

Кобечинская В. Г.
Отурина И. П.
Пышкин В. Б.
Решетник Г. В.

Сравнительный анализ миграционных потоков химических элементов в системе растения – почва на крымских Яйлах

Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь
e-mail: valekohome@mail.ru

Аннотация. Установлено, что различные режимы использования нагорно-луговых биогеоценозов крымских яйл нарушают их устойчивость, изменяя динамику миграции химических элементов в системе растения – почва, и, как следствие, направленность первичного продукционного процесса. Для сохранения природной целостности этих нагорий необходимо строго регламентировать величину антропогенных нагрузок.

Ключевые слова: структура фитоценозов, продуктивность, система растения – почва, зольные элементы, антропогенное влияние.

Введение

В каждом биогеоценозе различных географических зон и высотных поясов протекает множество разнонаправленных процессов. Чем ближе биогеоценоз к стационарному состоянию, тем более замкнутым становится его биогенный круговорот, и тем меньшую роль в миграции химических элементов играют абиотические процессы [1, 2].

Целью настоящей работы было изучение изменений структуры фитоценозов под влиянием регулярного выпаса и сенокоса с учетом качественных и количественных показателей почв крымских яйл. В ходе исследования проводился анализ образования, трансформации и разложения органического вещества растительного происхождения, определялись запасы живой и мертвой биомассы, характеризующие скорость и направленность продукционного процесса; изучались особенности динамики биогенного круговорота ряда химических элементов, что позволяет прогнозировать их биологическую трансформацию.

Горные луга и степи занимают в Крыму плоскогорья, безлесные вершины и частично склоны Главной гряды, играя огромную водосборно-экологическую роль и формируя неповторимость крымских ландшафтов. В прошлом эти участки горного рельефа занимали значительно меньшие площади, но в результате разнообразных видов хозяйственной деятельности человека (выпас, сенокосение, пожары, рубки) они расширили свои границы [3, 4].

Обзору растительности и почв яйл Крыма посвящено значительное число работ [4, 5, 6, 7, 8, 9], носящих преимущественно флористический и типологический характер или посвященных описанию и классификации почв, лишь в немногих из них приведена характеристика продукционного процесса фитоценозов. Работы по изучению миграции химических элементов в системе растения – почва и построение рядов их поглощения растительными организмами из различных хозяйственно-ботанических групп в сравнительном аспекте для отдельных яйл единичны [10, 11]. Проведение сравнительного анализа динамики вышеперечисленных процессов в биогеоценозах Долгоруковской, Чатырдагской яйл, а также Караби-яйлы, выполненное впервые, представляет, несомненно, большой научный интерес.

Материалы и методы

На крымском нагорье выделяют четыре основных типа растительности: лугово-степную, лесную, петрофитно-степную и луговую [6, 7, 12].

В коренных и серийных нагорно-луговых биогеоценозах этих яйл были заложены 9 пробных площадей с учетом различных режимов их использования. Исследования проводились на нижнем плато Чатыр-Дага в 8-10 км к югу от села Мраморное на высоте 930-950 м н. у. м. В пределах яйлы были выбраны 3 участка: контрольный (№ 1 – без выпаса) и участки №№ 2 и 3 (с умеренным и интенсивным выпасом соответственно). На Долгоруковской яйле были заложены 3 участка: контрольный (№ 4), участок № 5 (с выпасом) и № 6 (с сенокосом), расположенные в 10-12 км к юго-востоку от села Межгорье на высоте 680-720 м н. у. м. На Караби-яйле в окрестностях урочища Казанлы на высоте 620-640 м н. у. м. были выделены 3 участка: № 7 (контрольный-петрофитный вариант нагорной луговой степи) и участки №№ 8 и 9 (с умеренным и с интенсивным выпасом соответственно).

На опытных участках по стандартным геоботаническим методикам исследовались флористический состав растительности, общее проективное покрытие, видовая насыщенность, ярусность, общая продуктивность и её сезонная динамика [13]. Были выполнены почвенные разрезы с отбором образцов и последующим их физико-химическим анализом [14]. Химический анализ растительности проводился по методикам Базилевич Н.И., Родина Л.Е. и др. [15, 16]. Процентное содержание золы определялось

методом сухого озоления растительного материала, количество оксидов кальция и магния-трилонометрическим методом, содержание оксидов железа и фосфора-колориметрическим методом, общее содержание азота при мокром озолении-методом Кьельдаля, оксида калия – с помощью плазменного фотометра.

