye village, Moscow region, 143030 Russia*

²*Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 119071 Russia*

*e-mail: nkulakova@mail.ru

The scale and consequences of the transfer of biophilic elements from pasture ecosystems to sheep farms in the clayey semidesert of the Northern Caspian Sea region under the method of pastoralism accepted in the region (on the example of Stepnovsky settlement of Pallasovsky district of Volgograd region) were estimated. For the calculations, we used data on the chemical composition of dominant plants and sheep faeces, the long-term average productivity of phytocenoses, information on the rate of consumption of pasture forage by animals, etc. Soils of pastures and the reserve area, and soils on the sheep farm (in sheep corrals and in their resting places) were investigated. At least 17 t C, 600 kg Ca, 260 kg N, 100 kg Mg, 50 kg K, 40 kg P and 1 kg S were transferred to farms (0.1% of the area) from 1 ha of pasture (15% of the area) during the 6 months grazing season. The long-term stocks of faeces on farms (more than 1 thousand t in the example under consideration) are practically excluded from the circulation in the landscape. Small areas of farm soils are enriched with C, N, P and K. Compared with soils of the protected area, stocks of water soluble K increase (in the 0–30 cm layer) by two orders of magnitude, exchangeable K increases by 12–16 times, C by 8 times, N by 3 times, mobile P by 2 times. In grassland meadow-chestnut soils a decrease in the content of C (1.3 times) and exchangeable forms of K (1.6 times) relative to soils of the reserve area, in solonets on pastures decrease in the concentration of elements is not noted. The absence of statistically significant differences in the stocks of biophilic elements between the pasture soils and the soils of the protected area is partially explained by an increase in soil density by 0.08 g/cm³ in the 0–50 cm layer of the pasture soils. With the existing farming method, it is necessary to control the balance of biophilic elements in pasture soils.

Keywords: semi-desert, pasture soils, C, N, P, K stocks, productivity of phytocenosis