

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ ВАЖНЕЙШИХ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВЫСОКОГОРНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

**© 2015 г. Л.А.Араратян, Э.А.Сафразбекян, М.Г.Аветисян,
Т.Э.Погосян**

*Центр эколого-ноосферных исследований НАН РА
0025, Ереван, ул. Абовяна 68
e-mail: eco-centr@mail.ru
Поступила в редакцию 28.10.2014г.*

Работа посвящена изучению определенных закономерностей миграции углерода, азота, калия и фосфора в системе почва – лизиметрические воды – речная вода в высокогорных экосистемах.

В статье исследуются высокогорные луга и пастбища лугостепного и альпийского поясов Арагацкого массива. Для обоих поясов характерным является снижение плодородия почв и продуктивности растений, что объясняется потерей элементов с урожаем и вымыванием их из почвы.

Выявлено, что в результате деградации почв пути миграции C-N и K-P расходятся: значительно повышается выщелачивание углерода в речные воды относительно азота; та же картина, слабее выраженная, наблюдается и по калию относительно фосфора.

В настоящее время в ряде горных массивов республики экологическое напряжение достигло таких пределов, что высокогорные экосистемы находятся на грани разрушения. В таких условиях скорость естественного восстановления почвенного плодородия значительно меньше, чем потери питательных веществ, что приводит к падению продуктивности лугов, вытеснению ценных в кормовом отношении видов растений, разрушению дернового горизонта и к деградации почвенного покрова. В процессе деградации ухудшаются не только многие свойства почвы, но и происходит дегумификация – разрушение и снижение содержания органического вещества ($C_{орг.}$), а также нарушаются биогеохимические циклы важнейших питательных элементов, в частности азота и углерода. Важное значение органического вещества почвы для горных лугов состоит и в том, что оно улучшает почвенную структуру за счет преобразования органического вещества микроорганизмами (Ревазян и др., 2011).

Горно-луговые почвы имеют большой удельный вес в земельном фонде Армении, являясь основной базой кормопроизводства. Необходимо отметить, что интенсивный выпас скота приводит к нарушению питательного режима почв и к уменьшению органического вещества. Уменьшение органического вещества, прежде всего, обусловлено нарушением физической структуры поверхностного слоя почвы, и, учитывая активную реакцию экскрементов в верхнем дерновом слое почвы, в свою очередь приводит к нарушению устойчивости биохимических соединений, т.е. к деградации почв, сопровождаемой потерями азотных и углеродных сое-

динений в газообразной форме и выщелачиванием элементов (Аветисян и др., 2014, Сакоян и др., 2009).

На пастбищах в естественных условиях постоянно имеет место изменение физических и химико-биологических факторов, контролирующей деятельность микроорганизмов в почве. При этом, скорости синтеза и разложения органического вещества, зависящие от этих факторов в почвах, регулируются ими, и в итоге устанавливается равновесная концентрация его. На участках же, подлежащих интенсивному выпасу, это равновесие нарушается. Наилучшим образом это видно на примере альпийских лугов, где продукция биомассы и процессы разложения органического вещества лимитируются температурой почвы и подвижными питательными элементами (Ревазян и др., 2011). С этих позиций актуальным является изучение миграции некоторых питательных элементов в системе почва – инфильтрационные (лизиметрические) воды – речная вода для горных экосистем Арагацкого массива по вертикальной поясности, что позволит дать характеристику миграционных процессов. Данная система обеспечивает внутрпочвенные связи между компонентами экосистемы и отток веществ из нее. Поэтому изучение и оценка современного состояния и качественного состава водно-миграционного потока веществ является важной задачей.

В задачу исследований входило выявить величины выщелачиваемых из почвы основных питательных элементов изучение процесса минерализации гумуса и высвобождения основных питательных элементов в деградированных почвах высокогорных лугов и пастбищ, что позволит разработать мероприятия для предотвращения их вымывания в грунтовые и речные воды.

Научная новизна работы заключается в проведении комплексного исследования водно-миграционного потока некоторых важнейших питательных элементов с учетом их выщелачивания в инфильтрационные (лизиметрические) воды в горных экосистемах Арагацкого массива.