Результаты и обсуждение

При анализе состояния и функционирования травяных биогеоценозов яйл важно знать не только характеристики их структурных особенностей, но и учитывать влияние на них климата и рельефа. Климат крымских яйл существенно отличается в широтном ряду – от влажного восточного (700 мм осадков в год) до избыточно влажного на западе (свыше 1100 мм в год) [17]. Из трех сравниваемых яйл наименьшая величина суммы годовых осадков выпадает на Караби-яйлу – 595 мм в год [17, 18], причем примерно 40-45% их – в виде снега, покров из которого сохраняется на яйле до 3-4 месяцев. На этих нагорьях количество осадков в теплый период года значительно больше, чем в холодные месяцы. Так, среднегодовая температура на Караби-яйле – +5,4 °С, на Долгоруковской яйле – +6,4 °С, а на нижнем плато Чатырдагской яйлы – +7,0 °С. Среднемесячная температура июля в горах 16-17 °С, в конце октября она резко снижается. Самые высокие показатели температуры отмечены на Караби-яйле и Долгоруковской яйле в июле – +27-29 °С, на Чатырдагской яйле – +32 °С. Самая низкая температура на Чатырдагской и Долгоруковской яйлах в январе – -27,3-29 °С, на Караби-яйле – -34 °С. Яйлы покрываются снегом во второй половине ноября, снежный покров сходит только в середине апреля, весна здесь запоздалая, потому начало вегетации растительности сдвинуто на более поздние сроки, и максимальная продуктивность растительного покрова приходится на вторую половину июня, тогда как в предгорье – на конец мая. Климатические факторы оказывают существенное влияние и на процесс почвообразования, который протекает в условиях повышенного увлажнения и пониженного теплового режима под влиянием литологических, геоморфологических и историко-генетических факторов [9].

Тепловой режим во многом определяет динамику нарастания фитомассы, которая зависит, в частности, от уровня инсоляции текущего месяца, причем в конце вегетационного периода эта зависимость выражена наиболее сильно. Данное явление можно назвать эффектом последствия экологических факторов на продукционный процесс [19].

Проведенный анализ структуры растительного покрова свидетельствует о существенных перестройках в экосистемах яйл под влиянием хозяйственной деятельности (табл. 1).

Таблица 1.
Общая характеристика состава травостоя пробных площадей крымских яйл

Участок	Форма хозяйственного воздействия	Количество видов на 100 м ²	Общее проектив. покрытие %	Видов. насыщ. на 1 м ²	Высота травостоя, см	Тип ассоциации
Чатырдагская яйла						
1	Контроль	70	95	15,0±1,7	37-46	Типчакково-осоково-подмаренниковая
2	Умеренный выпас	58	70	12,7±1,2	30-40	Ясколково-лабазниково-типчакковая
3	Интенсивный выпас	44	55	9,4±0,7	16-23	Типчакково-лабазниково-кострецовая
Долгоруковская яйла						
4	Контроль	57	95	20,3±1,8	35-45	Лабазниково-солнцецветово-гераниево-шалфейная
5	Сенокос	68	70	15,2±1,3	30-40	Шалфейно-осоково-типчакковая
6	Умеренный выпас	50	80	18,3±1,5	25-30	Полынно-лапчатково-дубровниковая
Караби-яйла						
7	Контроль	55	95	22,7±2,1	25-38	Ковыльно-типчакково-дубровниковая
8	Умеренный выпас	43	80	15,1±1,9	20-25	Кострово-таволгово-погремковая
9	Интенсивный выпас	26	45	7,3±0,9	7-10	Полынносухоцветово-чертополоховая

Преобладающим типом растительности исследуемых яйл являются нагорные луговые степи и их петрофитные варианты, сформированные на горно-луговых черноземовидных почвах в комплексе с незрелыми почвами и выходами известняков на поверхность, последние особенно широко распространены на Караби-яйле [4]. В широтном ряду от Чатырдагской до Караби-яйлы четко прослеживается снижение флористического разнообразия на контрольных участках площадью 100 м² с 70 видов (участок № 1) до 55 видов (участок № 7). Различные формы хозяйственного воздействия вносят свои коррективы в структуру и сложение фитоценозов. Видовая насыщенность на 1 м² самая

высокая на контрольных участках Караби-яйлы (22,7), а самая низкая – на Чатырдагской яйле (15,0), что обусловлено петрофитным вариантом луговой степи. С увеличением каменистости почвы и усилением интенсивности выпаса травостой претерпевает значительные изменения в сторону упрощения структуры, обедняется его флористический состав, общее проективное покрытие снижается почти в 2 раза. Интенсивность выпаса существенно снижает видовую насыщенность на всех яйлах.

Эта тенденция сохраняется и при сенокосении, но оно способствует внедрению в фитоценозы новых видов, что обеспечивает их большое видовое разнообразие (на участке № 5 – 68 видов), увеличивая мозаичность сообществ. Пастбищно-сенокосный режим приводит к выраженной ксерофитизации растительного покрова в связи с иссушением и перегревом почвы в результате разрушения подстилки. В травостое усиливается роль однолетников и адвентивных видов, замещающих коренную растительность. Так, на Караби-яйле сформированы типичные стравленные пастбища с низким травостоем, в котором преобладает *Artemisia austriaca* (полынь австрийская).

