

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 504.7

Л.А. Араратян, М.Г. Аветисян, А.Г. Сакоян

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОТОКОВ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВЫСОКОГОРНЫХ
ЭКОСИСТЕМАХ ПО ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЯСНОСТИ

Рассматриваются закономерности изменения содержания органического углерода и азота в деградированных почвах альпийского и лугостепного поясов Арагацского горного массива по вертикальной поясности, особенности их поведения в системе почва – инфильтрационные воды – речная вода.

К л ю ч е в ы е с л о в а: деградация; гумус; миграция; лизиметры; выщелачивание.

Введение

В связи с техническим прогрессом, развитием промышленности, сельского хозяйства и возрастающими потребностями населения нагрузка на экосистемы постоянно растет.

В настоящее время ухудшение экологического состояния окружающей среды достигло больших масштабов: нарушилось устойчивое развитие, на первый план вышли вопросы опустынивания, эрозии и деградации почв, исчезли многие, в том числе ценные для сельскохозяйственных животных виды растений, многие из них находятся на грани исчезновения. Существенно снизились плодородие почв и продуктивность растений, наблюдается сильное загрязнение вод, почв и растений тяжелыми металлами и другими элементами и веществами. На этом фоне состояние экосистем требует неотложных мер, направленных на их скорейшее восстановление и устойчивое развитие.

Задача исследований

Известно, что сельскохозяйственная деятельность оказывает существенное воздействие на запасы углерода и азота в почве, что особенно заметно на горных лугах республики. Их эмиссия в атмосферу, а также безвозвратное вымывание в грунтовые и поверхностные воды обусловлены типом использования (пастбище или сенокос) и методами ведения хозяйства.

Нашими исследованиями охвачены высокогорные луга и пастбища лугостепного и альпийского поясов Арагацского горного массива. Общей для обоих поясов проблемой является снижение плодородия почв и продуктивности растений, обусловленное прежде всего невозможностью потерь, связанных с выносом из почвы основных питательных элементов с биомассой растений, а также вымыванием их из почвы, в результате чего происходит загрязнение ими нижележащих экосистем, в т.ч. и рек, куда они в итоге попадают. Для горно-луговых почв Арагацского массива дополнительным фактором, способствующим их деградации, является ненормированный (ранний и длительный) выпас сельскохозяйственных животных, в частности овец (связанный с некоторыми особенностями их пастбы). В результате этого нарушается структура почвы, оголяется почвенный покров, уменьшается содержания гумуса, поскольку наиболее богатые гумусом верхние почвенные частицы уносятся ветром, развиваются процессы опустынивания, наблюдаются нарушение дернового слоя и сползание дерна. В ряде случаев из-за вытаптывания почвы в результате пастбы дерновый слой уплотняется и заболачивается [5].

© Араратян Л.А., Аветисян М.Г., Сакоян А.Г., 2014

Араратян Левон Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Центра эколого-ноосферных исследований Национальной Академии наук Республики Армения, Республика Армения, 0025, г. Ереван, ул. Абовяна, 68; levon.araratyan@gmail.com

Аветисян Мариета Гамлетовна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Центра эколого-ноосферных исследований Национальной Академии наук Республики Армения, Республика Армения, 0025, г. Ереван, ул. Абовяна, 68; eco-centr@mail.ru

Сакоян Астхик Гургеновна, кандидат биологических наук, химик-аналитик Центра эколого-ноосферных исследований Национальной Академии наук Республики Армения, Республика Армения, 0025, г. Ереван, ул. Абовяна, 68; eco-centr@mail.ru

Восстановление лугов и пастбищ, являющихся основой животноводства, – важнейшая задача для малоземельной Республики Армения. Достаточно отметить, что 40 % почв зоны естественных кормовых угодий эродированы, потому можно говорить о риске, существующем для горных экосистем в целом [4].

Наша цель – исследовать трансформацию потоков некоторых основных биогенных элементов – $C_{орг}$, N и его соединений (NH_4^+ , NO_2^- и NO_3^-) в почвах высокогорных лугов и пастбищ лугостепного и альпийского поясов Арагацкого горного массива по вертикальной поясности, их соотношение и закономерности изменения количественного состава их потоков в системе почва – инфильтрационные воды – речные воды.