Целью исследования было изучение закономерностей и особенностей миграции и трансформации потоков важнейших питательных элементов (углерода, азота, фосфора и калия) в системе почва – инфильтрационные воды – речная вода в горно-луговом и лугостепном поясах Арагацкого массива.

Материал и методика исследования. Исследования проводились в альпийском (горно-луговые дерновые почвы, 2700-3250м н.у.м., пастбище) и лугостепном (лугово-степные почвы, 2080-2700м н.у.м., сенокос) поясах южного склона горы Арагац.

Отбор почв проводился с мониторинговых станций, установленных в указанных поясах на высоте 3250м (пункт Арагац) и 2080м (пункт Амберд), а также с ряда других пунктов, расположенных между ними.

Изучение вертикального почвенного стока проводилось лизиметрическим методом, который позволяет оценить потери питательных веществ вследствие выщелачивания в условиях, близких к природным (Шилова, 1972). Плоско врезанные лизиметры были установлены в почву на глубине

0-10 см и 0-50 см почвенного слоя, при этом в наименьшей степени деформируя строение и сложение почвы.

Анализ содержаний исследуемых элементов проводился по общепринятым в агрохимии методикам (Алекин, 1954; Аринушкина, 1970; Юдин, 1971).

В статье приводятся усредненные данные за 2009–2012 гг.

Результаты и обсуждение. На основе проведенных исследований было выявлено существенное уменьшение содержания гумуса при сравнении с данными Г.Бабаяна (Бабаян, 1982). Согласно Г.Бабаяну, содержание гумуса в лугово-степных почвах составляло 6–15%; для горно-луговых дерновых почв наблюдался большой разброс в величине гумуса, связанный с наличием 3 разновидностей горно-луговых почв: содержание гумуса в слабо-дерновых и дерновых почвах составляло около 12.2%, а в дерново-торфянистых – 22.4–33.6%.

Нашими исследованиями установлено, что за 30 лет содержание гумуса, а, следовательно, и органического углерода в исследуемых почвах уменьшилось почти втрое.

По усредненным данным Г.Бабаяна (Бабаян, 1982), для всех трех разновидностей горно-луговых почв (для слоя 0–15 и 0–20 см) среднее содержание азота составляло 0.95%, а по нашим данным – 0.38%, т.е. в горно-луговых почвах содержание азота, за более чем 30 лет, снизилось около 2.5 раза.

На рисунке представлены кривые изменения содержаний основных питательных элементов С, N, P и K в лугово-степных и горно-луговых почвах Арагацкого массива по вертикальной поясности их распространения.

Нетрудно заметить наличие параллелизма в поведении углерода и азота – прямая и тесная коррелятивная зависимость между ними составила 0.76. Это обусловлено тем, что они очень близки по своим физико-химическим свойствам и в таблице Менделеева расположены рядом (Добролюбский, 1969).

По данным Г.Бабаяна (Бабаян, 1982), содержание калия в горно-луговой почве Арагацкого массива составляло в среднем для всех трех разновидностей почв 1.0%, для лугово-степных почв – 1.5%. В настоящее время эти данные снизились примерно в 2-3 раза и, соответственно, составляют 0.55% и 0.58%.

На рисунке приведены кривые изменений содержаний калия по различным пунктам лугово-степных и горно-луговых почв Арагацкого массива. Как видно, содержание калия в исследуемых почвах колеблется в наибольших пределах: если разница между наивысшим и наименьшим содержаниями С и N не превышает 1.5 раза, то для калия она составляет почти 2 раза, что объясняется его относительно хорошей активностью. Содержание калия в почве мониторинговых станций обоих пунктов, в отличие от остальных исследуемых элементов, наивысшее. Естественно, что небольшая по величине мониторинговая станция не может полностью

избежать влияния деградированности окружающих ее почв, однако определенная защищенность почвенного участка от деградации наилучшим образом проявляется по калию.