Исследуемые почвы на пробных участках яйл относятся к одному типу – горно-луговые черноземовидные бескарбонатные на элювии верхнеюрских известняков, маломощные (менее 20 см), средне- и тяжелосуглинистые, среднегумусовые и гумусированные (табл. 2).

Установлено, что сенокос не вызывает существенных морфогенетических изменений в строении почвенного профиля разрезов. При интенсивном выпасе из-за отсутствия слоя дернины процессы гумификации резко замедляются, что оказывает влияние на генезис почв.

Таблица 2.

Характеристика отдельных физико-химических свойств почв пробных площадей крымских яйл (средние пробы)

№ уч.	Горизонты	рН водной вытяжки	Сумма обменных оснований, мг-экв	Содержание элементов, мг-экв /100 г почвы					
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	P ₂ O ₅	K ₂ O
Чатырдагская яйла									
1	A+B	6,9	51,53	0,16	0,06	3,55	5,50	4,11	18,95
2	A+B	6,8	47,63	0,15	0,04	4,14	7,60	3,51	37,55
3	A+B	6,8	52,63	0,16	0,03	4,29	10,40	6,00	26,22
Долгоруковская яйла									
4	A+B	6,2	38,31	0,33	0,08	5,00	16,29	2,29	10,71
5	A+B	6,3	38,28	0,28	0,08	5,29	16,23	2,39	16,01
6	A+B	6,3	38,38	0,27	0,07	5,25	16,40	2,46	15,70
Караби-яйла									
7	A+B	6,9	51,10	0,30	0,07	4,80	14,48	3,42	14,67
8	A+B	6,8	48,15	0,26	0,06	5,20	14,67	3,56	17,76
9	A+B	6,7	52,80	0,25	0,05	5,34	14,89	4,78	16,23

Пасквальная дигрессия незначительно повышает величину объемной массы почвы (0,78 г/см³), ее удельная масса почти не изменяется на всех участках, но возрастает порозность (с 47-48% на контрольных участках до 51–52% на участках №№ 3 и 9).

Химические характеристики исследуемых почв на пробных участках заметно отличаются. На продуктах разрушения горных пород развиваются почвы, более богатые гумусом (6,85-9,83%), на Караби-яйле его содержание ниже, чем на других яйлах (5,78-3,73%). Сумма обменных оснований выше в почвах Чатырдагской яйлы и Караби-яйлы (45,0-51,53 мг/экв), поэтому они лучше оструктурены и имеют более благоприятные физические характеристики для развития растений, но при нарушении растительного покрова при нерегулированном выпасе эти почвы быстро подвергаются плоскостной и линейной эрозии. При усилении пасквальной нагрузки в почвах пробных площадей всех исследуемых яйл снижается концентрация магния и кальция. Содержание ионов Ca²⁺ в 2 раза больше на контрольных участках Долгоруковской и Караби-яйлы по сравнению с аналогичным участком на Чатырдагской яйле, что является показателем активизации процессов минерализации и улучшения структуры почвенного покрова. Интенсивный выпас приводит к существенному снижению в почве концентрации ионов Mg²⁺. Таким образом, в результате хозяйственного воздействия ионы Ca²⁺ и Mg²⁺ выходят из оборота в системе растения - почва, чем и объясняется снижение содержания данных элементов в изученных почвенных разрезах.

Концентрация азота в почве обуславливает ее биологическую активность, большая часть этого органогена находится в форме катиона аммония. Полагаем, что преобладание восстановленных азотсодержащих соединений в анализированных почвенных образцах связано с быстрым вымыванием легко растворимых нитратов в условиях промывного режима яйл (особенно Чатырдагской, где выпадает самое большое количество осадков) [17]. Одновременно наряду с периодами глубокого промачивания почв в зимне-весеннее время наблюдается сильное иссушение почвенного профиля летом, что замедляет активность почвообразовательных процессов. Нерегулированный выпас приводит к увеличению как окисленных (нитраты), так и восстановленных

(катионы аммония) форм подвижного азота. Так, на Чатырдагской яйле содержание NH_4^+ увеличилось с 5,5 до 10,4 мг / 100 г почвы, что привело к возрастанию щелочности почвы и, как следствие, угнетению развития почвенных организмов. Аналогичная тенденция прослеживается и на остальных яйлах. Более высокое содержание ионов NO_3^- (5,29 мг- экв / 100 г почвы) на участке № 5 под сенокосом связано с регулярным отчуждением травостоя, что приводит к затормаживанию процессов аммонификации и образованию нитратных соединений. Наибольшее количество соединений фосфора (4,78-6 мг / 100 г) отмечено в почвах Чатырдагской и Караби-яйл, особенно на участках с интенсивным выпасом, который приводит к нарушению целостности сообществ, в результате чего часть фосфатов, поглощенных растениями (преимущественно однолетниками и поликарпическими видами), задерживается в верхнем слое при отмирании наземной фитомассы. Крымские почвы особенно богаты подвижными формами калия, т.к. его много в почвообразующих породах [4, 9]. Содержание калия в почвенном профиле повышается по мере усиления антропогенной нагрузки.