Материал и методика исследований

Исследования проводились в альпийском (горно-луговые дерновые почвы, 2700-3250 м н.у.м., пастбище) и лугостепном (лугово-степные почвы, 2080-2700 м н.у.м., сенокос) поясах южного склона горы Арагац. Пробоотбор почв проводился как с мониторинговых станций (МС), установленных в указанных поясах на высоте 3250 м (пункт Арагац) и 2080 м (пункт Амберд), так и с ряда других пунктов, расположенных между ними. Для определения выщелачивания элементов из почвы в инфильтрационные воды на мониторинговых станциях обоих поясов были поставлены плоско врезанные лизиметрические установки закрытого типа системы Шиловой [7]: кюветы для приема воды были врезаны под почвенные слои глубины 0-10 см и 0-50 см так, чтобы не нарушить естественную структуру почв. В наших исследованиях использованы усредненные годовые данные за 2009–2012 гг. С помощью расчета средневзвешенного содержания были определены также содержания исследуемых элементов в 40-сантиметровом слое (10-50 см), что дало возможность установить динамику перехода элементов из слоя 0-10 см в слой 10-50 см (расчеты просты: если содержание в слое 0-10 см обозначим через x , в сорокасантиметровом (10-50 см) слое – y , а в слое 0-50 см – z , то формула примет вид $(10x + 40y):50 = z$). Если известны 2 показателя, нетрудно рассчитать третий. В нашем случае для 40-сантиметрового слоя 10-50 см уравнение примет вид

$$y = (50z - 10x) : 40.$$

Анализ содержания исследуемых элементов и соединений азота проводился по общепринятым в агрохимии методикам: азот определялся по Кьелдалю, $C_{орг}$ – по Тюрину, аммонийный азот – в солевой вытяжке (0,1 нормальный раствор хлорида калия, соотношение 1:10), нитратный азот – в водной вытяжке (1:5) по методу Грандвала–Ляжу, с использованием атомно-абсорбционного метода.

Результаты и их обсуждение

Одним из наиболее ощутимых последствий деградации экосистем Арагацкого горного массива является уменьшение содержания гумуса, в результате чего не только падают плодородие почв и продуктивность растений, но и нарушаются многие свойства почв, изменяется их структура. В результате падения продуктивности растений уменьшается использование основных биогенных элементов растениями, а это в свою очередь ведет к тому, что многие элементы, высвобождаясь после процессов минерализации гумуса, выщелачиваются и попадают в инфильтрационные воды, реки и водные бассейны, загрязняя их. Изменяется естественное соотношение в почве основных биогенных элементов, нарушается количественный состав потоков элементов, проходящих через экосистему, а также между экосистемами.

Об уменьшении содержания гумуса в исследуемых почвах свидетельствует сопоставление наших данных с тридцатилетними данными Г.Б. Бабаяна[2]. Согласно его данным, содержание гумуса в лугово-степных почвах составляло 6–15 %; для горно-луговых дерновых почв наблюдался большой разброс в величине гумуса, связанный с наличием в основном 3 разновидностей горно-луговых почв: содержание гумуса в слабодерновых и дерновых почвах составляло около 12,2 %, а в дерново-торфянистых – 22,4–33,6%. В настоящее время содержание гумуса в исследуемых почвах уменьшилось примерно втрое.

Физико-географические условия, в которых распространены указанные почвы, накладывают свой отпечаток на характер миграции биогенных элементов. Это, в частности, больше касается горно-луговых дерновых и дерново-торфянистых почв альпийского пояса, где вследствие длительного зимнего периода (около 7–8 месяцев) и последующего 1–1,5-месячного срока оттаивания почвенного слоя после таяния и схода снега очень сокращен период вегетации растений и сильно замедлены процессы гумификации органического вещества почв и минерализации гумуса.