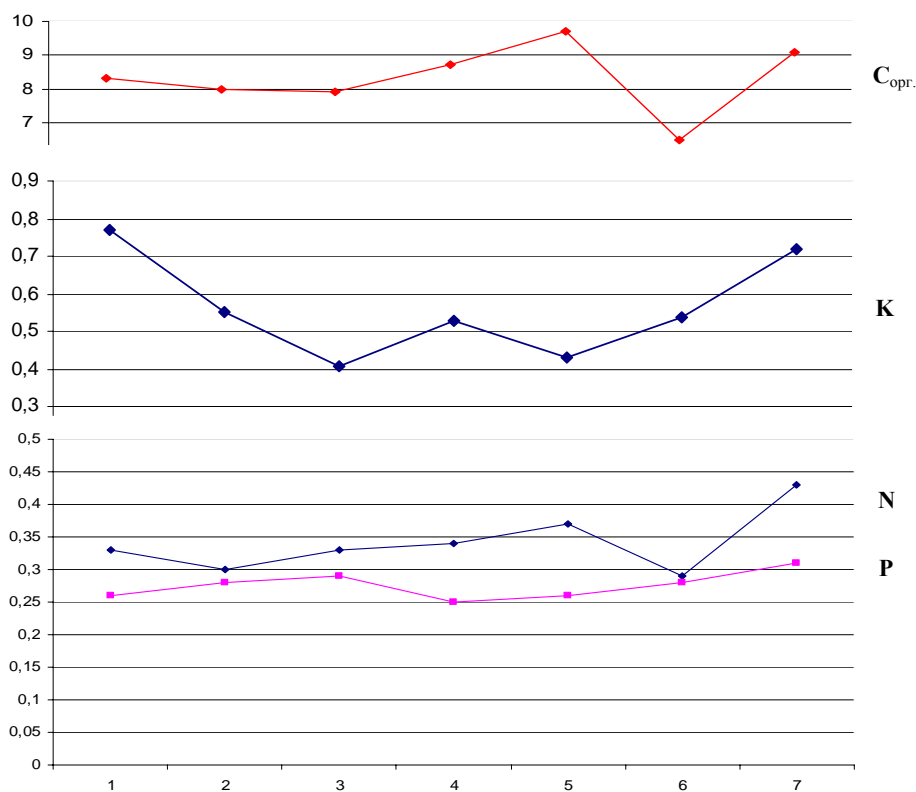


Рис.1. Динамика изменения содержания органического углерода, азота, фосфора и калия в почвах Арагацкого горного массива по вертикальной поясности (в %, в слое 0-20см).

Примечание: 1. Амберд – мониторинговая станция, 2080м 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, 3250м н.у.м.

Коэффициент корреляции между содержанием C орг. и N составляет 0.76.

По данным Г.Бабаяна (Бабаян, 1982), среднее содержание фосфора в горно-луговой почве составляло 0.20%, а в лугово-степной почве – 0.15%. По нашим данным, за 30 лет оно не только не снизилось, но и несколько повысилось, составляя соответственно 0.28% и 0.27%.

Как было отмечено выше, гумус не содержит ни калия, ни фосфора, однако сам он образуется в результате минерализации органических веществ животного и растительного происхождения, которые содержат существенные их количества, высвобождающиеся при минерализации органических веществ. При деградации почв с уменьшением содержания гумуса уменьшается также продуктивность растений, а, следовательно, и степень использования ими питательных элементов, которые частично

вымываются в грунтовые воды, загрязняя их, частично же связываются с почвенным поглощающим комплексом – более или менее прочно, что зависит от физико-химических свойств самих элементов.

Фосфор, который труднорастворим и малодоступен для растений, прочно связывается почвенным поглощающим комплексом, в результате чего содержание его в почве со временем несколько увеличивается, тогда как остальные исследуемые элементы в результате деградации почв в большей степени выщелачиваются из нее. Однако накопление фосфора в почве не свидетельствует об обеспеченности ее фосфором, поскольку обеспеченность почв тем или иным элементом зависит не только от общего содержания их в почве, а прежде всего от количества их подвижных, доступных для растений форм.