Активная кислотность почвенной вытяжки колебалась незначительно (рН 6,2-6,9), самые кислые почвы на Долгоруковской яйле (рН 6,2), что, очевидно, связано с особенностями растительного покрова (близость лесных массивов) прилегающей территории (опад древесных растений обладает способностью подкислять среду).

На изученных почвах не отмечается засоления анионами SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , кроме участков №№ 3 и 9 (с интенсивным выпасом), где появляются небольшие количества сульфатов

Физико-химические особенности почв, а также климатические условия текущего года и предыдущих лет с учетом антропогенного воздействия во многом определяют показатели биологической продуктивности нагорно-луговых биогеоценозов сравниваемых крымских яйл. Анализ показателей биопродуктивности отражает достаточно высокие значения общей растительной массы по нагорьям, но наиболее значимы они на контрольных участках (51,07-63,33 ц/га), причем Долгоруковская яйла занимает первое место по этому показателю. Ведущими биогруппами в составе общей фитомассы являются разнотравье и злаки, бобовые составляют самую небольшую часть от общей фитомассы в укосах всех пробных площадей (табл. 3, 4).

Таблица 3.

Фитомасса растений разных ботанических групп в период максимального развития травостоя на пробных площадях крымских яйл (усредненные показатели за 3 года исследований)

Участок	Фитомасса растений разных ботанических групп, ц/га			
	Злаки, осоки	Бобовые	Разнотравье	Мхи, лишайники
1	4,97	2,73	8,26	0
2	3,68	1,41	6,83	0
3	2,75	0,53	5,24	0
4	5,39	1,13	15,73	5,09
5	4,75	0,84	9,73	1,72
6	3,89	0,13	6,86	0,15
7	13,7	5,80	8,76	0
8	11,8	3,80	6,92	0
9	3,24	0,15	4,36	0

Таблица 4.

Соотношение составляющих общей растительной массы на пробных площадях крымских яйл, ц/га (усредненные показатели за 3 года исследований)

Участок	Суммарная фитомасса растений	Ветошь	Подстилка	Общая растительная масса
1	15,96	7,21	27,90	51,07
2	11,92	6,50	19,68	38,10
3	8,52	4,40	5,93	18,49
4	22,25	9,04	33,04	63,33
5	17,04	6,57	20,92	44,53
6	11,03	4,80	6,30	22,13
7	28,26	11,50	14,30	54,06
8	22,52	6,80	12,80	41,32
9	7,75	6,93	4,50	19,18

На Караби-яйле в формировании первичной биопродукции первое место занимают злаки (13,7 ц/га), преимущественно за счет ковылей, которые исчезают при перевыпасе, о чем свидетельствует резкое снижение их фитомассы на участке № 9 (3,24 ц/га). Мхи и лишайники отмечены в укосах только для Долгоруковской яйлы (1,72-0,15 ц/га), причем их численность возрастает на сенокосе, т.к. интенсивное увлажнение в сочетании с отчуждением растений создают более благоприятные условия для их развития.

На Караби-яйле самые высокие величины суммарной фитомассы выявлены на контрольном участке № 7 - 28,26 ц/га, на участке № 9 отмечено резкое снижение данного показателя, что связано с

воздействием перевыпаса. Величина суммарной фитомассы на участках №№ 1-3, расположенных на Чатырдагской яйле, были достаточно низкими (даже на контрольном участке № 1). Видимо, высота нижнего плато Чатырдагской яйлы, его температурный и водный режимы менее благоприятны для развития растительного покрова, что отрицательно сказывается на интенсивности продукционного процесса, отражающего уровень общей биопродуктивности. Анализ динамики формирования и минерализации ветоши и перехода её в подстилку с учетом инсоляции, теплового режима и влагообеспеченности показал, что самые большая величина подстилки накапливается на контрольных участках Долгоруковской и Чатырдагской яйл. Переход ветоши в подстилку на Караби-яйле происходит довольно медленно: при достаточно высоких значениях массы ветоши на контрольном участке № 7 - 11,5 ц/га масса подстилки составила всего 14,3 ц/га.

Хозяйственная деятельность на всех крымских яйлах из-за отчуждения фитомассы резко снижает величину биопродуктивности. Интенсивный выпас приводит к активизации процессов разложения мортмассы и её быстрому разрушению, препятствуя установлению благоприятного микроклиматического режима для развития растений, в результате чего почва в летний период перегревается, что стимулирует процессы остепнения и ксерофитизации растительности.

Содержание зольных элементов в растительных организмах различных биогрупп служит объективным показателем обеспеченности растений элементами минерального питания (табл. 5).

Таблица 5.