На рис. 1 приведены кривые изменений содержания органического углерода и азота по вертикальной поясности с пункта Амберд (МС, 2080 м, лугостепной пояс) и до пункта Арагац в альпийском поясе (МС, 3250 м). Нетрудно заметить, что из-за наличия нескольких разновидностей горно-луговых почв, сильно отличающихся содержанием гумуса в

альпийском поясе, содержание как азота, так и углерода здесь варьирует в больших пределах (пункты 5 и 6). Однако наиболее важным является параллелизм в изменении содержания этих элементов по исследуемым пунктам.

Общеизвестно, что именно содержание углерода прежде всего ограничивает продуктивность растений, в составе живого вещества он является первичным элементом, который вместе с O, H, N и некоторыми другими макроэлементами формирует тело растений. Поэтому соотношение наиболее важных биогенных элементов в растениях и в составе гумуса довольно постоянно. Зачастую даже небольшой недостаток одного из них в почве может оказаться ограничивающим фактором повышения продуктивности растений. Рассчитанный нами коэффициент корреляции между $C_{орг}$ и N оказался равным 0,76, что указывает на довольно тесную связь между ними.

Однако параллелизм в изменении содержания углерода и азота можно объяснить не только потребностью в них растений. Есть еще один немаловажный фактор – это их положение в периодической таблице Менделеева. Известно, что физико-химические свойства элементов тесно связаны со строением их электронных оболочек и ионизационным потенциалом. Углерод и азот, расположенные в числе семи главнейших макроэлементов компактно в одной и той же подгруппе p-семейства, причем рядом [3], являются элементами-аналогами. Возможно, именно этим обстоятельством объясняется тот факт, что даже в деградированных почвах наблюдается тесная связь между ними.