Миграция фосфора по вертикальной поясности распространения исследуемых почв также существенно отличается от рассмотренных выше элементов. Из рисунка видно, что его содержание по пунктам колеблется незначительно – разница между его минимальным и максимальным содержаниями не превышает 1.2 раза. Фосфор в почве, как уже было отмечено, является малоподвижным элементом, его запасы в почве, в отличие от углерода и азота, не восполняются естественным путем (в основном, с атмосферными осадками), в связи с чем даже при отсутствии деградированности почв фосфор является наиболее проблематичным элементом для питания растений и требует постоянного внесения в почву (Сакоян, 2012).

В табл. 1 приведено среднее содержание исследуемых элементов в лизиметрических водах. Как видно, в лизиметрической воде, взятой с глубины 0-50см, исследуемые элементы составляют нисходящий ряд общий для обоих типов исследуемых почв, но различающийся в числовом выражении.

Таблица 1

Среднее содержание основных питательных элементов в лизиметрической воде (мг/л)

Пункты	Глубина, см	Сорг.	N	P	K
Амберд (лугово- степные почвы)	0-10	380	2.27	0.27	3.57
	10-50	270	2.25	0.33	3.31
	0-50	290	2.24	0.32	3.36
Арагац (горно- луговые почвы)	0-10	420	1.86	0.16	0.83
	10-50	460	0.89	0.10	2.11
	0-50	450	1.08	0.11	1.81

Так, для лугово-степных почв (мг/л) – $C_{(290)} \gg K_{(3.36)} > N_{(2.24)} > P_{(0.32)}$, а для горно-луговых – $C_{(450)} \gg K_{(1.81)} > N_{(1.08)} > P_{(0.11)}$. При этом, в альпийском поясе, по сравнению с субальпийским, сильнее выражено вымывание углерода из почвы, что, очевидно, связано с усиленной его деградацией и уменьшением содержания гумуса, а в лугостепном – остальных элементов

(К, N, P). Как видно, в лугостепном поясе с глубиной (0–10см и 10–50см) уменьшается содержание углерода – в 1.4 раза, а в альпийском – остальных элементов: калия – в 2.5, азота – в 2.1 и фосфора – в 1.6 раза.

В табл. 2 приведено среднее содержание исследуемых элементов в речной воде, куда в итоге миграции они попадают после выщелачивания из почвы. По содержанию в речной воде исследуемые элементы составляют следующий нисходящий ряд: Сорг.>К>N>P. Если превышение калия над азотом составляет лишь около 2 раза, то превышение калия и азота над фосфором достигает нескольких десятков раз, т.е. и здесь наблюдается более прочная связь фосфора с почвой по сравнению с калием и азотом, в связи с чем значительно уменьшено выщелачивание его из почвы в речную воду.

Таблица 2

Содержание основных питательных элементов в воде р. Амберд (мг/л)

<i>Место</i>	<i>Сорг.</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>
<i>Река Амберд</i>	7.85	1.02	0.13	2.8

Одним из наилучших показателей миграции элементов в экосистеме является количественное изменение соотношения элементов при переходе их из одного объекта экосистемы в другой.

Известно, что поведение элементов в экосистеме обусловлено их физико-химическими свойствами, которые и обуславливают их расположение в таблице Менделеева (Добролюбский, 1969). Наиболее близко друг к другу расположены углерод и азот (их порядковые номера соответственно 6-ой и 7-ой), в связи с чем коэффициент корреляции между их содержанием в исследуемых почвах оказался достаточно тесным. Калий и фосфор располагаются в пределах порядковых номеров 1–20 и по месторасположению недалеко друг от друга (порядковые номера их соответственно 15-ый и 19-ый).

Таблица 3

Количественные соотношения основных питательных элементов в почвах высокогорных экосистем Арагацкого массива

<i>Отношение элементов</i>	<i>Арагац МС*, 3250м</i>	<i>Арагац за оградой МС, 3250м</i>	<i>Арагац, 3200м</i>	<i>Арагац, 3146м</i>	<i>Арагац, 2800м</i>	<i>Амберд за оградой МС, 2080м</i>	<i>Амберд МС, 2080м</i>
<i>Сорг./N</i>	21	22	26	23	24	27	25
<i>Среднее:</i>	24						
<i>K/P</i>	3.0	2.0	1.4	2.1	1.7	1.9	2.3
<i>Среднее:</i>	2.1						

В табл.3 приведено количественное соотношение элементов Сорг./N и К/Р в горно-луговых и лугово-степных почвах Арагацкого массива. Колебания их содержаний в почвах по вертикальной поясности охватывает небольшие пределы: для отношения Сорг./N эти пределы равны 21–27, а для К/Р – 1.4-3.0.