Содержание зольных элементов и азота в растениях основных биогрупп нагорно-луговых степей пробных площадей крымских яйл (усредненные показатели за 3 года исследований)

Участок	Биогруппы растений	Химические элементы, % сухого веществ						
		зола	N	P	Ca	Mg	Fe	K
Чатырдагская яйла								
1	злаки	4,0	11,25	0,65	5,37	1,02	2,75	54,0
	разнотравье	3,0	15,01	0,79	2,98	2,43	1,10	73,90
	ветошь	5,9	3,70	0,45	3,10	1,09	1,98	7,34
	подстилка	11,5	4,10	0,65	2,74	1,20	0,95	9,80
2	злаки	3,0	11,10	0,58	1,76	0,35	0,25	28,70
	разнотравье	5,0	11,20	0,79	1,72	0,75	1,05	63,40
	ветошь	6,8	4,20	0,56	3,98	0,45	2,12	28,90
	подстилка	6,0	2,51	0,65	3,84	0,89	2,34	15,10
3	злаки	4,0	6,60	0,52	0,42	0,17	0,20	54,90
	разнотравье	3,0	10,70	0,48	1,05	0,52	0,61	36,05
	ветошь	17,5	5,10	0,56	4,30	0,56	2,46	37,08
	подстилка	7,0	3,70	0,48	2,80	1,06	2,60	12,20
Долгоруковская яйла								
4	злаки	4,0	8,70	0,65	5,34	1,56	0,50	67,40
	разнотравье	7,0	10,30	0,95	4,81	2,16	0,45	74,60
	ветошь	5,1	3,00	0,60	3,78	2,03	2,02	23,45
	подстилка	9,0	1,55	0,65	3,03	2,27	0,95	25,60
5	злаки	5,0	5,48	0,86	0,63	0,48	0,32	37,50
	разнотравье	6,5	7,70	0,89	1,37	0,83	0,55	70,10
	ветошь	6,6	6,90	0,62	3,00	1,40	1,24	52,34
	подстилка	12,5	2,10	0,73	2,81	1,25	0,90	54,40
6	злаки	5,1	6,10	0,90	0,51	0,39	0,27	31,50
	разнотравье	5,6	6,90	0,79	1,67	1,10	0,50	69,40
	ветошь	7,9	8,00	0,89	4,76	0,56	0,65	70,50
	подстилка	10,7	2,90	0,69	2,68	1,14	0,79	45,70
Караби-яйла								
7	злаки	7,8	9,20	0,07	3,52	5,79	0,92	10,80
	бобовые	10,0	16,01	0,92	14,04	17,64	7,50	10,90
	разнотравье	7,8	11,02	0,89	6,31	1,13	0,77	23,75
	ветошь	8,0	9,10	0,25	1,75	1,01	5,04	22,50
8	подстилка	19,3	4,51	0,30	1,22	1,20	2,50	37,51
	злаки	5,0	3,10	0,04	2,76	4,42	0,77	20,05
	бобовые	7,6	15,20	0,31	10,53	12,02	5,45	23,75
	разнотравье	5,8	6,61	0,71	4,56	0,32	1,05	22,11
9	ветошь	16,9	7,42	0,28	2,89	0,52	4,18	24,52
	подстилка	15,2	2,15	0,24	2,86	1,26	5,03	11,25
	злаки	4,1	5,70	0,04	2,45	3,45	0,67	25,40
	бобовые	6,9	2,5	0,21	3,79	5,30	1,45	6,40
	разнотравье	5,7	5,9	0,69	5,23	0,23	1,15	14,30
	ветошь	12,1	10,90	0,39	4,45	0,67	3,10	23,15
	подстилка	7,9	1,80	0,21	2,45	1,12	4,50	6,12

Свойства химических элементов во многом определяют их поведение в системе растения-почва, потому динамика концентрации элементов в надземной фитомассе растительных организмов разных биологических групп различна [15, 16]. Проведенный анализ химического состава живой и мертвой надземной фитомассы позволили изучить динамику зольного состава и содержания азота по мере перехода растительной массы из одного состояния в другое, а именно зеленой фитомассы растений – в ветошь, а далее – в подстилку (табл. 5). Установлено, что самое высокое содержание золы на всех опытных участках имеет подстилка, но по мере возрастания антропогенной нагрузки четко прослеживается тенденция снижения этого показателя. Так, на участках №№ 2, 3 и 9, расположенных на Чатырдагской яйле и Караби-яйле, где наблюдается достаточно интенсивный выпас, процентное содержание зольных элементов в сухом веществе минимально (6,0, 7,0 и 7,9% соответственно). Количество золы в ветоши на контрольных участках в среднем в 1,5-2 раза ниже, чем в подстилке. По мере усиления хозяйственной деятельности на участках с сильной пасквальной нагрузкой зольность ветоши превышает её величину в подстилке почти в 2-2,5 раза, следовательно, этот показатель может быть использован в качестве индикаторного, свидетельствующего об интенсивности антропогенной нагрузки на данную территорию. Зольность злаков и разнотравья достаточно близка, однако содержание магния и железа в злаках ниже, чем в группе разнотравья. При усилении пасквальной нагрузки эта разница еще более возрастает. Если сравнивать зольность по всем биогруппам трех исследуемых яйл, то следует отметить, что наиболее высокие показатели её отмечены на Караби-яйле. Это, очевидно, может быть связано со сдвигом гидротермического режима в сторону большей ксерофитности условий обитания растительного покрова.