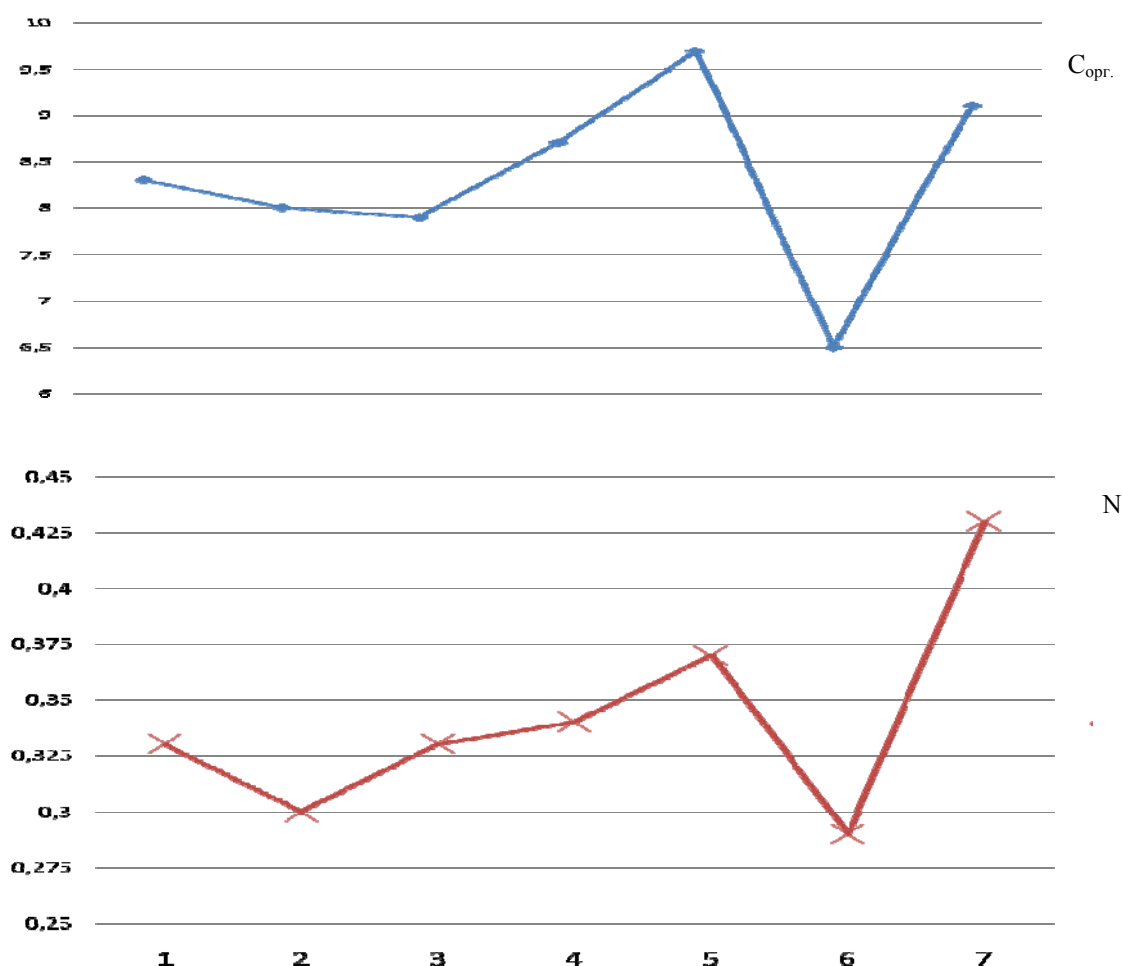


Рис. 1. Динамика изменения содержания органического углерода и азота в почвах Арагацкого горного массива по вертикальной поясности, % в слое 0-20 см

На оси абсцисс цифрами приведены номера пунктов, с которых взяты образцы почв. Ниже приводятся наименования этих пунктов и их высоты (м н.у.м.): 1 – Амберд, мониторинговая станция, 2080 м н.у.м.; 2 – Амберд, за оградой мониторинговой станции, 2080 м н.у.м.; 3 – Арагац, 2800 м н.у.м.; 4 – Арагац, 3146 м н.у.м.; 5 – Арагац, 3200 м н.у.м.; 6 – Арагац, за оградой мониторинговой станции, 3250 м н.у.м.; 7 – Арагац, мониторинговая станция, 3250 м н.у.м. Коэффициент корреляции между содержанием $C_{орг}$ и N составляет 0,76

Одним из параметров трансформации потоков элементов-аналогов является изменение их соотношения в зависимости от вертикальной поясности или при переходе из одного природного объекта в другой в одном и том же поясе. Ниже (табл. 1) приведены данные количественных отношений элементов-аналогов $C_{орг}/N$ в почвах альпийского и лугостепного поясов.

Таблица 1

Соотношение $C_{орг}/N$ в почвах Арагацкого горного массива по вертикальной поясности

<i>Арагац, МС*, 3250 м н.у.м.</i>	<i>Арагац, за оградой МС, 3250 м н.у.м.</i>	<i>Арагац, 3200 м н.у.м.</i>	<i>Арагац, 3146 м н.у.м.</i>	<i>Арагац, 2800 м н.у.м.</i>	<i>Амберд, за оградой МС, 2080 м н.у.м.</i>	<i>Амберд, МС, 2080 м н.у.м.</i>
21	22	26	23	24	27	25

*МС – мониторинговая станция

Данные показывают, что отношение $C_{орг}/N$ колеблется в пределах 21–27, при этом наблюдается тенденция к повышению этого отношения от альпийского пояса вниз по вертикальной поясности к лугостепному.

Хотя процессы, идущие в экосистемах, очень сложны и для их более точной оценки требуются скрупулезные исследования многочисленных факторов, тем не менее мы приближенно можем оценить результаты их воздействия и установить возможные тенденции в трансформации их потоков. По данным Александровой [1], количественное соотношение $C_{орг}/N$ в горно-луговых почвах составляет 12,8, а в каштановых (которым соответствуют исследуемые нами лугово-степные почвы) – 12,9 (данные Александровой приведены отдельно по гуминовым кислотам и фульвокислотам, мы же приводим их после усреднения обоих показателей). Объясняется ли это расхождение между нашими и приведенными литературными данными деградированностью исследуемых нами почв или обусловлено своеобразием местных почвенно-климатических условий, мы пока не можем сказать, скорее всего, присутствуют оба фактора.