Сравнивая вышеприведенные данные для исследуемых почв с данными для лизиметрических и речных вод (табл. 3, 4), очевидно, что они составляют следующие нисходящие ряды изменения по нижеприведенным объектам (сверху вниз по вертикальной поясности): почвы горно-лугового и лугостепного поясов – лизиметрические воды – речная вода, соответствующие следующим величинам: а) для Сорг./N они соответственно равны 24 – 273 – 773, б) для К/Р – 2.1 - 14.9 – 21.

Таблица 4

Количественные соотношения элементов в лизиметрической (0-50см) и речной водах

Количественное соотношение	Лизиметрические воды			Вода р.Амберд
	Лугово-степной пояс	Горно-луговой пояс	среднее	У начала
C/N	129	417	273	773
K/P	10.5	19.2	14.9	21

Полученные ряды указывают на расхождение путей миграции Сорг. и N, а также К и Р сверху вниз в вертикальном направлении по мере их выщелачивания из почв высокогорных экосистем в речную воду. Лучше всего величина этого изменения проявляется в коэффициенте НО (“наблюдаемые отношения”), для получения которой количественное соотношение элементов в последующем объекте делится на одно и то же соотношение в предыдущем или начальном объекте, с которым производится сравнение. При этом, если это соотношение больше единицы, то это свидетельствует о том, что наблюдается преимущественный переход в последующий объект элемента, находящегося в числителе отношения, если же оно меньше единицы – то в знаменателе. Согласно проведенным расчетам, превышение Сорг. над N в речной воде, по сравнению с почвой, достигает 32 раз; соответственно, превышение К над Р меньше, но тоже немалое и достигает 10 раз.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования позволили выявить ряд особенностей и закономерностей поведения некоторых питательных элементов в процессе миграции их в высокогорных экосистемах Арагацкого массива.

Установлена прямая и тесная коррелятивная зависимость между содержанием углерода и азота в лугово-степных и горно-луговых почвах.

Поведение калия и фосфора резко отличаются друг от друга: в наибольших пределах в исследуемых почвах колеблется содержание калия,

связанное с его активностью и относительно слабой связью с почвенным поглощающим комплексом. Очень слабо выражено изменение содержания фосфора по исследуемым пунктам, обусловленное его малой подвижностью в почвах.

Установлено, что содержание углерода в лизиметрических водах в альпийском поясе в 1.4 раза выше по сравнению с лугостепным, тогда как для азота, фосфора и калия картина обратная, при этом превышение по фосфору составляет в 3 раза, а по калию и азоту – около 2 раза.

Расчеты изменения количественных соотношений C/N и K/P в исследуемых экосистемах позволили установить существенное увеличение этих соотношений в процессе их миграции сверху вниз по вертикальной поясности в системе почва–лизиметрическая вода–речная вода, а величины НО (“наблюдаемые отношения”) дали возможность количественно оценить степень этого увеличения. Выявлено, что превышение вымывания в речную воду из почв для углерода (относительно азота) достигло 32 раза, а для калия относительно фосфора – 10 раз.

Результаты проведенных исследований обогащают представления о процессах, происходящих в деградированных почвах высокогорных экосистем и могут оказаться полезными при разработке мероприятий, направленных на повышение продуктивности растений и плодородия почв и улучшения экологического состояния окружающей среды.