Содержание азота и фосфора как наиболее важных для жизнедеятельности растений элементов минерального питания наглядно отражает изменения, которые происходят в растительных сообществах под влиянием антропогенных факторов. Низкое содержание фосфора во всех биогруппах, особенно на Караби-яйле, вероятно, обусловлено тем, что кремний – основной золообразующий элемент в злаках, главенствующих в фитомассе на опытных участках №№ 7-9, усиливает поглощение фосфатов из почвы, снижая транспирацию и обеспечивая устойчивость растений к засухе [20].

На протяжении вегетационного периода снижение концентрации фосфора в тканях растений связано с оттоком его в корни и вымыванием из почвы, поэтому содержание фосфора как в растительности, так и в почвах низкое (табл. 2). Концентрация фосфора в биогруппах злаков (0,52-0,90%) и разнотравья (0,48-0,95%) на всех исследуемых яйлах также низкая, но особенно его мало на Караби-яйле (0,04-0,07%). Анализ общей динамики миграционного потока фосфора показал, что по мере возрастания антропогенной нагрузки содержание фосфора как в группе разнотравья, так и в биогруппе злаков снижается.

Самый высокий уровень аккумуляции азота на всех яйлах отмечен в группе бобовых (15,20-16,01%), самый низкий – в подстилке (1,55-4,51%), причем с той же направленностью процесса: по мере усиления антропогенной нагрузки содержание азота в растениях резко снижается. Это закономерно, поскольку азот – подвижный элемент и легко вымывается из мортмассы, мигрируя в почву, где содержание его нитратных и особенно аммонийных форм достаточно велико (табл. 2). Достаточно высокая концентрация этого элемента выявлена в группе разнотравья (5,90-15,0%), причем самые большие величины данного показателя отмечены на контрольных участках. По мере увеличения пасквальной нагрузки содержание азота в разнотравье на всех яйлах резко снижается.

Во всех изученных ландшафтах на участках с различной формой хозяйственной нагрузки четко прослеживается снижение концентрации кальция как наиболее подвижного элемента, особенно это выражено на опытных участках Чатырдагской яйлы в группе злаков (5,37-0,42%), диапазон различий по этому элементу на Караби-яйле значительно уже (3,52-2,45%). Отмеченная направленность миграции кальция выявлена и для биогрупп разнотравья и бобовых, хотя самое высокое содержание этого элемента отмечено в почвах Караби-яйлы. В ветоши наблюдается обратная тенденция: возрастание содержания кальция на участках с самой высокой пасквальной нагрузкой, в результате чего замедляются процессы минерализации. Известно, что увеличение концентрации кальция, а, следовательно, снижение соотношения $K^+ : Ca^{2+}$ повышает устойчивость растений к засухе и создает более благоприятные условия для работы подстилочных сапрофагов [21], но четкая закономерность в распределении этого элемента в подстилке яйл в не выявлена.

Магний совместно с железом регулирует окислительно-восстановительные процессы в биологических системах, поэтому для развития растений необходимо определенное соотношение этих элементов, причем распределение железа между изучаемыми биогруппами имеет обратную зависимость по отношению к накоплению магния (табл. 5). В группе злаков содержание магния превышает показатели по концентрации железа на Караби-яйле в среднем в 2-5 раз, на остальных яйлах – в 2-3 раза, причем, наиболее контрастные значения выявлены на контрольном участке № 7. На остальных яйлах по всем опытным участкам превышение концентрации магния над содержанием железа крайне незначительно, усиление антропогенной нагрузки сближает содержание этих элементов в фитомассе. Содержание магния, активизирующего процессы минерализации, и железа в подстилке самое высокое, что свидетельствует о нормальном направлении круговорота этих элементов.

Таблица 6.