Мы проследили пути миграции потоков элементов-аналогов $C_{орг}/N$ и в водных циклах: инфильтрационные воды – речная вода (табл. 2).

Таблица 2

Соотношение $C_{орг}/N$ в лизиметрической (взятой со слоя 0-50 см почвы) и речной водах по вертикальной поясности Арагацкого массива

<i>Тип воды</i>	<i>Место взятия образца, высота, м н.у.м.</i>	<i>$C_{орг}/N$</i>
Лизиметрическая	Арагац, МС, 3250 м н.у.м.	435
	Амберд, МС, 2080 м н.у.м.	129
	Среднее	278
Речная	р. Амберд, у истока	773
	р. Амберд, ниже по течению от истока на 1 км	766

МС* – мониторинговая станция.

Как видим, в лизиметрических растворах отношения $C_{орг}/N$ составляют 435 (Арагац, МС, 3250 м н.у.м.) и 129 (Амберд, МС, 2080 м н.у.м.). При дальнейшей водной миграции это соотношение для речной воды еще больше повышается. Полученный нами миграционный ряд для отношения $C_{орг}/N$ сверху вниз по вертикальной поясности в системе почвы – лизиметрические растворы – речная вода, соответствующий величинам (21-27) → (129-435) → 773, показывает, что при водной миграции совершается довольно интенсивный вынос углерода в речные воды (по сравнению с азотом).

Хорошим показателем для количественной оценки предпочтительного перехода из одного объекта в другой какого-либо из элементов-аналогов относительно другого (в нашем случае $C_{орг}$ и N) является величина «наблюдаемые отношения» (НО), которая представляет собой отношение содержания элементов-аналогов в последующем при миграции объекта относительно предыдущего.

Таблица 3

Изменение $HO C_{орг}/N$ по вертикальной поясности Арагацкого горного массива

$C_{орг}/N$	НО
<u>В лизиметрической воде горно-луговой почвы (со слоя 0-50 см)</u> В почве с того же пункта	20,7
<u>В лизиметрической воде лугово-степной почвы (со слоя 0-50 см)</u> В почве с того же пункта	5,2
<i>Среднее</i>	13,0
<u>В речной воде (р. Амберд, у истока)</u> В лизиметрической воде (среднее от обоих лизиметров)	2,7
<u>В речной воде (р. Амберд, у истока)</u> В почве (среднее по всем почвам)	32,2

При этом возможны три случая: если НО выше единицы, то это говорит о предпочтительном переходе в другой объект элемента, находящегося в числителе отношения $C_{орг}$ относительно N. Если НО меньше единицы, то мы имеем предпочтительный переход элемента, находящегося в знаменателе отношения. При равенстве НО единице предпочтения нет. В нашем случае (табл. 3) мы получили, что при переходе $C_{орг}$ из почвы в инфильтрационные воды $HO=20,7$ – для пункта Арагац (МС, 3250 м н.у.м.) и 5,2 – для пункта Амберд (МС, 2080 м н.у.м.), наблюдается предпочтительный переход в инфильтрационные воды из почвы углерода относительно азота в обоих поясах. Аналогично этому мы получили 2,8-кратный предпочтительный переход из инфильтрационных вод в речные углерода относительно азота (поскольку грунтовые воды, идущие с вышестоящих экосистем, смешиваются с таковыми в нижерасположенных экосистемах, мы усреднили значения $C_{орг}/N$ в лизиметрических растворах обоих поясов и использовали в расчетах их среднее значение). Как видим, отмечается довольно четко выраженное расхождение путей миграции органического углерода и азота в системе почва – инфильтрационные воды – речные воды с увеличением степени предпочтительного перехода из одной системы в другую органического углерода. В итоге мы получили 32-кратный предпочтительный переход в речную воду из исследуемых почв углерода (относительно азота).

В табл. 4 приведены содержания $C_{орг}$, N и их соединений в лизиметрических растворах лугово-степных и горно-луговых дерновых почв по слоям 0-10 и 10-50 см, откуда видно, что содержание исследуемых элементов и соединений в лизиметрическом растворе дерновых почв меньше по сравнению с лугово-степными, за исключением углерода.