Л и т е р а т у р а

- Аветисян М.Г., Погосян Т.Э.** О водно-миграционном потоке макрокомпонентов в Арагацском горном массиве. Псковский регионологический журнал N20, 2014, с. 88-95.
- Алекин О.А.** Химический анализ вод суши. Ленинград, Гидрометеиздат, 1954, 223 с.
- Аринушкина Е.В.** Руководство по химическому анализу почв. Москва: Изд-во МГУ, 1970, 487 с.
- Бабаян Г.Б.** Агрохимическая характеристика горно-луговых почв Армянской ССР. Ереван: АН АрмССР, 1982, с. 22, 31, 33.
- Добролюбский О.К.** Биологическое действие микроэлементов в связи с их положением в периодической системе Д.И.Менделеева. Биогеохимия растений. Труды Бурятского Института естественных наук. Улан-Удэ, Бурятское книжное изд-во, 1969, вып. 2, с. 29-38.
- Ревазян Р.Г., Сакоян А.Г., Аветисян М.Г.** Особенности трансформации биогеохимических циклов углерода и азота на горных лугах альпийского пояса при антропогенном воздействии. Биокосное взаимодействие в природных и антропогенных системах: Матер. IV Междунар. симп., Санкт-Петербург, 2011, с. 500-504.
- Сакоян А.Г.** Антропогенная трансформация потоков биогенных элементов в горных экосистемах и их прогнозирование. (Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд.) Ереван, Ботанический ин-т НАН РА, 2012, с. 24.
- Сакоян А.Г., Ревазян Р.Г., Араратян Л.А., Сафразбекян Э.А.** Трансформация азотсодержащей органики горно-луговых почв под воздействием интенсивной пастбищ. Биол. журн. Армении, 2009, т.61, N4, с. 25-30.
- Шилова З.Н.** Лизиметрический метод, его значение и условия применения для познания современных процессов почвообразования. Применение лизиметрических методов в почвоведении, агрохимии и ландшафтоведении. Ленинград: Наука, 1972, с. 1-21.
- Юдин Ф.А.** Методика агрохимических исследований. Москва: Колос, 1971, 272с.

Рецензент Г.Шагинян

**ՈՐՈՇ ԿԱՐԵՈՐԱԳՈՒՑՆ ՄՆՆԴԱՏԱՐՐԵՐԻ ՄԻԳՐԱՑԻԱՑԻ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԲԱՐՁՐ ԼԵՌՆԱՅԻՆ
ԷԿՈՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ**

**Լ.Ա.Արարատյան, Է.Ա.Սաֆրազբեկյան, Մ.Հ.Ավետիսյան,
Տ.Է.Պողոսյան**

Ամփոփում

Աշխատանքը նվիրված է ածխածնի, ազոտի, կալիումի և ֆոսֆորի միգրացիայի որոշակի առանձնահատկությունների ուսումնասիրությանը՝ հող – լիզիմետրիկ ջուր – գետի ջուր համակարգում:

Հոդվածում ուսումնասիրվել են Արագածի զանգվածի մարգագետնատա-փաստանային և ալպյան գոտիների բարձրադիր արոտավայրերն ու խոտհարքները: Երկու գոտիների համար էլ բնորոշ է հողի բերրիության և բույսերի արդյունավետության նվազումը, ինչը բացատրվում է բերքի հետ և հողից տարրերի կորստով ու նրանց լվացմամբ:

Պարզվել է, որ հողերի դեգրադացման արդյունքում C-N և K-P միգրացիայի ուղիները բաժանվում են. ազոտի համեմատ զգալիորեն բարձրանում է ածխածնի դուրս մղումը գետի ջուր, նույն պատկերն, ավելի թույլ արտահայտված, դիտվում է նաև կալիումի վերաբերյալ՝ ֆոսֆորի համեմատ:

**THE MIGRATION PECULIARITIES OF ESSENTIAL NUTRIENTS IN
THE HIGH-MOUNTAIN ECOSYSTEMS**

L.A. Araratyan, E.A. Safrazbekyan, M.H. Avetisyan, T.E. Poghosyan

Abstract

The work is dedicated to the study of specific patterns of migration of carbon, nitrogen, potassium and phosphorus in the soil - lysimetric water - river water system. It turned out, as a result of soil degradation the migration paths of C-N and K-P analogous elements diverge. In relation to nitrogen, the leaching of carbon in river waters increases significantly. The picture is the same in case with potassium in relation to phosphorus, although with a weaker revelation in this case.