Ряды поглощения зольных элементов и азота на пробных площадях крымских яйл

Участок	Биогруппы растений	Форма хозяйственного воздействия	Ряды накопления химических элементов
Чатырдагская яйла			
1	Злаки	Контроль	K > N > Ca > Fe > Mg > P
2		Умеренный выпас	K > N > Ca > P > Mg > Fe
3		Интенсивный выпас	K > N > P > Ca > Fe > Mg
1	Разнотравье	Контроль	K > N > Ca > Fe > Mg > P
2		Умеренный выпас	K > N > Ca > Fe > Mg > P
3		Интенсивный выпас	K > N > Ca > Fe > Mg > P
1	Ветошь	Контроль	K > N > Ca > Fe > Mg > P
2		Умеренный выпас	K > N > Ca > Fe > P > Mg
3		Интенсивный выпас	K > N > Ca > Fe > P > Mg
1	Подстилка	Контроль	K > N > Ca > Mg > Fe > P
2		Умеренный выпас	K > Ca > N > Fe > Mg > P
3		Интенсивный выпас	K > N > Ca > Fe > Mg > P
1-3	Почва		K > N > P > Ca > Mg
Долгоруковская яйла			
4	Злаки	Контроль	N > K > P > Ca > Mg > Fe
5		Сенокос	N > K > P > Ca > Mg > Fe
6		Умеренный выпас	N > K > P > Ca > Mg > Fe
4	Разнотравье	Контроль	K > N > Ca > Mg > P > Fe
5		Сенокос	K > N > Ca > P > Mg > Fe
6		Умеренный выпас	K > N > Ca > Mg > P > Fe
4	Ветошь	Контроль	K > Ca > N > Mg > Fe > P
5		Сенокос	K > P > Ca > Mg > Fe > P
6		Умеренный выпас	K > P > Ca > P > Mg > Fe
4	Подстилка	Контроль	K > Ca > Mg > N > Fe > P
5		Сенокос	K > Ca > P > Mg > Fe > P
6		Умеренный выпас	K > Ca > P > Mg > Fe > P
4-6	Почва		K > N > P > Ca > Mg
Караби-яйла			
7	Злаки	Контроль	K > N > Mg > Ca > Fe > P
8		Умеренный выпас	K > Mg > N > Ca > Fe > P
9		Интенсивный выпас	K > N > Mg > Ca > Fe > P
7	Разнотравье	Контроль	K > N > Ca > Mg > P > Fe
8		Умеренный выпас	K > N > Ca > Fe > P > Mg
9		Интенсивный выпас	K > N > Ca > Fe > P > Mg
7	Ветошь	Контроль	K > N > Fe > Ca > Mg > P
8		Умеренный выпас	K > N > Fe > Ca > Mg > P
9		Интенсивный выпас	K > N > Ca > Fe > Mg > P
7	Подстилка	Контроль	K > N > Fe > Ca > Mg > P
8		Умеренный выпас	K > Fe > Ca > N > Mg > P
9		Интенсивный выпас	K > Fe > Ca > N > Mg > P
7-9	Почва		K > N > P > Ca > Mg

Калий в растениях является антагонистом кальция, он улучшает поступление и использование фосфора, азота и железа растениями [20]. Концентрация калия в растениях различных биогрупп достаточно высокая, но она резко снижается по мере формирования ветоши и подстилки, где этого элемента меньше всего (6,2-15,1%). Подстилка Долгоруковской яйлы отличается значительным содержанием калия в (25,6-54,4%), поскольку здесь главенствуют суглинистые почвы, богатые калием, который легко вымывается осадками, что обеспечивает его постоянный отток из почвы в растения. Обилие осадков в вегетационный период создает благоприятные условия для разложения растительных остатков и способствует интенсивному высвобождению калия из подстилки и перехода его в почву, причем и этот элемент маркирует интенсивность антропогенной нагрузки: чем она выше, тем меньше калия переходит в подстилку.

Полученные данные позволили определить типы биологического круговорота веществ в исследуемых ландшафтах и составить ряды поглощения зольных элементов и азота в пределах изученных экосистем крымских яйл с учетом интенсивности выпаса и сенокоса (табл. 6).

Хорошо прослеживается направленность рядов поглощения основных элементов-органогенов, при резком снижении хотя бы одного из них порядок выноса элемента из почвы менялся. Самые большие перестройки наблюдаются на участках с наиболее высокой пасквальной нагрузкой в биогруппе фитомассы. В мортмассе (ветошь + подстилка) увеличивается содержание кальция и железа при минимальном концентрации фосфора. В характере миграции элементов в почве на всех яйлах отмечено полное сходство, что свидетельствует об общности развития этих биогеоценозов.

Выводы и рекомендации

Таким образом, различные режимы хозяйственного использования нагорно-луговых биогеоценозов Чатырдагской, Долгоруковской яйл и Караби-яйлы (интенсивный выпас сельскохозяйственных животных, регулярное сенокошение) нарушают устойчивость и выводят их из состояния динамического равновесия, изменяя направленность первичного продукционного процесса и динамику миграции важнейших элементов минерального питания в системе растения-почва. Для сохранения природной целостности этих уникальных крымских нагорий необходимо строго регламентировать величину антропогенных нагрузок.