Таблица 4

Содержание углерода и азота в лизиметрических растворах горно-луговых и горно-степных почв

Пункты, высота (м н.у.м.)	Глубина, см	$C_{орг}$	N	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-
		мг/л				
Арагац, МС* 3250	0-10	420	1.86	0.39	0.17	6.6
	10-50	460	0.89	0.48	0.21	1.9
	0-50	450	1.08	0.46	0.25	2.8
Амберд, МС 2080	0-10	380	2.27	0.53	0.26	7.7
	10-50	270	2.25	0.68	0.07	6.8
	0-50	290	2.24	0.64	0.11	7.0

Содержание их колеблется в небольших пределах, однако для пункта Амберд наблюдается определенная тенденция уменьшения их содержания с глубиной, за исключением иона NH_4^+ , причем для NO_2^- это уменьшение значительно (в 4 раза). Для горно-луговых почв тенденция обратная, исключение составляет NO_3^- , содержание которого в нижнем слое в 3,5 раза меньше, чем в верхнем,

что оказало существенное влияние и на суммарное содержание общего азота. Указанная тенденция, очевидно, обусловлена рядом причин: количеством осадков, которое в альпийском поясе значительно выше по сравнению с лугостепным, более кислой реакцией дерновых почв и большей деградированностью их верхнего слоя из-за нерационального выпаса.

На основании данных табл. 4 о содержании азота в лизиметрических растворах альпийского и лугостепного поясов, взятых с глубины почвенного слоя 0-50 см, мы рассчитали величины потерь азота из этих почв. Известно, что в альпийском и лугостепном поясах количество осадков в год составляет в среднем соответственно 900 и 500 мм [6]. Если учесть (табл. 4), что содержание азота в лизиметрическом растворе, взятом с глубины 0-50 см горно-луговой почвы, составляет 1,08 мг/л, то с применением данных об осадках для указанного пояса получим следующую величину потерь: $1,08 \text{ мг/л} \times 900 \text{ мм} (\text{литр/год/м}^2) \times 10000 \text{ м}^2 = 9,7 \text{ кг/га}$. Соответственно для лугостепного пояса потери составили 11,2 кг/га.

Таблица 5

Изменение содержания соединений азота в лизиметрических (0-50 см) и речных водах по вертикальной поясности Арагацкого массива, мг/л

Пункты	Тип воды	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-
Арагац, МС*	Лизиметрическая	0.46	0.25	2.8
Амберд, МС		0.64	0.11	7.0
р. Амберд, у истока	Речная	0.17	0.18	4.0
р. Амберд, через 1 км вниз по течению		0.20	0.21	3.2

В табл. 5 приведены содержания соединений азота в лизиметрических и речных водах. Известно, что при минерализации гумуса первичным продуктом его разложения является ион NH_4^+ , который затем переходит в NO_2^- и далее в NO_3^- . Дальнейшая трансформация соединений азота приводит к образованию N_2O , который улетучивается в верхние слои атмосферы и, достигая озонового экрана стратосферы, приводит к его разрушению, способствуя этим проникновению пагубных для человека ультрафиолетовых лучей в биосферу. В приведенном ряду соединений азота NO_3^- является наиболее растворимым и потому наиболее подверженным выщелачиванию. Именно поэтому его содержание при переходе из инфильтрационных вод в речные почти не претерпевает изменений. Как видно из таблицы, содержания NO_3^- в речной воде укладываются в пределы, установленные для лизиметрических растворов альпийского и лугостепного поясов.

Сходная картина отмечается и по иону NO_2^- . NH_4^+ , наиболее прочно связанный с почвенным поглощающим комплексом, поступает в речную воду в количестве, в 3-4 раза уступающем его содержанию в лизиметрическом растворе.