Литература

1. Воронина Л.В. Динамика климатических условий и воздействие их на биогеоценозы / Л.В. Воронина, А.И. Сляднев, Г.М. Дзюба // Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. – Новосибирск : Наука, 1976. – С.15-40.
2. Рафес П.М. Современные представления о составе биогеоценоза и о биогеоценозическом процессе / П.М. Рафес // Сб трудов "Общие проблемы биогеоценологии". Ч.1. – М., 1986. – С. 22-23.
3. Артюшенко А.Т. История растительности Крымских яйл и приайлинских склонов в голоцене / А.Т. Артюшенко, В.Г. Мишнев. – К. : Наукова думка, 1978. – 152 с.
4. Кочкин М.А. Почвы, леса и климат горного Крыма и пути их рационального использования / М.А. Кочкин. – М. : Колос, 1967. – С. 220-238.
5. Чернова Н.М. Растительный покров западных яйл и их хозяйственное использование / Н.М. Чернова // Тр. ГНБС. – Т.21. – Ялта, 1951. – С. 11-113.
6. Привалова Л.А. Растительный покров восточного нагорья Крыма и его хозяйственное использование / Л.А. Привалова // Тр. ГНБС. – Ялта, 1956. – С.13-137.
7. Голубев В.Н. Эколого-биологические особенности растений и растительных сообществ Крымской яйлы / В.Н. Голубев // Биология растений и фитоценозов Крыма – Ялта, 1978. – Т.49 – С.5-71.
8. Посохов П.П. Лесотипологическая классификация крымских яйл / П.П. Посохов // В сб. работ по лесоводству и охотоведению. Вып.6. – Симферополь : Крымиздат, 1961. – С. 34-65.
9. Драган Н.А. Почвенные ресурсы Крыма / Н.А. Драган. – Симферополь : Доля, 2004. – 208 с.
10. Молчанов Е.Ф. Содержание азота и зольных элементов в основных компонентах нагорной луговой степи Крымской яйлы / Е.Ф. Молчанов // Структура растительности и биоэкология растений Крыма. – Тр. ГНБС. – Т.78. – Ялта, 1982. – С. 105-109.
11. Кобечинская В.Г. Содержание зольных элементов и азота в опаде и подстилке фитоценозов южного макросклона Горного Крыма / В.Г. Кобечинская, Л.П. Головачанская // Изучение экосистем Крыма в природоохранном аспекте. Сб. науч. ст. – Киев : УМК ВО, 1988. – С.112-118.
12. Дидух Я.П. Растительный покров горного Крыма / Я.П. Дидух – Киев : Наукова думка, 1992. – С.19-25.
13. Воронов А.Г. Геоботаника / А.Г. Воронов. – М. : Высшая школа, 1978. – 384 с.
14. Аринушкина В.В. Руководство по химическому анализу почв / В.В. Аринушкина. – М. : Наука, 1970. – С.130-139.
15. Базилевич Н.И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н.И. Базилевич, А.А. Титлянова, В.В. Смирнов, Л.Е. Родин, Н.Т. Нечаева, Ф.И. Левин. – М. : Мысль, 1978. – С.82 - 97, 138-150.
16. Родин Л.Е. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. / Л.Е. Родин, Н.П. Ремезов, Н.И. Базилевич. – Л. : Наука, 1968. – С. 9-60.
17. Ведь И.П. Климат и облесение крымских нагорий / И.П. Ведь. – Симферополь : ТНУ, 2007. – 133 с.
18. Олиферов А.Н. Яйла: география, лес, вода./ А.Н. Олиферов. – Симферополь : Бизнес-Информ, 2011. – 190 с.
19. Антюфеев В.В. Солнечная радиация и продуктивность лугово-степных сообществ Крымской яйлы/ В.В. Антюфеев // Сб трудов "Общие проблемы биогеоценологии". Ч.1. – М., 1986. – С. 214-215.
20. Сатклифф Д.Ф. Поглощение минеральных солей растениями / Д.Ф. Сатклифф. – М. : Мир, 1963. – С.34-87.

Анотація. В. Г. Кобечинська, І. П. Отуріна, В. Б. Пишкін, Г. В. Решетник **Порівняльний аналіз міграційних потоків хімічних елементів в системі рослини – ґрунт на кримських Яйлах.** Встановлено, що різні режими використання нагорно-лугових біогеоценозів кримських яйл порушують їх стійкість, змінюючи динаміку міграції хімічних елементів у системі рослини – ґрунт, і, як наслідок, спрямованість первинного продукційного процесу. Для збереження природної цілісності цих нагір'їв необхідно строго регламентувати величину антропогенних навантажень.

Ключові слова: структура фитоценозів, продуктивність, система рослини – ґрунт, зольні елементи, антропогенний вплив.

Abstract. V. G. Kobechinskaya, I. P. Oturina, V. B. Pyshkin, G. V. Reshetnik **Comparative analysis of migration flows of chemical elements in the system plants – soil on the Crimean Jajly.** It was found that different modes of the use of upland-meadow biogeocenosis of the Crimean jajly violate their stability, changes the dynamics of migration of chemical elements in the system plant – soil, and as a result, the directionality of the primary production process. To preserve the natural integrity of these uplands the magnitude of anthropogenic load must be strictly regulate.

Keywords: structure of phytocenoses, productivity, system plant – soil, ash elements, anthropogenic influence.

Поступила в редакцію 24.01.2014 г.