Выводы

Проведенные исследования показали наличие параллелизма в изменении содержания $\text{C}_{\text{орг}}$ и N в лугово-степных и горно-луговых почвах по вертикальной поясности, что объясняется также близостью физико-химических свойств элементов-аналогов углерода и азота, обусловивших их расположение рядом в таблице Менделеева. Установлено также, что сверху вниз по вертикальной поясности (начиная с альпийского пояса) отношение $\text{C}_{\text{орг}}/\text{N}$ в почвах повышается в пределах 21-27. Эта тенденция еще более усиливается при их дальнейшей миграции и составляет 435 и 129 (соответственно для инфильтрационных вод альпийского и лугостепного поясов) и 773 (для речной воды). Величины НО позволили установить повышение степени предпочтительного перехода в системе почва – лизиметрическая вода – речная вода углерода относительно азота, что в итоге составило около 32 раз для речной воды относительно почвы. Выявлено также, что содержание NH_4^+ в речной воде меньше по сравнению с лизиметрической, что объясняется его более прочной связью с почвенным поглощающим комплексом. Существенных различий в содержании NO_2^- и NO_3^- в лизиметрической и речной воде не наблюдается.

Полученные характеристики потоков углерода и азота на кормовых угодьях дополняют представления о количественных и качественных особенностях их миграции в высокогорных

экосистемах и могут быть использованы в балансовых расчетах, а также для определения параметров допустимых антропогенных нагрузок.

Библиографический список

1. *Александрова Л.Н.* Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука. 1980. С. 44, 87.
2. *Бабаян Г.Б.* Агрохимическая характеристика горно-луговых почв Армянской ССР / АН АрмССР. Ереван, 1982. С. 22, 31, 33.
3. *Добролюбовский О.К.* Биологическое действие микроэлементов в связи с их положением в периодической системе Д.И. Менделеева // Биогеохимия растений: тр. Бурят. ин-та естеств. наук. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969. Вып. 2. С. 29-38.
4. *Ревазян Р.Г., Сакоян А.Г., Аветисян М.Г.* Особенности трансформации биогеохимических циклов на горных лугах альпийского пояса при антропогенном воздействии // Биокосное взаимодействие в природных и антропогенных системах: матер. IV Междунар. симп. СПб., 2011. С. 500-504.
5. *Сакоян А.Г., Ревазян Р.Г., Араратян Л.А., Сафразбекян Э.А.* Трансформация азотсодержащей органики горно-луговых почв под воздействием интенсивной пастбищной нагрузки // Биол. журн. Армении. 2009. Т. 61, № 4. С. 25-30.
6. *Сакоян А.Г.* Антропогенная трансформация потоков биогенных элементов в горных экосистемах и их прогнозирование (на арм. яз): дис. ... учен. ст. канд. биол. наук. Ереван, 2012. С. 32, 36.
7. *Шилова З.Н.* Лизиметрический метод, его значение и условия применения для познания современных процессов почвообразования // Применение лизиметрических методов в почвоведении, агрохимии и ландшафтоведении. Л.: Наука, 1972. С. 1-21.

L.A. Araratyan, M.H. Avetisyan, A.G. Sakoyan

THE TRANSFORMATION OF BIOGENIC ELEMENTS FLOWS IN HIGH MOUNTAIN ECOSYSTEMS ACCORDING TO THE VERTICAL BELTS

The patterns of organic carbon and nitrogen contents changing in the degraded soils of alpine and meadow-steppe zones of Aragats mountain massif by the vertical belts are discussed. It is considered also the peculiarities of their behavior in the system of soil – infiltration water – river water.

К е у w o r d s: degradation; humus; migration; lysimeters; leaching.

Levon A. Araratyan, Cand. of agric. scs, Senior researcher of The Center for Ecological-Noosphere Studies of the National Academy of Sciences; 68 Abovian, Yerevan, Republic of Armenia 0025; levon.araratyan@gmail.com

Marieta H. Avetisyan, Cand. of geograph. scs, Senior researcher of The Center for Ecological-Noosphere Studies of the National Academy of Sciences; 68 Abovian, Yerevan, Republic of Armenia 0025; marieta_0208@mail.ru

Astghik G. Sakoyan, Cand. of biolog. scs, chemist-analyst of The Center for Ecological-Noosphere Studies of the National Academy of Sciences; 68 Abovian, Yerevan, Republic of Armenia 0025; marieta_0208@mail.ru